

VOLUME 9 | NOMOR 2 | OKTOBER 2023

p-ISSN 2443-0986

e-ISSN 2685-001X

ELEKTRIKA BORNEO



Diterbitkan oleh

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

p-ISSN 2443-0986
e-ISSN 2685-001X

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 9, Nomor 2, Oktober 2023

Ketua Redaksi
(Editor-in-Chief)

Fitriani Said, S.T., M.T.

Dewan Redaksi
(Editorial Board)

Dr. Eng. Linda Sartika, S.T., M.T.

Abdul Muis Prasetya, S.T., M.T.

Abil Huda, S.T., M.T.

Asisten Redaksi
(Editorial Assistant)

Hendra, S.T.

Alamat Redaksi
(Address)

**Gedung D Lantai 3 Kampus Universitas Borneo Tarakan
Jalan Amal Lama No. 1, Tarakan, 77123
Kalimantan Utara, Indonesia**



Diterbitkan oleh:
Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 9, Nomor 2, Oktober 2023

DAFTAR ISI

1. Kompensasi Kapasitif Dengan Injeksi Daya Reaktif Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Aktif Pada Sistem Distribusi Skala Besar
Patria Julianto 36 – 43
2. Rancangan Plts Atap On-Grid Rumah Tinggal di Kota Pemagelang Dengan Kapasitas 0,846 Kwp
Andriyatna Agung Kurniawan, Ibrahim Nawawi dan Bagus Fatkhurrozi 44 – 48
3. Kajian Potensi Sedimen Hutan Bakau Sebagai Energi Alternatif Petambak Udang Pulau Payau Kalimantan Utara
Fitriani dan Muhammad Khoirul Muttaqin 49 – 54
4. Penggunaan Pid Pada Automatic Voltage Regulator (AVR) Untuk Kestabilan Tegangan Terminal Generator Sinkron 3 Fasa
Abdul Muis Prasetya, Linda Sartika dan Al Ma'ruf 55 – 59
5. *Speedbump* Piezoelektrik Sebagai Energi Listrik Alternatif (Studi Kasus Gerbang Kampus UBT)
Fitriani, Muhammad Said Fadillah, dan Jordan Christian 60 – 64
6. Evaluasi Perancangan Instalasi Listrik Pada Gedung Sekolah Dasar Negeri 035 Kota Tarakan
Imam Prasetyo dan Sugeng Riyanto 65 – 72
7. Perancangan Sensor $\cos \Phi$ Untuk Monitoring Segitiga Daya Pada Jaringan 1 Fasa
Abdul Muis Prasetya, Sugeng Riyanto, Linda Sartika dan Suriadi 73 – 79
8. Desain Simulasi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Menggunakan Metode *Incremental Conductance* (IC) Pada Konverter Sepic (*Single Ended Primary Inductance Converter*)
Adithya Nik Chemenk dan Abil Huda 80 – 85
9. Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pembangkit Pltmg Tanjung Selor 15 Mw
Emanuel Flavianus, Sugeng Riyanto dan Achmad Budiman 86 – 93

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 9, Nomor 2, Oktober 2023

10. Analisa Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar (*Fiber & Shell*) Dan Air Pada *Boiler Advance* 30 Ton PT. Citra Sawit Lestari
Alda Julianti dan Fitriani..... 94 – 103
11. Studi *Setting* Rele Differensial Pada Trafo Daya PT. PLN Tarakan
Muhammad Farhan Jafar dan Achmad Budiman..... 104 – 108
12. Sistem Otomatisasi Blur Citra Wajah Menggunakan *Gaussian Filter* dan DLIB CNN
Audrey Nauffal Juniar, Sultan Mahdi, Hendra, Galuh Larasati Wardhani dan Raudah..... 109 – 113
13. Evaluasi Penangkal Petir Menggunakan Metode Sudut Proteksi dan Bola Gelinding Pada Gedung FIK/Kesehatan Universitas Borneo Tarakan
Ronaldo Pati Gapar Lago dan Sugeng Riyanto..... 114 – 119
14. Potensi Bakau Sebagai Energi Listrik Alternatif Menggunakan Metode *Plant Microbial Fuel Cell* di Kota Tarakan
Jordan Christian dan Fitriani..... 120 – 124

KOMPENSASI KAPASITIF DENGAN INJEKSI DAYA REAKTIF UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA AKTIF PADA SISTEM DISTRIBUSI SKALA BESAR

Patria Julianto¹

¹Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹patria@borneo.ac.id

Abstract— In the power system, besides using the generator's active power (Watts), the consumers also use the generator's reactive power (VAr). It will cause a decrease in power factor and an increase in the total system current, which will cause a decrease in the voltage profile and increasingly active power losses. Therefore, in power systems with significant absorption of reactive power, the reactive power source must be compensated capacitively by injecting reactive power from outside the generators. One way to perform capacitive compensation is by installing capacitors in the power system. However, determining the exact location and sizes of the capacitors requires complex calculations because it involves many parameters in the power system and will be even more difficult if applied to a large-scale system. In this study, the Adaptive Genetic Algorithm (AGA) method was applied to determine the location and size of capacitors. AGA enhances the Genetic Algorithm (GA), which applies adaptive fitness values and adds the arithmetic mutation operation to the GA mutation process. The AGA method has been implemented on a large-scale distribution system (IEEE 118 bus), and the results are compared with other methods.

Keywords— Capacitive compensation, genetic algorithm, losses reduction, large-scale distribution system.

Intisari—Pada sistem tenaga listrik, konsumen selain menyerap daya aktif (Watt) juga menyerap daya reaktif (VAr). Namun demikian, jika beban menyerap daya reaktif dalam jumlah yang besar dari generator-generator yang paralel pada sistem, maka akan menyebabkan faktor daya turun, arus total menjadi lebih besar sehingga menyebabkan penurunan pada profil tegangan dan kenaikan pada rugi-rugi daya aktif. Oleh sebab itu, pada sistem tenaga listrik dengan penyerapan daya reaktif besar, sumber daya reaktif harus dikompensasi secara kapasitif dengan injeksi daya reaktif dari luar generator. Salah satu cara untuk melakukan kompensasi kapasitif adalah dengan instalasi kapasitor pada sistem tenaga listrik. Namun demikian, untuk menentukan lokasi dan nilai kapasitor yang tepat dibutuhkan perhitungan yang kompleks karena melibatkan banyak parameter pada sistem tenaga listrik dan akan bertambah sulit jika diterapkan pada sistem dengan skala yang besar. Pada penelitian ini, metode Adaptive Genetic Algorithm (AGA) diterapkan untuk penentuan lokasi dan ukuran kapasitor. AGA merupakan pengembangan dari metode Genetic Algorithm (GA) dengan penerapan nilai fitness yang adaptif dan penambahan operasi mutasi aritmetika pada proses mutasi yang terdapat pada GA. Metode AGA telah diimplementasikan pada sistem distribusi skala besar (IEEE 118 bus) dan hasilnya dibandingkan dengan metode lainnya.

Kata Kunci—Kompensasi kapasitif, genetic algorithm, reduksi rugi-rugi daya aktif, sistem distribusi skala besar.

I. PENDAHULUAN

Frekuensi dan tegangan merupakan parameter yang umumnya digunakan untuk menunjukkan kualitas pada sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik dengan kualitas yang baik tentunya akan selalu menjaga fluktuasi frekuensi dan tegangan. Untuk menjaga keseimbangan frekuensi, pengaturannya dapat dilakukan dengan cara menjaga keseimbangan daya aktif yang diserap oleh beban dan daya aktif yang dibangkitkan oleh generator ditambah dengan rugi-rugi daya aktif yang terdapat pada saluran. Sedangkan untuk tegangan, variasinya dipengaruhi oleh pengaturan sumber daya reaktif pada sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik umumnya memiliki beberapa sumber daya reaktif alternatif selain yang dihasilkan oleh eksitasi generator sinkron, seperti pengaturan tap transformator dan instalasi kompensator kapasitif. Terdapat beberapa pilihan untuk kompensator kapasitif, salah satu jenis kompensator kapasitif yang banyak digunakan adalah kapasitor. Kapasitor bekerja dengan cara menginjeksi daya reaktif pada sistem tenaga listrik agar dapat mengimbangi beban dengan penyerapan daya reaktif yang tinggi.

Kapasitor dapat secara cepat menjaga keseimbangan daya reaktif pada sistem tenaga listrik, sehingga instalasi kapasitor merupakan pilihan yang tepat pada beban dengan penyerapan daya reaktif tinggi. Namun demikian, untuk menentukan lokasi dan ukuran yang tepat dibutuhkan perhitungan yang kompleks karena melibatkan banyak parameter pada sistem tenaga listrik dan jika diterapkan pada sistem tenaga listrik dengan skala yang besar maka perhitungan akan bertambah sulit.

Penelitian tentang optimasi letak dan ukuran kapasitor khususnya pada sistem distribusi telah lama dan banyak dilakukan dengan teknik dan metode yang beragam dan dengan hasil yang juga bervariasi. Metode *mixed integer programming* berhasil diimplementasikan pada sistem distribusi dengan tipe radial [1], optimasi dengan cara menempatkan kapasitor satu per satu pada setiap bus bar dan selanjutnya ukuran kapasitor ditentukan dengan meminimalkan rugi-rugi daya yang merupakan fungsi objektif pada perhitungan [2]

Metode lainnya, baik dengan menggunakan pendekatan secara matematika maupun dengan kecerdasan buatan telah diimplementasikan untuk optimasi kapasitor antara lain: *Nonlinear Programming* [3], *Simulated Annealing* [4], *Tabu Search* [5], *Gravitational Search Algorithm* [6], *Big Bang-Big Crunch Optimization* [7], *Fuzzy Algorithm* [8], *Direct Search Algorithm* [9], *Harmony Search*

Algorithm [10], *Heuristic Algorithm* [11], *Teaching Learning Based Optimization* [12], *Plant Growth Simulation Algorithm* [13], *Flower Pollination Algorithm* [14], *Particle Swarm Optimization* [15], *Artificial Bee Colony* [16], *Ant Colony Search Algorithm* [17], *Cuckoo Search Algorithm* [18], *Bacterial Foraging Algorithm* [19], dan *Firefly Algorithm* [20].

Sedangkan optimasi kapasitor pada sistem distribusi dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) telah berhasil dilakukan dengan hasil yang menjanjikan [21-22]. Namun demikian, jika diamati dari prosedur metode GA yang digunakan masih terdapat celah untuk memperbaiki prosedur tersebut, seperti pada proses untuk menghasilkan individu-individu terbaik pada sebuah generasi dilakukan prosedur crossover dan mutasi. Pada metode GA tersebut proses crossover dan mutasi masih menggunakan metode konvensional yang memproses semua individu, baik individu yang bugar maupun yang tidak bugar memiliki peluang yang sama untuk diubah gennya melalui proses crossover dan mutasi yang menyebabkan proses GA seringkali terjebak pada kondisi lokal minima yang menghasilkan konvergensi prematur, sehingga individu yang dihasilkan bukan merupakan individu terbaik, selain itu waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses komputasi relatif lama.

Pada penelitian ini, pengembangan metode GA dengan menerapkan proses GA yang adaptif atau dikenal dengan metode *Adaptive Genetic Algorithm* (AGA) diusulkan untuk proses optimasi kapasitor pada sistem distribusi. Pada metode AGA, proses crossover dan mutasi dibedakan berdasarkan kebugaran (*fitness*) individu-individu atau kromosom-kromosom yang terdapat pada setiap generasi. Individu yang bugar ditandai dengan nilai *fitness* yang tinggi melakukan pencarian lokal dan individu yang kurang bugar ditandai dengan nilai *fitness* yang rendah melakukan pencarian global.

Proses adaptif tersebut telah berhasil dilakukan dan terbukti dapat meningkatkan efisiensi pencarian lokal dan konvergensi prematur dapat dicegah. Adaptasi proses crossover dan mutasi berdasarkan kebugaran individu tersebut berhasil dilakukan karena pada setiap populasi dalam sebuah generasi tercipta keanekaragaman individu. Selain proses adaptasi tersebut, penelitian ini juga mengimplementasikan operasi mutasi aritmetika dengan tujuan untuk mengatasi permasalahan jarak hamming yang umum terjadi pada pengkodean dengan menggunakan bilangan biner.

Pada penelitian ini, untuk menentukan kompensasi kapasitif yang optimal pada sistem distribusi skala besar dilakukan dengan cara merepresentasikan letak dan ukuran kapasitor sebagai individu-individu yang terdapat dalam sebuah populasi. Selanjutnya, individu-individu tersebut akan mengalami proses GA dengan tujuan menghasilkan individu terbaik dalam setiap generasi. Proses GA akan terus dilakukan sampai generasi akhir (maksimum) dan individu yang terbaik pada generasi akhir dipilih sebagai solusi akhir, yaitu: letak dan ukuran kapasitor yang paling optimal. Kompensasi kapasitif berupa injeksi daya reaktif dari kapasitor (hasil dari optimasi) telah berhasil diujicoba pada sistem distribusi skala besar yaitu: IEEE 118-bus. Perbandingan hasil antara metode AGA dan metode GA juga disajikan pada penelitian ini.

II. LANDASAN TEORI

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mereduksi rugi-rugi daya aktif pada sistem distribusi. Rugi-rugi daya aktif yang paling minimal diperoleh berdasarkan fungsi objektif yang dapat dinyatakan dengan persamaan matematika berikut:

$$\min P_{D-loss} = \sum_{i=1}^{Nl} \Delta P_{l-i} \quad (1)$$

Perhitungan optimasi kompensasi kapasitif dengan injeksi daya reaktif dari kapasitor harus memenuhi batasan-batasan sistem distribusi sebagaimana persamaan maupun pertidaksamaan berikut ini:

$$g(x) = 0 \quad (2)$$

$$V_{min} \geq V_i \geq V_{maks} \quad (3)$$

$$S_i \leq S_{imaks} \quad (4)$$

Keterangan:

N_l : jumlah saluran distribusi;

P_{D-loss} : rugi-rugi daya aktif total;

ΔP_{l-i} : rugi-rugi daya aktif pada saluran i ;

x : vektor tegangan bus bar;

$g(x)$: aliran daya pada sistem distribusi;

V_i : besaran tegangan pada bus i ;

V_{min} : tegangan minimum bus bar;

V_{maks} : tegangan maksimum bus bar;

S_i : daya kompleks yang mengalir pada saluran i ;

S_{imaks} : kapasitas daya kompleks maksimum saluran i .

Pada penelitian ini, untuk mereduksi rugi-rugi daya aktif pada saluran distribusi digunakan fungsi objektif dengan menambahkan fungsi dan konstanta penalti untuk setiap pelanggaran yang dilakukan pada tahap perhitungan pada proses optimasi sebagaimana persamaan berikut:

$$\min P_{D-loss} = \sum_{i=1}^{Nl} \Delta P_{l-i} + k_1 f_v + k_2 f_c \quad (5)$$

Keterangan :

f_v : fungsi penalti untuk setiap pelanggaran pada batasan tegangan bus bar;

f_c : fungsi penalti untuk setiap pelanggaran pada batasan kapasitas daya kompleks saluran distribusi;

k_1, k_2 : konstanta penalti.

Sebagaimana fungsi objektif pada Persamaan (1), tujuan yang diharapkan dari proses optimasi adalah pengoperasian sistem distribusi dengan rugi-rugi daya aktif yang paling minimal dengan batasan-batasan yang terdapat pada saluran distribusi tidak ada yang dilanggar. Sehingga Persamaan (1) perlu ditambahkan beberapa fungsi dan konstanta sebagaimana Persamaan (5) untuk mencegah proses optimasi menghasilkan pengoperasian sistem distribusi dengan rugi-rugi daya aktif rendah namun terdapat pelanggaran terhadap batasan-batasan pada sistem distribusi.

III. METODE PENELITIAN

A. Genetic Algorithm (GA)

GA yang umum digunakan sebagai metode optimasi memiliki cara kerja yaitu: mencari titik optimal secara paralel menggunakan prosedur genetika dan dengan populasi berupa deretan angka-angka baik dalam bentuk bilangan nyata maupun biner. Prosedur GA diawali dengan pembentukan individu berupa deretan angka-angka yang disebut dengan gen dan alam penelitian ini menggunakan angka-angka dalam bentuk bilangan biner (0,1). Individu-individu dalam suatu populasi merupakan kandidat dari solusi yang jumlahnya konstan. Langkah berikutnya adalah individu-individu dalam suatu populasi akan mengalami prosedur genetika seperti: crossover dan mutasi sehingga populasi tersebut akan mengalami perkembangan pada generasi berikutnya. Langkah selanjutnya merupakan penentuan populasi untuk generasi selanjutnya, yang dilakukan melalui proses evaluasi dan seleksi terhadap individu-individu dalam populasi. Proses ini akan berhenti sampai dengan generasi terakhir yang ditentukan.

Pada proses evolusi genetika, individu yang sehat/bugar memiliki prosentase yang lebih besar untuk menghasilkan keturunan yang bugar juga dan menghasilkan lebih banyak keturunan serta dapat bertahan pada generasi berikutnya.

Pada penelitian ini terdapat tiga prosedur/langkah yang digunakan dalam proses GA, yaitu:

1) Seleksi

Pada penelitian ini seleksi yang digunakan adalah seleksi *roulette-wheel*. Prosedur pada seleksi jenis ini cukup sederhana, dua individu dipilih sebagai orang tua. Setiap individu memiliki kebugaran berbeda-beda yang ditunjukkan oleh nilai fitness masing-masing individu. Individu yang bugar memiliki nilai fitness yang tinggi sehingga memiliki peluang lebih besar untuk dipilih menjadi orang tua, demikian sebaliknya individu yang tidak bugar memiliki nilai fitness rendah memiliki peluang lebih kecil untuk dipilih sebagai orang tua. Proses seleksi akan dilakukan terus menerus pada populasi dalam setiap generasi sampai generasi akhir.

2) Crossover

Crossover merupakan perkawinan silang dua individu yang telah dipilih sebagai orang tua dan dari perkawinan tersebut akan menghasilkan keturunan yang diwariskan gen dari orang tua. Pada langkah crossover, struktur pada setiap individu yang dihasilkan memiliki struktur hasil rekombinasi dari orang tua. Proses crossover juga sangat menentukan kecepatan dari konvergensi pada proses optimasi. Probabilitas yang digunakan untuk prosedur crossover umumnya memiliki nilai yang tinggi (0,6-0,9).

3) Mutasi

Mutasi merupakan prosedur pada GA yang bertugas untuk mengubah gen pada kromosom/individu. Individu akan diinjeksikan gen yang berbeda pada strukturnya. Pada prosedur mutasi ini probabilitas yang digunakan memiliki nilai yang kecil (0,0001-0,001), dan individu yang terpilih gennya akan diubah nilainya dari 0 ke 1 atau sebaliknya. Dengan proses mutasi ini, karakteristik pada individu yang dimutasi akan berbeda dengan karakter yang terdapat dalam populasi orang tua.

L_i	=	0	1	1	1	1	1	1	1
L'_i	=	0	1	1	1	1	1	1	1
	+	0	0	0	0	0	1	0	0
	=	1	0	0	0	0	0	1	1

(a)

L_i	=	0	1	1	1	1	1	1	1
L'_i	=	0	1	1	1	1	1	1	1
	-	0	0	0	0	0	1	0	0
	=	0	1	1	1	1	0	1	1

(b)

 : Posisi mutasi.

Gambar 1. Operasi Mutasi Aritmetika

(a) Operasi Penambahan; (b) Operasi Pengurangan

B. Pengkodean GA

Pada penelitian ini, pengkodean GA menggunakan struktur bilangan biner yang merepresentasikan solusi-solusi optimasi berupa lokasi dan ukuran kapasitor. Sedangkan untuk pendekodean bilangan biner GA menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_i = A + \frac{B - A}{2^l - 1} \sum_{j=1}^l b_{ij} 2^{j-1} \quad (6)$$

Keterangan:

X_i : nilai variabel dari hasil i ;

A, B : batas bawah dan batas atas variabel;

l : panjang struktur biner;

b_{ij} : nilai (0 atau 1) pada hasil i dari gen j ;

2^{j-1} : koefisien pendekodean dari gen j .

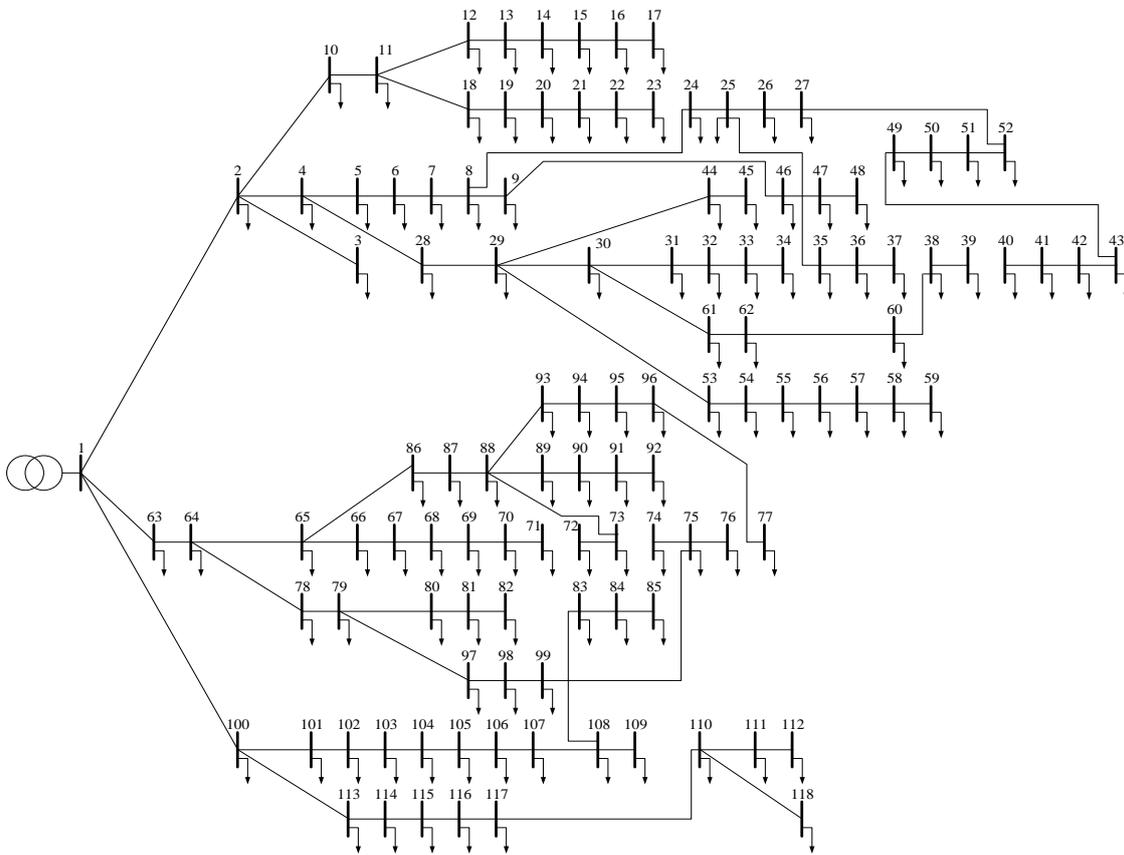
C. Prosedur Adaptive Genetic Algorithm (AGA)

Pada metode AGA, proses crossover dan mutasi dilakukan secara adaptif berdasarkan kebugaran (fitness) individu atau kromosom yang terdapat pada setiap generasi. Individu yang bugar ditandai dengan nilai fitness yang tinggi melakukan pencarian lokal dan individu yang kurang bugar ditandai dengan nilai fitness yang rendah melakukan pencarian global. Proses adaptif tersebut telah berhasil dilakukan dan terbukti dapat meningkatkan efisiensi pencarian lokal dan konvergensi prematur dapat dicegah.

Untuk menyesuaikan konsep adaptif pada prosedur crossover dan mutasi, maka panjang langkah pencarian pada struktur biner individu pada prosedur crossover (N_c) dan mutasi (N_m) berubah secara adaptif berdasarkan nilai fitness individu-individu dalam populasi sebagaimana Persamaan (7) dan (8) berikut:

$$N_c = \begin{cases} \left(c_1 \frac{f_{maks} - f'_i}{f_{maks} - f_{ave}} + c_2 \right) (l - 1) & f'_i > f \\ l - 1 & f'_i \leq f \end{cases} \quad (7)$$

$$N_m = \begin{cases} \left(m_1 \frac{f_{maks} - f_i}{f_{maks} - f_{ave}} + m_2 \right) l & f_i > f \\ l - 1 & f_i \leq f \end{cases} \quad (8)$$



Gambar 2. Single Line Diagram Sistem Distribusi IEEE-118 Bus

Keterangan:

- c_1, c_2 : konstanta panjang langkah crossover;
- m_1, m_2 : konstanta panjang langkah mutasi;
- f_{max} : nilai fitness maksimum individu pada suatu populasi;
- f_i' : nilai fitness tertinggi dari dua individu yang dicrossover;
- f_i : nilai fitness individu yang dimutasi;
- f_{ave} : nilai fitness rata-rata individu pada suatu populasi.

Selain proses adaptasi tersebut, penelitian ini juga mengimplementasikan operasi mutasi aritmetika dengan tujuan untuk mengatasi permasalahan jarak hamming yang umum terjadi pada pengkodean dengan menggunakan bilangan biner. Posisi crossover (C_p), dan mutasi (M_p) pada individu ditentukan menggunakan Persamaan (9).

$$\begin{cases} C_p = \mathbf{rand}(N_c) \\ M_p = \mathbf{rand}(N_m) \end{cases} \quad (9)$$

dengan **rand** merupakan pemrosesan secara acak.

Jarak hamming pada pengkodean dapat mempengaruhi kinerja pencarian GA. Struktur kode biner yang ditentukan, misalnya: $L_i = 01111111$, untuk mengubahnya menjadi $L'_i = 10000000$ prosesnya sangat sulit walaupun hanya berbeda satu bit jika menggunakan prosedur operasi crossover dan mutasi konvensional. Dengan demikian, perlu prosedur khusus untuk mengatasi permasalahan tersebut, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1.

Pada penelitian ini, optimasi kompensasi kapasitif dengan AGA, lokasi dan ukuran kapasitor dikodekan ke dalam deretan-deretan biner dengan mekanisme posisi tunggal crossover dan mutasi diimplementasikan pada prosedur crossover dan mutasi.

D. Desain Optimasi Kompensasi Kapasitif Pada Sistem Distribusi

Fungsi fitness yang merupakan fungsi untuk menunjukkan kinerja dari proses GA. Prosedur pada GA adalah mencari nilai fitness yang paling maksimum, sedangkan pada optimasi kompensasi kapasitif tujuannya adalah mencari solusi dengan hasil rugi-rugi daya aktif yang paling minimal sehingga fungsi fitness pada optimasi kompensasi kapasitif pada sistem distribusi perlu diubah dengan fungsi objektif dijadikan penyebut sebagaimana Persamaan (10) berikut:

$$F(x) = \frac{C_m}{F_{obj}(g)} \quad (10)$$

dengan nilai $C_m = 5 \times P_{o-loss}$, dan P_{o-loss} adalah rugi-rugi daya aktif jaringan distribusi pada kondisi awal (asli), g adalah individu hasil GA dan F_{obj} adalah nilai fungsi objektif sebagai Persamaan (5).

Dari persamaan (10) dapat terlihat bahwa didapatkan bahwa rugi-rugi daya aktif terbesar adalah individu dengan nilai fitness tertinggi pada populasi di akhir generasi. Hal tersebut menandakan tujuan yang diharapkan pada optimasi kompensasi kapasitif yaitu mereduksi rugi-rugi daya aktif pada sistem distribusi tercapai.

Tabel I
Data Sistem IEEE-118 Bus

No	Saluran		Impedansi		Daya	
	Dari	Ke	R (Ω)	X (Ω)	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	2	0,036	0,013	133,840	101,140
2	2	3	0,033	0,012	16,214	11,292
3	2	4	0,045	0,016	34,315	21,845
4	4	5	0,015	0,054	73,016	63,602
5	5	6	0,015	0,054	144,200	68,604
6	6	7	0,015	0,013	104,470	61,725
7	7	8	0,018	0,014	28,547	11,503
8	8	9	0,021	0,063	87,560	51,073
9	2	10	0,166	0,134	198,200	106,770
10	10	11	0,112	0,079	146,800	75,995
11	11	12	0,187	0,313	26,040	18,687
12	12	13	0,142	0,151	52,100	23,220
13	13	14	0,180	0,118	141,900	117,500
14	14	15	0,150	0,045	21,870	28,790
15	15	16	0,160	0,180	33,370	26,450
16	16	17	0,157	0,171	32,430	25,230
17	11	18	0,218	0,285	20,234	11,906
18	18	19	0,118	0,185	156,940	78,523
19	19	20	0,160	0,196	546,290	351,400
20	20	21	0,120	0,189	180,310	164,200
21	21	22	0,120	0,079	93,167	54,594
22	22	23	1,410	0,723	85,180	39,650
23	23	24	0,293	0,135	168,100	95,178
24	24	25	0,133	0,104	125,110	150,220
25	25	26	0,178	0,134	16,030	24,620
26	26	27	0,178	0,134	26,030	24,620
27	4	28	0,015	0,030	594,560	522,620
28	28	29	0,012	0,028	120,620	59,117
29	29	30	0,120	0,277	102,380	99,554
30	30	31	0,210	0,243	513,400	318,500
31	31	32	0,120	0,054	475,250	456,140
31	32	33	0,178	0,234	151,430	136,790
33	33	34	0,178	0,234	205,380	83,302
34	34	35	0,154	0,162	131,600	93,082
35	30	61	0,187	0,261	448,400	369,790
36	61	62	0,133	0,099	440,520	321,640
37	29	44	0,330	0,194	112,540	55,134
38	44	45	0,310	0,194	53,963	38,998
39	45	46	0,130	0,194	393,050	342,600
40	46	47	0,280	0,150	326,740	278,560
41	47	48	1,180	0,850	536,260	240,240
42	48	49	0,420	0,244	76,247	66,562
43	49	50	0,270	0,097	53,520	39,760
44	50	51	0,339	0,122	40,328	31,964
45	51	52	0,270	0,178	39,653	20,758
46	35	36	0,210	0,138	66,195	42,361
47	36	37	0,120	0,079	73,904	51,653
48	37	38	0,150	0,099	114,770	57,965
49	38	39	0,150	0,099	918,370	1205,100
50	39	40	0,240	0,158	210,300	146,660
51	40	41	0,120	0,079	66,680	56,608
52	41	42	0,405	0,146	42,207	40,184
53	41	43	0,405	0,146	433,740	283,410
54	29	53	0,391	0,141	62,100	26,860
55	53	54	0,406	0,146	92,460	88,380
56	54	55	0,406	0,146	85,188	55,436
57	55	56	0,706	0,546	345,300	332,400
58	56	57	0,338	0,122	22,500	16,830
59	57	58	0,338	0,122	80,551	49,156
60	58	59	0,207	0,075	95,860	90,758
61	59	60	0,247	0,892	62,920	47,700
62	1	63	0,028	0,042	478,800	463,740
63	63	64	0,117	0,202	120,940	52,006
64	64	65	0,255	0,092	139,110	100,340
65	65	66	0,210	0,076	391,780	193,500
66	66	67	0,383	0,138	27,741	26,713
67	67	68	0,504	0,330	52,814	25,257
68	68	69	0,406	0,146	66,890	38,713
69	69	70	0,962	0,761	467,500	395,140
70	70	71	0,165	0,060	594,850	239,740
71	71	72	0,303	0,109	132,500	84,363
72	72	73	0,303	0,109	52,699	22,482
73	73	74	0,206	0,144	869,790	614,775
74	74	75	0,233	0,084	31,349	29,817
75	75	76	0,591	0,177	192,390	122,430
76	76	77	0,126	0,045	65,750	45,370
77	64	78	0,559	0,369	238,150	223,220
78	78	79	0,186	0,123	294,550	162,470
79	79	80	0,186	0,123	485,570	437,920
80	80	81	0,260	0,139	243,530	183,030
81	81	82	0,154	0,148	243,530	183,030
82	82	83	0,230	0,128	134,250	119,290
83	83	84	0,252	0,106	22,710	27,960
84	84	85	0,180	0,148	49,513	26,515
85	79	97	0,160	0,182	383,780	257,160
86	97	98	0,200	0,230	49,640	20,600
87	98	99	0,160	0,393	22,473	11,806
88	65	86	0,669	0,241	62,930	42,960
89	86	87	0,266	0,123	30,670	34,930
90	87	88	0,266	0,123	62,530	66,790
91	88	89	0,266	0,123	114,570	81,748
92	89	90	0,266	0,123	81,292	66,526
93	90	91	0,233	0,115	31,733	15,960
94	91	92	0,496	0,138	33,320	60,480
95	88	93	0,196	0,180	531,280	224,850
96	93	94	0,196	0,180	507,030	367,420
97	94	95	0,187	0,122	26,390	11,700
98	95	96	0,075	0,318	45,990	30,392
99	1	100	0,063	0,027	100,660	47,572
100	100	101	0,150	0,234	456,480	350,300
101	101	102	0,135	0,089	522,560	449,290
102	102	103	0,231	0,120	408,430	168,460
103	103	104	0,447	0,161	141,480	134,250
104	104	105	0,163	0,059	104,430	66,024
105	105	106	0,330	0,099	96,793	83,647
106	106	107	0,156	0,056	493,920	419,340
107	107	108	0,382	0,137	225,380	135,880
108	108	109	0,163	0,059	509,210	387,210
109	109	110	0,382	0,137	188,500	173,460
110	110	118	0,245	0,088	918,030	898,550
111	110	111	0,209	0,075	305,080	215,370
112	111	112	0,230	0,083	54,380	40,970
113	100	113	0,610	0,220	211,140	192,900
114	113	114	0,187	0,127	67,009	53,336

No	Saluran		Impedansi		Daya	
	Dari	Ke	R (Ω)		Dari	Ke
115	114	115	0,373	0,246	162,070	90,321
116	115	116	0,405	0,367	48,785	29,156
117	116	117	0,489	0,438	33,900	18,980

E. Data Sistem Pengujian

Pada penelitian ini komputer yang digunakan memiliki spesifikasi: processor Intel Core i7 2,11 GHz dan RAM 16 GB dan software yang digunakan adalah Matlab. Sedangkan data sistem distribusi yang digunakan adalah sistem IEEE 118-bus yang terdiri dari 118 bus dan 117 saluran, tegangan sistem distribusi 11 kV, dan daya total pada beban sebesar 22709,72 kW + j 17041,068 kVAr. Untuk single line diagram dapat dilihat pada Gambar 2. sedangkan data pembebanan dan impedansi saluran dapat dilihat pada Tabel I.

Parameter-parameter yang digunakan untuk proses optimasi kompensasi kapasitif pada sistem distribusi 118-bus adalah sebagai berikut: jumlah generasi maksimal 4000, jumlah populasi 80, probabilitas crossover 0,9, probabilitas mutasi 0,01, konstanta panjang pencarian mutasi $m_1 = 0,5$ dan $m_2 = 0,3$, konstanta panjang pencarian crossover $c_1 = 0,5$ dan $c_2 = 0,5$ dan panjang kromosom 10 (kolom pertama mewakili status kapasitor (1 : terpasang, 0 : tidak terpasang) dan kolom kedua sampai sembilan mewakili ukuran kapasitor). Semua bus kecuali slack bus menjadi kandidat untuk ditempatkan kapasitor, sehingga pada sistem distribusi 118-bus terdapat 117 kandidat bus untuk penempatan kapasitor. Sehingga setiap kromosom dapat dibentuk menjadi sebuah matriks yang terdiri dari 117 baris dan 10 kolom.

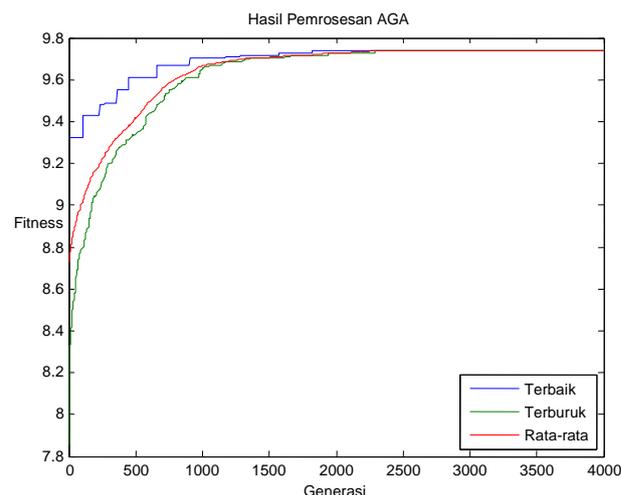
Ukuran kapasitor sebesar 150 kVAr, setiap bus dapat dipasang maksimal 6 kapasitor pada setiap bank kapasitor, sehingga ukuran bank kapasitor pada setiap bus maksimal dibatasi 900 kVAr. Nilai tegangan dibatasi antara minimal 0,9 pu dan maksimal 1,1 pu, dengan konstanta $k_1 = 1.000.000$. Sedangkan kapasi-tas saluran dibatasi pada nilai maksimum 10.000 kVA, dengan konstanta $k_2 = 1000$.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil simulasi optimasi kompensasi kapasitif didapatkan nilai fitness terbaik sebesar 9,7495. Untuk hasil pemrosesan AGA dari generasi ke generasi dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan untuk individu terbaik yang tersusun dalam matriks (117x10) yang disederhanakan lagi menjadi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 didapatkan bahwa kapasitor terpasang pada bus bar 3, 29, 30, 33, 39, 40, 44, 46, 50, 56, 60, 61, 63, 76, 85, 89, 96, 98 111 dan 118. Untuk mendapatkan solusi dari permasalahan penentuan lokasi dan ukuran kapasitor, maka perlu dilakukan pendekodean pada kromosom terbaik ini menggunakan Persamaan (6), dengan batas bawah kapasitor sebesar 0 kVAr dan batas atas kapasitor sebesar 900 kVAr. Sehingga untuk nilai hasil pendekodean antara 0 sampai 150 kapasitor yang terpasang sebesar 150 kVAr, nilai 151 sampai 300 kapasitor yang terpasang sebesar 300 kVAr, nilai 301 sampai 450 kapasitor yang terpasang sebesar 450 kVAr, nilai 451 sampai 600 kapasitor yang terpasang sebesar 600 kVAr,

nilai 601 sampai 750 kapasitor yang terpasang sebesar 750 kVAr dan nilai 751 sampai 900 kapasitor yang terpasang sebesar 900 kVAr.



Gambar 3. Grafik Hasil Pemrosesan AGA Pada Sistem Distribusi IEEE 118-bus

Beberapa perhitungan pendekodean menggunakan Persamaan (6) pada individu dengan struktur biner sebagaimana Tabel 2 sebagai berikut:

- 1) Pada bus 3:

$$Q_{c3} = 0 + \frac{900 - 0}{2^9 - 1} (2^8 + 2^7 + 2^1) = 679,843$$

Sehingga pada bus 3 terpasang kapasitor sebesar 750 kVAr.

- 2) Pada bus 29:

$$Q_{c29} = 0 + \frac{900 - 0}{2^9 - 1} (2^7 + 2^6 + 2^4 + 2^1) = 369,863$$

Sehingga pada bus 29 terpasang kapasitor sebesar 450 kVAr.

- 3) Pada bus 30:

$$Q_{c30} = 0 + \frac{900 - 0}{2^9 - 1} (2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^5) = 845,401$$

Sehingga pada bus 30 terpasang kapasitor sebesar 900 kVAr.

- 4) Pada bus 33:

$$Q_{c33} = 0 + \frac{900 - 0}{2^9 - 1} (2^6 + 2^5 + 2^2 + 2^0) = 177,886$$

Sehingga pada bus 33 terpasang kapasitor sebesar 300 kVAr.

- 5) Pada bus 39:

$$Q_{c39} = 0 + \frac{900 - 0}{2^9 - 1} (2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^3 + 2^1) = 863,014$$

Sehingga pada bus 39 terpasang kapasitor sebesar 900 kVAr.

6) Pada bus 40:

$$Q_{c40} = 0 + \frac{900 - 0}{2^9 - 1} (2^7 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^1) = 327,593$$

Sehingga pada bus 40 terpasang kapasitor sebesar 450 kVAr.

7) Pada bus 44:

$$Q_{c44} = 0 + \frac{900 - 0}{2^9 - 1} (2^5 + 2^2) = 63,405$$

Sehingga pada bus 44 terpasang kapasitor sebesar 150 kVAr.

Perhitungan yang sama dilakukan untuk bus-bus lainnya yang berstatus 1, sehingga akan didapatkan lokasi dan ukuran kapasitor hasil optimasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Setelah didapatkan lokasi dan ukuran kapasitor, maka kapasitor-kapasitor tersebut akan menginjeksikan daya reaktif pada sistem distribusi 118-bus. Untuk melihat pengaruh dari pemasangan kapasitor-kapasitor tersebut, maka simulasi aliran daya perlu dilakukan lagi.

Setelah dilakukan optimasi dengan AGA didapatkan bahwa untuk memperbaiki sistem, total kapasitor yang dipasang sebesar 10.050 kVAr dengan posisi kapasitor dipasang pada bus-bus tertentu. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan optimasi adalah sebesar 537,7656 detik.

Hasil perhitungan pada sistem distribusi 118-bus terdiri dari perhitungan sebelum optimasi dan setelah optimasi. Hasil perhitungan setelah optimasi juga dibandingkan dengan metode *Genetic Algorithm* (GA). Perbandingan hasil optimasi penentuan lokasi dan ukuran kapasitor dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan untuk parameter biaya tidak disertakan pada perbandingan ini.

Tabel II

Lokasi dan Ukuran Kapasitor Hasil Optimasi Pada Sistem Distribusi 118-bus

No.	Lokasi Kapasitor (Bus)	Ukuran Kapasitor (kVAr)
1	3	750
2	29	450
3	30	900
4	33	300
5	39	900
6	40	450
7	44	150
8	46	750
9	50	150
10	56	750
11	60	450
12	61	750
13	63	300
No.	Lokasi Kapasitor (Bus)	Ukuran Kapasitor (kVAr)

14	76	300
15	85	150
16	89	600
17	96	300
18	98	450
19	111	600
20	118	600
Total		10050

Tabel III
Perbandingan Hasil Simulasi

Optimasi dengan GA		Optimasi dengan AGA	
Bus	Ukuran Kapasitor	Bus	Ukuran Kapasitor
4	750	3	750
11	900	29	450
21	900	30	900
32	750	33	300
33	600	39	900
36	900	40	450
39	750	44	150
41	750	46	750
53	450	50	150
57	450	56	750
60	600	60	450
64	750	61	750
72	150	63	300
76	600	76	300
77	600	85	150
84	600	89	600
107	150	96	300
110	300	98	450
116	750	111	600
		118	600
Total kVAr	11700	Total kVAr	10050
Rugi-rugi (kW)	649,78	Rugi-rugi (kW)	643,77

Perbedaan lokasi dan ukuran kapasitor hasil optimasi antara GA dan AGA pada sistem distribusi 118-bus, berakibat pada hasil akhir kedua metode. Dengan rugi-rugi daya total sebelum optimasi sebesar 887,0461 kW. Hasil reduksi rugi-rugi daya aktif yang diperoleh pada metode AGA lebih baik daripada metode GA dengan penurunan rugi-rugi yang dihasilkan AGA selisih 6,01 kW atau 0,93 % terhadap GA.

V. KESIMPULAN

Kondisi tegangan minimal pada sistem sebelum optimasi terdapat pada bus 118 sebesar 0,9321 pu. Setelah optimasi tegangan minimal terdapat pada bus 71 sebesar 0,9418 pu. Sedangkan untuk tegangan pada bus-bus lainnya tetap terjaga besarnya, sehingga tidak ada yang over voltage maupun under voltage.

Kondisi faktor daya pada sisi pembangkitan sebelum optimasi sebesar 0,7995. Setelah optimasi faktor daya menjadi sebesar 0,9523.

Rugi-rugi daya aktif total sebelum optimasi sebesar 887,0461 kW. Setelah optimasi rugi-rugi daya aktif menjadi 643,7702 kW. Terjadi penurunan sebesar 243,2759 kW (27,43 %).

Hasil perbandingan dengan metode GA untuk menyelesaikan optimasi penentuan lokasi dan ukuran kapasitor pada sistem distribusi 118-bus, menunjukkan bahwa AGA mampu mereduksi rugi-rugi daya aktif lebih besar daripada GA.

Untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan reduksi rugi-rugi daya pada sistem distribusi akan mempertimbangkan kombinasi optimasi antara optimasi kompensasi kapasitif dan rekonfigurasi jaringan. Sedangkan untuk metode optimasi dapat menggunakan optimasi dengan pendekatan matematika yang telah berhasil diimplementasikan pada optimasi dengan objektif tunggal, yaitu: dynamic economic dispatch [23] dan optimasi dengan multi objektif, yaitu: dynamic economic emission dispatch [24].

REFERENSI

- [1] S. Nojavan, M. Jalali, K. Zare, *Optimal allocation of capacitors in radial/mesh distribution systems using mixed integer nonlinear programming approach*, Int. J. Electric Power Syst. Res. **107**: 119–124(2014).
- [2] M. M. Aman, G. B. Jasmon, A. H. A. Bakar, H. Mokhlis, M. Karimi, *Optimum shunt capacitor placement in distribution system—a review and comparative study*, Renew. Sustain. Energy Rev. **30**:429–439(2014).
- [3] H. D. Chiang, J. C. Wang, O. Cockings, H. D. Shin, *Optimal capacitor placements in distribution systems: Part I: a new formulation and the overall problem*, IEEE Trans. Power Delivery **5**,2:634–642(1990).
- [4] D. Zhang, Zhengcai Fu, L. Zhang, *Joint optimization for power loss reduction in distribution systems*, IEEE Trans. Power Syst. **23**,1: 161-169(2008).
- [5] R. A. Gallego, A. J. Monticelli, R. Romero, *Optimal capacitor placement in radial distribution networks using tabu search*, IEEE Trans. Power Syst. **16**,2:630–637(2001).
- [6] Y. M. Shuaib, M. S. Kalavathi, C.C.A. Rajan, *Optimal capacitor placement in radial distribution system using gravitational search algorithm*, Int. J. Electr. Power Energy Syst. **64**: 384–397(2015).
- [7] M. Sedighzadeh, D. Arzaghi-haris, *Optimal allocation and sizing of capacitors to minimize the distribution line loss and to improve the voltage profile using big bang-big crunch optimization*, Int. Rev. Electrical Eng. **6**,4:2013–2019(2011).
- [8] B. Venkatesh, R. Ranjan, *Optimal radial distribution system reconfiguration using fuzzy adaptation of evolutionary programming*, Int. J. Electr. Power Energy Syst. **25**,10: 775–780(2003).
- [9] M. Raju, K. Murthy, K. Avindra, *Direct search algorithm for capacitive compensation in radial distribution systems*, Int. J. Electrical Power Energy Syst. **42**,1: 24–30(2012).
- [10] E. S. Ali, S. A. Elazim, A. Y. Abdelaziz, *Improved harmony algorithm for optimal locations and sizing of capacitors in radial distribution systems*, Int. J. Electr. Power Energy Syst. **79**: 275–284(2016).
- [11] A. Hamouda, S. Sayah, *Optimal capacitors sizing in distribution feeders using heuristic search based node stability indices*, Int. J. Electrical Power Energy Syst. **46**: 56–64(2013).
- [12] S. Sultana, P. K. Roy, *Optimal capacitor placement in radial distribution systems using teaching learning based optimization*, Int. J. Electrical Power Energy Syst. **54**: 387–398(2014).
- [13] R. S. Rao, S. V. L. Narasimham, M. Ramakingaraju, *Optimal capacitor placement in a radial distribution system using plant growth simulation algorithm*, Int. J. Electrical Power Energy Syst. **33**:1133–1139(2011).
- [14] V. Tamilselvan, T. Jayabarathi, T. Raghunathan, X. S. Yang, *Optimal capacitor placement in radial distribution systems using flower pollination algorithm*, Alexandria Eng. J. **57**: 2775–2786(2018).
- [15] K. Prakash, M. Sydulu, *Particle swarm optimization based capacitor placement on distribution systems*, IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meeting, 1–5(2007).
- [16] A. A. El-Fergany, A. Y. Abdelaziz, *Artificial bee colony algorithm to allocate fixed and switched static shunt capacitors in radial distribution networks*, Electric Power Comp. Syst. **42**,5: 427–438(2014).
- [17] C. T. Su, C. F. Chang, J. P. Chiou, *Optimal capacitor placement in distribution systems employing ant colony search algorithm*, Electric Power Comp. Syst. **33**,8: 931–946 (2005).
- [18] A. A. El-Fergany, A. Y. Abdelaziz, *Capacitor allocations in radial distribution networks using cuckoo search algorithm*, IET Gen., Transm., & Distrib. **8**,2: 223–232(2014).
- [19] K. R. Devabalaji, K. Ravi, D. P. Kothari, *Optimal location and sizing of capacitor placement in radial distribution system using Bacterial Foraging Optimization Algorithm*, Int. J. Electr. Power Energy Syst. **71**:383–390(2015).
- [20] P. Das, S. Banerjee, *Optimal sizing and placement of capacitor in a radial distribution system using loss sensitivity factor and firefly algorithm*, Int. J. Eng. Comput. Sci. **3**,4: 5346–5352(2014).
- [21] M. Sydulu, V. Reddy, *Index and GA based optimal location and sizing of distribution system capacitors*, IEEE Power Eng. Soc. General Meeting, 1–4(2007).
- [22] A. R. Abul 'Wafa, *Optimal capacitor placement for enhancing voltage stability in distribution systems using analytical algorithm and Fuzzy-Real Coded GA*, Int. J. Electr. Power Energy Syst. **55**: 246–252(2014).
- [23] P. Julianto, A. Soeprijanto, Mardlijah, *Dynamic Economic Dispatch with Integration of Compressed Air Energy Storage Considering Large Penetration of Photovoltaic Generation Systems*, International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), **14**,5:388-398(2021).
- [24] P. Julianto, A. Soeprijanto, Mardlijah, *Confronting the Duck curve Problem using Dynamic Economic Emission Dispatch with CAES*, International Journal of Intelligent Engineering and Systems, **15**,4:520-532(2022).

PERANCANGAN PLTS ATAP ON-GRID RUMAH TINGGAL DI KOTA MAGELANG DENGAN KAPASITAS 0,846 kWp

Andriyatna Agung Kurniawan¹, Ibrahim Nawawi², Bagus Fatkhurrozi³

^{1,2,3}Universitas Tidar, Magelang, Jawa Tengah, Indonesia

¹andriyatna@untidar.ac.id

²ibrahim_nw@untidar.ac.id

³bagusf@untidar.ac.id

Abstract—Rooftop Solar Power Plants (PLTS) can be used as a clean energy solution. This is in line with the government's commitment to achieving net zero emissions. The PLTS Roof designed in this research uses a residential roof with an effective area of 3,845m². The installed rooftop PLTS capacity is 0.846 kWp using monocrystalline solar panels. The electrical energy that this PLTS Rooftop can produce in 1 year is 1,289.69 kWh. The initial investment value obtained is IDR 14,765,000,- with annual maintenance costs of IDR 147,650,-. The designed Rooftop PLTS has a payback period of 8 years and has the potential to reduce carbon gas emissions by as much as 2.33 Kg CO₂ per day..

Keywords—PLTS, solar panels, monocrystalline, emissions.

Intisari—Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap dapat dijadikan sebagai salah satu solusi energi bersih. Hal ini sejalan dengan komitmen pemerintah untuk menuju net zero emission. PLTS Atap yang dirancang pada penelitian ini menggunakan atap rumah tinggal dengan luasan efektif 3,845m². Kapasitas PLTS Atap yang terpasang adalah 0,846 kWp dengan menggunakan panel surya jenis monocrystalline. Energi listrik yang mampu dihasilkan oleh PLTS Atap ini dalam 1 tahun adalah sebesar 1.289,69 kWh. Nilai investasi awal yang diperoleh adalah sebesar Rp 14.765.000,- dengan biaya perawatan pertahun sebesar Rp 147.650,-. PLTS Atap yang dirancang memiliki nilai payback period selama 8 tahun dan berpotensi mengurangi emisi gas karbon sebanyak 2,33 Kg CO₂ perhari.

Kata Kunci—PLTS, panel surya, monocrystalline, emisi.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap merupakan program strategis bagi Kementerian ESDM, tidak hanya dari sisi energi, tetapi ingin juga menjadi penggerak dari sisi ekonomi. Kami sedang menyiapkan ekosistem supaya rantai pasok dan pemanfaatannya terjadi di dalam negeri[1]. Program tersebut juga didukung dengan posisi Indonesia yang berada di garis khatulistiwa dengan sinar matahari yang melimpah tiap harinya. Potensi sinar matahari yang dapat dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia rata-rata sebesar 4,8 kWh/m² /hari [2]. Potensi tersebut setara dengan 207.898 MW [2]

PLTS terbagi menjadi dua sistem berdasarkan teknologi yang digunakan, yaitu standalone dan on-grid [3]. Standalone secara harfiah diartikan dapat berdiri sendiri juga bisa disebut off-grid atau tidak tersambung pada jaringan PLN. PLTS off-grid sering dirancang pada

daerah yang terisolasi, pedalaman, atau pulau-pulau yang belum dijangkau oleh jaringan listrik PLN. Sedangkan PLTS on-grid adalah sistem PLTS yang tersambung dengan jaringan PLN.

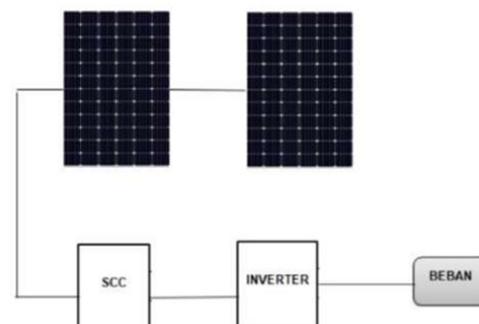
II. LANDASAN TEORI

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang menghasilkan energi listrik dari energi matahari melalui proses fotovoltaik. Listrik yang dihasilkan oleh PLTS memiliki arus searah atau DC (direct current). System pembangkit listrik yang ada saat ini tergolong menjadi tiga jenis, yaitu *On Grid System*, *Off Grid System*, dan *Hybrid System* [4].

A. PLTS On-Grid

PLTS *On-grid* merupakan PLTS yang skema rangkaianannya tersambung dengan rangkaian listrik PLN. Sistem ini dianggap ramah lingkungan karena bebas emisi. Sistem ini juga menjadi salah satu solusi energi bersih bagi masyarakat perkotaan baik perkantoran maupun perumahan yang sekaligus bertujuan mengurangi tagihan rekening listrik dari PLN.

Skema rangkaian PLTS On-Grid dapat dilihat pada Gambar 1.

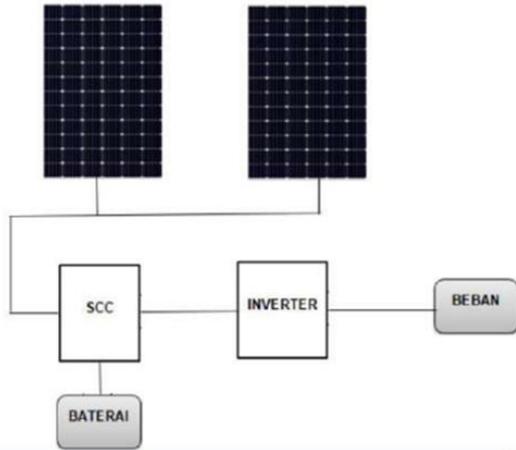


Gambar 1. Skema Rangkaian PLTS On-Grid (sumber: ESDM&USAID)

B. PLTS Off-Grid

PLTS *Off-grid* atau stand-alone merupakan pembangkit listrik tenaga surya yang berdiri sendiri. PLTS ini beroperasi secara mandiri tidak terhubung dengan jaringan PLN. PLTS *Off-grid* hanya bisa disuplai oleh panel surya tanpa ada bantuan dari pembangkit listrik jenis lainnya. Sumber energi PLTS *Off-grid* tergantung hanya dari radiasi yang dihasilkan oleh matahari seutuhnya.

Skema rangkaian PLTS *Off-Grid* dapat dilihat pada Gambar 2.

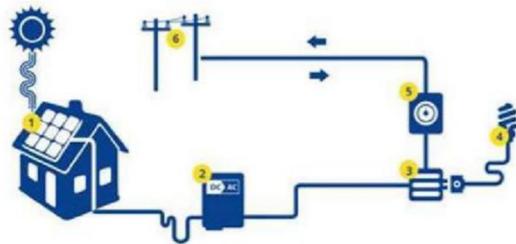


Gambar 2. Skema Rangkaian PLTS Off-Grid (sumber: ESDM&USAID)

C. PLTS Atap

PLTS atap merupakan jenis pembangkit tenaga listrik yang menggunakan modul fotovoltaik yang dipasang di atap, dinding maupun bagian lain dari bangunan yang berlangganan PLN [5]. PLTS Atap memanfaatkan luasan atap, dinding maupun bagian lain dari sebuah bangunan.

Sistem kerja PLTS atap dapat dilihat pada Gambar 3.



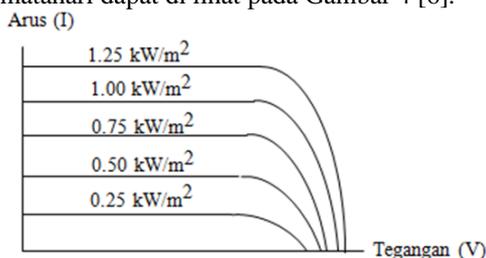
Gambar 3. Sistem Kerja PLTS Atap. (sumber: ESDM & USAID)

D. Faktor Pengaruh Kinerja PLTS

Kinerja PLTS dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1. Radiasi

Besar kecilnya radiasi matahari berpengaruh terhadap variasi tegangan dan arus. Karakteristik besarnya variasi tegangan dan arus terhadap nilai radiasi matahari dapat dilihat pada Gambar 4 [6].



Gambar 4. Karakteristik Variasi Radiasi Terhadap Tegangan dan Arus (Sumber:ESDM & USAID)

2. Sudut Kemiringan Panel Surya

Pengaturan sudut kemiringan panel surya dapat memaksimalkan penerimaan radiasi matahari ke panel langsung. Panel surya yang terpasang dikhatulistiwa

(lintang= 00) dengan posisi mendatar (tilt angel= 00), dapat menghasilkan energi maksimum [7].

3. Orientasi Panel Surya

Orientasi array panel surya terhadap matahari penting dilakukan, agar array panel surya bisa maksimal menghasilkan energi. Pada lokasi pemasangan yang terletak di belahan bumi utara maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke arah selatan. Begitu sebaliknya untuk lokasi yang terletak di belahan bumi selatan maka modul surya diorientasikan ke arah utara [7].

4. Temperatur

Sel surya bekerja secara maksimal saat temperatur sel ada di suhu 25°C. Kenaikan temperatur yang lebih tinggi pada sel surya akan mempengaruhi tegangan keluaran (Voc) menjadi lemah. Setiap kenaikan temperatur sel surya 10°C dari 25°C berimbas pada penurunan 0.4% dari total tenaga yang dihasilkan atau melemah dua kali lipat untuk temperatur sel yang mengalami kenaikan per 10°C [8].

E. Komponen PLTS Atap

Komponen utama PLTS atap meliputi panel surya, inverter, kWh meter ekspor impor, jaringan distribusi listrik PLN dan beban atau peralatan listrik.

1. Panel Surya

Ada tiga jenis panel surya yang dapat digunakan dalam PLTS atap yaitu panel surya monocrystalline, polycrystalline dan thin film. Dari ketiga jenis panel surya tersebut, jenis *monocrystalline* memiliki efisiensi yang paling baik. Pada perancangan ini akan digunakan jenis panel surya *monocrystalline*.

2. Inverter

Inverter merupakan komponen penting yang fungsinya merubah arus searah (DC) hasil dari panel surya menjadi arus bolak-balik (AC). Adapun jenis-jenis inverter yang dapat digunakan di PLTS atap antara lain inverter mandiri (*off-Grid*), inverter *On-Grid*, inverter baterai, *microinverter*, dan *string-inverter*. Pemilihan jenis inverter disesuaikan dengan jenis instalasi PLTS yang dirancang yaitu *On-Grid*.

3. Beban Listrik

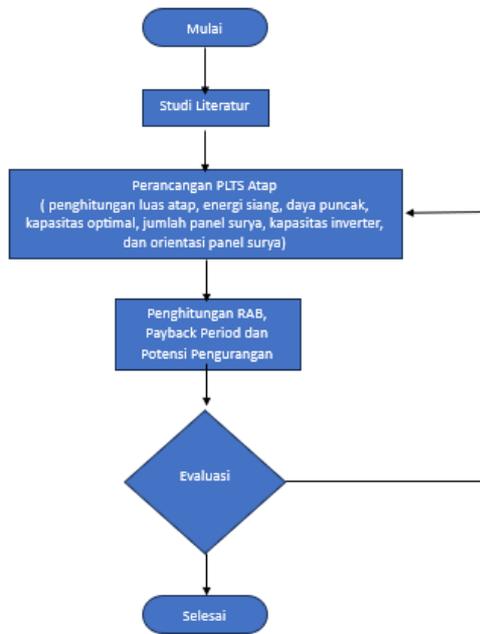
Beban listrik merupakan komponen atau alat yang mengkonsumsi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS maupun bersumber dari PLN. Pada studi kasus rumah tinggal, beban listrik yang membutuhkan energi listrik adalah alat-alat elektronik rumah tangga.

III. METODE PENELITIAN

Berdasar diagram di atas dapat dituliskan Langkah-langkah perancangan PLTS Atap sebagai berikut : Paragraf harus teratur.

- A. Menghitung Luas Atap dan energi Siang Hari
- B. Menghitung Kapasitas Optimal sistem dan Daya Puncak Sistem
- C. Memilih Panel Surya dan Inverter
- D. Menentukan Arah Hadap dan Kemiringan Panel

- E. Menghitung Rencana Anggaran Biaya dan Biaya Perawatan
- F. Menentukan *Payback Period*
- G. Menghitung Potensi Pengurangan Emisi Gas Karbon

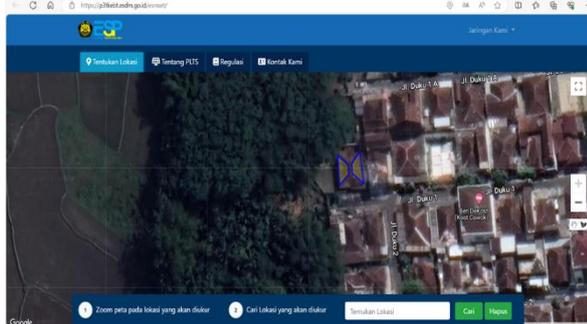


Gambar 5. Alur Penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menghitung Luas Atap Dan Energi Siang Hari

Luasan atap dapat dihitung menggunakan aplikasi [5]. Lokasi yang digunakan penghitungan luas atap adalah salah satu rumah di Kelurahan Keramat Selatan, Kecamatan Magelang Utara, Kota Magelang. Gambar 6. menunjukkan area penghitungan luas atap yang dapat digunakan untuk PLTS Atap.



Gambar 6. Lokasi Penghitungan Luas Atap.

Berdasar penghitungan luas atap pada aplikasi didapat luasan 47,20 m². Hasil penghitungan luas atap dapat dilihat pada Gambar 7.



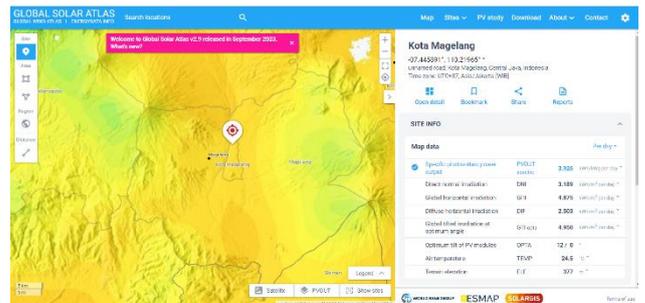
Gambar 7. Hasil penghitungan luas atap.

Energi harian siang yang dihitung adalah jumlah konsumsi energi listrik dalam waktu siang hari dari rumah tinggal yang nantinya akan dipasang PLTS Atap.

Tabel I
Beban Listrik Rata-rata Siang Hari.

No.	Peralatan	Jumlah	Daya Terpasang (watt)	Jam Terpasang siang Hari	Konsumsi Daya(Wh)
1	Mesin cuci	1	185	0,5	92,5
2	Kulkas	1	70	12	840
3	Magic Com	1	Cook 400 Warm 70	11	400
4	Kipas Angin	1	60	6	360
5	Lampu LED	2	5	12	120
6	Charger HP	1	25	3	75
TOTAL					2.657,5

Dari Tabel I dapat dihitung jumlah daya rata-rata harian siang adalah sebesar 2,6575 kWh antara 06.00 – 18.00. Nilai radiasi matahari dapat dihitung menggunakan aplikasi: <https://globalsolaratlas.info>.



Gambar 7. Nilai radiasi berdasar hasil penarikan data pada <https://globalsolaratlas.info>.

Pada Gambar 7. Dapat diambil nilai *global horizontal irradiation* sebesar 4,875kWh/m² perhari, *global tilted irradiation* sebesar 4,950kWh/m² perhari, dan *PV-Out* sebesar 3,926kWh/m² perhari.

B. Menghitung Kapasitas Optimal Sistem dan Daya Puncak Sistem

Kapasitas optimal system PLTS Atap dapat dihitung dari data rata-rata energi harian siang dan nilai *PV-Out* yang diperoleh dari aplikasi.

$$\text{Kapasitas} = \frac{\text{rata-rata Energi Harian Siang}}{\text{PV Out Harian}} \quad (1)$$

Dari persamaan di atas diperoleh nilai Kapasitas (kWp) = 676,897 Wp.

Daya puncak sistem dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Daya Puncak sistem} = \text{kapasitas Optimal} + \text{Kapasitas Optimal} \times \text{rugi-rugi sistem}(\%) \quad (2)$$

Rugi-rugi sistem yang dapat dijadikan acuan hitung sebesar 15% s.d 25%. Rugi-rugi ini berasal dari akumulasi *temperature loss, shading loss, inverter loss, PV tolerance* dan *cable loss*. Berdasar persamaan (2) dapat diperoleh daya puncak PLTS sebesar 846,121 Wp atau setara dengan 0,846 kWp.

C. Memilih Panel Surya dan Inverter

Panel surya yang digunakan dalam perancangan adalah ICASolar ICA100-36M 100Wp *Monocrystalline* dengan efisiensi 22% [9]. Luas area efektif dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Area}(m^2) = \frac{\text{Daya Puncak Sistem}}{\text{Efisiensi Modul Surya}} \quad (3)$$

Dari persamaan (3) di atas diperoleh luas area aktif sebesar = 3,845 m².

Jumlah panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{\text{Daya Puncak Sistem PLTS Atap}}{\text{Daya output (kapasitas) per modul}} \quad (4)$$

Dari persamaan di atas diperoleh jumlah panel sebanyak 8,46 buah dibulatkan menjadi 9 buah panel surya.

Besar kapasitas inverter yang digunakan dibatasi dengan maksimal sebesar daya tersambung PLN. Rumah tinggal yang digunakan untuk perancangan terpasang dengan daya PLN 900VA sehingga kapasitas Inverter yang dapat digunakan adalah maksimal 900 Watt. Inverter yang dipilih untuk digunakan pada perancangan adalah Solis Mini (700-3600)-4G. Inverter ini dapat disesuaikan besaran kapasitas dari 700 Watt sampai 3.600 Watt.

D. Menentukan Arah Hadap dan Sudut Kemiringan Panel Surya

Lokasi rencana pemasangan PLTS Atap ada di 7,5^o LS yang berarti posisi berada di Selatan garis Khatulistiwa dengan besaran sudut azimuth 0^o. Derajat kemiringan atap adalah 15^o sehingga derajat kemiringan panel surya dapat ditentukan sebesar 15^o-7,5^o = 7,5^o dari atap dan menghadap ke utara.

E. Menghitung Rencana Anggaran Belanja dan Biaya Perawatan PLTS

Rencana Anggaran Biaya PLTS Atap dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel II
Rencana anggaran Biaya (RAB) PLTS Atap.

No	Uraian Pekerjaan	Vol Satuan	Harga	Jumlah Harga
A Komponen Utama				
1	Sistem Modul Surya dan Mounting			

No	Uraian Pekerjaan	Vol Satuan	Harga	Jumlah Harga
	Panel surya ICASolar ICA100-36M 100Wp Monocrystalline	5 Pcs	950.000	4.750.000
	Array mounting dan support	1 Ls	1.150.000	1.150.000
2	Inverter & Controller			
	Inverter Solis-Mini(700-3600)-4G	1 Pcs	4.825.000	4.825.000
	Combiner BOX	1 Pcs	1.395.000	1.395.000
B Komponen Pelengkap				
1	Distribusi daya dan Grounding			
	Kabel Power 12 AWG	12 m	20.000	240.000
	Kabel NYA	25 m	10.000	250.000
	Aksesoris	1 pax	125.000	125.000
	Grounding Sistem	1 LS	350.000	350.000
2	Peralatan Kerja dan Keselamatan Kerja			
	Helm	2 pcs	60.000	120.000
	Sepatu	2 psg	345.000	690.000
	Sarung Tangan	2 psg	20.000	40.000
	Body Harnes	2 pcs	240.000	480.000
C Jasa Pekerjaan				
	Tukang	2 OH	100.000	200.000
	Pekerja	2 OH	75.000	150.000
TOTAL A+B+C				14.765.000

Dari perhitungan RAB diatas diperoleh Investasi Awal sebesar RP 14.765.000,-. Biaya perawatan PLTS atap dalam 1 tahun ditetapkan sebesar 1% dari total Investasi awal sebesar Rp 147.650,-.

F. Payback Period

Penghitungan payback period dilakukan dengan menggunakan data energiproduksi PLTS atap tahunan dan Energi siang hari.

Menghitung energi siang pertahun PLTS atap

$$\text{Energi Siang pertahun} = \text{Kapasitas Panel Surya} \times \text{jumlah Panel} \times \text{iradiasi} \quad (5)$$

Dari persamaan diatas diperoleh nilai energi siang pertahun sebesar 1.289,691 kWh.

Menghitung rupiah energi tahunan diperoleh dari persamaan:

$$\text{Nilai Rupiah Energi pertahun} = \text{Energi Siang pertahun} \times \text{TDL} \quad (6)$$

Dari persamaan di atas diperoleh nilai rupiah energi pertahun sebesar Rp 1.863.216,59.

Payback period dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Nilai Investasi Awal}}{\text{Nilai Rupiah Daya/tahun}} \quad (7)$$

Dari persamaan di atas diperoleh jangka waktu pengembalian investasi dalam kurun waktu 7,92 tahun atau jika dibulatkan menjadi 8 tahun.

G. Potensi Pengurangan Emisi Karbon

Untuk menghitung potensi pengurangan emisi karbon dioksida dapat menggunakan persamaan [10]:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{EF} \times \text{konsumsi listrik} \times \text{GWP} \quad (8)$$

Dari persamaan di atas diperoleh potensi pengurangan emisi karbon dioksida sebesar 2,33 Kg CO₂ perhari.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini diperoleh perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap *On-Grid* dengan kapasitas daya 0,846 kWp pada bangunan rumah tinggal. Perancangan PLTS Atap sesuai dengan Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia Tahun 2020 yang dibuat oleh kementerian ESDM bekerjasama dengan USAID. Kesimpulan yang diperoleh dari perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas daya PLTS Atap sebesar 0,846 kWp.
2. Panel surya yang digunakan adalah ICASolar ICA100-36M 100Wp *Monocrystalline* dengan jumlah 9 buah panel.
3. Nilai investasi awal dari PLTS Atap adalah sebesar Rp 14.765.000,- dengan biaya perawatan pertahun sebesar Rp 147.650,-
4. Potensi pengurangan emisi karbon dioksida diperoleh pada angka 2,33 Kg CO₂ perhari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami haturkan sebesar-besarnya kepada Allah SWT, tim reviewer, serta kepada Bapak-Ibu Dosen

Jurusan Teknik Elektro Universitas Tidar yang telah memberikan dukungan atas pembuatan artikel ini.

REFERENSI

- [1] (2023) Website Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi [online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/01/12/3397/wujud.kom.itmen.energi.bersih.industri.jababeka.gunakan.plts.atap.da.n.bentuk.net.zero.forum>
- [2] Dewan Energi Nasional, *Buku Bauran Energi Nasional* 2020. Jakarta: Dewan energi Nasional Indonesia.2020.
- [3] M. K. Rizkasari, D., Wilopo, W., & Ridwan, 2020. "Potensi Pemanfaatan Atap Gedung untuk PLTS di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (PUP-ESDM), Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta," J. Appropriate Technol. Community Serv., vol. 1(2), pp. 104–112, 2019, doi: <https://doi.org/10.20885/jattec.vol1.iss2.art7>.
- [4] Surya. 2015. Cara Kerja Panel Surya dalam Menghasilkan Listrik.Available:<https://gosurya.co.id/cara-kerja-panelsurya-dalam-menghasilkan-listrik/>.
- [5] ESDM. 2018. Peraturan Menteri ESDM. Jakarta: Peraturan Menteri ESDM No 49 Tahun 2018.
- [6] ESDM, USAID. Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia. Jakarta: Kementerian ESDM,2020.
- [7] M. Hanif, "Studying Power Output of PV Solar Panels at Different Temperatures and Tilt Angel," Khyber pakhtunkhwa Agric. Univ. Pakistan, 2012.
- [8] Regen Power, *Solar Photovoltaic Power System Handbook Grid Connected*. 2011.
- [9] "Solis-Mini(700-3600)-4G data sheet". Solis. Ginlong. China.
- [10] H. wukandari, "Kajian Emisi Co 2 Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga Sebagai Penyebab Pemanasan Global (Studi Kasus Perumahan Sebantengan, Gedang Asri, Susukan RW 07 Kab. Semarang)," Pros. Semin. Nas. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkungan. 201, pp. 434–440, 2013.

KAJIAN POTENSI SEDIMEN HUTAN BAKAU SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF PETAMBAK UDANG PULAU PAYAU KALIMANTAN UTARA

Fitriani¹, Muhammad Khoirul Muttaqin²,

¹Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

²PT Tarakan Elektrik Brothers, Tarakan, Kalimantan Utara

¹fitrianiubt22@gmail.com, fitriani@borneo.ac.id

²muhammadkhoirulmuttaqin12@gmail.com

Abstract— Residents in North Kalimantan's brackish island region were forced to hunt for alternative sources of energy because they lack access to sufficient electricity, which made it difficult for them to light their homes at night. The purpose of this research was to determine whether Sediment Microbial Fuel Cell (SMFC) technology could be used to convert the sediments from mangrove forests into alternative energy sources for the island's residents. A combination of copper, zinc, and aluminum electrodes were planted for 12 days as anode and cathode in the study's direct measuring approach, which measured power directly in the field. Before being linked to a digital multimeter to determine the potential power created. According to the study's findings, the highest voltage measurement was 809 mV, while the highest power measurement was 2427 mW. The total power density measured over the course of 12 days was 305.4573 mW/m², with the first day's average power density at 826 mW/m² as the highest. Further study was required to maximize the electrical energy potential of mangrove mud with Semera Microbial Fuel Cell technology since the amount of the power generated was still not very large and was strongly influenced by weather conditions and the duration of electrode use.

Keywords—Electrodes, Mangrove Fores, Sediment Microbial Fuel Cell

Intisari— Kurangnya akses listrik yang memadai bagi penduduk di wilayah pulau payau Kalimantan utara, menyebabkan mereka mencari sumber energi alternatif khususnya untuk penerangan di malam hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi sedimen hutan bakau yang akan digunakan sebagai energi alternatif penduduk pulau payau menggunakan teknologi Sedimen Mikrobial Fuel Cell (SMFC). Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode pengukuran langsung dimana dalam proses pengukuran dayanya dilakukan secara langsung dilapangan dengan cara menanam kombinasi elektroda tembaga, seng dan aluminium selama 12 hari sebagai anoda dan katoda yang kemudian akan terhubung ke multimeter digital agar dapat diketahui potensi daya yang dihasilkan. Dari hasil penelitian didapati bahwa nilai tegangan tertinggi yang diperoleh ialah sebesar 809 mV dengan nilai daya tertinggi sebesar 2427 mW. Rata-rata kerapatan daya keseluruhan yang diperoleh selama 12 hari ialah sebesar 305.4573 mW/m² dengan nilai rata-rata kerapatan daya tertinggi diperoleh pada hari pertama sebesar 826 mW/m². Besar kecilnya daya yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan lama penggunaan elektroda, daya yang dihasilkan pada penelitian ini masih belum begitu besar oleh karena itu diperlukan lagi penelitian lebih lanjut

guna mengoptimalkan potensi energi listrik dari lumpur bakau dengan teknologi Sediment Microbial Fuel Cell.

Kata Kunci— Elektroda, Hutan Bakau, Sediment Microbial Fuel Cell

I. PENDAHULUAN

Saat ini hampir setiap orang memerlukan sumber energi listrik untuk menunjang sekaligus memudahkan segala aktifitas kehidupan sehari-harinya. Hal ini seakan-akan menjadikan energi listrik sebagai kebutuhan pokok manusia selain kebutuhan sandang dan pangan. Sumber energi listrik yang ada di Indonesia saat ini masih didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil baik itu dari minyak bumi, batu bara dan gas alam. sementara untuk energi baru terbarukan (EBT) hanya 17,1% saja [1]. Oleh karena itu pengembangan teknologi energi baru terbarukan terus dilakukan yang mana energi baru terbarukan ini kedepannya diharapkan mampu untuk mengurangi penggunaan energi fosil yang menjadi sumber energi utama yang ada saat ini. hal ini dikarenakan penggunaan energi fosil dalam jangka panjang dirasa kurang efisien. selain karena disebabkan oleh jumlah energi fosil yang terbatas, penggunaan energi fosil secara berkepanjangan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan.

Salah satu pilihan sumber energi alternatif ialah sumber energi dengan memanfaatkan teknologi *sediment microbial fuel cell* (SMFC) yang di aplikasikan pada sedimen hutan bakau. Prinsip kerja dari teknologi ini ialah dengan memanfaatkan mikroorganisme yang terdapat pada sedimen hutan bakau untuk mendegradasi bahan organik yang ada di dalamnya dan menghasilkan elektron yang ditransfer ke anoda kemudian dialirkan ke katoda [2].

Pulau Payau yang terletak di Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara merupakan daerah yang berpotensi untuk dikembangkannya Teknologi *Sediment Microbial Fuel Cell* (TSMFC), dikarenakan Pulau Payau ini memiliki hutan bakau yang cukup luas ±40 KM². Dengan diadakannya pengembangan teknologi *sediment microbial fuel cell* yang di aplikasikan pada sedimen hutan bakau ini di wilayah tersebut, secara tidak langsung membantu masyarakat di daerah tersebut dalam mendapatkan sumber energi alternatif untuk menunjang

aktifitasnya. Sebab saat ini kebanyakan dari masyarakat di kawasan tersebut memiliki pekerjaan sebagai petambak udang dan ikan di pulau tersebut dan memanfaatkan energi listrik dari tenaga matahari melalui panel surya sebagai sumber energi yang di gunakan untuk penerangan di malam hari. Walaupun ada beberapa juga yang memiliki *genset* ukuran kecil di rumah yang dalam pengoprasiannya masih menggunakan bahan akar minyak sebagai sumber energi penggerakannya.

II. LANDASAN TEORI

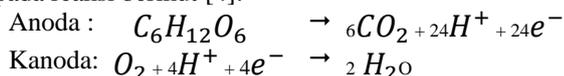
A. Sumber Energi Terbarukan

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti energi matahari, tenaga angin, arus air, proses biologi, panas bumi, dan lain sebagainya. Penggunaan Energi terbarukan dirasa baik untuk jangka panjang karena energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di bumi. Penggunaan sumber energi baru dan terbarukan sangat perlu untuk dikembangkan hal ini dikarenakan mulai terbatasnya sumber energi fosil yang tersedia saat ini yang pada akhirnya nanti juga pasti akan habis. Dengan demikian Energi baru dan terbarukan diharapkan kedepannya dapat mengatasi krisis energi dimasa depan.

B. *Sediment Microbial Fuel Cell*

Sediment Microbial Fuel Cell merupakan sebuah perangkat yang pada prinsip kerjanya memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik dan menghasilkan elektron yang ditransfer ke anoda kemudian dialirkan ke katoda sehingga menghasilkan listrik [2]. Dalam prosesnya agar dapat membangkitkan energi diperlukan jenis bakteri yang melakukan aktivitas reaksi oksidasi dan reduksi dimana biasanya bakteri jenis ini banyak terdapat di dalam tanah dan lumpur. Bakteri jenis ini pun banyak terdapat pada lumpur mangrove hal ini dikarenakan lumpur mangrove mengandung banyak sekali bahan organik di dalamnya yang salah satunya berasal dari serasah tumbuhan mangrove sehingga menjadikan lumpur mangrove sebagai substrat untuk beraktivitas jutaan bakteri. Aktivitas bakteri biasanya mengalami reaksi oksidasi dan reduksi yang akan menghasilkan nutrient yang terdapat pada lumpur hutan mangrove. Kecepatan oksidasi sangat ditentukan oleh peran dari bakteri pengoksidasi dan dalam kondisi reduksi, sangat ditentukan oleh aktivitas bakteri pereduksi. Efek dari terjadinya reaksi oksidasi reduksi menyebabkan terjadinya lompatan elektron yang mana elektron tersebut dapat diukur dalam bentuk tegangan [3].

Dalam kinerjanya peningkatan atau penurunan listrik yang dihasilkan berhubungan dengan jumlah elektron bebas yang dihasilkan oleh bakteri. Reaksi bioelektrokimia yang terjadi antara substrat organik yaitu glukosa dan penerima elektron yaitu oksigen akan menyebabkan glukosa kemudian terdegradasi seperti pada reaksi berikut [4]:



C. Elektroda

Elektroda adalah suatu konduktor yang mengakibatkan arus listrik memasuki atau meninggalkan larutan atau media lainnya. Elektroda terdapat dua jenis yaitu katoda dan anoda. Katoda adalah elektroda dimana muatan negatif memasuki perangkat listrik, sedangkan anoda dimana muatan negatif meninggalkan suatu bahan [5].

Elektroda biasanya terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi juga dapat dibuat dari bahan konduktor listrik non-logam, seperti karbon grafit. Elektroda digunakan dalam pengelasan, listrik, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis

D. Kawasan Mangrove

Hutan mangrove atau disebut juga hutan bakau adalah hutan yang tumbuh di kawasan air payau, dan dipengaruhi oleh pasang-surut air laut. Hutan ini tumbuh khususnya di tempat-tempat di mana terjadi pelumpuran dan akumulasi bahan organik. Tanaman bakau ini biasanya hidup di teluk-teluk yang terlindung dari gempuran ombak, maupun di sekitar muara sungai di mana air melambat dan mengendapkan lumpur yang dibawanya dari hulu.

Ekosistem hutan bakau bersifat khas, baik karena adanya pelumpuran yang mengakibatkan kurangnya abrasi tanah, salinitas tanahnya yang tinggi, serta mengalami daur penggenangan oleh pasang-surut air laut. Hanya sedikit jenis tumbuhan yang bertahan hidup di tempat semacam ini, dan jenis-jenis ini kebanyakan bersifat khas hutan bakau karena telah melewati proses adaptasi dan evolusi.

E. Daya dan *Power Density*

Untuk mengukur besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh SMFC, digunakan alat ukur multimeter untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan. Data yang berupa kuat arus dan tegangan kemudian akan diolah menjadi nilai daya menggunakan persamaan berikut:

$$P \text{ (mW)} = V \text{ (mV)} \times I \text{ (mA)} \quad (1)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} P &= \text{Daya (mW)} \\ V &= \text{Tegangan (mV)} \\ I &= \text{Arus (mA)} \end{aligned}$$

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan nilai power density. Power density atau kerapatan daya merupakan besar daya yang dapat diperoleh dari per-satuan luas permukaan elektroda. Adapun untuk mengetahui nilai kerapatan daya digunakan persamaan sebagai berikut.

$$Pd \text{ (mW/cm}^2\text{)} = \frac{I \text{ (mA)} \times V \text{ (mV)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \quad (2)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} Pd &= \text{Power density (mW/cm}^2\text{)} \\ V &= \text{Tegangan (mV)} \\ I &= \text{Arus (mA)} \\ A &= \text{Luas permukaan anoda (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

III. METODE PENELITIAN

A. Lokasi penelitian

Penelitian berlokasi di kawasan hutan bakau wilayah Pulau Payau Kalimantan Utara. Pengukuran dilakukan di area hutan bakau yang berada dekat dari pantai di wilayah tersebut.

B. Alat dan bahan yang digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Multimeter digital DT-839B dan Heles UX 369 C
2. Elektroda tembaga
3. Elektroda seng
4. Kabel
5. Resistor 1 kΩ
6. Solder

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut.

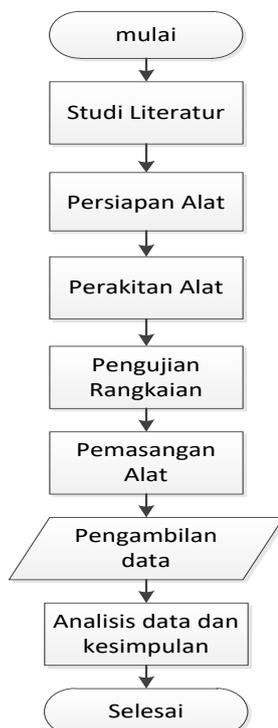
1. Lumpur bakau

C. Persiapan alat SMFC

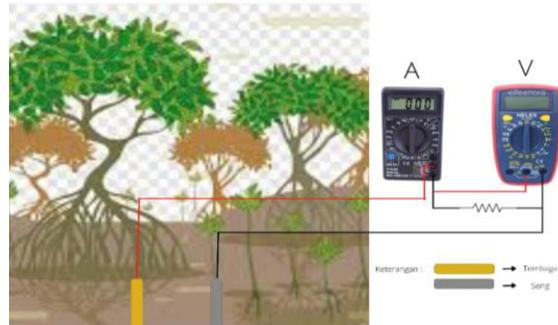
Perakitan alat dimulai dengan menyiapkan 2 buah elektroda yakni seng dan seng. Masing-masing elektroda kemudian disambungkan pada masing-masing kabel dengan cara disolder .

D. Pengambilan data

Data yang diambil berupa nilai tegangan dan arus yang diukur menggunakan multimeter digital yang terhubung pada anoda dan katoda. Pengukuran nilai arus dilakukan dengan menggunakan beban eksternal berupa resistor 1KΩ yang terhubung dengan anoda dan katoda. Pengambilan data dilakukan setiap satu jam sekali selama 11 jam dalam sehari, mulai dari jam 07.00 sampai dengan 18.00. Pengambilan data ini dilakukan dalam kurun waktu selama 12 hari.



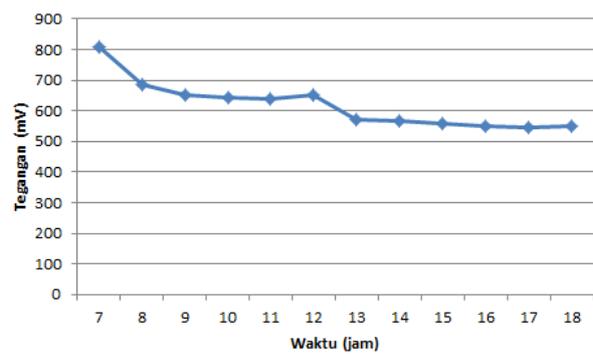
Gambar 1. Diagram alir



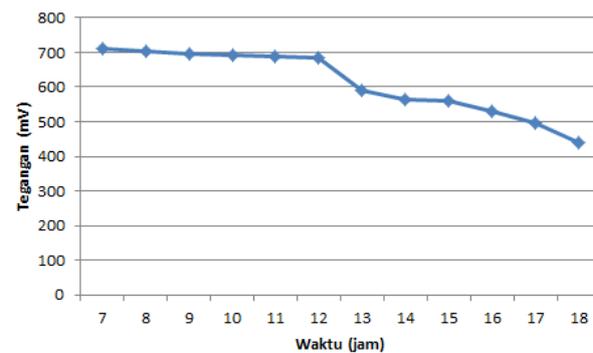
Gambar 2. Rangkaian Sedimen Microbial Fuel Cell

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

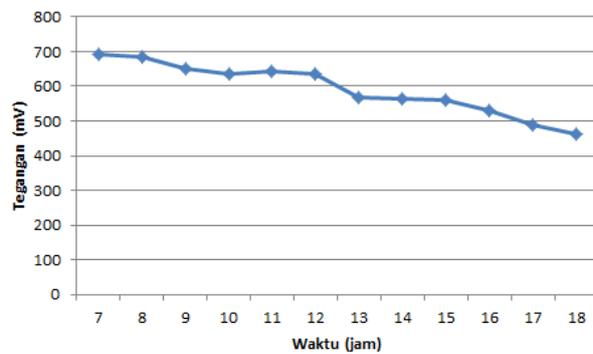
A. Hasil Pengukuran



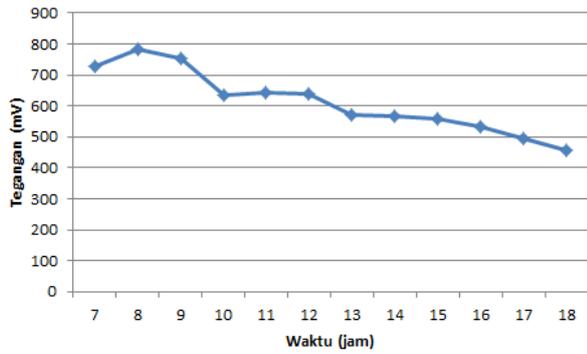
Gambar 3. Grafik Tegangan Hari 1



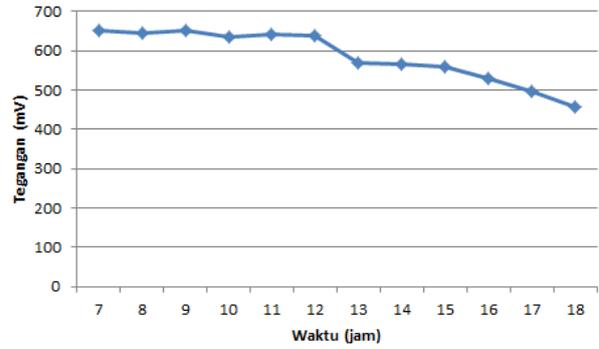
Gambar 4. Grafik Tegangan Hari 2



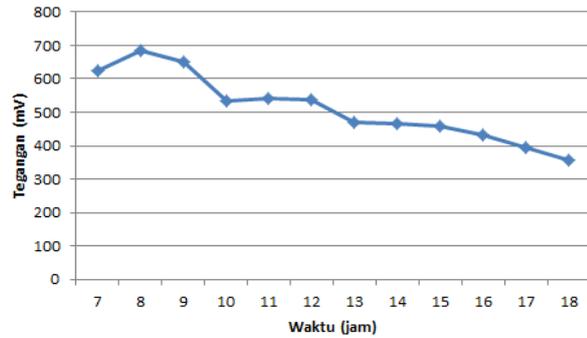
Gambar 5. Grafik Tegangan Hari 3



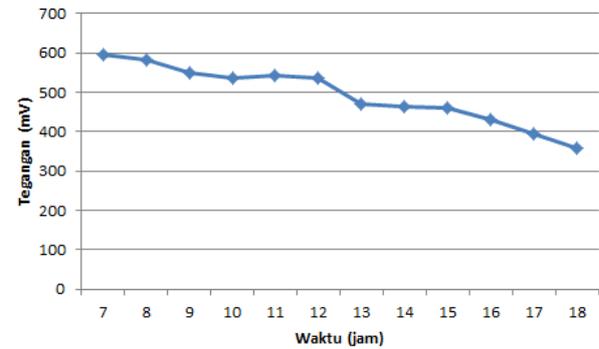
Gambar 6. Grafik Tegangan Hari 4



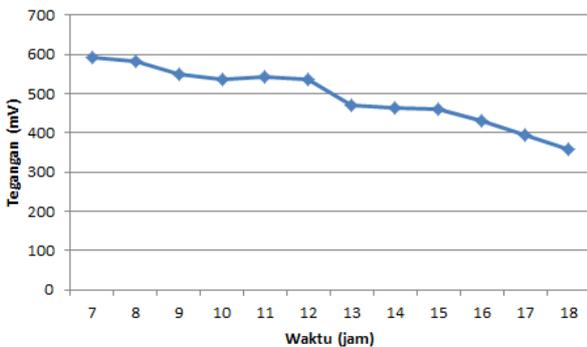
Gambar 10. Grafik Tegangan Hari 8



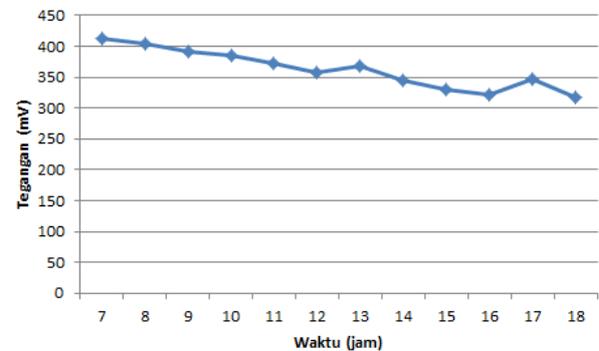
Gambar 7. Grafik Tegangan Hari 5



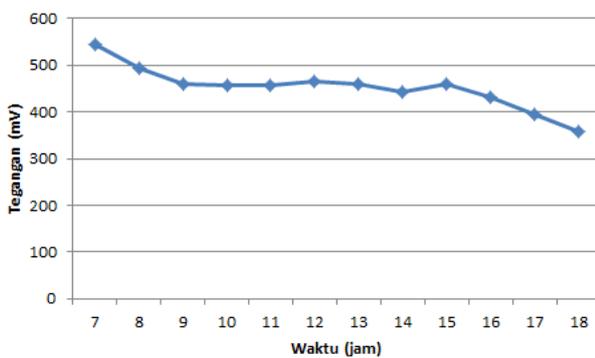
Gambar 11. Grafik Tegangan Hari 9



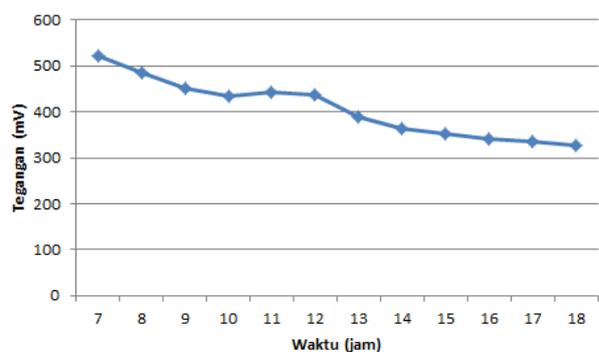
Gambar 8. Grafik Tegangan Hari 6



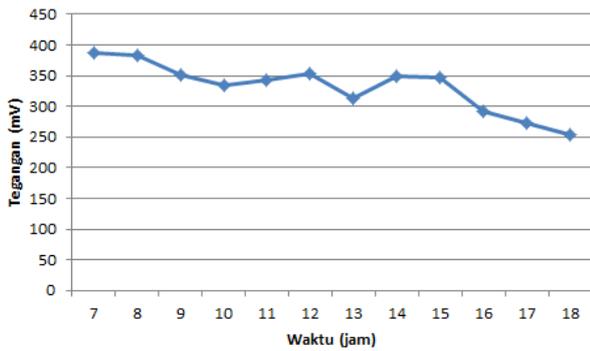
Gambar 12. Grafik Tegangan Hari 10



Gambar 9. Grafik Tegangan Hari 7



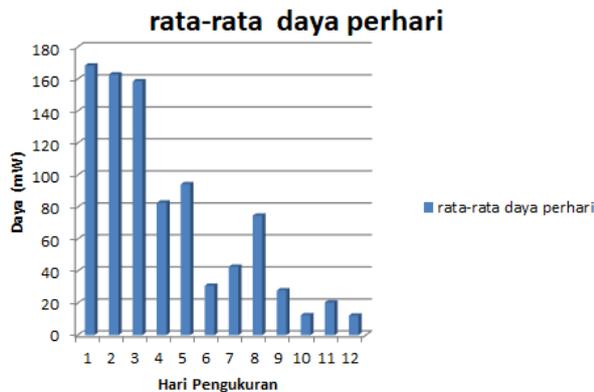
Gambar 13. Grafik Tegangan Hari 11



Gambar 14. Grafik Tegangan Hari 12

Nilai tegangan yang terukur setiap harinya cenderung turun. Nilai tegangan tertinggi didapatkan pada hari ke 1 pukul 08.00 pagi dengan nilai 809 mV dengan kondisi cuaca cerah dan kondisi air laut surut sedangkan nilai tegangan terendah diperoleh pada hari ke 12 pukul 18.00 sore dengan nilai 254 mV dengan kondisi cuaca cerah dan kondisi air laut pasang. Tegangan yang dihasilkan dari teknologi *Sediment Microbial Fuel Cell* sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan lama penggunaan elektroda, hal ini disebabkan oleh akibat adanya aktifitas mikroba pada lumpur bakau selama proses pengukuran data dan terjadinya proses oksidasi pada plat elektroda.

B. Daya



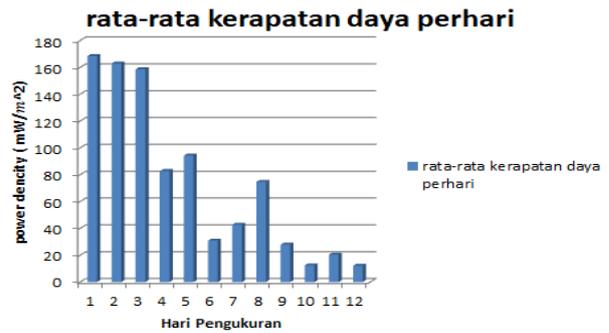
Gambar 15. Grafik Nilai Rata-Rata Daya Per-Hari

Rata-rata nilai daya tertinggi diperoleh pada tanggal 30 Januari 2022 dengan nilai daya 136.1592mW dimana kondisi cuaca pada saat itu cerah sedangkan rata-rata daya terendah di peroleh pada tanggal 8 Febuari 2022 dengan nilai 10.08 mW dimana kondisi cuaca pada saat itu sedikit mendung. Daya yang diperoleh masih sangat kecil dan perubahannya pada tiap jamnya masih blum stabil hal ini dikarenakan cuaca yang tidak menentu yang mengakibatkan penyerapan electron pada elektroda kurang optimal.

C. Power Density (Kerapatan Daya)

Dari data keseluruhan pada Gambar 17. dibawah didapatkan kerapatan daya rata-rata sebesar 74,06 mW/m². rata-rata kerapatan daya tertinggi berada pada hari pertama yaitu 168.43 mW/m² yang kemudian lama-lama mulai menurun hingga pada hari ke 12 yaitu 12.29 mW/m². Hal ini dikarenakan mulai berkurangnya kualitas elektroda akibat adanya aktifitas mikroba pada lumpur

bakau selama proses pengukuran data dan terjadinya proses oksidasi pada plat elektroda.



Gambar 17. grafik nilai kerapatan daya perhari

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai tegangan tertinggi yang di peroleh pada penelitian ini ialah sebesar 809 mV, nilai daya tertinggi yang diperoleh pada penelitian ini ialah sebesar 242.7 mW, rata-rata kerapatan daya yang diperoleh keseluruhan selama 12 hari ialah sebesar 74,06 mW/m² dengan nilai rata-rata kerapatan daya tertinggi diperoleh pada hari pertama sebesar 168.43 mW/m², yang mana tegangan yang dihasilkan dari teknologi *Sediment Microbial Fuel Cell* sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan lama penggunaan elektroda, hal ini disebabkan oleh akibat adanya aktifitas mikroba pada lumpur bakau selama proses pengukuran data dan terjadinya proses oksidasi pada plat elektroda.

REFERENSI

- [1] Djoko Siswanto, E. al. (2019). *Issn 2527-3000*
- [2] Ngruh, B., Putra, A., Mahendra, I. N. A., Kuntayoni, N. A., Istyorini, A., & Dewanti, A. (2014). Analisis Potensi Sedimen Hutan Bakau Sebagai Sumber Energi Listrik dengan Menggunakan Teknologi Sediment Microbial Fuel Cell (SMFC). *Seminar Nasional FMIPA UNDIKSHA IV Tahun 2014*, 2, 399–407.
- [3] Paus, T., Hutapea, H., Marbun, S. N., & Weliyadi, E. (2019). Potensi Bakteri Pada Lumpur Mangrove Kota Tarakan Sebagai Penghasil Energi Listrik Berkelanjutan. *Jurnal Harpodon Borneo*, 12(1), 1–8.
- [4] Istan, M. (2017). Pengentasan Kemiskinan Melalui Pemberdayaan Ekonomi Umat Menurut Perspektif Islam. *AL-FALAH : Journal of Islamic Economics*, 2(1), 81.
- [5] Arigeni, R., Kirom, M. R., Qurthobi, A., Elektro, F. T., & Telkom, U. (2019). Analisis Produksi Energi Listrik Pada Microbial Fuel Cell Menggunakan Substrat Tongkol Jagung Dengan Kontrol Suhu. *E-Proceeding of Engineering*, 6(1), 1091–1096.
- [6] Akbar, T. N., Kirom, M. R., & Iskandar, R. F. (2017). Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell Terhadap Produksi Energi Listrik. *E-Proceeding of Engineering*, 4(2), 2123–2138.
- [7] Riyanto, B., Mubarik, N. R., & Idham, F. (2011). Electrical Energy from Jakarta Bay Marine Sediment Through Microbial Fuel Cell Technology. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, XIV(1), 32–42.
- [8] Rusila Noor, Y., M. Khazali, I. N. N. S. (2006). *Pengenalan Mangrove di Indonesia*. PHKA/WI-IP.

- [9] Santoso, E. B., & Mulyadi. (2020). Baterai Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk. *Elektrika Borneo (JEB)*, 6(1), 19–23.

PENGGUNAAN PID PADA AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR (AVR) UNTUK KESTABILAN TEGANGAN TERMINAL GENERATOR SINKRON 3 FASA

Abdul Muis Prasetya¹, Linda Sartika², Al Ma'ruf³

^{1,2}Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

³PT Perusahaan Listrik Negara, Tarakan, Indonesia

¹prasetia.electric@gmail.com

²linda_krs@yahoo.com

³aalmaruf123@gmail.com

Abstract— Nowadays, electricity has become a major need for us, and to meet this need, an electricity generator system is needed, one of which can use a 3-phase synchronous generator which have functions to convert motion energy into an electrical energy. The large demand for electrical energy with varying needs means that the electricity produced by generators is often unstable, therefore an Automatic Voltage Regulator (AVR) is needed which works continuously to read voltage errors at the generator terminals and then correct them. In this research, the AVR excitation system has been designed using Proportional Integral Derivative (PID) controller with gain value of $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; and $K_d = 0$. PID parameters are embedded in the microcontroller with a programming language, with the AVR in the 3-phase synchronous generator the power generation system is able to produce a stable voltage and in accordance with the PLN standard, by value of 220V both when loaded and unloaded.

Keywords— Three Phase Synchronous Generator, Excitatioon system, PID Controllers, Steady State.

Intisari— Pada masa sekarang ini listrik sudah menjadi kebutuhan utama bagi kita, dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan sistem pembangkit listrik, salah satunya dapat menggunakan generator sinkron 3 fasa yang berfungsi untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Besarnya permintaan energi listrik dengan kebutuhan yang beragam menyebabkan listrik yang dihasilkan generator sering kali tidak stabil, maka dari itu diperlukan Automatic Voltage Regulator (AVR) yang berkerja secara kontinyu untuk membaca error tegangan pada terminal generator lalu memperbaikinya. Pada penelitian ini sistem eksitasi AVR telah dirancang menggunakan kendali Proportional Integral Derivative (PID) dengan gain yang digunakan yaitu $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; dan $K_d = 0$. Parameter PID ditanamkan pada mikrokontroler dengan bahasa pemrograman, dengan adanya AVR pada generator sinkron 3 fasa sistem pembangkit listrik mampu menghasilkan tegangan yang stabil dan sesuai dengan setandar PLN yaitu 220V baik ketika diberi beban ataupun tidak diberi beban.

Kata Kunci— Generator sinkron 3 fasa, sistem eksitasi, kendali PID, kestaabilan.

I. PENDAHULUAN

Pada sistem tenaga listrik generator memiliki peranan penting dimana sebagian besar energi listrik yang digunakan masyarakat sebagai kebutuhan setiap hari

berasal dari generator yang berada pada pembangkit listrik, cara kerja generator yaitu mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik, generator yang sering digunakan di sistem pembangkit yaitu generator sinkron, kecepatan putaran rotor sama dengan kecepatan putar medan.

Salah satu yang menyebabkan generator tidak aman adalah beban yang berubah-ubah dari konsumen listrik yang mengakibatkan tegangan pada terminal generator tidak setabil, sehingga dibutuhkan Automatic Voltage Regulator (AVR) yang mampu untuk menstabilkan tegangan keluaran generator sinkron, di mana AVR akan mengatur tingkat arus eksitasi sebagai penguatan medan magnet [1].

Perbedaan potensial mengakibatkan arus mengalir dan ggl mempertahankan perbedaan potensial. Karena keduanya diukur dalam volt, istilah umum yang digunakan yakni tegangan (voltage), dengan untuk menunjukkan ukuran masing-masing. Walaupun istilah beda potensial, yakni ggl dan tegangan tidak mempunyai arti yang tepat sama, mereka sering digunakan secara bergantian [2].

Berdasarkan Standar PLN (SPLN) No.1:1978 tegangan yang diperbolehkan adalah tegangan maksimum +5% dan tegangan minimum -10% terhadap tegangan normalnya, tegangan yang telah ditentukan oleh PLN normalnya adalah 220V dan 380V. di mana ketika tegangan melebihi atau kurang dari batas yang ditetapkan tegangan akan dianggap tegangan lebih (overvoltage) ketika melewati batas maksimum dan dianggap tegangan kurang (undervoltage) apabila kurang daripada batas minimum, dan overvoltage dan undervoltage.

Stabilitas tegangan berdasarkan SPLN No.1:1978 merupakan kemampuan suatu sistem dalam menjaga tagangan agar berada pada nilai nominal ketika terjadi gangguan ataupun adanya perubahan beban. Umumnya kestabilan pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi tiga yaitu [3] kestabilan dinamik sistem tenaga listrik, kestabilan transien sistem tenaga listrik, dan kestabilan steady state sistem tenaga listrik. Kestabilan dapat dinilai dengan melakukan analisa terhadap respon sistem dengan melihat respon transien dimana respon transien dapat diukur mulai dari ayunan pertama hingga mulai dari 1 detik [4].

Generator sinkron Alternating Current (AC) yang disebut juga alternator merupakan mesin listrik dengan fungsi yaitu mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik) melalui induksi medan magnet. Energi bisa berubah karena adanya medan magnet yang berubah di kumparan stator (tempat munculnya energi listrik).

Disebut generator sinkron dikarenakan kecepatan putaran rotornya akan selalu sama dengan putaran medan magnet yang menginduksi kumparan stator. Kecepatan sinkron diperoleh dari kecepatan putaran rotor yang memiliki kutub magnet berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet yang berputar menginduksi kumparan jangkar stator. lilitan jangkar terletak pada stator sedangkan lilitan medan terletak pada rotor generator itu sendiri [1].

Sistem eksitasi merupakan sistem masuknya listrik arus searah untuk penguatan medan di generator, kemudian menciptakan tenaga listrik serta besaran tegangan yang keluar tergantung dari besarnya arus eksitasi. Kendali sistem eksitasi menghasilkan tegangan emf generator. Karena itu, kendalinya tidak hanya digunakan untuk mengendalikan power faktor, arus, serta perbaikan variabel lain. Sistem eksitasi pada generator terbagi menjadi 2 jenis, antara lain [3] sistem eksitasi memakai sikat dan sistem eksitasi tanpa memakai sikat.

AVR merupakan sistem umpan balik yang secara konstan memantau tingkat tegangan yang dihasilkan di terminal generator dan dengan pengontrol sistem AVR mampu mengatur tingkat eksitasi rotor [5]. Generator umumnya dilengkapi dengan kendali tegangan secara otomatis untuk mengendalikan tegangan agar besarnya tetap konstan walaupun dengan beban yang bervariasi. Karena itu kendali tegangan otomatis memperoleh input tegangan generator lalu outputnya yaitu pengendali rangkaian arus sebagai penguatan. metode yang sering digunakan dalam hal ini adalah dengan menggunakan alat bantu yang bisa dibidang dengan kendali tegangan AVR difungsikan mengatur besarnya eksitasi arus medan DC yang disuplai pada lilitan rotor generator. Ketika tegangan generator menurun akibat variasi beban, maka kendali tegangan secara otomatis menaikkan penguatan medan sehingga tegangan kembali stabil. Begitu pula sebaliknya jika tegangan generator naik oleh variasi beban, maka kendali akan memperbaiki tegangan sesuai dengan tegangan normalnya dengan mengurangi arus eksitasi pada medan [6].

PID merupakan gabungan dari pada 3 parameter kontrol yakni Proporsional (K_p), Integral (K_i) serta Derivatif (K_d). Dimana tiap-tiap kendali itu memiliki fungsi yang berbeda-beda terhadap pencapaian performansi sistem yang ditetapkan dimana sangat butuh dikombinasikan untuk memenuhi kelemahan tiap-tiap parameter kendali.

Proporsional merupakan kendali yang pada prinsipnya menggunakan umpan balik didalamnya. Kendali Proporsional elektronik adalah suatu penguat yang menerima sinyal tegangan kecil dan menghasilkan keluaran dengan tingkat tegangan yang lebih tinggi. Adapun wujud mekanisme yang sebetulnya dari apapun rupa daya penggerakannya, kendali proporsional pada konsep dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang bisa

dikendalikan. Pada respon sistem kendali proporsional suatu "plant" yang fungsi alihnya tidak menggunakan integrator, terdapat kesalahan pada sistem pada keadaan tunak atau ofset. Ofset semacam itu dapat dihilangkan dengan menambahkan integral pada kontroler.

Pada kendali integral suatu "plant", sinyal kontrol, yaitu sinyal keluaran kontroler, setiap saat adalah luas bidang kesalahannya yang dibentuk oleh kurva kesalahan pada sistem terhadap waktu. Sinyal kontrol $u(t)$ dapat memiliki nilai nol ketika sinyal error pada sistem $e(t)$ nol, dimana hal tersebut tidak bisa dimiliki kontroler proporsional karena proporsional harus memiliki kesalahan sistem tidak nol atau tidak bisa digunakan ketika kesalahan nol.

Jadi kendali integral pada sistem merupakan kendali yang berfungsi untuk menghilangkan error keadaan tunak pada respon, hal tersebut merupakan perbaikan yang penting pada kendali proporsional. Selagi sinyal error selalu ada, maka sinyal kontrol integral akan selalu bereaksi dan saat sinyal error nol, sehingga $u(t)$ akan tidak berubah. Dengan begitu, aksi kendali integral akan menghilangkan error steady state. Yang artinya, keluaran sistem akan terus menuju set point sedekat mungkin.

Kendali derivatif jika ditambahkan pada kendali proporsional akan melengkapi suatu cara untuk mendapatkan suatu sistem kontrol dengan kepekaan yang tinggi. Keunggulan menggunakan kendali derivatif adalah aksinya memberikan respon terhadap cepatnya perubahan pada error sistem dan dapat menghasilkan koreksi sebelum error sistem menjadi sangat besar. Maka dari itu kendali derivatif akan memprediksi kesalahan pada sistem, memulai aksi perbaikan dan cenderung memperbanyak kesetabilan pada sistem.

Walaupun kendali derivatif tidak berpengaruh pada kesalahan keadaan tidak berhenti dengan langsung, namun dapat menambahkan redaman sistem sehingga dengan penggunaan nilai penguatan K yang lebih besar dan akan memperbaiki kecermatan keadaan tidak berhenti. Diagram blok kendali integral dapat ditunjukkan seperti pada gambar berikut.

Karena kendali derivatif bekerja menurut cepatnya perubahan kesalahan respon sistem. Bukan berdasarkan pada kesalahan sistem itu sendiri, maka kendali derivatif tidak bisa digunakan sendirian. Kendali derivatif akan terus digunakan bersamaan dengan kendali proporsional atau proporsional plus integral.

Masing-masing kendali baik itu proporsional, integral, dan derivatif sudah dijabarkan seperti pada penjelasan diatas. Dengan demikian kendali PID yang merupakan penggabungan dari tiga parameter kendali proporsional, integral, dan derivatif. Kelebihan daripada tiap-tiap ketiga kendali tersebut, dan kendali PID pada sistem pengontrolan proses, sangat baik digunakan terhadap gangguan beban.

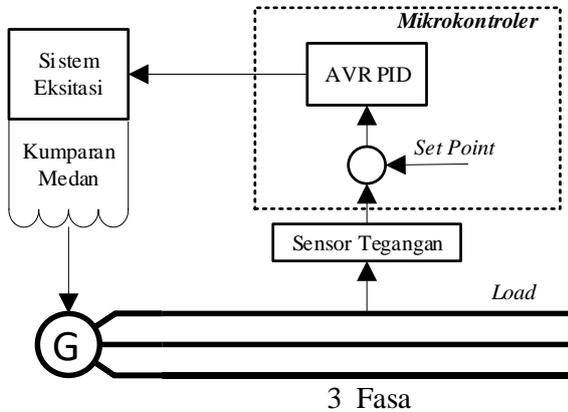
Perancangan dengan menentukan parameter tuning PID sering kali dilakukan dengan metode mencoba-coba (trial and error), hal itu dikarenakan masing-masing parameter K_p , K_i , dan K_d memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap respon transient sehingga kombinasi sangat penting untuk menutupi kekurangan tiap-tiap parameter [7]. Penentuan parameter tuning PID yang dilakukan dengan cara (trial and error) yang bertujuan untuk

menghasilkan respon sistem yang baik dalam memperbaiki error pada sistem seperti yang telah dilakukan oleh [8]

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Diagram Blok Sistem AVR PID

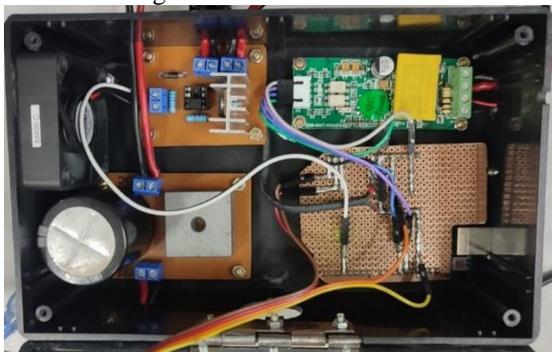
Perancangan suatu sistem dibuat untuk memudahkan dalam proses implementasi yang dilakukan, dan juga perancangan dilakukan agar bisa memperoleh data yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian. Berikut merupakan gambar diagram blok AVR PID.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem AVR PID.

B. Perancangan Alat AVR

AVR ini dibuat dengan penyatuan alat dan bahan yang dibutuhkan seperti sensor, mikrokontroler, sistem eksitasi, dan penyearah tegangan yang disusun berdasarkan rangkaian yang telah di rancang. Di mana komponen-komponen tersebut disusun dalam box yang sudah disesuaikan dimana nantinya AVR ini akan berguna untuk memperbaiki tingkat kesalahan tegangan pada terminal generator. Ada pun gambar rangkaian keseluruhan dari AVR adalah sebagai berikut:

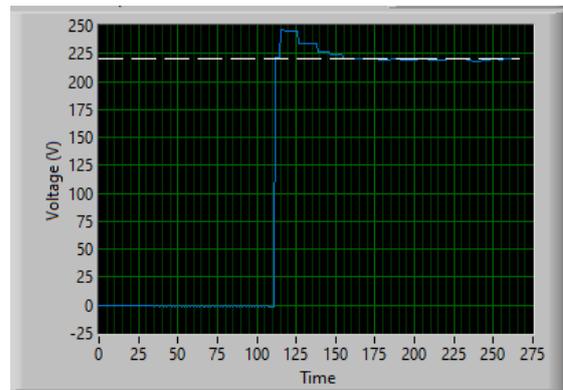


Gambar 2. Rangkaian AVR

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian AVR PID Metode Trial and Error

Pengujian dilakukan dengan memasukan nilai K_p , K_i , K_d dengan nilai acak hingga menemukan nilai yang paling tepat dan baik untuk memperbaiki error pada respon sistem dimana respon sistem dapat diukur dengan melihat respon transien pada respon sistem diantaranya yaitu: Delay time, Rise time, Peak time, Maximum overshoot, Settling time, Error steady state. Di mana data hasil percobaannya adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Respon Sistem dengan $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; $K_d = 0$

Tabel I
Data Respon Transien Penentuan Nilai Pid

Nilai K_p, K_i dan K_d	Delay Time (Second)	Rise Time (Second)	Peak Time (Second)	Max Overshoot	Settling Time (Second)	ESS (%)
$K_p=0.10$ $K_i=20$ $K_d=0$	0.2	0.32	1.5	9	4	3.4
$K_p=0.25$ $K_i=15$ $K_d=1$	0.2	0.32	0.5	9	error	9
$K_p=0.25$ $K_i=15$ $K_d=0$	0.05	0.08	1	9.5	4.5	0
$K_p=0.50$ $K_i=15$ $K_d=0$	0.3	0.48	1.3	9	6.8	0
$K_p=0.25$ $K_i=50$ $K_d=0$	0.125	0.2	1	6.8	3.2	4.5
$K_p=0.50$ $K_i=0.15$ $K_d=0.1$	0.05	0.08	0.4	6.8	error	8.6

Berdasarkan analisa enam kali percobaan dalam penentuan nilai PID yang tepat dalam memperbaiki error pada sistem yaitu dengan $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; $K_d = 0$, dimana respon sistem dengan nilai PID tersebut mampu memperbaiki error hingga stabil pada set point 220V dengan $K_p = 0.25$; $K_i = 0.15$; $K_d = 0$ didapatkan nilai delay time = 0.05 sekon, rise time = 0.08 sekon, peak time = 1 sekon, max overshoot = 9.5%, settling time = 4.5 sekon, error steady state = 0% dan dengan menggunakan nilai $K_p = 0.50$; $K_i = 15$; $K_d = 0$ didapatkan delay time = 0.3 sekon, rise time = 0.48 sekon, peak time = 1.3 sekon, max overshoot = 9%, settling time = 6.8 sekon, error steady state = 0% respon sistem dengan nilai PID tersebut juga mampu memperbaiki error hanya saja waktunya yang dibutuhkan lebih lama.

B. Pengujian AVR PID dengan Penambahan Beban

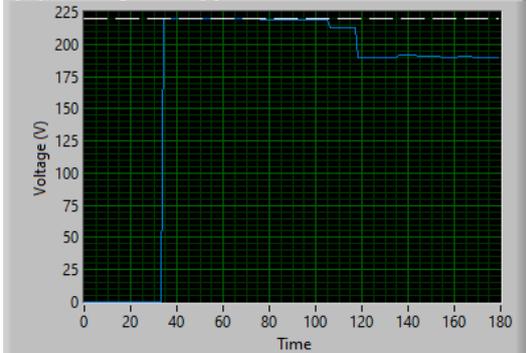
Pengujian dengan pembebanan dilakukan untuk mengetahui respon sistem ketika generator dibebri beban baik itu beban resistif, beban induktif ataupun beban kapasitif dimana dengan penambahan beban tersebut akan mempengaruhi tegangan sehingga bisa saja tegangan

terminal generator mengalami tegangan lebih (overvoltage) ataupun tegangan turun (undervoltage) lalu kita melihat bagaimana respon sistem setelah itu apakah AVR dengan PID mampu untuk melakukan perbaikan atau tidak dengan memberikan tegangan referensi dengan nilai 220V sesuai dengan tegangan yang ditetapkan oleh PLN. Di mana data hasil percobaannya adalah sebagai berikut:

1. Dengan Beban Resistif

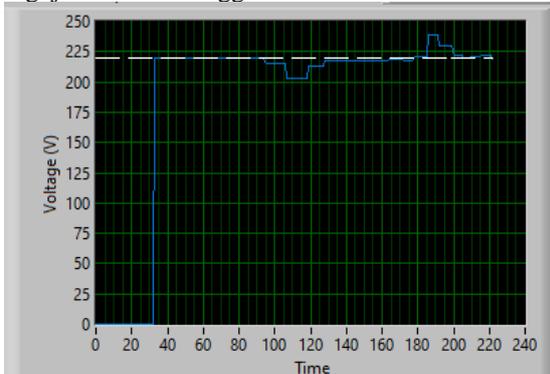
Berikut ini merupakan perbandingan antara menggunakan kontroler PID dengan tanpa kontroler menggunakan beban resistif.

a. Pengujian tanpa menggunakan PID



Gambar 4. Grafik Respon Sistem tanpa PID dengan Beban Resistif.

b. Pengujian ketika menggunakan PID

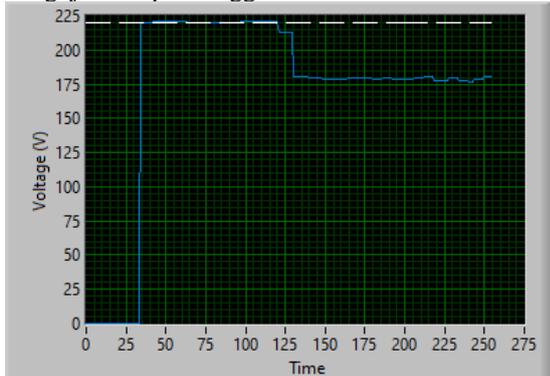


Gambar 5. Grafik Respon Sistem menggunakan PID dengan Beban Resistif.

2. Dengan Beban Induktif

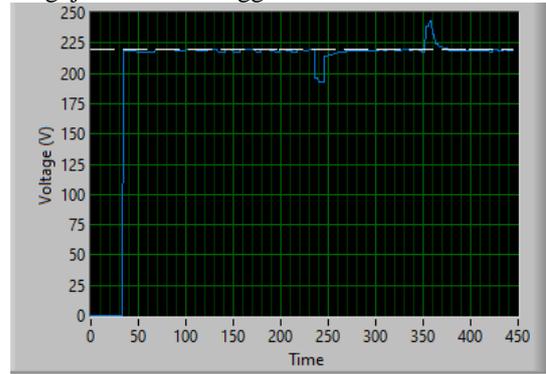
Berikut ini merupakan perbandingan antara kontroler PID dengan tanpa kontroler menggunakan beban induktif.

a. Pengujian tanpa menggunakan PID



Gambar 6. Grafik Respon Sistem tanpa PID dengan Beban Induktif.

b. Pengujian ketika menggunakan PID

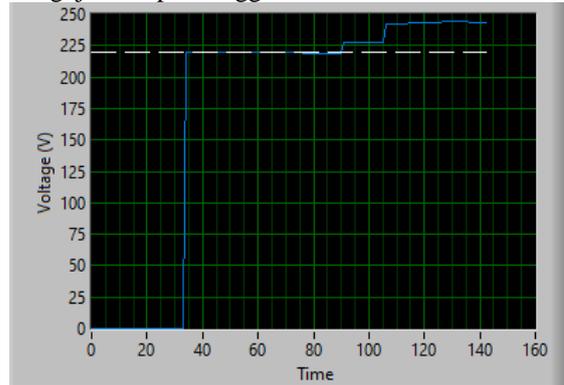


Gambar 7. Grafik Respon Sistem menggunakan PID dengan Beban Induktif.

3. Dengan Beban Kapasitif

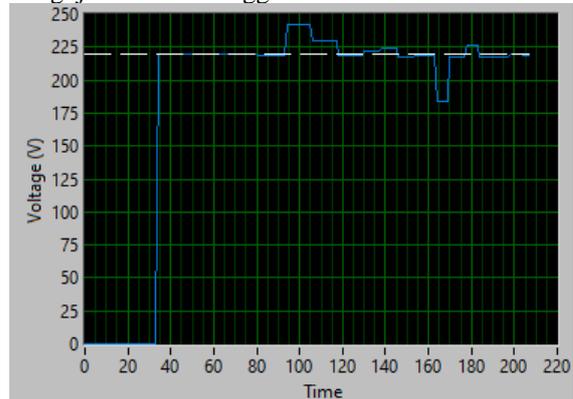
Berikut ini merukan perbandingan antara kontroler PID dengan tanpa kontroler menggunakan beban Kapasitif.

a. Pengujian tanpa menggunakan PID



Gambar 8. Grafik Respon Sistem tanpa PID dengan Beban Kapasitif.

b. Pengujian ketika menggunakan PID



Gambar 9. Grafik Respon Sistem menggunakan PID dengan Beban Kapasitif.

Tabel II
Tabel Hasil Pengujian AVR PID dengan Beban Resisif

	Beban Resistif		
	Tanpa PID	Dengan PID	
	dihubungkan	dihubungkan	dilepas
Tegangan Generator (V)	190	202	235

	Beban Resistif		
	Tanpa PID	Dengan PID	
	dihubungkan	dihubungkan	dilepas
Time (s)	12	10.5-12	18.5-20

Tabel III
Tabel Hasil Pengujian AVR PID dengan Beban Induktif

	Beban Induktif		
	Tanpa PID	Dengan PID	
	dihubungkan	dihubungkan	dilepas
Tegangan Generator (V)	180	190	235
Time (s)	13	23.5-24.7	35-37

Tabel IV
Tabel Hasil Pengujian AVR PID dengan Beban Kapasitif

	Beban Kapasitif		
	Tanpa PID	Dengan PID	
	dihubungkan	dihubungkan	dilepas
Tegangan Generator (V)	245	245	190
Time (s)	9	9.3-11.8	16.3-17

Berdasarkan dari pengujian dengan penambahan beban yang telah dilakukan yang dapat kita lihat dari grafik dan tabel hasil pengujian dengan pembebanan di atas bahwa sistem AVR dengan PID sudah mampu menstabilkan tegangan terminal generator sinkron 3 fasa sesuai dengan tegangan normal yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu pada tegangan 220V baik ketika diberi beban Resistif, Induktif, dan Kapasitif.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dengan melakukan perancangan alat AVR dengan menggunakan PID sebagai kendali lalu menganalisisnya didapatkan beberapa kesimpulan. Sensor tegangan cukup baik digunakan untuk pembacaan nilai tegangan dan memiliki sensitifitas yang baik pula. Sistem Eksitasi sudah mampu mengendalikan tegangan yang akan disuplai pada kumparan medan generator sinkron 3 fasa sesuai kebutuhan. AVR dengan PID sudah mampu bekerja menstabilkan tegangan terminal generator sinkron 3 fasa dimana set point yang digunakan yaitu 220V dengan nilai $K_p = 0.25$; $K_i = 15$; $K_d = 0$ dimana respon transiennya Delay time = 0.05 s, Rise time = 0.08 s, Peak time = 1 s, max overshoot = 9.5%, Setling time = 4.5 s, Error steady state = 0%. AVR dengan PID mampu memperbaiki error pada sistem dan menstabilkan tegangan sesuai dengan tegangan nominal yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu 220V baik ketika diberi beban ataupun tidak diberi beban, di mana ketika diberi beban resistif tegangan mengalami undervoltage di tegangan 202V namun sistem mampu memperbaiki pada tegangan 220V dalam waktu 1.5 s, ketika diberi beban induktif tegangan mengalami undervoltage di tegangan 190V namun sistem mampu

memperbaiki pada tegangan 220V dalam waktu 1.2 s, ketika diberi beban kapasitif tegangan mengalami overvoltage di tegangan 245V yang mana sistem mampu memperbaiki pada tegangan 220V dalam waktu 2.5 s.

REFERENSI

- [1] A. A. Alam, Syarial, and N. Taryana, "Pemodelan dan Simulasi Automatic Voltage Regulator untuk Generator Sinkron 3 kVA Berbasis Proportional Integral," J. Reka Elkomika, vol. 3, no. 2, pp. 97-110, 2015.
- [2] E. C. Lister, *Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam*. Jakarta: Erlangga, 1993.
- [3] I. Robandi, *Modern Power System Control*. Yogyakarta: ANDI, 2009.
- [4] K. Ogata, *Ogata, Katsuhiko. Teknik kontrol Automatik jilid 1*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [5] T. D. Pamungkas, U. Sutisna, and Y. R. Fauzan, "Penerapan Algoritma Fuzzy Untuk Optimasi Kontroler PID Pada Sistem Kontrol AVR Generator 3 Fasa 480VA Berbasis Mikrokontroler ATmega16," Iteks, vol. 10, no. 2, 2018.
- [6] S. Armansyah, "Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal," J. Tek. Elektro UISU, vol. 1, no. 3, pp. 48-55, 2016.
- [7] P. Jati, "Simulasi kendali proportional integral derivative dan logika fuzzy pada sistem eksitasi automatic voltage regulator dengan simulink Matlab," Phys. Commun., vol. 1, no. 1, pp. 93-98, 2017.
- [8] A. P. Widiastuti, T. Winarno, and S. Nurcahyo, "Implementasi Prototype Robot Line Following Untuk Pengantar Barang Pada Area Berbahaya Dengan Kontrol PID," J. Elkolind, vol. 3, no. 1.

SPEEDBUMP PIEZOELEKTRIK SEBAGAI ENERGI LISTRIK ALTERNATIF (STUDI KASUS GERBANG KAMPUS UBT)

Fitriani¹, Muhammad Said Fadillah², Jordan Christian³

^{1,2,3}Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹fitrianiubt22@gmail.com , fitriani@borneo.ac.id

³jchristian451@gmail.com

Abstract— At this time technological advances mostly support human activities with various technological equipment that use electrical energy as a source of energy, this certainly makes electrical energy an inseparable part of all human activities. Because of this many studies have developed renewable energy sources, but many studies have focused more on developing large-scale energy sources, in the same way alternative energy sources on a small scale can be developed by utilizing the kinetic energy of wasted vehicles at the Borneo University of Tarakan Campus to generate energy by using piezoelectric speed bump media. The speed bump is designed in such a way by adding piezoelectricity as an energy generator, so that the kinetic energy from wasted vehicles can be used to generate alternative electrical energy. The method used is to calculate the number of vehicle mobility on the Tarakan Borneo University Campus and alternative energy produced by piezoelectric speed bumps based on the footing of the number of vehicle mobility on the Tarakan Borneo University Campus. The average number of vehicle mobility at the University of Borneo Tarakan Campus per day is Monday 5247, Tuesday 4184, Wednesday 4302, Thursday 4590, Friday 4091 and Saturday 2271. The energy generated is a piezoelectric speed bump at the University of Borneo Tarakan Campus every Monday, Tuesday, Wednesday, Thursday Friday and Saturday are 2.48kW, 1.97kW, 2.02kW, 2.16kW, 1.92kW and 1.07kW.

Keywords—Electrical energy, Piezoelektrik.

Intisari—Pada saat ini kemajuan teknologi sebagian besar menunjang kegiatan manusia dengan berbagai peralatan teknologi yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energinya, hal ini tentu menjadikan energi listrik sebagai bagian yang tidak dapat terpisahkan dalam segala kegiatan manusia. Karena itu banyak penelitian mengembangkan sumber energi terbarukan, akan tetapi banyak penelitian yang lebih terfokus pada pengembangan sumber energi dengan skala besar, dalam hal yang sama sumber energi alternatif dengan skala kecil dapat dikembangkan yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik kendaraan yang terbuang di Kampus Universitas Borneo Tarakan untuk menghasilkan energi dengan menggunakan media speed bump piezoelektrik. Speed bump dirancang sedemikian rupa dengan menambahkan piezoelektrik sebagai penghasil energi, sehingga energi kinetik dari kendaraan yang terbuang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik alternatif. Metode yang digunakan ialah menghitung banyaknya jumlah mobilitas kendaraan di Kampus Universitas Borneo Tarakan dan energi alternatif yang dihasilkan speed bump piezoelektrik berdasarkan pijakan dari jumlah mobilitas kendaraan di Kampus Universitas Borneo Tarakan. Jumlah rata-rata mobilitas kendaraan di Kampus Universitas Borneo Tarakan perharinya adalah Senin 5247, Selasa 4184, Rabu 4302, Kamis 4590, Jumat 4091, dan Sabtu 2271. Energi yang dihasilkan *Speedbump*

piezoelektrik di Kampus Universitas Borneo Tarakan setiap perharinya Senin, Selasa, Rabu, Kamis Jumat dan Sabtu adalah 2,48kW, 1,97kW, 2,02kW, 2,16kW, 1,92kW dan 1,07kW.

Kata Kunci—Energi Listrik, Piezoelektrik.

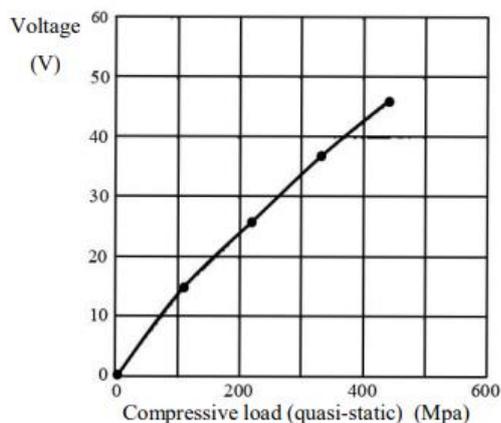
I. PENDAHULUAN

Sumber pembangkit listrik yang utama sekarang adalah bahan bakar fosil, akan tetapi bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui dan kesediannya yang terbatas karena memiliki jumlah massa tertentu dan apabila dipakai secara terus menerus tanpa adanya pembatasan tentu akan mengalami penurunan dan habis seiring berjalannya waktu. Produksi dan pemakaian bahan bakar fosil memiliki dampak buruk bagi lingkungan, selain itu bahan bakar fosil merupakan penghasil karbondioksida yang dapat mengakibatkan efek rumah kaca. Seiring meningkatnya kebutuhan energi serta tidak seimbanginya permintaan dan persediaan energi karena pasokan bahan bakar yang menggunakan fosil mengalami penurunan maka pengembangan sumber energi alternatif sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi saat ini [1]. Melihat beberapa tahun terakhir banyak penelitian dalam mengembangkan sumber energi terbarukan, baik dalam pengembangan sumber energi terbarukan dalam skala besar maupun kecil. Namun beberapa penelitian lebih terfokus pada pengembangan sumber energi skala besar, padahal jika melihat dengan kendala yang dihadapi, sumber energi baru dengan skala kecil dapat dimanfaatkan salah satunya dengan memanfaatkan peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang melintas jalan raya sekarang ini, maka potensi alternatif dan ramah lingkungan yang bisa dimanfaatkan dalam menghasilkan energi listrik salah satunya adalah memanfaatkan energi mekanik yang terbuang pada kendaraan bermotor untuk menghasilkan energi listrik dengan cara menggunakan media polisi tidur (speed bump) dengan mekanisme tertentu yang dirancang untuk menghasilkan energi listrik. Polisi tidur merupakan gundukan yang melintang di jalan yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan laju kendaraan. Pada dasarnya polisi tidur dibuat untuk menjaga agar pengendara tidak berkendara dengan kecepatan maksimal, yang membahayakan banyak orang serta untuk menjaga keteraturan berlalu lintas di jalan raya [2].

II. LANDASAN TEORI

A. Sensor Piezoelektrik

Nama piezoelektrik sendiri diambil dari bahasa Latin, Dimana piezin yang memiliki makna diperas atau ditekan dan piezo yang bermakna didorong. Bahan piezoelektrik sendiri untuk pertama kalinya ditemukan di tahun 1880-an oleh Jacques dan Pierre Curie. Piezoelektrik akan memberikan efek ketika suatu medan listrik tercipta dikarenakan material dikenai tekanan mekanik. Pada saat medan listrik melewati material, molekul yang terpolarisasi akan menyesuaikan dengan medan listrik, dihasilkan dipole yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal material. Perubahan molekul menyebabkan material berubah dimensi. Fenomena tersebut sering disebut dengan efek piezoelektrik. Pada umumnya bahan yang terkandung dalam piezoelektrik terdiri dari batuan, keramik, termasuk tulang dan juga polimer. Dimana bahan-bahan material tersebut berpotensi untuk membangkitkan besaran listrik sebagai respon dari tegangan mekanik yang diberikan pada material piringan piezoelektrik tersebut. Sifat reversibel yang dimiliki oleh piezoelektrik dapat dijelaskan sebagai berikut. Di dalam sebuah kristal piezoelektrik, muatan listrik positif dan muatan listrik negatif terpisah namun terdistribusi simetris sehingga kristal keseluruhan secara elektrik bersifat netral. Ketika diterapkan stress (tekanan), maka distribusi muatan yang simetris akan terganggu sehingga muatan menjadi tidak simetris lagi, dan muatan yang tidak simetris inilah yang menimbulkan medan listrik. Oleh karena itu bahan piezoelektrik sangat dimungkinkan sekali untuk dijadikan konverter antara energi listrik dan gerakan mekanis, dapat dilihat pada Gambar 1, bagaimana hubungan beban mempengaruhi piezoelektrik [3].



Gambar 1. Hubungan Beban Terhadap Piezoelektrik

B. Pegas tekan

Pegas adalah elemen mesin flexibel yang digunakan untuk memberikan gaya, torsi, dan juga untuk menyimpan atau melepaskan energi. Energi disimpan pada benda padat dalam bentuk twist, stretch, atau kompresi. Energi di-recover dari sifat elastis material yang telah terdistorsi. Pegas haruslah memiliki kemampuan untuk mengalami defleksi elastis yang besar. Beban yang bekerja pada pegas dapat berbentuk gaya tarik, gaya tekan, atau torsi (twist force) [4]. Pegas dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis fungsi dan beban yang bekerja, yaitu

pegas Tarik, pegas tekan, pegas torsi, dan pegas penyimpan energi.

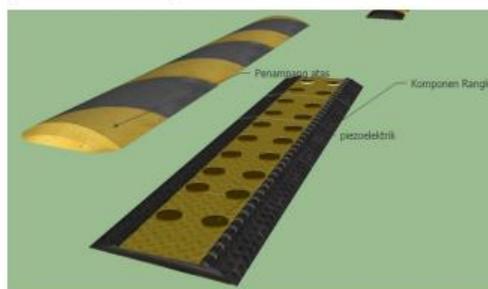
C. Jembatan penyearah

Penyearah adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sumber arus searah (DC). Pada penyearah jembatan, hanya ada 2 dioda saja yang menghantarkan arus untuk setiap siklus tegangan AC sedangkan 2 dioda lainnya bersifat sebagai isolator pada saat siklus yang sama [5].

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan alat

Perancangan alat ini menjadi awal langkah untuk menentukan rancangan pembangkit tenaga Speed bump (Polisi Tidur). Dalam langkah ini kita harus mempertimbangkan beberapa rancangan yang sekiranya dapat beroperasi maksimal apabila pembangkit ini telah diciptakan.



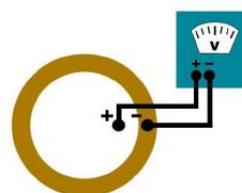
Gambar 2. Komponen spesifikasi *speedbump*

Pada komponen *Speedbump* yang akan dibuat seperti pada gambar 3.1 ialah dengan memosisikan sensor piezoelektrik di atas di atas komponen rangka dari polisi tidur, dimana piezoelektrik tersebut akan ditutupi dengan penampang agar terhindar dari kontak langsung dengan ban pada kendaraan.

B. Pengambilan data

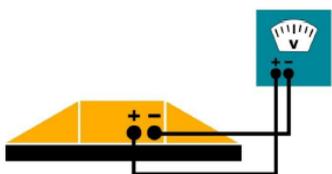
Data penelitian diambil berdasarkan jumlah perhitungan mobilitas kendaraan pada kampus Universitas Borneo Tarakan setiap perjamnya dalam waktu jam aktif kuliah, dimana perhitungan mobilitas kendaraan dimulai dari jam 07.00 sampai dengan 17.00, sehingga setiap kendaraan yang lewat akan dihitung terkhususnya untuk kendaraan roda 2 setiap perjamnya selama 1 minggu terhitung mulai hari Senin s.d. minggu. Setelah data hasil mobilitas diperoleh, maka dilanjutkan dengan pengambilan data dari keluaran piezoelektrik yang terdapat pada *Speedbump*, pada pengukuran keluaran *Speedbump* dilakukan dengan beberapa tahap,:

1. Pengukuran tegangan satu persatu dari piezoelektrik tanpa beban dengan penekanan



Gambar 3. Skema pengukuran tegangan satu persatu dari piezoelektrik tanpa beban dengan penekanan

- Pengukuran tegangan dari speed bump piezoelektrik dengan pemberian penekan energi mekanik dari kendaraan



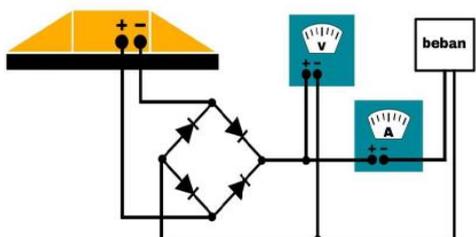
Gambar 4. Skema pengukuran tegangan dari *speed bump* piezoelektrik dengan pemberian penekan energi mekanik dari kendaraan

- Pengukuran pada kapasitor



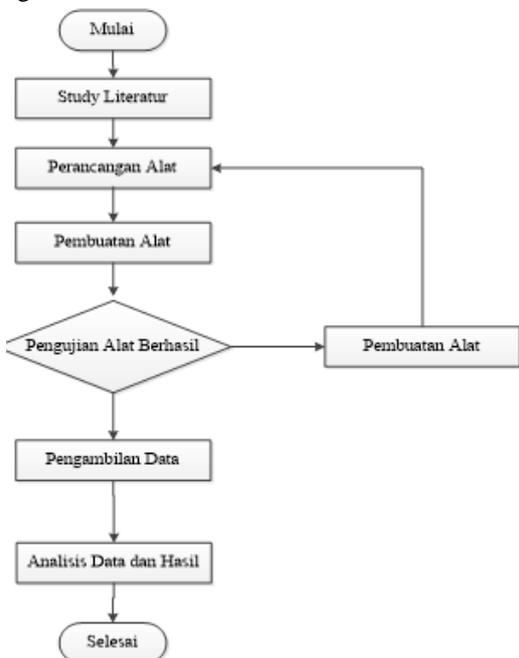
Gambar 5. Skema pengukuran tegangan pada kapasitor

- Pengukuran tegangan dan arus dari speed bump piezoelektrik dengan penyearah dan beban yang diberi penekanan energi mekanik dari kendaraan



Gambar 6. Skema pengukuran tegangan dan arus dari speed bump piezoelektrik dengan penyearah dan beban yang diberi penekanan energi mekanik dari kendaraan

C. Diagram alir



Gambar 7. Diagram alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil perancangan *Speedbump* piezoelektrik

Bagian dari kerangka speed bump ini merupakan salah satu komponen penting guna untuk meletakkan piezoelektrik. Dimana pada kerangka ini dibagi dari dua bagian, yaitu kerangka tengah yang di buat dari besi plat guna dapat memperkokoh dari benturan energi mekanik yang dihasilkan oleh kendaraan dan kerangka samping yang merupakan bagian dari sisi miring speed bump dengan kelandaian yang sesuai dengan peraturan.



Gambar 8. Kerangka pada *Speedbump* piezoelektrik

B. Hasil pengujian *Speedbump* piezoelektrik

- Pengukuran tegangan satu persatu dari piezoelektrik tanpa beban dengan penekanan.

Tabel I

Pengukuran tegangan satu persatu dari piezoelektrik tanpa beban

Piezoelektrik	Penekanan Ke1(VAC)	Penekanan Ke2(VAC)	Penekanan Ke3(VAC)
1	4.66	8.73	6.23
2	6.76	7.39	1.30
3	5.82	9.39	7.64
4	5,81	16,5	3,23
5	6,44	17,5	5,67
6	14,4	1,81	2,64
7	6,16	10,4	1,14
8	9,22	3,99	18,3
9	3,91	6,69	12,6
10	11,7	7,85	9,50
11	4,70	7,35	4,51
12	3,72	15,4	4,92
13	5,12	11,9	1,33
14	7,20	2,97	6,56
15	4,01	5,56	7,05
16	5,44	7,40	16,1
17	4,02	3,78	9,30
18	1,55	9,25	7,03
19	6,14	13,1	8,44
20	10,3	6,00	6,16
21	10,9	2,19	5,15

Piezoelektrik	Penekanan Ke1(VAC)	Penekanan Ke2(VAC)	Penekanan Ke3(VAC)
22	12,1	1,56	3,47
23	3,18	5,12	11,4
24	8,41	2,36	4,08
25	3,45	11,4	8,18

Berdasarkan tabel 1 dapat dijelaskan bahwa pada saat pengukuran tegangan satu persatu dari piezoelektrik tanpa beban dengan 3 kali penekanan pada setiap 1 piezoelektrik, dapat dilihat bahwa piezoelektrik menghasilkan tegangan nilai yang bervariasi hal ini disebabkan karena tekanan yang di terima pada setiap percobaan piezoelektrik juga bervariasi.

- Pengukuran tegangan dari speed bump piezoelektrik dengan pemberian penekan energi mekanik kendaraan.

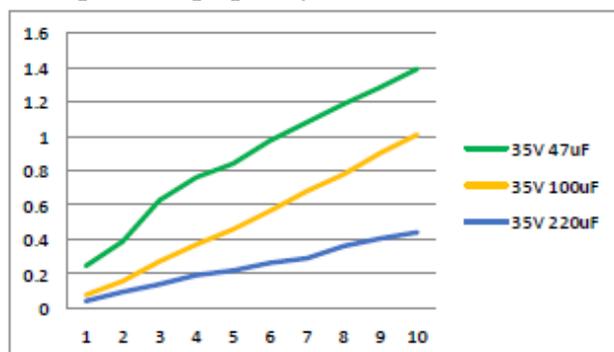
Tabel II

Pengukuran tegangan dari alat dengan pemberian beban

Penekanan	Tegangan Keluar (VAC)
1	7,37
2	6,97
3	4,71
4	5,13
5	7,48
6	6,37
7	10,6
8	8,30
9	8,75
10	6,85

Berdasarkan tabel 2 dapat dijelaskan bahwa ketika pengukuran tegangan dari speed bump piezoelektrik dengan pemberian penekan energi mekanik dari kendaraan sebanyak 10 kali penekanan didapatkan nilai tegangan yang berbeda beda dari setiap penekanan. Hal ini dikarena energi tekan dari kendaraan yang diterima speed bump bervariasi.

- Pengukuran tegangan kapasitor



Gambar 9. Grafik perbandingan tegangan keluaran pada kapasitor

Berdasarkan grafik pada gambar 9 dapat dijelaskan bahwa nilai kapasitansi kapasitor berbanding terbalik dengan nilai tegangan keluaran kapasitor. Sehingga semakin besar nilai kapasitansi kapasitor maka nilai tegangan yang keluar semakin kecil pada setiap penekanan, dan sebaliknya.

- Pengukuran pengukuran tegangan dan arus dari speed bump piezoelektrik dengan penyearah dan beban yang diberi penekanan energi mekanik kendaraan

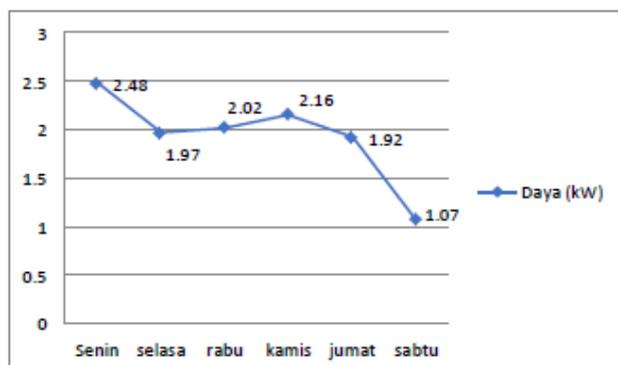
Tabel III

Daya keluaran dari speed bump piezoelektrik

Penekanan	Daya (W)
1	1,20
2	0,01
3	0,03
4	0,06
5	0,04
6	0,10
7	2,07
8	0,95
9	0,10
10	0,54
11	0,90
12	0,19
13	1,14
14	0,06
15	0,14
16	0,09
17	0,05
18	0,32
19	0,14
20	1,18
21	0,09
22	0,05
23	2,87
24	1,22
25	0,05
26	0,01
27	1,33
28	0,18
29	1,94
30	0,01

C. Energi yang Dihasilkan Speed Bump pada Kampus Universitas Borneo Tarakan

Berdasarkan gambar 10. dibawah dapat dijelaskan bahwa banyaknya jumlah mobilitas kendaraan mempengaruhi jumlah energi yang dikeluarkan oleh speed bump piezoelektrik, dimana jumlah mobilitas kendaraan dengan energi yang dihasilkan oleh speed bump piezoelektrik berbanding lurus, sehingga semakin banyak jumlah mobilitas kendaraan semakin besar juga energi yang dihasilkan dan sebaliknya.



Gambar 10. Energi yang dihasilkan *speed bump* piezoelektrik pada kampus universitas borneo tarakan perhari

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Speed bump piezoelektrik ini berpotensi mengeluarkan energi yang dihasilkan dari energi kinetik setiap kendaraan dan energi kinetik dari setiap kendaraan sangat mempengaruhi tegangan dan arus keluaran dari speed bump piezoelektrik sehingga pada setiap percobaan menghasilkan nilai keluaran yang bervariasi.
2. Hasil energi dari keluaran speed bump piezoelektrik setiap penekanan menghasilkan nilai rata rata tegangan 4,78V, arus 0,10A dengan daya 0,47W, dan hasil energi yang dihasilkan pada Kampus Universitas Borneo Tarakan setiap perharinya Senin, Selasa, Rabu, Kamis Jumat dan Sabtu adalah 2,48kW, 1,97kW, 2,02kW, 2,16kW, 1,92kW dan 1,07kW.

REFERENSI

- [1] Maulana, R. (2016), Pemanfaatan Sensor Piezoelektrik Sebagai Penghasil Sumber Energi Pada Sepatu, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Yulia, E. (2016), Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor. Vol. 8, No. 1.
- [3] Simbolon, R. I. (2018), Rancang Bangun Taganing Elektrik Menggunakan Sensor Piezoelektrik dengan Algoritma Fuzzy Logic Berbasis Arduino Mega, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [4] Al-Faruqi, M. J. (2016), Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Speed Bump Sebagai Sumber Energi Alternatif, Politeknik Negeri Padang, Padang.
- [5] Irfandi, M. (2015), Pengisian Baterai Handphone Berbasis Piezoelektrik, Politeknik Negeri Batam, Batam.

EVALUASI PERANCANGAN INSTALASI LISTRIK PADA GEDUNG SEKOLAH DASAR NEGERI 035 KOTA TARAKAN

Imam Prasetyo¹, Sugeng Riyanto²

¹PT Tarakan Elektrik Brother's, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

² Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹tiyopbajau09@gmail.com

²sugeng@borneo.ac.id

Abstract— *Electricity has a very important role in everyday life. The more population increases, the greater the electrical energy needed to meet these needs. We can see this from everyday life, almost every building requires electrical energy such as schools or campuses, offices, hospitals, hotels, and so on. In operation, these high-rise buildings definitely require a good and quality lighting installation design system. A lighting installation is an electrical installation whose load is a lighting component. The lighting installation circuit consists of several electrical components that are interconnected from the power source to the load located in a certain place or room.*

Lighting installations are generally assembled from several points of light so that a system can be formed that has the function of illuminating a place. To design a circuit system for lighting installations, we must have an installation plan so that we have a reference for installing the installation. In addition, a lighting installation can function properly and safely if it meets the safety and conductor selection requirements.

Therefore, a planner must fully understand the regulations that apply to each installation of electrical installations, especially lighting installations. To find out the general requirements for electrical installations in order to be able to design a circuit that is safe and good, it can be guided by the 2011 General Electrical Installation Requirements (PUIL) standard.

The evaluation of the electrical installation in the 035 elementary school building in Tarakan city produced a total power from the 1st, 2nd floor and outer toilets of 4,636 Watt (4.63) KW with a main panel MCCB capacity of 20 A. on each floor using 1 phase voltage, then it will be grouped into several groups. The group is the lighting group. The total power on the 1st floor is 2,554 Watt (2.55 KW), for the 2nd floor it is 1,938 (1.93 KW) and on the outside toilet building it is 144 W. The type and cross-sectional area of the cable used for each floor is NYY 3 x 2, 5mm². For a grounding value of 2.6 Ω, and a voltage drop of 5% can be guided by the 2011 General Electrical Installation Requirements (PUIL) standard.

Keywords— *Electricity, Lighting Installation, Puil 2011*

Intisari— Listrik memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Semakin bertambahnya jumlah penduduk maka semakin besar pula energi listrik yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Hal ini bisa kita lihat dari kehidupan sehari-hari, hampir setiap bangunan membutuhkan energi listrik seperti sekolah atau kampus, perkantoran, rumah sakit, hotel, dan sebagainya. Dalam operasionalnya, gedung-gedung bertingkat tersebut pasti memerlukan sistem perancangan instalasi penerangan yang baik dan berkualitas. Instalasi penerangan merupakan suatu instalasi listrik yang bebannya merupakan komponen penerangan. Rangkaian instalasi penerangan terdiri dari

beberapa komponen listrik yang saling terhubung dari sumber listrik ke beban yang terletak pada suatu tempat atau ruangan tertentu.

Instalasi penerangan umumnya dirangkai dari beberapa titik cahaya sehingga dapat terbentuk suatu sistem yang mempunyai fungsi untuk menerangi suatu tempat. Untuk merancang suatu sistem rangkaian untuk instalasi penerangan, kita harus mempunyai rencana pemasangan sehingga mempunyai acuan dalam pemasangan instalasi tersebut. Selain itu suatu instalasi penerangan dapat berfungsi dengan baik dan aman apabila memenuhi syarat pemilihan pengaman dan juga penghantar.

Maka dari itu, seorang perencana haruslah memahami betul peraturan-peraturan yang berlaku untuk setiap pemasangan instalasi listrik khususnya pada instalasi penerangan. Untuk mengetahui persyaratan umum instalasi listrik agar dapat merancang suatu rangkaian yang aman dan baik, dapat berpedoman pada standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011.

Evaluasi instalasi listrik pada bangunan sekolah dasar 035 kota tarakan menghasilkan total daya dari bangunan lantai 1, 2, dan wc bagian luar sebesar 4.636 Watt (4.63) KW dengan kapasitas MCCB panel utama 20 A . pada setiap lantai menggunakan tegangan 1 fasa, kemudian akan di kelompokkan menjadi beberapa grup. Grup nya yaitu grup penerangan. Untuk total daya pada lantai 1 sebesar 2.554 Watt (2,55 KW), untuk lantai 2 sebesar 1.938 (1.93 KW) dan pada bangunan wc luar sebesar 144 W. Pada jenis dan luas penampang kabel yang digunakan setiap lantai adalah NYY 3 x 2,5 mm². Untuk nilai pentanahan sebesar 2,6 Ω, dan pada nilai susut tegangan sebesar 5% dapat berpedoman pada standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011.

Kata Kunci— Listrik, Instalasi Penerangan, Puil 2011

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kehidupan manusia tak lepas dari yang namanya teknologi dengan energi listrik sebagai penopangnya. Listrik digunakan di berbagai sektor kehidupan dalam rangka menunjang aktifitas kehidupan. Namun dalam penggunaan energi listrik, perlu memperhatikan perawatan dan pembaharuan pada instalasi listriknya, yang dapat menyebabkan resiko berbahaya bagi pemakainya. Dalam instalasi listrik terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya material instalasi atau bahan, pemasangan instalasi, maupun standarisasi peraturan yang menyangkut tentang instalasi.

Tujuan utama diadakanya peraturan-peraturan yang mengikat mengenai pemasangan instalasi listrik adalah

agar terselenggaranya instalasi yang benar-benar layak. Sehingga aman bagi manusia, gedung beserta isinya, juga instalasinya sendiri. Peraturan-peraturan ini tertuang dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) Tahun 2011.

Penerangan yang baik dan memadai memegang peranan penting dalam suatu gedung atau bangunan agar pekerjaan yang berlangsung di dalamnya dapat dijalankan secara efisien dan aman. Selain itu, penerangan yang cukup dan baik akan berguna pula untuk menciptakan suasana yang nyaman dan menyenangkan [8]. Faktor-faktor yang harus diperhatikan didalam perencanaan instalasi listrik untuk penerangan adalah:

1. Kenyamanan (*Comfortable*)

Untuk memberikan kenyamanan mata didalam menikmati atau melaksanakan sesuatu kegiatan tanpa adanya akomodasi yang berlebihan, yang dimaksud adalah memberikan jarak pandang mata yang baik dan kenyamanan kepada pemakainya.

2. Keindahan (*Estetika*)

Selain faktor jarak pandang mata yang baik dan kenyamanan, diperlukan juga faktor keindahan yang mana kedua faktor tersebut dapat saling mendukung serta saling mengisi satu sama lainnya, sehingga dapat diselaraskan mengingat keduanya sangat penting.

3. Ekonomis. (*Economise*).

- Investasi murah adalah dengan pemanfaatan instalasi listrik yang sebaik mungkin, untuk selalu diusahakan biaya semurah atau seefisien mungkin dengan pelayanan listrik yang sebaik-baiknya, yaitu dengan cara tidak menggunakan material atau peralatan instalasi yang spesifikasinya dan kegunaannya melebihi dari keperluan, kecuali apabila benar-benar lebih murah dan ekonomis.
- Memenuhi persyaratan teknis. Syarat-syarat teknis dalam merencanakan instalasi listrik adalah:
 - a) Aman bagi manusia (konsumen), hewan, barang, serta lingkungan disekitarnya.
 - b) Material yang digunakan atau dipasang harus mempunyai kualitas yang baik.

Berdasarkan permasalahan diatas maka peneliti ingin melakukan evaluasi perancangan instalasi pada gedung sekolah dengan cara membandingkan instalasi dan data beban dengan PUIL 2011. Uji kelayakan instalasi listrik juga dapat digunakan untuk mengurangi resiko berbahaya yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi kerugian (losses) arus bocor sehingga dapat mengoptimalkan pemakaian energi listrik.

II. LANDASAN TEORI

A. Instalasi Listrik

Instalasi listrik adalah jaringan atau saluran yang rangkaianannya satu sama yang lain saling terhubung ke beban. Instalasi listrik terbagi beberapa golongan diantaranya adalah:

1. Instalasi Domestik (rumah tinggal) adalah Instalasi listrik untuk rumah tinggal, rumah kontrakan, rumah susun.
2. Instalasi Non Domestik adalah instalasi listrik untuk sosial, bisnis dan publik:

- Sosial: Rumah sakit, rumah ibadah, rumah panti sosial, rumah pusat rehabilitasi cacat, rumah (tempat asrama) pelajar milik pemerintah.
 - Bisnis: Perhotelan, perbankan, pergudangan, dan perkantoran pertamina.
 - Publik: Perkantoran pemerintah atau perkantoran dinas sosial.
3. Spesifikasi dan tempatnya instalasi listrik terbagi dua diantaranya adalah:
- Instalasi listrik didalam gedung. Instalasi listrik didalam gedung adalah instalasi listrik yang pekerjaannya meliputi: instalasi listrik pada rumah tinggal, instalasi listrik perkantoran dan instalasi listrik rumah sakit, dimana penerangannya meliputi setiap ruangan, teras, koridor dan lain-lainnya.
 - Instalasi listrik diluar gedung. Instalasi listrik diluar gedung adalah instalasi listrik yang pekerjaannya diluar gedung yaitu instalasi listrik penerangan halaman rumah, taman, jalan dan lain-lainnya.

B. Instalasi Penerangan

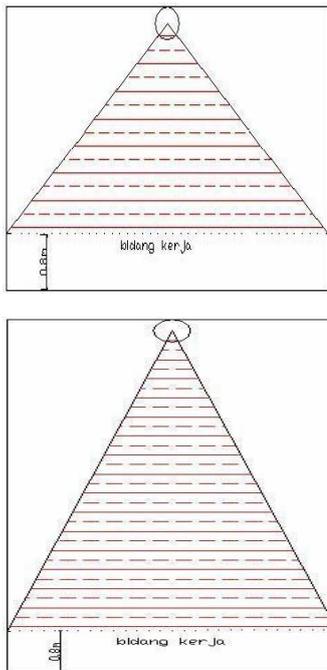
Perancangan penginstalasian listrik pada bangunan haruslah mengacu pada peraturan yang berlaku sesuai PUIL dan Undang – Undang Ketenagalistrikan tahun 2002. Pada gedung bertingkat biasanya membutuhkan energy listrik yang cukup besar, oleh karena itu pendistribusian energi listriknya harus diperhitungkan sebaik mungkin agar energi listrik terpenuhi dengan baik sesuai dengan peraturan yang berlaku, sehingga pemakaian listrik tepat guna. Menurut Muhaimin (2001), beberapa hal-hal yang harus diperhitungkan yaitu sebagai berikut :

- Efisiensi Armaturnya (*v*)
Efisiensi sebuah armatur ditentukan oleh konstruksinya dan bahan yang digunakan. Dalam efisiensi penerangan selalu diperhitungkan efisiensi armaturnya.
- Faktor-faktor refleksi
Faktor-faktor refleksi dinding (*rw*) dan faktor refleksi langit-langit (*rp*) masing-masing menyatakan bagian yang dipantulkan dari fluks cahaya yang diterima oleh dinding dan langit-langit yang mencapai bidang kerja. Pengaruh dinding dan langit-langit pada sistem penerangan langsung jauh lebih kecil daripada pengaruhnya pada sistem-sistem penerangan lain, sebab cahaya yang jatuh pada dinding dan langit-langit hanya sebagian dari fluks cahaya.
- Indeks Ruang atau Indeks Bentuk
- Faktor Penyusutan / depresiasi (*d*)
Untuk memperoleh efisiensi penerangan dalam keadaan dipakai, nilai efisiensi yang didapat dari Tabel harus dikalikan dengan faktor penyusutan. Faktor penyusutan ini dibagi menjadi tiga golongan utama, yaitu
 1. Pengotoran ringan (daerah yang hampir tak berdebu)
 2. Pengotoran sedang / biasa
 3. Pengotoran berat (daerah banyak debu) Bila tingkat pengotoran tidak diketahui, maka faktor depresi yang digunakan ialah 0,8. (Muhaimin, 2001).

C. Perancangan Instalasi Penerangan

Intensitas penerangan ditentukan dengan jenis atau pekerjaan apa yang akan diterangi, salah satunya adalah pemasangan instalasi penerangan pada rumah, sekolah atau fasilitas umum. Bidang kerja umumnya diambil 80 cm di atas lantai. Bidang kerja ini sebuah meja atau bangku kerja, atau juga suatu bidang horisontal khayalan 80 cm di atas lantai. Intensitas penerangan yang diperlukan ditentukan oleh sifat pekerjaan yang harus dilakukan.

Gambar 2.1 menunjukkan intensitas penerangan untuk ruang dan jenis pekerjaan. Intensitas penerangan (E) dinyatakan dalam satuan lux, sama dengan jumlah lm/m^2 , jadi flux cahaya yang diperlukan untuk suatu bidang kerja seluas Am^2 . Flux cahaya yang dipancarkan lampu-lampu tidak semuanya mencapai bidang kerja. Sebagian flux cahaya itu akan dipancarkan ke dinding dan langit-langit (P Van. Harten, Ir. E. Setiawan).



Gambar 1. Pembagian Flux Cahaya

Pada proses pemancaran cahaya yang keluar dari suatu sumber cahaya berkaitan pada bentuk konstruksi sumber cahaya itu sendiri dan berhubungan dengan bentuk atau konstruksi armatur yang di gunakan. Untuk menghitung jumlah titik lampu pada ruangan, sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu data-data ruangan antara lain adalah sebagai berikut:

- Tinggi langit langit (t)
- Tinggi lampu terhadap bidang kerja (h)
- Tinggi bidang kerja kurang lebih 0,8 meter
Sehingga didapat persamaan rumus di bawah ini:

$$h = t - 0,8 \tag{1}$$

D. Indeks Ruang Dan Indeks Bentuk

Dalam buku P Van. Harten, Ir. E. Setiawan Indeks ruangan atau indeks bentuk (k) menyatakan perbandingan antara ukuran-ukuran utama suatu ruangan berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K = \frac{P \times l}{h \times (P+l)} \tag{2}$$

$$\eta = \eta_1 + \frac{K-K_1}{K_2-K_1} \times (\eta_2-\eta_1) \tag{3}$$

dengan:

K = Faktor induksi

η = Faktor penggunaan ruang

P = Panjang ruangan (m).

l = Lebar ruangan (m).

h = Tinggi sumber cahaya di atas bidang kerja (m).

Bidang kerja adalah suatu bidang horisontal khayalan umumnya 0,80 m di atas lantai. Nilai (k) yang diperoleh tidak terdapat dalam tabel efisiensi penerangannya dapat ditentukan dengan interpolasi.

Selanjutnya, setelah di ketahui nilai indeks ruangnya barulah bisa dihitung nilai efisiensi penerangannya dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \eta_1 + \frac{K-K_1}{K_2-K_1} \times (\eta_2-\eta_1) \tag{4}$$

dengan :

k = indeks bentuk

$k_1 k_2$ = indek ruang

$\eta_1 \eta_2$ = efesiensi indek ruang

η = efesiensi penerangan

E. Faktor Penyusutan/Depresiasi

Intensitas penerangan (E) dalam keadaan dipakai adalah intensitas penerangan rata-rata suatu instalasi dengan lampu-lampu dan armatur-armatur, yang daya gunanya telah berkurang karena kotor, sudah lama dipakai atau sebab-sebab lainnya. Efisiensi penerangannya yang diberikan pada tabel 2.1. Faktor depresiasinya 0,8 suatu instalasi yang dalam keadaan baru 250 lux, akan memberikan hanya 200 lux saja dalam keadaan sudah terpakai. Faktor penyusutan atau faktor depresiasi (d) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d = \frac{E \text{ dalam keadaan dipakai}}{E \text{ dalam keadaan baru}} \tag{5}$$

dengan :

d = depresiasi

E = intensitas penerangan

Armatur penerangan sebagian besar langsung	v	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru									Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan			
		r_p	0,7			0,5			0,3			1 tahun	2 tahun	3 tahun
	k	r_w	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1			
GCB	0,5	0,32	0,26	0,22	0,29	0,24	0,21	0,27	0,23	0,20				
2 x TLF 36W	0,6	0,37	0,31	0,27	0,35	0,30	0,26	0,32	0,28	0,25				
	0,8	0,46	0,41	0,36	0,43	0,38	0,35	0,40	0,36	0,33	0,90	0,80	0,75	
	1	0,53	0,48	0,44	0,49	0,45	0,42	0,46	0,42	0,39				
	1,2	0,58	0,52	0,48	0,54	0,49	0,46	0,50	0,46	0,43				
	1,5	0,62	0,58	0,54	0,58	0,54	0,51	0,54	0,51	0,48	0,80	0,75	0,70	
	22	2	0,68	0,64	0,60	0,63	0,59	0,57	0,58	0,55	0,53			
	↑ 2,5		0,71	0,67	0,64	0,66	0,63	0,60	0,61	0,59	0,57			
	87	3	0,73	0,70	0,67	0,68	0,65	0,63	0,63	0,61	0,59	X	X	X
	↓ 4		0,76	0,74	0,71	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62			
	65	5	0,78	0,76	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64			

Efisiensi penerangan untuk keadaan baru											Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan		
armatur	v	0,7			0,5			0,3			1 tahun	2 tahun	3 tahun
		k	r _w	r _m	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1			
	%	r _m	0,1	0,1			0,1						
LAMPU SL 20 W 	0,5	0,23	0,18	0,14	0,20	0,16	0,12	0,18	0,14	0,11			
	0,6	0,27	0,21	0,17	0,24	0,19	0,15	0,20	0,16	0,13			
	0,8	0,34	0,28	0,23	0,29	0,24	0,20	0,25	0,21	0,18	0,85	0,80	
	1	0,39	0,33	0,28	0,34	0,29	0,25	0,29	0,25	0,21		X	
	1,2	0,43	0,37	0,32	0,37	0,32	0,28	0,31	0,27	0,24			
	1,5	0,47	0,41	0,36	0,41	0,36	0,32	0,35	0,31	0,28	0,80	0,70	
	38 2	0,52	0,47	0,42	0,45	0,41	0,37	0,39	0,35	0,32			
	↑ 2,5	0,56	0,51	0,47	0,48	0,44	0,41	0,41	0,38	0,35			
	81 3	0,59	0,54	0,50	0,51	0,47	0,44	0,43	0,41	0,38	X	X	
	↓ 4	0,62	0,58	0,55	0,54	0,51	0,48	0,46	0,44	0,42			
43 5	0,65	0,61	0,58	0,56	0,54	0,51	0,48	0,46	0,44				

Gambar 2. Efisiensi penerangan dalam keadaan baru

F. Penerangan Dalam Ruang

Didalam suatu ruangan yang harus diperhatikan adalah penerangan lampu dan jumlah lampu pada suatu ruangan tersebut sehingga pencahayaan dalam ruangan tersebut dapat menghasilkan pencahayaan yang maksimal, maka ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$n = \frac{E \times A}{\phi \times \eta \times d} \tag{6}$$

dengan :

- n = Jumlah titik beban (lampu).
- E = Intensitas penerangan/iluminasi.
- A = Luas ruangan (panjang x lebar = m²).
- Φ = Flux cahaya lampu (lumen)

G. Menentukan Kemampuan Hantar Arus

Dalam bukunya P Van.Harten, Ir E Setiawan Untuk menentukan kemampuan hantar arus pengaman dan luas penampang penghantar yang diperlukan, pertama-tama harus menentukan arus yang digunakan berdasarkan daya beban yang terhubung. Untuk pengaman pada pembagian tiap group (kelompok) instalasi listrik satu fasa dengan tegangan 220 volt, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_n = \frac{P}{V \times \text{Cos } \phi} \tag{7}$$

$KHA = 125\% \times I_n$

Dengan:

- P = Daya (watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I_n = Arus nominal (Ampere)
- Cos φ = Faktor daya

H. Luas Penampang Kabel

Luas penampang pada perencanaan instalasi listrik harus memenuhi standart dan ukuran yang telah ditentukan menurut PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) maupun pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{2 \times i \times l \times \text{Cos } \phi}{\gamma \times u} \tag{8}$$

dengan :

- A = Luas penampang penghantar yang digunakan (m²)
- γ = Daya hantar jenis dari bahan penghantar : (Untuk tembaga = 56 × 10⁶ S/m)
- ℓ = Panjang penghantar (m)
- I = Arus beban (A)
- u = Rugi tegangan dalam penghantar (V)
- Cos φ = Faktor daya.

I. Susut Tegangan

Susut tegangan atau rugi tegangan terjadi karena adanya pergeseran arus listrik dengan saluran yang dialiri arus listrik tersebut, karena saluran utama terdiri dari hantaran dan hantaran tersebut mempunyai hambatan serta induktansi. Setelah merancang instalasi listrik dan penerangan, maka susut tegangan di uji melalui standar susut tegangan yang di tetapkan PUIL 2011 dan susut tegangan tidak boleh melebihi 5% dari tegangan pengenal pada terminal konsumen (PUIL 2011), maka secara matematis susut tegangan atau rugi tegangan dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\Delta V = [2 \times I \times (R_L \text{cos } \phi + X_L \text{sin } \phi) \times L] / 1000 \tag{9}$$

dengan :

- ΔV = susut tegangan (V)
- I = Arus beban penuh pada saluran (A)
- L = panjang saluran (m)
- R_L = Resistansi saluran (Ω/m)
- X_L = Reaktansi saluran (Ω/m)

J. Pentanahan (Grounding)

Pentanahan (grounding) merupakan cara mengamankan peralatan atau rangkaian instalasi listrik dengan cara mentanahkan rangkaian atau badan peralatan yang akan diamankan dengan cara dihubungkan ke tanah. Proses ini bertujuan agar dapat menghindari tegangan sentuh akibat tegangan lebih (over voltage) baik dari dalam sistem maupun luar sistem seperti contohnya akibat sambaran petir.

Pada nilai pentanahan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis tanah, lapisan tanah dan kandungan elektrolit tanah. Berbagai macam pengaruh yang dapat dilihat pada tabel merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi. Dapat dilihat pada Tabel I dibawah ini:

Tabel I
Jenis tanah dan Tahanan tanah

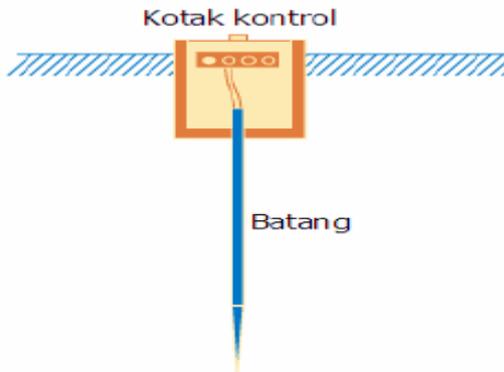
Jenis tanah pentanahan	Tahanan jenis tanah (Ω)
Tanah rawa	30
Tanah liat	100
Tanah Pasir basah	200
Tanah batu kerikil basah	500
Tanah pasir dan kerikil kering	1000
Tanah batu	3000

Sumber : (PUIL 2011)

K. Elektroda batang (Rod)

Elektroda batang merupakan elektroda yang terbuat dari besi atau baja profil yang dipasang secara tegak lurus masuk kedalam tanah. Umumnya digunakan batang tembaga atau bisa juga pipa galvanis dengan diameter minimal 1 inc sampai 2 inc, elektroda batang adalah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah.

Selain itu keuntungan dari penggunaan elektroda jenis batang (rod) secara teknis mudah pemasangannya karena hanya perlu menancapkan bagian batang elektroda pada tanah.



Gambar 3. Elektroda batang (Rod)

Rumus Untuk mencari nilai tahanan pentanahan pada elektroda batang adalah :

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right] \tag{10}$$

Untuk memperkecil tahanan pentanahan maka pemasangan elektroda batang dapat dihubung paralel dengan jarak antara elektroda tersebut minimum harus dua kali panjangnya (PUIL 2000 ,h. 81).

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \tag{11}$$

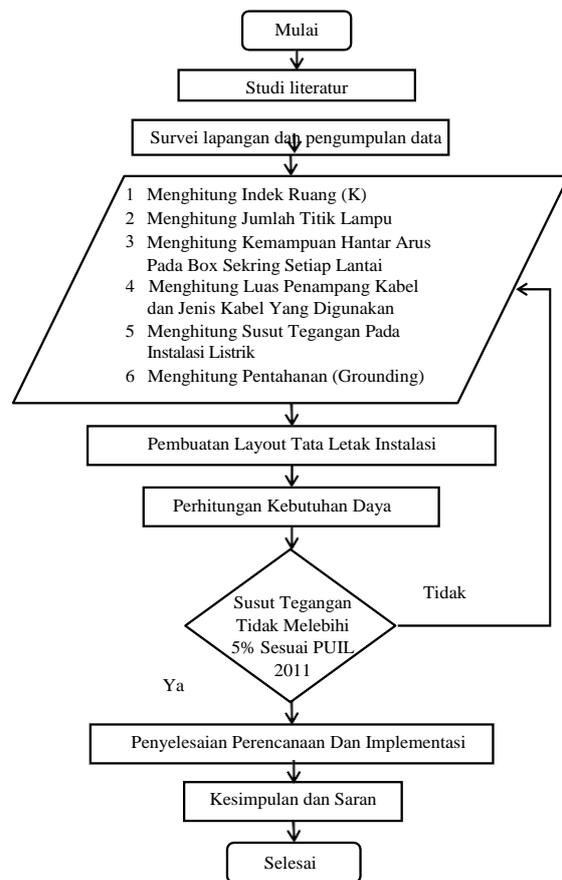
dengan :

- R_G = Tahanan pentanahan (Ohm)
- ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)
- \ln = Logaritmus (dasar e = 2,7182818)
- L_R = Panjang elektroda (meter)
- A_R = Diameter elektroda (meter)

III. METODE PENELITIAN

A. Kerangka Konsep Perencanaan

Kerangka konsep perencanaan instalasi listrik ini adalah dalam bentuk diagram alir Pada diagram alir dijelaskan tentang dari perencanaan instalasi listrik adalah menghitung luas ruangan, menghitung indeks ruang, menghitung jumlah titik beban (lampu), menghitung kemampuan hantar arus tiap lantai, menghitung luas penampang dan jenis kabel yang di gunakan, menghitung susut tegangan (*drop voltase*) tegangan dan menghitung pentanahan (*grounding*) pada denah gedung sekolah dasar 035 kota tarakan yang akan dikerjakan.



Gambar 4. Flowchart

B. Langkah-Langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Langkah ini bertujuan mempelajari dan memahami berbagai sumber (jurnal, buku, dll) mengenai data instalasi listrik, data beban berdasarkan standar PUIL 2011.
2. Pengambilan Data Lapangan
Langkah ini bertujuan agar daya yang disuplai dari PLN dapat digunakan secara maksimal pada penggunaan beban di sekolah dasar 035 Tarakan.
3. Evaluasi Data Lapangan Berdasarkan Standar PUIL 2011
Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi instalasi listrik yang terpasang mengacu pada data yang telah diperoleh dari observasi, wawancara, perhitungan dan pengamatan langsung di lokasi penelitian.

C. Tahapan Evaluasi Data Berdasarkan PUIL 2011

Evaluasi dilakukan bertujuan untuk mengetahui apakah sistem instalasi listrik di gedung sekolah dasar 035 Tarakan terpasang sudah sesuai dengan standar yang berlaku. Evaluasi dilakukan agar daya pada gedung sekolah dasar 035 Tarakan dapat digunakan atau difungsikan secara maksimal dengan mengetahui nilai maksimal arus pada MCB yg ditetapkan pada gedung. Evaluasi dilakukan agar mengetahui apakah bahan-bahan instalasi listrik yang di pasang di gedung sekolah dasar 035 Tarakan, sudah sesuai standar PUIL 2011 atau belum

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karena perhitungannya banyak dan berulang, maka akan disajikan satu contoh perhitungan yang sama:

1. Koridor B (Lantai 2)
 - Panjang ruangan (m) : 9 m
 - Lebar ruangan (m) : 3 m
 - Luas ruangan (m²) : 27 m²
 - Tinggi armatur- bidang kerja (h)(m) : 2,55 m
 - Intensitas penerangan (E) (Lux) : 150 Lux
 - Faktor penyusutan (d) : 0,8
 - Untuk selanjutnya dihitung :

D. Menentukan tinggi lampu penerangan terhadap bidang kerja (h) :

$$h = t - \text{tinggi bidang kerja}$$

$$h = 3,35 - 0,8 \text{ meter}$$

$$= 2,55 \text{ meter (Tinggi armatur terhadap bidang kerja)}$$

E. Menentukan indeks ruang (k):

$$k = \frac{p \cdot l}{h(p + l)}$$

$$= \frac{9 \cdot 3}{2,55(9+3)}$$

$$= 0,88 \text{ (indeks ruang atau indeks bentuk)}$$

dengan :

$$h = \text{Tinggi armatur terhadap bidang kerja (m)}$$

$$t = \text{Tinggi Langit-Langit (m)}$$

$$k = \text{indeks ruang atau indeks bentuk}$$

$$p = \text{Panjang Ruangan (m)}$$

$$l = \text{Lebar ruangan (m)}$$

F. Menentukan faktor-faktor refleksi penerangan (Tabel 2.2).

$$r_p = \text{Faktor refleksi Langit-langit (0.5)}$$

$$r_w = \text{Faktor refleksi dinding (0.3)}$$

$$r_m = \text{Faktor refleksi bidang pengukuran/lantai (0.1)}$$

Maka didapatkan:

$$k = 0,88$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 1$$

$$\eta_1 = 0,34$$

$$\eta_2 = 0,39$$

D. Efisiensi penerangan untuk nilai indeks ruang/bentuk (k) pada penggunaan lampu SL adalah :

$$\eta = \eta_1 + \frac{k - k_1}{k_2 - k_1} (\eta_2 - \eta_1)$$

$$\eta = 0,34 + \frac{0,88 - 0,8}{1 - 0,8} (0,39 - 0,34)$$

$$\eta = 0,38 \text{ (Efisiensi penerangan)}$$

G. Menentukan faktor depresiasi (d) :

$$d = \frac{E \text{ dalam keadaan dipakai}}{E \text{ dalam keadaan baru}} = \frac{120}{150} = 0,8 \text{ (faktor depresiasi)}$$

H. Menggunakan & lampu SL 1 x 21 Watt,(1 x 2100 lumen),dengan faktor depresiasi pada lampu SL 0,8

$$n = \frac{E \cdot A}{\Phi \cdot \eta \cdot d}$$

$$= \frac{150 \cdot 27}{2100 \cdot 0,38 \cdot 0,8}$$

$$= 6 \text{ Lampu}$$

Dari hasil perhitungan lampu yang di dapatkan $n = 6$ dimana n adalah jumlah titik lampu.

dengan :

$$n = \text{Jumlah lampu atau armatur}$$

$$E = \text{Intensitas penerangan (Lux)}$$

$$A = \text{Luas ruangan}$$

$$\Phi = \text{Flux cahaya lampu (lumen)}$$

$$d = \text{Faktor penyusutan atau depresiasi}$$

A. Perhitungan Perhitungan I_n, KHA dan Luas Penampang Kabel Penerangan Pada SDN 035 Kota Tarakan

RKB 4 (Ruang kelas belajar 4) (Lantai 1)

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} = \frac{348}{220 \cdot 0,8} = 1,97 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 1,97 \cdot 1,25 = 2,46 \text{ A}$$

$$\text{Panjang Kabel } (\ell) = (\text{PHB ke Beban}) = 24 \text{ m}$$

RKB 5 (Ruang kelas belajar 5) (Lantai 1)

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} = \frac{348}{220 \cdot 0,8} = 1,97 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 1,97 \cdot 1,25 = 2,46 \text{ A}$$

$$\text{Panjang Kabel } (\ell) = (\text{PHB ke Beban}) = 32 \text{ m}$$

RKB 6 (Ruang kelas belajar 6) (Lantai 1)

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} = \frac{348}{220 \cdot 0,8} = 1,97 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 1,97 \cdot 1,25 = 2,46 \text{ A}$$

$$\text{Panjang Kabel } (\ell) = (\text{PHB ke Beban}) = 40 \text{ m}$$

RTU (Ruang tata usaha) (Lantai 1)

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} = \frac{464}{220 \cdot 0,8} = 2,63 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 2,63 \cdot 1,25 = 3,28 \text{ A}$$

$$\text{Panjang Kabel } (\ell) = (\text{PHB ke Beban}) = 22 \text{ m}$$

RKS 1&2 (Ruang kepala sekolah 1&2) (Lantai 1)

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} = \frac{464}{220 \cdot 0,8} = 2,63 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 2,63 \cdot 1,25 = 3,28 \text{ A}$$

$$\text{Panjang Kabel } (\ell) = (\text{PHB ke Beban}) = 45 \text{ m}$$

WC Pria & Wanita (Lantai 1)

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} = \frac{36}{220 \cdot 0,8} = 0,24 \text{ A} \approx 1 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 0,24 \cdot 1,25 = 0,3 \text{ A}$$

$$\text{Panjang Kabel } (\ell) = (\text{PHB ke Beban}) = 14 \text{ m}$$

Koridor A,B, & C (Lantai 1)

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} = \frac{546}{220 \cdot 0,8} = 3,1 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 3,1 \cdot 1,25 = 3,87 \text{ A}$$

$$\text{Panjang Kabel } (\ell) = (\text{PHB ke Beban}) = 105 \text{ m}$$

Menghitung Luas penampang kabel 1 Fasa Penerangan (Lantai 1)

$$A = \frac{2 \cdot \cos\phi}{\gamma \cdot u} \text{ jumlah } (i \cdot \ell)$$

$$= \frac{2 \cdot 0,8}{56,2 \cdot 10^6 \cdot 5\% \cdot 220} (1,97 \cdot 24) + (1,97 \cdot 32) + (1,97 \cdot 40) + (2,63 \cdot 22)$$

$$+ (2,63 \cdot 45) + (0,24 \cdot 14) + (3,1 \cdot 105)$$

$$= \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 694,19}{56,2 \cdot 10^6 \cdot 5\% \cdot 220}$$

$$= 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m} \approx 2,5 \text{ mm}$$

dengan:

- A = Luas penampang penghantar yang digunakan
- γ = tahanan jenis penghantar (tembaga = $56,2 \times 10^6$)
- ℓ = Panjang penghantar (m)
- I = Arus nominal (I_n)
- u = Rugi-rugi tegangan dalam penghantar 5% (Puil 2011)
- $\text{Cos}\varphi$ = Faktor daya

B. Perhitungan Perhitungan Susut Tegangan

Hasil Perhitungan Susut Tegangan Pada Bangunan Lantai 1,2 dan WC bagian luar dapat diketahui melalui data sebagai berikut :

Susut Tegangan pada lantai 1 dengan asumsi $\text{cos } \varphi = 0,8$ dan panjang saluran 1 = 282 m = 0,282 km

$$\Delta V = [2 \times I \times (R_L \cos \varphi + X_L \sin \varphi) \times l]$$

$$= 2 \times 7,25 \times 0,813 \times 0,282$$

$$= 3,32 \text{ Volt}$$

Susut Tegangan pada lantai 2 dengan asumsi $\text{cos } \varphi = 0,8$ dan panjang saluran 2 = 223 m = 0,223 km

$$\Delta V = [2 \times I \times (R_L \cos \varphi + X_L \sin \varphi) \times l]$$

$$= 2 \times 5,50 \times 1,62 \times 0,223$$

$$= 3,97 \text{ Volt}$$

Susut Tegangan pada bangunan WC luar dengan asumsi $\text{cos } \varphi = 0,8$ dan panjang saluran 3 = 54 m = 0,054 km

$$\Delta V = [2 \times I \times (R_L \cos \varphi + X_L \sin \varphi) \times l]$$

$$= 2 \times 0,4 \times 2,43 \times 0,054$$

$$= 0,10 \text{ Volt}$$

Tegangan di KWH meter terjauh :

$$= 3,32 + 3,97 + 0,10 = 7,39$$

$$= 220 - 7,39 = 212,61 \text{ Volt}$$

Jadi presentasi tegangan drop adalah :

$$= \frac{220 - 212,61}{220} \times 100\% = 3,35\%$$

C. Perhitungan Perhitungan pentanahan (grounding) instalasi

- Tahanan jenis tanah (ρ)=100 Ω (Tanah liat)
- Panjang Elektroda (L_R)=4 meter (Elektroda batang/pasak)
- Diameter Elektroda (A_R)=16 mm $\approx 0,016$ meter

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 4} \left[\ln \left(\frac{4 \cdot 4}{0,016} \right) - 1 \right]$$

$$= 26,49 \Omega$$

dengan :

- R_G = Tahanan pentanahan (Ohm)
- ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)
- \ln = Logaritmus (dasar e = 2,7182818)
- L_R = Panjang elektroda (meter)
- A_R = Diameter elektroda (meter)

Karena didapatkan hasil pentanahan yang besar maka dapat diperkecil dengan cara menggunakan persamaan hubung paralel:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{26,49} + \frac{1}{26,49} + \frac{1}{26,49} + \frac{1}{26,49} + \frac{1}{26,49}$$

$$\frac{1}{26,49} + \frac{1}{26,49} + \frac{1}{26,49} + \frac{1}{26,49} + \frac{1}{26,49}$$

$$= 2,6 \Omega$$

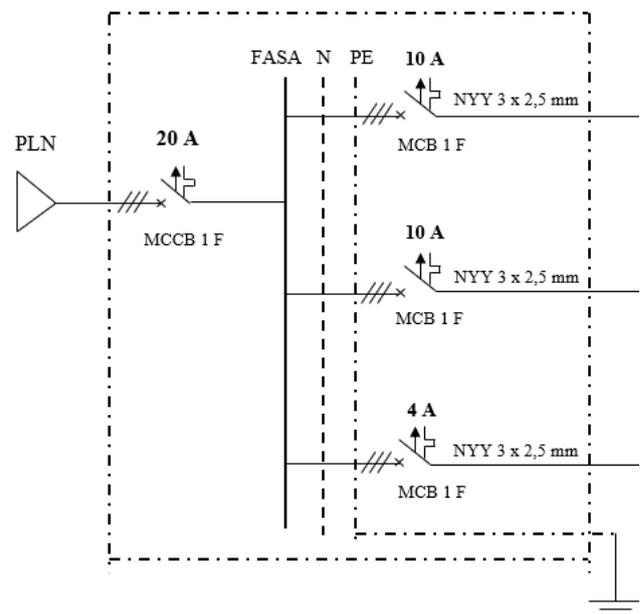
D. Rekapitulasi daya Panel Utama (MDP)

Lantai1(grup lampu) $I_n = \frac{P}{2 \cdot V \cdot \text{cos}\varphi} = \frac{2,554}{2 \cdot 220 \cdot 0,8} = 7,25 \text{ A} \approx 8 \text{ A}$ KHA = $I_n \cdot 125\% = 7,25 \cdot 1,25 = 9,06 \text{ A}$ →

Lantai2(grup lampu) $I_n = \frac{P}{2 \cdot V \cdot \text{cos}\varphi} = \frac{1,938}{2 \cdot 220 \cdot 0,8} = 5,50 \text{ A} \approx 6 \text{ A}$ KHA = $I_n \cdot 125\% = 5,50 \cdot 1,25 = 6,87 \text{ A}$ →

Bangunan WC bagian Luar (grup lampu) $I_n = \frac{P}{2 \cdot V \cdot \text{cos}\varphi} = \frac{144}{2 \cdot 220 \cdot 0,8} = 0,40 \text{ A} \approx 1 \text{ A}$ KHA = $I_n \cdot 125\% = 0,40 \cdot 1,25 = 0,51 \text{ A}$ →

Adapun hasil perhitungan I_n dan KHA didapatkan MCCB pengaman grup Lampu pada panel pembagi (MDP) bangunan Lantai 1,2 dan bangunan wc bagian luar sebesar 20 A (Ampere), dan dapat dilihat pada rekapitulasi daya panel utama (MDP) di bawah ini.



Gambar 5. MDP

I. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan yang telah didapatkan dari Perancangan instalasi listrik dengan menggunakan jaringan listrik PLN dengan pada bangunan gedung sekolah dasar 035 kota tarakan maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

- a. Total daya dari bangunan lantai 1,2 dan bangunan wc luar sebesar 4.636Watt atau 4.63 KW dengan kapasitas MCCB utama pada panel utama (MDP) sebesar 20 A.

- b. Pada setiap lantai masing-masing terdiri dari 1 fasa yang terhubung pada panel pembagi beban (SDP). Total daya masing-masing lantai adalah pada lantai 1 sebesar 2.554 Watt atau 2.55 KW, pada lantai 2 sebesar 1.938 Watt atau 1.93 KW, dan pada bangunan wc luar sebesar 144 Watt.
 - c. Di dalam panel SDP dibagi menjadi tiga grup penerangan dan dengan rincian MCCB grup penerangan 10 A bangunan lantai 1, dan 8 A pada bangunan lantai 2 dan bangunan wc bagian luar. Untuk MCCB pengaman utama panel pembagi beban (SDP) adalah sebesar 20 A.
 - d. Jenis dan Luas penampang kabel yang digunakan adalah NYY 3 x 2,5 mm pada MCCB utama panel utama (MDP), kemudian NYY 3 x 2,5 mm ke panel pembagi beban (SDP) dan NYY 3 x 2,5 mm dari panel pembagi beban (SDP) menuju ke masing-masing beban instalasi.
 - e. Nilai grounding instalasi didapatkan hasil 2,6 Ω dengan cara memparalel 10 elektroda batang.
 - f. Nilai susut tegangan (*Drop Voltase*) didapatkan hasil sebesar 5% dapat berpedoman pada standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011.
- [10] Sinaga, Joslen. 2019. *Perancangan Instalasi Listrik Pada Rumah Toko Tiga Lantai Dengan Daya 12 Kw*. Penerbit: Jurnal Teknologi energi UDA. Vol. VIII. No. 2
- [11] Steven, Sim. Jarman. 2014. *PUIL 2011*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan

REFERENSI

- [1] Cahyono, Taufiq.D. 2020. *Pelatiham Perancangan Instalasi Listrik Bangunan Sederhana*. Penerbit: Proceeding SENDIU. ISBN: 978-979-3649-72-6
- [2] Carles, R.A. Winarso. 2021. *Perancangan Kebutuhan Daya Dan Instalasi Listrik Pada Gedung Askrindo Bogor*. Penerbit: Jurnal Riset Rekayasa Elektro. Vol. 3. No. 1. P-ISSN: 2685-4341, E-ISSN: 2685-5313
- [3] Chandra, Juli.T. 2020. *Kajian Rancangan Instalasi Penerangan Pada Laboratorium Eksplorasi Dan Mekanika Batuan Politeknik Muara Teweh*. Penerbit: Jurnal EEICT. Vol. 3. No. 2. e-ISSN: 2615-2169, p- ISSN: 2654-4296
- [4] Hermansyah. 2019. *Evaluasi Keandalan Sistem Grounding Pada Instalasi Listrik Rumah Tinggal Di Kabupaten Bantaeng*. Penerbit: Jurnal Ilmiah d'Computare. Vol. 9
- [5] Khatimi, Husnul. Dkk. 2019. *Perencanaan Penataan Dan Pengembangan Instalasi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat*. Program Studi Magister Teknik Sipil ULM Banjarmasin. ISBN: 978623-7533-03-0
- [6] Mardiyah, Hikmatul. Dkk. 2016. *Evaluasi Instalasi Listrik Pada Rumah Sakit Berdasarkan PUIL 2011 (Suatu Studi Kasus Pada Rumah Sakit Swasta Di Jakarta Timur)*. Penerbit: Journal Of Electrical and Vocatinal Education and Technology. Vol. 1. No. 1
- [7] Mr. Colin, May. Jarman. 2016. *Keselamatan Dan Pemasangan Instalasi Listrik Voltase Rendah Untuk Rumah Tangga PUIL 2011 + Amandemen 1 (2011)*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan
- [8] Nurdiana, Nita. Dkk. 2018. *Konversi Lampu TL Ke Lampu LED (Studi Kasus: Jakabaring Shooting Range Jakabaring Sport City Palembang)*. Penerbit: Jurnal Ampere. Vol. 3. No. 2. P-ISSN: 2477-2755, E-ISSN: 2622-2981
- [9] Santoso, Iksan. 2014. *Perancangan Instalasi Listrik Pada Blok Pasar Modern Dan Apartemen Di Gedung Kawasan Pasar Terpadu Blimbing Malang*. SKRIPSI. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya

PERANCANGAN SENSOR $\cos \phi$ UNTUK MONITORING SEGITIGA DAYA PADA JARINGAN 1 FASA

Abdul Muis Prasetia¹, Sugeng Riyanto², Linda Sartika³, Suriad⁴

^{1,2,3}Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

⁴PT Tarakan Elektrik Brother's, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

*prasetia.electric@gmail.com

⁴suria.sur@gmail.com

Abstract—Electricity has a big role in day life. It is used for domestic appliances and industrial sector, many things are worked with the help of electricity. Thus, the quality of electrical energy supply is very important to get to know. There are three factors that affect the quality of electrical energy in the power triangle, there are voltage, electrical current, and electrical power ($\cos \phi$). The power triangle is a representation of the mathematical relation among different types of power, namely active power (Watts), reactive power (Var) and apparent power (VA). In the power triangle, the comparison between active power and apparent power is the power factor, it can be cause the power factor affects the value of the power triangle. So, there need a system that can measure the value of the power factor, there stand for reason the researcher designed a system that can be used to monitor $\cos \phi$ and power triangles on a 1-phase network. The method is designing the $\cos \phi$ sensor program and the power triangle monitoring system. The electrical load used is 1.7 H inductive load up to 6.920 Ohm resistive loads connected in parallel. The results of monitoring system design with an average error are 2.08% apparent power, 2.44% active power, 0.64% reactive power and $\cos \phi$ 0.43%.

Keywords—Cos phi, Triangle power, Monitoring.

Intisari—Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat diperlukan dan berperan penting di lingkungan masyarakat. Banyak peralatan yang membutuhkan energi listrik untuk mengoperasikannya, baik dalam skala rumah tangga maupun industri. Dengan demikian, kualitas pasokan energi listrik sangat penting untuk diketahui. Pada segitiga daya, faktor yang mempengaruhi kualitas energi listrik itu adalah tegangan, arus dan faktor daya ($\cos \phi$). Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematik antara tipe-tipe daya yang berbeda yaitu daya aktif (Watt), daya reaktif (Var) dan daya semu (VA). Pada segitiga daya perbandingan antara daya aktif dan daya semu adalah faktor daya, disini faktor daya berpengaruh untuk mengetahui nilai segitiga daya. Untuk itu, diperlukan sebuah sistem yang dapat melakukan pengukuran nilai faktor daya. Dalam penelitian ini penulis merancang sebuah sistem yang dapat digunakan untuk memonitoring $\cos \phi$ dan segitiga daya pada jaringan 1 fasa. Adapun metode yang dilakukan ialah melakukan perancangan program sensor $\cos \phi$ dan melakukan perancangan sistem monitoring segitiga daya. Beban yang digunakan yakni beban induktif 1.7 H dengan variasi penambahan hingga 6 buah beban resistif 920 Ohm yang dihubungkan paralel. Sehingga pada rancangan sistem monitoring ini berhasil melakukan pengukuran dengan hasil error rata-rata daya semu 2.08%, daya aktif 2.44%, daya reaktif 0.64% dan $\cos \phi$ 0.43%.

Kata Kunci—Cos phi, Segitiga Daya, Monitoring.

I. NDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat diperlukan dan berperan penting di lingkungan masyarakat. Banyak peralatan yang membutuhkan energi listrik untuk mengoperasikannya, baik dalam skala rumah tangga maupun industri. Dengan demikian, kualitas pasokan energi listrik sangat penting untuk diketahui. Pada segitiga daya faktor yang mempengaruhi kualitas energi listrik itu adalah tegangan, arus dan faktor daya ($\cos \phi$).

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematik antara tipe-tipe daya yang berbeda yaitu daya aktif (Watt), daya reaktif (Var) dan daya semu (VA). Pada segitiga daya perbandingan antara daya aktif dan daya semu adalah faktor daya, disini faktor daya berpengaruh untuk mengetahui nilai segitiga daya. Untuk itu, diperlukan sebuah sistem yang dapat melakukan pengukuran nilai faktor daya.

Pada penelitian ini dirancang sensor $\cos \phi$ yang menjadi dasar untuk monitoring segitiga daya sehingga dapat memudahkan dalam menghitung daya aktif, daya reaktif dan daya semu pada jaringan 1 fasa.

II. LANDASAN TEORI

A. Daya Listrik

Daya listrik dapat didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam bentuk rangkaian listrik. Pada jaringan listrik AC (*Alternating Current*) dengan bentuk gelombang sinusoidal dikenal beberapa jenis bentuk daya, diantaranya adalah, daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) [4]. Berikut penjelasan dari ketiga daya tersebut:

1. Daya Nyata

Dalam sirkuit yang mengandung komponen reaktif, daya nyata P adalah bagian yang lebih kecil dibandingkan daya semu S . Satuan dari daya nyata P adalah W. Daya nyata didefinisikan sebagai hasil perkalian antara tegangan dan arus serta koefisien faktor dayanya [3]. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan besar daya aktif.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (1)$$

dengan :

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

1. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif. Satuan dari daya reaktif adalah volt Ampereee reaktif (VAR). Daya reaktif dapat didefinisikan sebagai hasil perkalian antara tegangan dan arus serta nilai $\sin \varphi$ [3]. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya reaktif:

$$Q = V.I. \sin \varphi \tag{2}$$

dengan :

- Q = Daya Reaktif (VAR)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus (A)

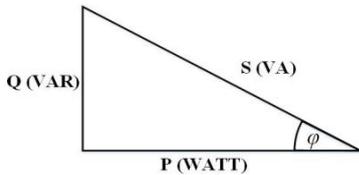
2. Daya Semu

Daya semu adalah gabungan antara daya nyata dan daya reaktif dengan satuan Volt Ampereee (VA). Daya semu didefinisikan sebagai hasil perkalian dari tegangan dan arus dalam rangkaian AC tanpa memperhatikan selisih sudut fasa arus dan tegangan.

$$S = V.I \tag{3}$$

dengan :

- S = Daya Semu (S)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus (A)



Gambar 1. Segitiga Daya

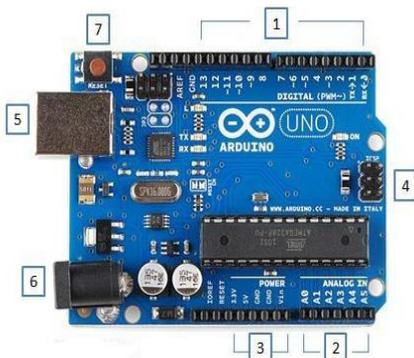
Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (daya nyata, daya reaktif, dan daya semu) berdasarkan prinsip trigonometri. Dimana berlaku hubungan:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \angle \varphi \tag{4}$$

$$P = S. \cos \varphi \tag{5}$$

$$Q = S. \sin \varphi \tag{6}$$

B. Arduino



Gambar 2. Modul Arduino

Arduino merupakan papan elektronik *open source* dengan rangkaian sistem minimum mikrokontroler didalamnya. Mikrokontroler yang digunakan adalah AVR (*Automatic Voltage Regulator*) produk dari intel. Beberapa mikrokontroler yang sering digunakan adalah Atmega168, Atmega328, dan Atmega2560.

Bagian-bagian dari arduino sebagai berikut:

1. Pin Digital
2. Pin Analog
3. Pin Power (5v, 3.3v, Ground, Vin, VREF/Tegangan referensi)
4. Port ICSP
5. Port USB
6. Soket Power
7. Tombol Reset

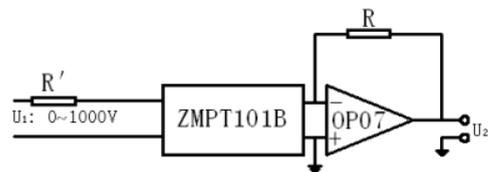
C. ZMPT101B

Sensor tegangan ZMPT101B telah dilengkapi *summing-amplifier* sehingga dapat digunakan untuk menaikkan tegangan negatif sehingga baik untuk pengukuran tegangan dengan menggunakan mikrokontroler [1]. Berikut merupakan gambar fisik dari sensor tegangan yang ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. ZMPT101B

Sensor tegangan ini merupakan komponen yang sesuai jika dihubungkan dengan mikrokontroler karena fungsi sinyal yang akurat. Sensor ini dapat digunakan pada tegangan pengoperasian sebesar 250V AC dan mengeluarkan sinyal analog yang sesuai untuk dikonversikan menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler. Sensor ini memiliki 4 pin diantaranya pin 1 dan pin 2 untuk input utama dan pin 3 dan 4 untuk output. Sensor tegangan ini memiliki isolasi tegangan sebesar 4000V dan bekerja optimal pada suhu 40°C sampai 70°C [1]. Berikut merupakan rangkaian kelistrikan sensor tegangan yang ditunjukkan Gambar 4.



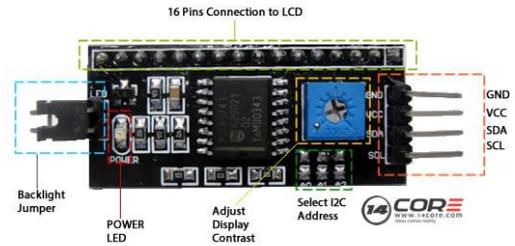
Gambar 4. Rangkaian Kelistrikan ZMPT101B

D. PZEM004

PZEM-004T adalah sensor yang dapat digunakan untuk mengukur cos phi. Dimensi fisik dari papan PZEM-004T adalah 3,1 x 7,4 cm. sensor ini dibundel dengan kumparan trafo arus diameter 3mm. PZEM-004T dapat dilihat pada gambar 5. di bawah ini



Gambar 5. PZEM004



Gambar 8. Modul I2C

E. YHDC SCT013

Sensor arus YHDC SCT 013 adalah sensor yang digunakan untuk membaca arus AC yang mengalir pada penghantar listrik yang menghubungkan beban dengan sumber tenaga listrik pada rangkaian. Sensor SCT 013 ini adalah sebuah sensor arus yang berbentuk *clamp* atau penjepit.



Gambar 6. Sensor Arus SCT013

E. LCD

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis *display* elektronik yang dibuat dengan teknologi *CMOS logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan sandwich memiliki *polarizer* cahaya vertikal depan dan *polarizer* cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.

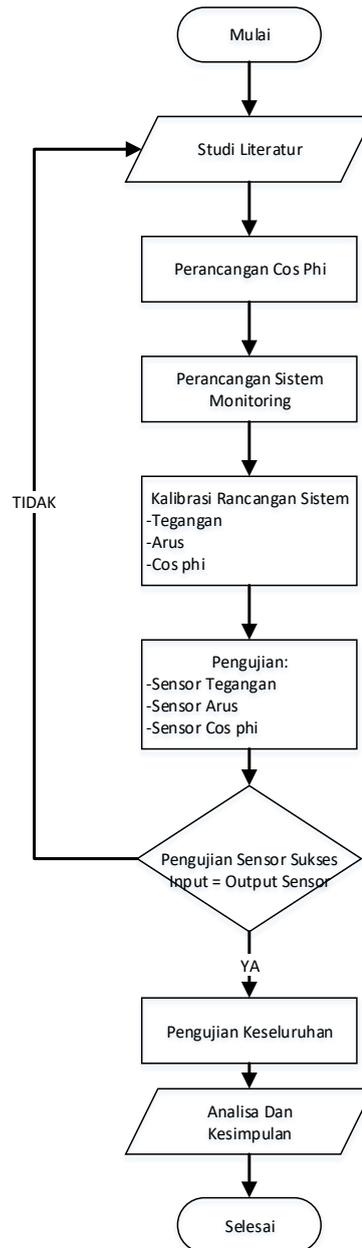


Gambar 7. LCD

Modul I2C *Backpack* LCD I2C/TWI LCD, merupakan modul yang dipakai untuk mengurangi penggunaan kaki di LCD. Modul ini memiliki 4 pin yang akan dihubungkan ke Arduino. Arduino uno sudah mendukung komunikasi I2C dengan modul I2C lcd, maka dapat mengontrol LCD Karakter 16x2 dan 20x4 hanya menggunakan 2 Pin yaitu Analog Input Pin 4 (SDA) dan Analog Input Pin 5 (SCL).

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram alir penelitian

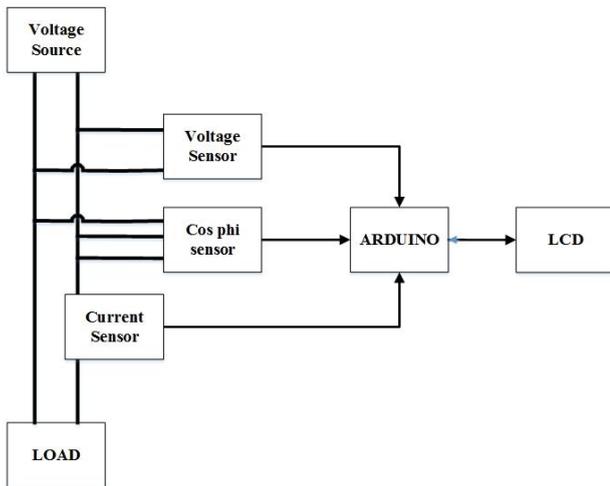


Gambar 9. Diagram Alir

B. Rancangan Sistem Monitoring

Rancangan sistem ini menggunakan sensor arus, sensor tegangan, dan sensor *cos ϕ* yang akan terhubung pada arduino. Dengan mendapatkan nilai arus, tegangan, dan *cos ϕ* yang kemudian hasilnya akan menjadi nilai dasar dari

perhitungan pada arduino agar mendapatkan nilai segitiga daya.



Gambar 10. Blok Diagram Sistem

C. Pengkalibrasian Rancangan

Pengkalibrasian rancangan sistem akan dilakukan setelah semua rancangan sistem telah selesai dikerjakan. Tujuan dari dilakukannya pengkalibrasian ini adalah untuk mengetahui serta untuk memeriksa apakah komponen-komponen pada rancangan tersebut telah berfungsi dengan baik atau tidak.

D. Pengujian Sistem secara keseluruhan

Pada tahap ini, akan dilakukan pengujian pengukuran alat yang telah dirancang kemudian membandingkannya dengan hasil pengukuran *Digital Power Analysis Meter*. Pengukuran yang akan diuji yaitu pengukuran *Cos ϕ* , dan Segitiga daya. Kemudian hasil pengukuran akan dibandingkan dan di analisa tujuannya adalah untuk mengetahui apakah rancangan alat telah bekerja sesuai dengan yang diinginkan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

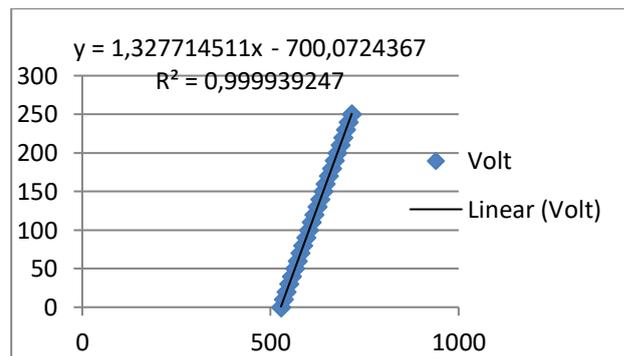
A. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi pada sensor tegangan dilakukan dengan cara mengukur tegangan dari 0 Volt sampai 250 Volt tegangan dan mencatat nilai ADC yang dihasilkan dari setiap tegangan yang diukur. Pada kalibrasi ini pengukuran dilakukan dengan kenaikan tegangan per 10 Volt. Berikut hasil kalibrasi tegangan beserta regresi liniernya.

Tabel I
Kalibrasi Tegangan

ADC	Volt
528	0
535	10
543	20
550	30
557	40
565	50
573	60

ADC	Volt
580	70
587	80
595	90
602	100
610	110
617	120
625	130
632	140
640	150
647	160
655	170
663	180
671	190
678	200
686	210
693	220
701	230
708	240
716	250



Gambar 11. Grafik kalibrasi tegangan

Dari Tabel I menunjukkan bahwa sensor tegangan berfungsi dengan baik. Pada proses kalibrasi tegangan diperoleh persamaan $y = 1.327714511x - 700.0724367$ menggunakan regresi linear pada Microsoft excel. Dari persamaan ini akan digunakan pada program arduino agar sensor dapat melakukan pengukuran tegangan. Dapat dilihat dari gambar 10 nilai R^2 yang merupakan nilai korelasi untuk sensor tegangan adalah 0.999939247, memiliki tingkat linieritas yang tinggi. Dikatakan nilai linieritas sangat rendah dikarenakan nilai hubungan atau korelasi antara dua variable yang dibandingkan antara pembacaan dari sensor dan tegangan input memiliki nilai korelasi antara 0.8 sampai dengan 1.

Pengujian yang dilakukan adalah dengan mengukur tegangan dan membandingkannya dengan tegangan yang terukur pada *Digital Power Analysis Meter*. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur tegangan dengan alat ukur bersamaan dengan sensor tegangan. Berikut adalah hasil pengujian sensor tegangan seperti pada Tabel II.

Tabel II
Penguujian Sensor Tegangan

DIGITAL POWER ANALISIS METER (Volt)	SENSOR TEGANGAN (Volt)	Error %
20	22.2	11
40	42.12	5.3
60	62.04	3.4
80	81.95	2.44
100	101.87	1.87
120	123.11	2.59
140	141.7	1.21
160	161.61	1.01
180	181.53	0.85
200	201.45	0.72
220	222.69	1.22
240	241.28	0.53
Error Rata-rata %		2.68

Gambar 11 Penguujian sensor tegangan

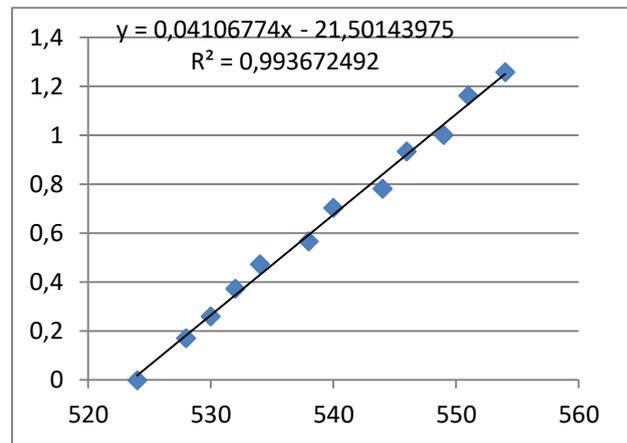
Dari Tabel II menunjukkan pengukuran tegangan dibawah 100 V memiliki faktor kesalahan yang besar. Pada tabel diatas mempunyai faktor kesalahan rata-rata 2.68%.

B. Kalibrasi Sensor Arus

Kalibrasi pada sensor arus sama dengan cara kalibrasi pada tegangan, dengan mencatat nilai ADC yang dihasilkan sensor pada saat sensor sedang mengukur Arus. Berikut data hasil kalibrasi sensor arus dan regresi linier yang diperoleh.

Tabel III
Kalibrasi Sensor Arus

ADC	ARUS (Ampere)
524	0
528	0.172
530	0.261
532	0.373
534	0.473
538	0.567
540	0.705
544	0.782
546	0.934
549	1.003
551	1.163
554	1.258



Gambar 12. Grafik regresi linier

Dari data kalibrasi pada gambar 12 sensor arus dalam kondisi baik dan dapat digunakan. Sama halnya dengan proses kalibrasi pada tegangan, dari regresi linier data ADC sensor arus didapatkan persamaan yaitu $y = 0.04106774x - 21.50143975$. Persamaan ini yang kemudian digunakan pada program arduino untuk dapat menggunakan sensor tersebut.

Tabel III
Data Penguujian Sensor Arus

DIGITAL POWER ANALISIS METER (Ampere)	SENSOR ARUS (Ampere)	Error %
0.238	0.232	2.52
0.472	0.472	0
0.704	0.722	2.56
0.935	0.922	1.39
1.163	1.172	0.77
1.386	1.412	1.88
Error rata-rata %		1.52

Dari Gambar menunjukkan bahwa pengukuran sensor arus memiliki nilai error rata-rata sebesar 1.52%, sehingga sensor arus dalam kondisi baik dan mampu mengukur sesuai yang diharapkan.

C. Cos phi

Penguujian pada sensor *cos phi* dilakukan dengan membandingkan hasil terukur dari *Digital Power Analysis Meter* dengan hasil dari pengukuran sensor *cos phi*. Berikut adalah tabel hasil penguujian sensor *cos phi*.

Pada Tabel IV dibawah menunjukkan bahwa sensor *cos phi* berfungsi dengan baik. Pengukuran *cos phi* 0.1 pada *Digital Power Analysis Meter* sementara *cos phi* yang terukur oleh sensor *cos phi* adalah 0.09 yang mana menghasilkan nilai *error* 10%. Faktor kesalahan rata-rata pada data tabel diatas adalah 1.76%.

Tabel IV
Data pengujian sensor *cos phi*

DIGITAL POWER ANALYSIS METER	SENSOR COS Phi	Error %
0.1	0.09	10
0.588	0.58	1.36
0.811	0.81	0.12
0.901	0.9	0.11
0.942	0.94	0.21
0.962	0.96	0.21
0.973	0.97	0.31
Error rata-rata %		1.76

D. Pengujian Keseluruhan

Hasil perancangan alat monitoring ini terdiri dari sensor tegangan, sensor arus, dan sensor *cos phi* yang terhubung dengan Arduino sebagai pemroses data dari masing-masing sensor yang kemudian ditampilkan pada LCD. Berikut program untuk perhitungan daya yang akan ditampilkan pada LCD.

```
a = acos (pf);
Q = vrms * irms * sin(a) ;
P = irms * vrms * pf;
S = vrms * irms;
```

Gambar 16 Sketch Perhitungan Daya

Pengujian ini menggunakan beban yang bervariasi dengan beban yang bersifat induktif dan resistif. Dimulai dengan menggunakan beban Induktif 1.7 H kemudian secara bertahap menambahkan beban Resistif 920Ohm yang terhubung paralel. Berikut adalah hasil pengukuran dari *Digital Power Analysis Meter* dan Alat monitoring seperti yang ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel V
Pengukuran Digital Power Analysis Meter

Cos phi	S(VA)	P (watt)	Q (VAR)
0.1	88.12	9	88
0.58	102.93	60	84
0.81	137.34	111	80
0.9	177.94	160	77
0.94	221.45	209	75
0.96	267.344	257	73
0.97	313.608	304	72

Pada tabel diatas nilai daya semu (S) didapatkan dari perhitungan, karena pada *Digital Power Analysis Meter* tidak menampilkan pengukuran daya semu.

Tabel VI
Pengukuran Rancangan Sistem

Cos phi	S(VA)	P (Watt)	Q (Var)
0.10	84.35	8.44	83.93
0.58	92.78	53.81	75.58
0.81	136.24	110.35	79.89
0.90	174.9	157.43	76.25
0.94	224.7	211.26	76.68
0.96	275.3	264.37	77.11
0.97	306.12	297.07	74.45

Tabel VII
Error Pengukuran

	ERROR PENGUKURAN (%)			
	S	P	Q	Cos phi
	4.28	6.22	4.62	0.00
	9.86	10.32	10.02	1.75
	0.80	0.59	0.14	1.25
	1.71	1.61	0.96	0.00
	-1.47	-1.08	-2.24	0.00
	-2.98	-2.87	-5.63	0.00
	2.39	2.28	-3.40	0.00
Error rata-rata	2.08	2.44	0.64	0.43

Dari Tabel VII menunjukkan bahwa sistem monitoring berjalan dalam keadaan baik. Pengukuran sistem memiliki nilai *error* rata-rata 2.08% pada daya semu, 2.44% dari daya nyata, 0.64% dari daya reaktif dan 0.43% pada pengukuran *cos phi* di tunjukkan pada gambar 19.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijabarkan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil kalibrasi sensor tegangan sudah linier dengan hasil pembacaan yang memiliki *error* rata-rata 2.68%.
2. Sensor arus baik digunakan untuk pengukuran karena memiliki nilai *error* rata-rata 1.52%.
3. Hasil kalibrasi sensor arus sudah linier dengan hasil pembacaan yang memiliki nilai *error* rata-rata 1.52%.
4. Sensor *Cos phi* baik digunakan untuk pengukuran karena pembacaan sensor *cos phi* memiliki nilai *error* rata-rata 1.54%.
5. Perancangan alat dan program sudah sesuai dengan kebutuhan, berdasarkan hasil pengujian sistem dapat mengukur *Cos phi*, Daya Semu, Daya Nyata, dan Daya Reaktif.

REFERENSI

- [1] Anugrah, I. (2017). *Pengukur Daya Listrik Menggunakan Sensor Arus ACS712-05A dan Sensor Tegangan ZMPT101B*. 1–80. <http://eprints.uny.ac.id/id/eprint/60197>
- [2] Anwar, S., Artono, T., Nasrul, N., Dasrul, D., & Fadli, A. (2020). Pengukuran Energi Listrik Berbasis PZEM-004T. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), 272.
- [3] Dani, A., & Hasanuddin, M. (2018). Sebagai Kompensator Daya Reaktif (Studi Kasus Stt Sinar Husni). *Seminar Nasional Royal (SENAR) 2018*, 998(September), 673–678.
- [4] Hudan, Ivan Safril, R. T. (2019). Rancang Bangun Sistem Monitoring Daya Listrik Pada Kamar Kos Berbasis Internet of Things (Iot). *Jurnal Teknik ELEKTRO*, 08(01), 91–99.
- [5] Indra Parmana, I. I. W. R., Partha, C. G. I., & Utama, N. P. S. (2017). Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus Beban Pada Gardu Distribusi Menggunakan Short Message Service. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(1), 17.
- [6] Isnianto, H. N., & Puspitaningrum, E. (2018). Monitoring Tegangan, Arus, Dan Daya Secara Real Time untuk Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis pada Jaringan Listrik Satu Fase Berbasis Arduino. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan (JNTT)*, 2(1), 129.
- [7] Natsir, M., Rendra, D. B., & Anggara, A. D. Y. (2019). Implementasi IOT Untuk Sistem Kendali AC Otomatis Pada Ruang Kelas di Universitas Serang Raya. *Jurnal PROSISKO Vol. 6 No. 1*, 6(1).
- [8] Permadi, Y. Y., Despa, D., & Komarudin, M. (2016). Sistem Online Monitoring Besaran Listrik 3 Fasa Berbasis Single Board Computer BCM 8235. *Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung*, 10.

DESAIN SIMULASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* (MPPT) MENGGUNAKAN METODE *INCREMENTAL CONDUCTANCE* (IC) PADA KONVERTER SEPIC (*SINGLE ENDED PRIMARY INDUCTANCE CONVERTER*)

Adithya Nik Chemenk¹, Abil Huda²

^{1,2} Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹ aditchemenk03@gmail.com

² abyl6666@gmail.com

Abstract— *In recent years photovoltaic has become a tool used to generate electrical energy, this tool converts light and temperature energy into electrical energy, photovoltaic is very dependent on heat from the sun, so that photovoltaic works optimally, a converter needs to be added. The SEPIC converter is a converter that functions as a buck boost that can increase and decrease the input voltage, the SEPIC converter is regulated by a duty cycle, with a duty cycle of 24.3%. The SEPIC converter in this test managed to get the same power output as the calculation and simulation, which is 200 W. Photovoltaic connected directly to the battery produces power that is very far from optimal, so a SEPIC converter connected to photovoltaic is needed to make optimal results. The MPPT Incremental Conductance control system is the system used in this test, with resistors and batteries used as loads. In this test, the converter that uses a battery is the test that gets the most optimal results with 204 W of power.*

Keywords— *Photovoltaic, Konverter SEPIC, Incremental Conductance, Duty Cycle.*

Intisari— Dalam beberapa tahun terakhir *photovoltaic* menjadi alat yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik, alat ini mengkonversi energi cahaya dan suhu menjadi energi listrik, *photovoltaic* sangat bergantung dengan panas dari matahari, agar *photovoltaic* bekerja dengan maksimal perlu ditambahkan konverter. Konverter SEPIC adalah konverter yang berfungsi sebagai *buck boost* yang dapat menaik turunkan tegangan inputnya, konverter SEPIC diatur oleh *duty cycle*, dengan *duty cycle* 24.3 %. Konverter SEPIC pada pengujian ini berhasil mendapatkan hasil output daya yang sama dengan perhitungan dan simulasi yaitu 200 W. *Photovoltaic* yang dihubungkan langsung dengan baterai menghasilkan daya yang sangat jauh dari optimal, makanya diperlukan konverter SEPIC yang terhubung dengan *photovoltaic* untuk membuat hasilnya optimal. Sistem kendali MPPT *Incremental Conductance* adalah sistem yang digunakan pada pengujian ini, dengan resistor dan baterai yang digunakan sebagai beban. Pada pengujian ini konverter yang menggunakan baterai adalah pengujian yang mendapatkan hasil yang paling optimal dengan daya 204 W.

Kata Kunci—*Photovoltaic, Konverter SEPIC, Incremental Conductance, Duty Cycle.*

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia terdapat beberapa pembangkit listrik, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya

(PLTS). PLTS menggunakan alat yang bernama panel surya untuk mengkonversi energi cahaya dan suhu menjadi energi listrik. Panel surya adalah alat dari sel surya (*Photovoltaic*). Pengoperasian *photovoltaic* tidak membutuhkan banyak perawatan dan tidak menghasilkan polusi apapun sehingga tergolong ramah lingkungan, namun efisiensi *photovoltaic* sangat tergantung terhadap sinar matahari dan temperatur modul[1]. Untuk itu dibutuhkan sebuah rangkaian konverter DC-DC untuk meningkatkan efisiensi keluarannya[2].

Untuk itu konverter SEPIC hadir untuk mengatasi permasalahan tersebut, konverter SEPIC memiliki tegangan yang polaritasnya sama dengan tegangan inputnya SEPIC adalah konverter yang berfungsi menaikkan dan menurunkan tegangan masukannya tergantung kondisi *duty cyle* pada *switching* rangkaiannya. Sehingga dibutuhkan algoritma kontrol untuk mengatur *duty cyle* konverter tersebut [9]. *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) merupakan sistem kendali yang cocok digunakan karena terdapat beberapa metode yang dapat mengontrol *duty cyle* konverter antara lain P&O, IC, Fuzzy, PSO, GA, dst. Diantara semua metode yang disebutkan, metode IC adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan karena sederhana dan murah [4]. Algoritma yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *incremental conductance* (IC). Algoritma tersebut memiliki performa yang lebih baik dibanding dengan algoritma P&O [11] MPPT IC dapat mencari titik daya maksimal lebih akurat dengan respon yang lebih cepat

Berdasarkan permasalahan diatas, Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan mensimulasikan MPPT menggunakan algoritma *Incremental Conductance* pada konverter SEPIC yang bertujuan untuk mencari titik daya maksimum.

II. LANDASAN TEORI

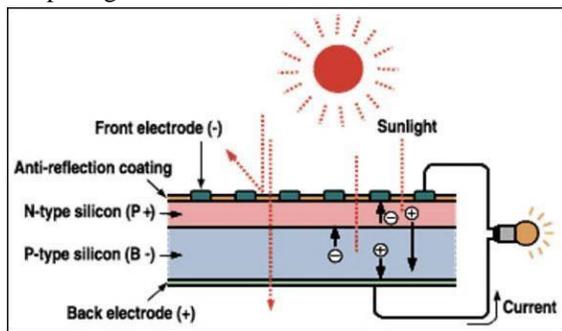
A. *Photovoltaic*

photovoltaic terdiri dari dua kata yaitu *photo* dan *volta*. *Photo* berarti cahaya (dari Bahasa Yunani yaitu *phos*, *photos*: cahaya) dan *volta* (berasal dari nama Alessandro Volta seorang fisikawan italia yang hidup antara tahun 1745- 1827) yang berarti unit tegangan listrik. Kata *photovoltaic* biasa disingkat dengan PV. *Photovoltaic* adalah teknologi yang menghasilkan tenaga listrik DC (*direct current*) dari bahan semikonduktor ketika terpapar

oleh foton. Selama cahaya menyinari solar cell (nama untuk individual elemen *photovoltaic*), maka akan menghasilkan tenaga listrik. Ketika tidak ada cahaya, energi listrik juga berhenti dihasilkan[8]. komponen penting dalam sistem ini yang berfungsi sebagai pengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

B. Prinsip Kerja *Photovoltaic*

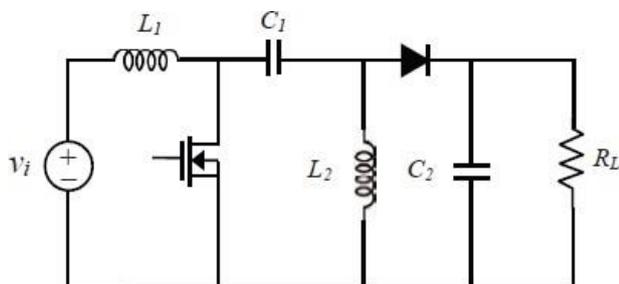
Prinsip kerja dari *photovoltaic* adalah Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik. Energi kinetik akan makin besar seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dari matahari. Intensitas cahaya matahari tertinggi diserap bumi di siang hari sehingga menghasilkan tenaga yang diserap bumi, ada sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja dari pada sel surya[3]. Proses pelepasan elektron dapat dilihat seperti pada gambar berikut.



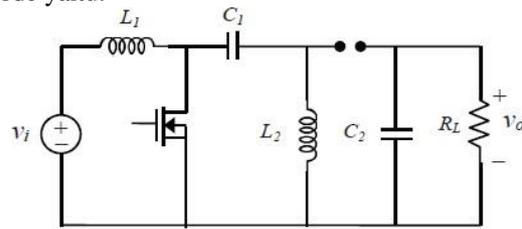
Gambar 1. Prinsip Kerja *Photovoltaic*

C. Koverter SEPIC

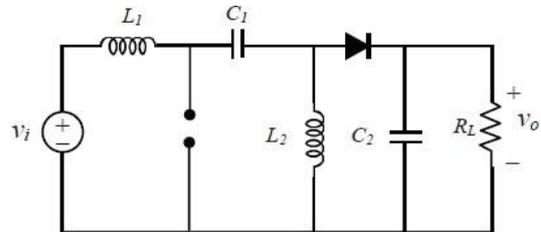
SEPIC (*Single Ended Primary Inductance Converter*) merupakan konverter jenis Buck Boost yang dapat menurunkan dan menaikkan tegangan inputnya. Berbeda dengan Buck Boost dan Cuk konverter. SEPIC memiliki polaritas keluaran tegangan yang sama dengan inputnya serta memiliki stress tegangan yang tinggi, sehingga dapat diandalkan untuk pengoperasian dengan jangkauan tegangan yang lebar. Selain itu SEPIC juga memiliki *equivalen series resistor* (ESR) yang rendah dari kapasitor koplingnya dibandingkan buck boost konverter sehingga dapat mengurangi ripple dan panas pada komponennya[4]. SEPIC bekerja berdasarkan *duty cycle*. *Duty Cycle* adalah angka yang bernilai antara 0 sampai 1. *Duty cycle* yang bernilai 0-0,49 akan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukan. *Duty cycle* yang bernilai 0,5-1 akan menghasilkan tegangan yang lebih besar dari tegangan masukan [6].



Gambar 2. Rangkaian Konverter SEPIC
Secara sederhana prinsip kerja konverter ini terbagi atas 2 mode yaitu:



Gambar 3. Rangkaian Konverter SEPIC Switch on



Gambar 4. Rangkaian Konverter SEPIC switch off

Berikut Persamaan untuk menghitung nilai komponen yang digunakan pada konverter SEPIC [5]:

1. Untuk mencari nilai *Duty cycle*

$$D = \frac{V_o}{V_o + V_i} \tag{1}$$

2. Untuk mencari nilai Induktor

$$L1 = L2 = \frac{V_i D}{\Delta I L F_s} \tag{2}$$

3. Untuk mencari nilai Kapasitor

$$C1 = C2 = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot \Delta V_o \cdot F_s} \tag{3}$$

- V_o : tegangan output (V)
- V_i : tegangan input (V)
- F_s : frekuensi switching (Hz)
- $\Delta I L$: arus ripple (A)
- ΔV_o : ripple tegangan keluar (A)
- D : *duty cycle*
- R : resistansi beban (ohm)
- C : kapasitor (F)
- L : inductor (H)

D. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

MPPT ialah suatu metode penjejakan atau *tracking* untuk memperoleh daya maksimum yang berasal dari modul *photovoltaic*, pada kondisi lingkungan tertentu. MPPT pada umumnya tersusun atas konverter DC-DC, controller, dan sensor. Konverter DC-DC ialah penghubung antara panel *photovoltaic* dengan beban entah itu aki atau baterai. Pada sistem MPPT, konverter DC-DC berfungsi untuk mengubah-ubah nilai tegangan masukan yang berasal dari *photovoltaic* berdasarkan nilai *duty cyle* yang diterima yang berasal dari algoritma MPPT. Untuk mendapatkan nilai *duty cyle* yang tepat dan sesuai maka diterapkanlah sebuah sistem kontrol yang dinamakan algoritma penjejakan atau algoritma MPPT.

Algoritma penjejukan itu sendiri bekerja berdasarkan informasi dari sensor. Informasi tersebut berupa arus, tegangan, dan daya panel *photovoltaic* [7].

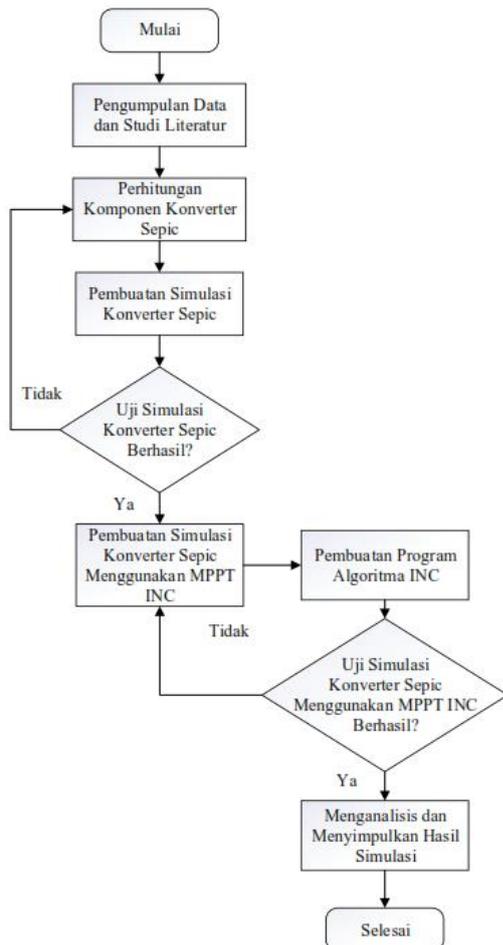
E. Incremental Conductance (IC)

Algoritma *Incremental conductance* merupakan salah satu metode MPP tracking. Algoritma ini menggunakan pengukuran *incremental* pada perubahan konduktansi pada generator, baik sel surya maupun termoelektrik. Dengan membandingkan pengukuran *incremental*, dapat diketahui perubahan daya tegangan maupun arus yang disebabkan perubahan temperatur pada *photovoltaic*. *Incremental conductance* didefinisikan sebagai (dI/dV) . Dengan mendapatkan nilai konduktansi nyata dari modul *photovoltaic*, maka dapat diketahui MPP (titik maksimum) titik operasi berada. IC dapat mencari lebih cepat terhadap peningkatan dan penurunan tingkat kecerahan sehingga memiliki akurasi yang lebih baik [10].

III. METODE PENELITIAN

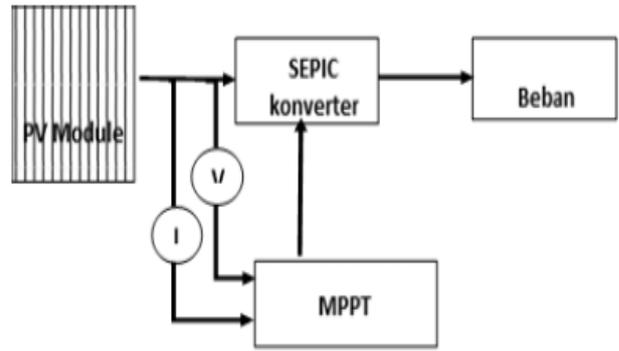
A. Tahapan Penelitian

Secara umum tahapan penelitian rancang bangun tertuang dalam Gambar 5 Penelitian dimulai dengan mencari literatur yang berhubungan dengan topik penelitian yang akan dilaksanakan. Dari hasil literatur dilakukan perhitungan komponen dan dari hasil tersebut dilakukan pembuatan simulasi, setelah itu dilakukan pengujian terhadap simulasi.



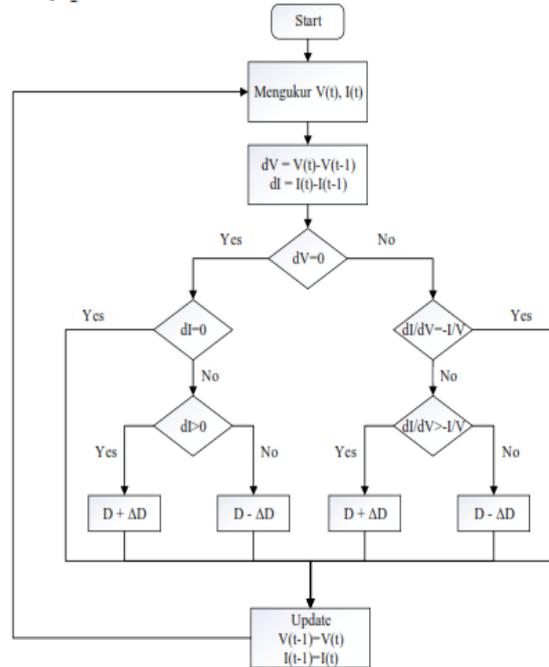
Gambar 5. Alur Penelitian

B. Desain Blok Sistem



Gambar 6. Blok Sistem

C. Diagram Alir MPPT Incremental Conductance



Gambar 7. Algoritma Incremental Conductance

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

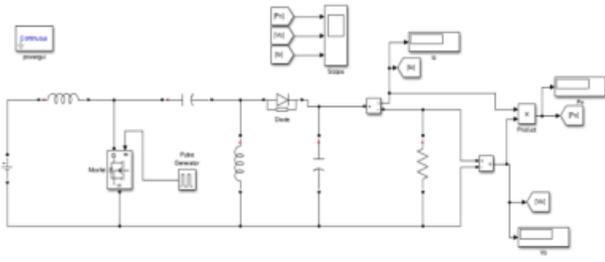
A. Pengujian Konverter SEPIC

Tabel I

Hasil Perhitungan Komponen

Komponen	Nilai
<i>Duty Cycle</i>	24.3%
L1 (Induktor 1)	3.634 mH
L2 (Induktor 2)	3.634 mH
C1 (Kapasitor 1)	8.1 mF
C2 (Kapasitor 2)	8.1 mF
Cs (Kapasitor Sumber)	10 nF
R (Resistor Beban)	0.72 ohm

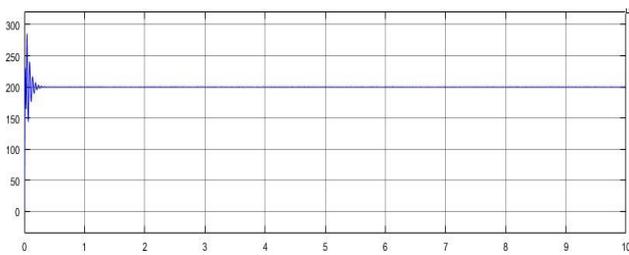
Setelah didapatkan hasil perhitungan komponen selanjutnya nilai tersebut dimasukkan pada pemodelan konverter SEPIC,



Gambar 8. Konverter SEPIC

Tabel II
Hasil Pengujian Konverter SEPIC

Parameter	Nilai
Po	200 W
Vo	12.0 V
Io	16.66 A



Gambar 9. Gelombang Daya Keluaran Konverter SEPIC

Pada gambar diatas merupakan gelombang daya keluaran konverter SEPIC. Daya yang dihasilkan pada percobaan pengujian ini adalah sebesar 200 W. Hasil yang didapatkan sesuai dengan parameter yang diinginkan.

Selanjutnya adalah pengujian *duty cycle* converter SEPIC, pengujian ini menggunakan *duty cycle* 10% - 90%, tujuan dari pengujian ini untuk melihat apakah ada perubahan ketika *duty cycle* diubah pada rangkaian konverter SEPIC. Berikut hasil pengujian *duty cycle* konverter SEPIC.

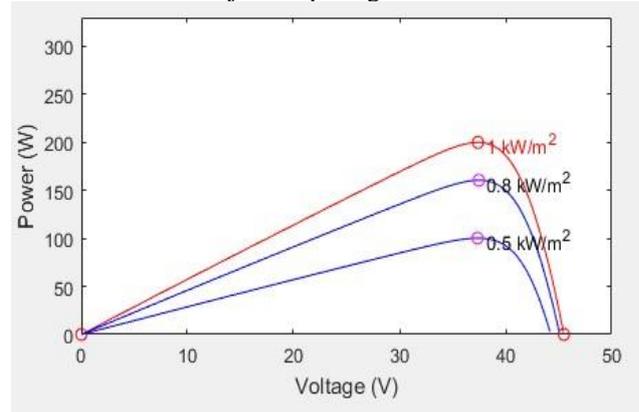
Tabel III
Hasil Pengujian *Duty Cycle*

<i>Duty Cycle</i>	Hasil Simulasi		
	Po	Vo	Io
10	23.97	4.154	5.77
20	121.3	9.346	12.98
30	356.2	16.01	22.24
40	860.4	24.89	34.57
50	1,939	37.37	51.9
60	4,365	56.06	77.87
70	10,566	87.22	121.1
80	31,067	149.6	207.7
90	157,078	336.3	467.1

Pada tabel diatas merupakan hasil pengujian pengaruh *duty cycle* terhadap daya keluaran, tabel tersebut menunjukkan adanya kenaikan nilai daya yang dimana semakin besar nilai *duty cycle* maka semakin besar nilai daya yang dihasilkan, ini menunjukkan *duty cycle* berbanding lurus dengan daya keluaran. Daya keluaran paling besar dihasilkan ketika *duty cycle* 90% adalah 157,078 W.

B. Pengujian *Photovoltaic*

Hasil pengujian simulasi sistem *photovoltaic* yang dibuat dengan menggunakan modul *Solarland USA SLP200S-24H* ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 10. Kurva karakteristik P – V *photovoltaic*

Gambar 10 merupakan hasil plot sistem yang ada pada *photovoltaic*. Plot ini yang akan menjadi acuan pada penelitian ini. *Photovoltaic* ini menggunakan temperature 25°C dengan tingkat intensitas cahaya 1000 W/m², 800 W/m² dan 500 W/m². Pada intensitas cahaya 1000 W/m² daya yang dihasilkan sebesar 200 Watt, pada intensitas cahaya 800 W/m² menghasilkan daya sebesar 160Watt dan pada intensitas cahaya 500 W/m² menghasilkan daya sebesar 100 Watt.

Berikut adalah hasil dari pengujian *photovoltaic* ketika intensitas cahaya 1000 W/m² dan suhu 25 °C.

Tabel IV
Data Hasil *Photovoltaic* dengan *datasheet*

Parameter	Datasheet	Hasil Simulasi	Error
Pmax	200.2 W	200.2 W	0%
Vmpp	37.39 V	37.36 V	3%
Impp	5.35 A	5.358 A	0.8%

Tabel IV menunjukkan adanya *error* antara hasil pengujian dengan *datasheet*. Nilai *error* tertinggi terdapat pada tegangan senilai ± 3%. Nilai *error* yang diperoleh masih dalam batas toleransi yang ada pada *datasheet* yang mengacu pada tabel spesifikasi. Hal ini menjelaskan model matematis dan simulasi sudah baik dan dapat digunakan. Berikut adalah gambar gelombang pada keluaran *photovoltaic* yang berupa daya, tegangan dan arus.

C. Pengujian *Photovoltaic* dan Konverter SEPIC Tanpa MPPT

Pada pengujian ini bertujuan melihat hasil dari keluaran *photovoltaic* yang dihubungkan dengan konverter SEPIC tetapi belum menggunakan MPPT INC, berikut adalah hasil keluaran pengujian *photovoltaic* dan konverter SEPIC tanpa menggunakan MPPT

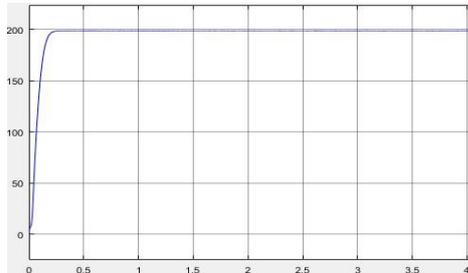
Pada Tabel V dibawah hasil pengujian *photovoltaic* dan konverter SEPIC tanpa MPPT tidak jauh berbeda dengan *datasheet* yang digunakan. Daya keluaran yang dihasilkan adalah 199W, dengan tegangan dan arus

sebesar 11.97 V dan 16.63 A. Hasil ini dipengaruhi karena adanya penambahan kapasitor input sebagai filter.

Tabel V
Hasil Pengujian *Photovoltaic* dan konverter SEPIC tanpa MPPT

Parameter	Hasil Uji
Po	199 W
Vo	11.97 V
Io	16.63 A

Berikut adalah gambar gelombang keluaran converter SEPIC:



Gambar 11. Hasil Daya Keluaran konverter SEPIC

Pada gambar 11 Hasil pengujian konverter SEPIC menghasilkan gelombang daya keluaran yang naik tanpa adanya *overshoot* yang berlebihan. Daya yang dihasilkan pada pengujian tersebut sebesar 199 W.

D. Pengujian *Photovoltaic* dan Konverter SEPIC Menggunakan MPPT.

- Pengujian Resistor Sebagai Beban

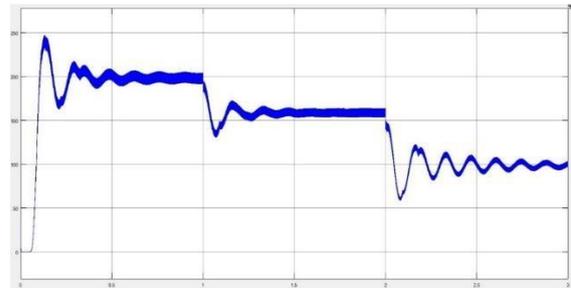
Pengujian Resistor sebagai beban bertujuan untuk menyesuaikan gambar 10, gambar ini merupakan plot yang berfungsi untuk landasan skripsi ini, alasan adanya pengujian ini dikarenakan hasil pengujian tidak sesuai dengan hasil yang diinginkan. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan gambar, resistor yang digunakan diubah menggunakan rumus hukum ohm yaitu $V=IR$, sedangkan untuk mendapatkan nilai arus menggunakan rumus daya yaitu $P=VI$. Pada pengujian ini menggunakan intensitas cahaya 1000, 800, dan 500 W/m².

Tabel VI
Pengujian Resistor sebagai Beban

Intensitas Cahaya	Resistor	Po	Vo	Io
1000	0.72	197	11.91	16.54
800	0.72	133.5	9.803	13.62
	0.9	157.8	11.92	13.24
500	0.72	53.23	6.19	8.595
	1.44	98.17	11.89	8.257

- Pengujian Menggunakan Baterai

Dalam penelitian ini resistor yang digunakan sebagai beban, akan digantikan dengan baterai. Baterai yang digunakan adalah baterai DC yang berfungsi untuk mendapatkan daya yang ideal meskipun intensitas cahaya berubah – ubah. Pengujian kali ini masih sama menggunakan intensitas cahaya 1000, 800, dan 500 W/m². Baterai yang digunakan adalah baterai DC 12 V dan resistor sebesar 1 mΩ. Berikut adalah hasil pengujian menggunakan baterai



Gambar 12. Pengujian menggunakan Baterai

Pada gambar 12 Pengujian ini berfokus bagaimana hasil gelombang daya keluaran jika intensitasnya berubah – ubah dalam 1 detik, dikarenakan cuaca kadang berubah khususnya kota Tarakan, dimana cuaca yang tidak bisa ditebak setiap saat.

Pada Gambar 12 Terlihat setiap detik terjadi perubahan yang menyebabkan daya keluaran yang dihasilkan turun dikarenakan pengujian ini menggunakan intensitas cahaya 1000, 800 dan 500 W/m² yang di running bersamaan. Semakin besar nilai intensitas cahayanya maka semakin cepat stabil gelombang, begitupun sebaliknya semakin kecil nilai intensitas cahaya maka semakin lama gelombang tersebut untuk stabil.

Berikut adalah tabel hasil pengujian menggunakan baterai.

Tabel VII
Hasil pengujian menggunakan baterai

Intensitas Cahaya	Po	Vo	Io
1000	204.2	12.17	16.65
800	161.5	12.13	13.06
500	101.1	12.08	8.37

Dari hasil tabel 7 Daya keluaran yang dihasilkan sesuai dengan *datasheet*, meskipun adanya penambahan pada nilai daya keluaran, hal ini terjadi karena adanya penambahan baterai. Baterai juga menyebabkan tegangan output menjadi tetap dan hanya arusnya saja yang berubah.

E. Analisis Perbandingan *Photovoltaic* Tanpa MPPT dan Menggunakan MPPT *Incremental Conductance*
Pembahasan kali ini adalah menganalisis perbandingan kinerja *photovoltaic* tanpa MPPT dan menggunakan MPPT *Incremental Conductance*, hal ini bisa kita lihat pada tabel berikut ini:

Tabel VII
Hasil Pebandingan keluaran tanpa MPPT dan menggunakan MPPT

Suhu (°C)	Intensitas	Tanpa MPPT			MPP		
		P	V	I	P	V	I
25	1000	199	11.97	16.63	204.2	12.17	16.65
	500	56.3	6.371	8.849	101.1	12.08	8.37
30	1000	195	11.85	16.46	202.3	12.12	16.69
	500	56.6	6.388	8.872	100.8	12.4	8.12
35	1000	190.	11.71	16.27	201.2	12.9	15.59
	500	56.9	6.403	8.894	101.1	12.3	8.21

Pada Tabel 8 Merupakan tabel perbandingan hasil keluaran *photovoltaic* dan konverter SEPIC tanpa menggunakan MPPT dan menggunakan MPPT. Pada pengujian tanpa menggunakan MPPT daya, tegangan dan arus semakin menurun, bisa dilihat pada tabel diatas ketika suhu 25°C, 30°C dan, 35°C berbeda. Ketika suhu 25°C dengan intensitas cahaya 1000 W/m² daya yang dihasilkan sebesar 199 W, suhu 30°C dengan intensitas cahaya 1000 W/m² daya yang dihasilkan sebesar 195 W, dan suhu 35°C dengan intensitas cahaya 1000 W/m² daya yang dihasilkan sebesar 190.5 W. Begitu pula tegangan dan arusnya menurun.

Pada pengujian menggunakan MPPT daya dan arus semakin menurun, tetapi tegangan tetap stabil, dikarenakan adanya penambahan baterai. Baterai membuat tegangan output tetap dan hanya arusnya yang berubah – ubah. Ketika suhu 25°C dengan intensitas cahaya 1000 W/m² daya yang dihasilkan sebesar 204.2 W, suhu 30°C dengan intensitas cahaya 1000 W/m² yang dihasilkan sebesar 202.3 W dan suhu 35°C dengan intensitas cahaya 1000 W/m² daya yang dihasilkan sebesar 201.2 W.

Dari dua percobaan diatas dapat disimpulkan bahwa pengujian *photovoltaic* dan converter SEPIC menggunakan MPPT merupakan pengujian yang sangat bagus dan optimal.

V. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan tentang sistem kendali MPPT pada *photovoltaic* menggunakan konverter SEPIC dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Konverter SEPIC adalah konverter yang berfungsi sebagai *buck boost* yang dapat menaik turunkan teganganinputnya, konverter SEPIC diatur oleh *duty cycle*. Konverter SEPIC pada pengujian ini berhasil mendapatkan hasil output daya yang sama dengan perhitungan dan simulasi yaitu 200 W.
2. *Photovoltaic* yang dihubungkan langsung dengan baterai menghasilkan daya yang sangat jauh dari kata optimal, makanya diperlukan konverter SEPIC yang terhubung dengan *photovoltaic* untuk membuat hasilnya optimal.
3. Sistem kendali MPPT *Incremental Conductance* adalah sistem yang digunakan pada pengujian ini, dengan resistor dan baterai yang digunakan sebagai beban. Pada pengujian ini konverter yang menggunakan beban baterai adalah pengujian yang mendapatkan hasil yang paling optimal dengan daya 204 W.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terlaksananya penelitian ini tidak terlepas dari berbagai pihak yang mendukung. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kepada Allah SWT yang telah memberikan kesehatan jasmani dan rohani untuk menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak Abil Huda, S.T., M.T sebagai pembimbing yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan, dan motivasi dengan penuh kesabaran dan ketelitian agar skripsi ini menjadi lebih baik mulai dari persiapan dan selama penelitian hingga penyusunan akhir.

3. Orang tua, adik serta keluarga lain yang telah memberikan motivasi, bantuan materil, pemikiran untuk menyelesaikan kuliah.

REFERENSI

- [1] Aditayan, N. (2015). Karakterisasi Panel Surya Model SR-156P-100 Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari.
- [2] Arifin, B. (2016). Desain Dan Implementasi Penaik Tegangan Menggunakan Kombinasi KY Converter Dan Buckboost Converter. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Arrasyid, A. H., Notoedjono, D., Subagya, H., Dasar, T., Studi, P., Elektro, T., & Pakuan, F. T. (2017). Analisis perencanaan penerangan jalan umum dan lampu taman berbasis *photovoltaic* di universitas pakuan bogor. *Fakultas Teknik Universitas Pakuan*, 1–10.
- [4] Djilali, A., HEMICI, B., & Yahdou, A. (2017). MODIFIED PERTURB AND OBSERVE MPPT CONTROL FOR AVOID DEVIATION IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS. *Journal of Electrical Engineering*.
- [5] Gozali, M. S. (2013). Perbandingan Konverter CUK dan SEPIC Untuk Pelacakan Titik Daya Maksimum Berbasis Panel Surya. *Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Batam*, 5(1), 15–19
- [6] Huda, A. (2021). Pemodelan dan Simulasi Maximum Power Point Tracking Menggunakan Adaptif Neuro Fuzzy Inference System Pada Aplikasi Fotovoltaik Dengan Konverter SEPIC. Universitas Borneo Tarakan.
- [7] Isman, A. (2017). *Implementasi Teknik Maximum Power Point Tracking (Mppt) Pada Sistem Penjejak Matahari Berbasis Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis)*. 5–7.
- [8] Myori, D. E., Mukhaiyar, R., & Fitri, E. (2019). Sistem Tracking Cahaya Matahari pada Photovoltaic. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 19(1), 9–16. <https://doi.org/10.24036/invotek.v19i1.548>
- [9] Rose, J. L., & Sankaragomathi, B. (2016). Design, modeling, analysis and simulation of a SEPIC converter. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(7), 2302–2308.
- [10] Rose, J. L., & Sankaragomathi, B. (2016). Design, modeling, analysis and simulation of a SEPIC converter. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(7), 2302–2308. [10] Saleh, A., Hadi, W., & Anwar, M. C. (2017). Desain Kontrol Maximum Power Point Traker (Mppt) Menggunakan Incremental Conductance (Inc) Pada Dc / Dc Tipe Sepic. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, November*, 1–8.
- [11] William, C. I., & Ramesh, R. (2013). Comparative study of P&O and InC MPPT algorithms. *American Journal of Engineering Research*, 2(12), 402–408.

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PEMBANGKIT PLTMG TANJUNG SELOR 15 MW

Emanuel Flavianus¹, Sugeng Riyanto², Achmad Budiman³

^{1,2,3} Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹ emandacruz12@gmail.com

² sugeng072.sr@gmail.com

³ achamad1177@gmail.com

Abstract— *The effect of load changes on fuel consumption of PLTMG plants. Based on the results of the analysis, it is known that the effect of load changes on the fuel costs of PLTMG generators is directly proportional, where the higher the load produced, the higher the costs. The fuel costs of a generator greatly affect the power produced, which will then affect the load. Therefore, it is necessary to carry out an analysis of the effect of changes in load on operating costs, especially on the fuel costs incurred. Based on the analysis of fuel usage during one day, Engine 1 is much larger than Engine 2, that is 35,739 liters and 24,928 liters. Meanwhile, the electricity production of Engine 1 is much smaller than Engine 2, that is 142,229 kWh and 86,027 kWh. Meanwhile, the use of SFC to generate 1 kWh for Engine 1 is smaller than for Engine 2, that is 0.251277869 liters/kWh and 0.255308617 liters/kWh. Meanwhile, the thermal efficiency itself is much better for Engine 1 than Engine 2, that is 1.2% and 0.8%. And the heat rate for Engine 1 is also smaller than Engine 2, that is 33,702 Btu/ kWh and 52,9392 Btu/ kWh because Engine 1 is maintained more frequently than Engine 2.*

Keywords— *Water, Fuel, Boiler, Fuel Specific Consumption, Electricity*

Intisari—Pengaruh perubahan beban terhadap konsumsi bahan bakar pembangkit PLTMG. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa pengaruh perubahan beban terhadap biaya bahan bakar pembangkit PLTMG berbanding lurus dimana semakin tinggi perubahan beban yang dihasilkan maka semakin tinggi pula biaya yang dikeluarkan. Biaya bahan bakar sebuah pembangkit sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan, yang kemudian akan mempengaruhi beban. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu analisa tentang pengaruh perubahan beban tersebut terhadap biaya operasi khususnya pada biaya bahan bakar yang dikeluarkan. Berdasarkan analisis Pemakaian Bahan Bakar Selama satu hari Engine 1 jauh lebih besar di bandingkan Engine 2 yaitu sebesar 35,739 Liter dan 24,928 liter, Sedangkan untuk Produksi Listrik Engine 1 jauh lebih kecil di bandingkan Engine 2 yaitu sebesar 142.229 kWh dan 86.027 kWh. Sedangkan untuk pemakaian SFC untuk membangkitkan 1 kWh Engine 1 lebih kecil dari pada Engine 2 yaitu 0.251277869 Liter/kWh dan 0.255308617 liter/ kWh. Sedangkan untuk Efisiensi Thermal sendiri jauh lebih bagus Engine 1 dibandingkan Engine 2 yaitu 1.2 % dan 0.8%. Dan untuk Heat rate Engine 1 jauh lebih kecil dari pada Engine 2 yaitu sebesar 33.702 Btu/ kWh dan 52.9392 Btu/ kWh dikarenakan perawatan Engine 1 lebih sering di bandingkan Engine 2.

Kata Kunci— **Konsumsi Bahan Bakar, specific fuel consumption.**

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik adalah suatu mesin yang dapat menghasilkan energi listrik dan memproduksi daya dan tegangan listrik melalui jaringan distribusi ke beban. Dalam pengoperasian pembangkit tenaga listrik diperlukan pengoperasian sistem penyaluran energi listrik yang memenuhi beban secara terus menerus atau (kontinyu), beban listrik disuplai oleh pembangkit yang pada dimiliki oleh (PT. PLN) dan pihak swasta. Di mana secara geografis pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pusat-pusat beban, dan jaringan yang disuplai melalui jaringan distribusi ke beban. Beban listrik selalu berubah-ubah setiap waktu dan sesuai dengan kebutuhan beban konsumen. Oleh karena itu suplai pembangkit listrik juga akan menyesuaikan kebutuhan beban tersebut. Maka operasi pembangkitan tenaga listrik yang paling besar adalah pemakaian bahan bakar pada pembangkit tenaga listrik. Di mana dari masing-masing unit pembangkit tenaga listrik diperlukan bahan bakar untuk pembangkit. Pembangkit termal pada umumnya menggunakan bahan bakar fosil, maka cost yang dikeluarkan merupakan bahan bakar terbesar di dalam pengoperasian pembangkit tenaga listrik.

Pembangkit listrik tenaga termal adalah pembangkit listrik yang mengubah energi panas menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan energi dari pembakar dari suatu zat. Pada operasi sistem tenaga listrik, bahan bakar menempati biaya yang terbesar yaitu 80% dari biaya operasi secara keseluruhan. Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian ini membahas operasional pemakaian bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) yang ada di Tanjung Selor PT. Wika yang berada di provinsi ibu kota Tanjung Selor.

II. LANDASAN TEORI

A. Penggunaan Bahan Bakar (SFC)

Specific fuel consumption adalah rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar terhadap daya listrik yang dibangkitkan dalam sebuah industri pembangkitan listrik,

biasanya digunakan sebagai salah satu cara untuk mengetahui seberapa efisien sebuah pembangkit listrik dan untuk memprediksi nilai kalor bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran. Pengukuran *SFC* sebaiknya dilakukan pada beban yang tetap selama minimum dua jam, kemudian diukur seberapa banyak jumlah pemakaian bahan bakar selama periode dua jam tersebut. Jika periode waktu ini dirasa terlalu lama, maka dapat dipersingkat dengan pengambilan data minimum selama satu jam [5].

Pengukuran *SFC* dilakukan dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\text{Total pemakaian BBM} = \text{jumlah } pilot\ oil + \text{jumlah } fuel\ oil\text{-stand flowmeter} \quad (1)$$

$$\text{Total produksi listrik} = \text{standakhir listrik} - \text{standawal listrik (kWh)} \quad (2)$$

$$SFC = \frac{\text{Total pemakaian BBM}}{\text{Total produksi listrik}} \text{ liter/kWh} \quad (3)$$

Dan untuk perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik, konsumsi bahan bakar berbanding terbalik dengan nilai daya yang dihasilkan. Perhitungan untuk menentukan *SFC* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Penggunaan Bahan Bakar Spesifik (Solar)} \\ SFC = \frac{mf}{p} \text{ liter/kWh} \quad (4)$$

$$\text{Penggunaan Bahan Bakar Spesifik (Gas)} \\ SGC = \frac{mf}{p} \text{ SGC/kWh} \quad (5)$$

Dengan:

SFC : penggunaan bahan bakar spesifik solar
SGC : penggunaan bahan bakar spesifik gas
mf : konsumsi bahan bakar
p : daya yang dihasilkan

B. Efisiensi Thermal PLTMG

Efisiensi *Thermal* adalah bentuk dasar energi. Artinya, semua bentuk efisiensi energi yang lain dapat secara sempurna dikonversi menjadi efisiensi energi *Thermal*. Sebenarnya, semua efisiensi energi akhirnya akan dikonversikan menjadi efisiensi energi *Thermal*, kecuali bila disimpan dalam bentuk lain. Pengkonversian efisiensi energi *Thermal* menjadi bentuk efisiensi energi yang lain adalah terbatas hingga suatu harga yang lebih kecil dari 100%.

Ketika ditulis dalam persentase, efisiensi *Thermal* harus berada di antara 0% dan 100%. Karena efisiensi seperti gesekan, hilangnya panas, dan faktor lainnya, efisiensi *Thermal* mesin tidak pernah mencapai 100%. Efisiensi *Thermal*nya didefinisikan dengan:

$$\eta_{th} \text{ Solar} = \frac{Q_{input}}{Q_{output}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\eta_{th} \text{ (gas)} = \frac{Q_{input}}{Q_{output}} \times 100\% \quad (7)$$

Dengan:

η_{th} : efisiensi *Thermal*
Qoutput : jumlah produksi energi
Qinput : jumlah bahan bakar

C. Laju Panas Pembangkit PLTMG

Secara umum laju panas pembangkit (*Heat rate*) menjelaskan tentang seberapa besar energi input yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi dari pembangkit. Semakin besar nilai laju panas pembangkit (*Heat rate*) maka semakin buruk efisiensi pembangkit tersebut, dan sebaliknya semakin kecil nilai laju panas pembangkit (*Heat rate*) maka semakin baik efisiensi pembangkit tersebut. Cara menghitung laju panas pembangkit (*Heat rate*) adalah sebagai berikut:

$$HR \text{ (Solar)} = \frac{mf \times HHV/LHV}{KWGg} \text{ (Btu/kWh)} \quad (8)$$

Dengan:

η_{th} : efisiensi *Thermal*
Qoutput : jumlah produksi energi
Qinput : jumlah bahan bakar

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

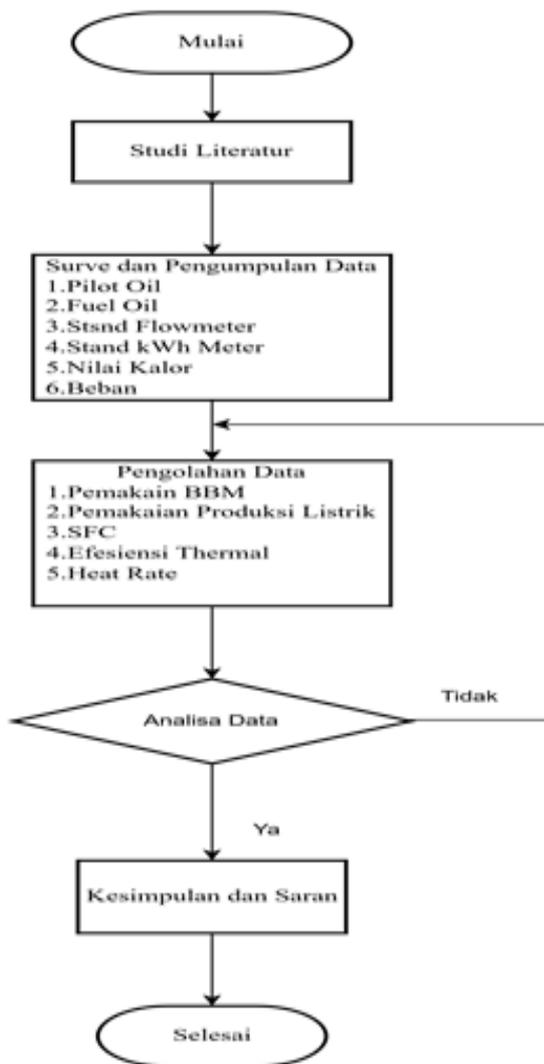
Penelitian ini dilaksanakan di PLTMG 15 MW Tanjung Selor yang berlokasi di Jalan Ahmad Yani, Gn. Seriang, Kecamatan Tanjung Selor Kabupaten Bulungan Kalimantan Utara. Lama penelitian ini diawali dengan pengambilan data penelitian selama ± 2 bulan, yang kemudian data penelitian tersebut dianalisis dan didokumentasi secara tertulis untuk menyelesaikan tugas akhir. Penelitian ini terhitung mulai bulan November 2020 yang kemudian dilanjut hingga Agustus 2023.

B. Alat dan Bahan

Penelitian ini dilaksanakan di PLTMG 15 MW Tanjung Selor yang berlokasi di Jalan Ahmad Yani, Gn. Seriang, Kecamatan Tanjung Selor Kabupaten Bulungan Kalimantan Utara. Lama penelitian ini diawali dengan pengambilan data penelitian selama ± 2 bulan, yang kemudian data penelitian tersebut dianalisis dan didokumentasi secara tertulis untuk menyelesaikan tugas akhir. Penelitian ini terhitung mulai bulan November 2020 yang kemudian dilanjut hingga Agustus 2023.

C. Flowchart Penelitian

Flowchart atau diagram alir merupakan sebuah diagram dengan simbol- simbol grafis yang menerangkan aliran algoritma atau proses yang menunjukkan langkah-langkah yang disimbolkan dalam bentuk kotak, beserta urutannya dengan menghubungkan masing-masing langkah tersebut menggunakan tanda panah. Flowchart membantu analisis untuk memecahkan masalah kedalam segmen- segmen yang lebih kecil dan membantu dalam menganalisis alternatif-alternatif lain dalam pengoperasian. Flowchart biasanya mempermudah penyelesaian suatu masalah khususnya masalah yang perlu dipelajari dan dievaluasi lebih lanjut.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

Adapun Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Studi Literatur
Melakukan pencarian bahan untuk pendalaman materi dalam menyelesaikan masalah yang dirumuskan, seperti pencarian studi literatur yang mana dapat digunakan sebagai acuan dan panduan informasi untuk mendukung keperluan dalam pelaksanaan penelitian.
- Surve dan Pengumpulan Data
Menentukan tempat yang akan dilaksana penelitian dan dalam penelitian ini ada beberapa data yang digunakan dalam penyelesaian penelitian ini yaitu, penggunaan *pilot oil*, *fuel oil*, *stand flowmeter*, *stand kWh meter*, nilai kalor, dan beban. Data – data tersebut diperoleh dari hasil pengoperasian 2 *Engine* PLTMG Tanjung Selor 15 MW. *Engine* 1 dioperasikan pada priode November 2021 dan *Engine* 2 pada periode Desember 2021.
- Pengolahan Data
Data yang diolah adalah terdiri data sekunder. Data tersebut berupa data penggunaan *pilot oil*, *fuel oil*, *stand flowmeter*, *stand kWh meter*, nilai kalor dan beban pada PLMTG 15 MW Tanjung Selor. Data tersebut digunakan untuk menghitung jumlah penggunaan BBM, produksi listrik, *SFC*, efisiensi *thermal* dan *heat rate*.
- Analisa Data

Tahap selanjutnya melakukan Analisa data yang di dapat dari pengolahan data pemakain BBM, *SFC*, produksi listrik, efisiensi *thermal*, dan *heat rate*. Langkah terakhir adalah pengambilan kesimpulan dan pemberian saran. Kesimpulan yang diambil berisikan poin – poin hasil dari analisa terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan, sedangkan saran berisikan rekomendasi mengenai apa saja yang dapat dilakukan untuk menutupi kekurangan yang terjadi dalam penelitian dan memberikan masukan untuk penelitian selanjutnya.

• Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir adalah pengambilan kesimpulan dan pemberian saran. Kesimpulan yang diambil berisikan poin – poin hasil dari analisa terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan, sedangkan saran berisikan rekomendasi mengenai apa saja yang dapat dilakukan untuk menutupi kekurangan yang terjadi dalam penelitian dan memberikan masukan untuk penelitian selanjutnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemakaian BBM PLTMG Tanjung Selor Engine 1 & 2

Tabel I
Data Pemakaian BBM PLTMG Tanjung Selor *Engine* 1
Selama Satu Minggu

No	Tanggal	V (kV)	Pemakaian BBM (Liter)			Total
			<i>Pilot Oil</i>	<i>Fuel Oil</i>	<i>Flow Meter</i>	
1	1 Nov 2021	20	774	35.440	475	35.739
2	2 Nov 2021	20	782	34.472	486	34.768
3	3 Nov 2021	20	780	34.662	370	35.072
4	4 Nov 2021	20	786	32.598	527	32.857
5	5 Nov 2021	20	23	338	0	3.61
6	6 Nov 2021	20	0	0	0	0
7	7 Nov 2021	20	110	4.189	0	4.299

$$\begin{aligned}
 \text{Total pemakaian BBM} &= \text{Jumlah } \textit{pilot oil} + \text{jumlah } \textit{fuel} \\
 &\quad \textit{oil} - \textit{stand flowmeter} \\
 &= 774 + 35.440 - 475 \\
 &= 35.739 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan *Engine* 1 diatas dapat diketahui bahwa pemakaian BBM PLTMG Tanjung Selor pada tanggal 1 November sebesar 35.739 liter, tanggal 2 November adalah 34.768 liter, tanggal 3 November adalah 35,032 liter, tanggal 4 November adalah 32.857 liter, tanggal 5 November adalah 32.857 liter, tanggal 6 November adalah 0 liter, sedangkan pada tanggal 7 November sebesar 4.299liter.

Sementara pada *Engine* 2 dapat diketahui bahwa pemakaian BBM PLTMG Tanjung Selor pada 1 Desember sebesar 24.928 Liter, tanggal 2 Desember 28.841 liter, tanggal 3 Desember adalah 24.612 liter, tanggal 4 Desember adalah 24.808 liter, tanggal 5 Desember adalah 23.990, tanggal 6 Desember adalah 23.568 liter sedangkan pada tanggal Desember 7 sebesar 25.608 liter.

B. Total Produksi Listrik PLTMG Tanjung Selor Engine 1 & 2

Tabel II
Pemakaian Produksi Listrik PLTMG Tanjung Selor Engine 1 Selama 1 Minggu

No	Tanggal	Pemakaian Produksi Listrik			Total (kWh)
		V (kV)	Awal	Akhir	
1	1 Nov 2021	20	53.770.789	53.913.018	142.229
2	2 Nov 2021	20	53.913.018	54.050.142	137.124
3	3 Nov 2021	20	54.050.142	54.187.513	137.371
4	4 Nov 2021	20	54.187.513	54.316.555	129.042
5	5 Nov 2021	20	54.316.555	54.317.981	1.426
6	6 Nov 2021	20	54.317.981	54.317.981	0
7	7 Nov 2021	20	54.317.981	54.334.475	16.494

Total pemakaian listrik = *stand* akhir listrik – *stand* awal listrik
 = 53.913.018 – 53.770.789
 = 142.229 kWh

Berdasarkan perhitungan Engine 1 diatas dapat kita ketahui bahwa total produksi listrik di tanggal 1 November adalah 142.229 kWh, tanggal 2 November adalah 137.124 kWh, 3 November sebesar 137.371 kWh, tanggal 4 November adalah 129.042 kWh, tanggal 5 November adalah 1.426 kWh, tanggal 6 November adalah 0 kWh dan pada tanggal 7 November sebesar 16.494 kWh.

Sedangkan pada Engine 2 dapat kita ketahui bahwa total produksi listrik di tanggal 1 Desember adalah 86.027 kWh, tanggal 2 Desember adalah 112.368 kWh, tanggal 3 Desember 2 adalah 90.720 kWh, tanggal 4 Desember adalah 89.798 kWh, tanggal 5 Desember adalah 87.879 kWh, tanggal 6 Desember adalah 84.758 kWh, dan tanggal 7 Desember adalah 94.309 kWh.

C. Hasil Perhitungan SFC (*Specific Fuel Consumption*) PLTMG Tanjung Selor Engine 1 & 2

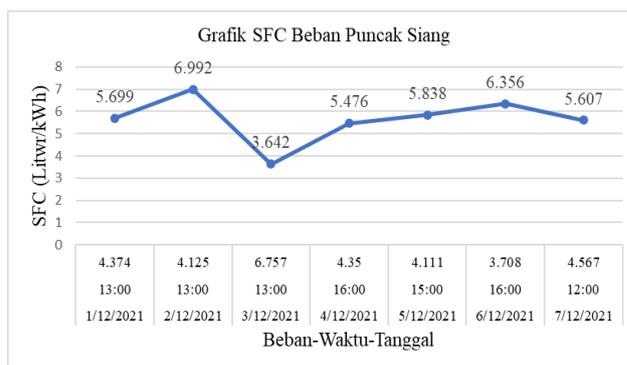
Berdasarkan hasil perhitungan SFC Engine 1 diatas dapat diketahui bahwa SFC yang dibutuhkan PLTMG untuk membangkitkan 1 kWh pada tanggal 1 November sebesar 0.251277869 Liter/kWh, tanggal 2 November adalah 0.2535308617 Liter/kWh, tanggal 3 November sebesar 0.254622526 liter/kWh, tanggal 4 November adalah 0.25315568 liter/kWh, tanggal 5 November adalah 0 liter/kWh dan pada tanggal 7 November sebesar 0.27153294 Liter/kwh.

Berikut ini adalah data Perhitungan SFC (*Specific fuel consumption*) PLTMG Tanjung Selor selama satu minggu dan dapat dilihat pada Tabel III.

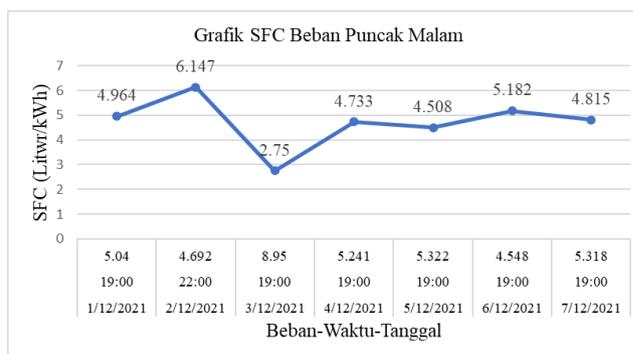
Tabel III
Data Perhitungan SFC (*Specific Fuel Consumption*) PLTMG Tanjung Selor Engine 1 Selama Satu Minggu

No	Tanggal	Total Pemakaian BBM (Liter)	Total Prodiksi Listrik (kWh)	Total Pemakaian SFC Per (kWh)
1	1 Nov 2021	35.739	142.229	0.251277869
2	2 Nov 2021	34.768	137.124	0.25355153
3	3 Nov 2021	35.032	137.371	0.255308617
4	4 Nov 2021	24.808	89.798	0.276264505
5	5 Nov 2021	23.990	87.879	0.272988996
6	6 Nov 2021	23.572	0	0
7	7 Nov 2021	25.608	94.309	0.27153294

Sedangkan hasil perhitungan SFC Engine 2 diketahui bahwa SFC yang dibutuhkan PLTMG untuk membangkitkan 1 kWh pada tanggal 1 Desember adalah 0.289769491 liter/kW, tanggal 2 Desember adalah 0.256665599 liter/kWh, tanggal 3 Desember adalah 0.271296296 lite/kWh, tanggal 4 Desember 0.276264505 liter/kWh, tanggal 5 Desember adalah 0.272988996 liter/kWh, tanggal 6 Desember adalah 0.278109441 liter/kWh dan pada tanggal 7 Desember 0.27153294 liter/kWh.



Gambar 2. Grafik SFC Beban Puncak Malam Engine 1 Bulan Desember Selama 1 Minggu



Gambar 3. Grafik SFC Beban Puncak Malam Engine 2 Bulan Desember Selama 1 Minggu

D. Efisiensi *Thermal* Terhadap Perubahan Beban *Engine* 1 & 2

Berikut adalah perhitungan efisiensi *Thermal* terhadap perubahan beban Beban puncak siang dan malam *Engine* 1

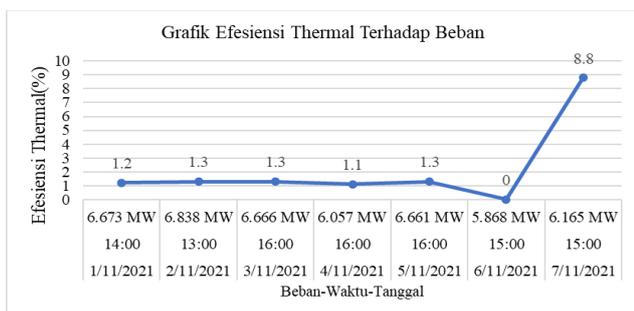
a. Beban Pucak siang (jam 14:00)

$$\eta_{th}(\text{solar}) = \frac{Q_{\text{output}}}{Q_{\text{input}}} \times 100\% = \frac{6.673}{5.355} = 1.2 \%$$

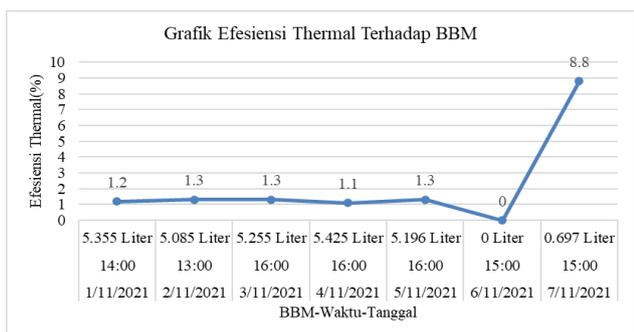
b. Beban Pucak Malam (jam 22:00)

$$\eta_{th}(\text{solar}) = \frac{Q_{\text{output}}}{Q_{\text{input}}} \times 100\% = \frac{7.060}{9.311} = 0.8 \%$$

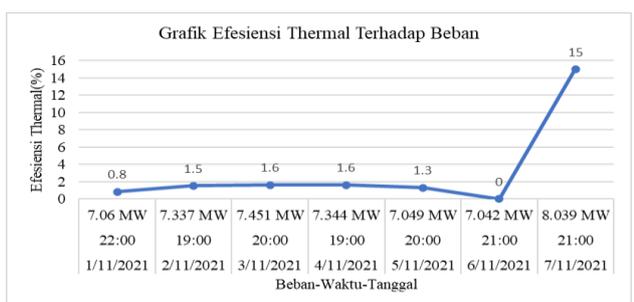
Dari perhitungan efisiensi *Thermal Engine* 1 diatas dapat diketahui bahwa kerja dari suatu mesin kalor yang terjadi pada saat perubahan beban puncak di siang hari pada tanggal 1 November sebesar 1.2 % Sedangkan kerja dari suatu mesin kalor pada saat beban puncak malam hari pada tanggal 1 November sebesar 0.8 %



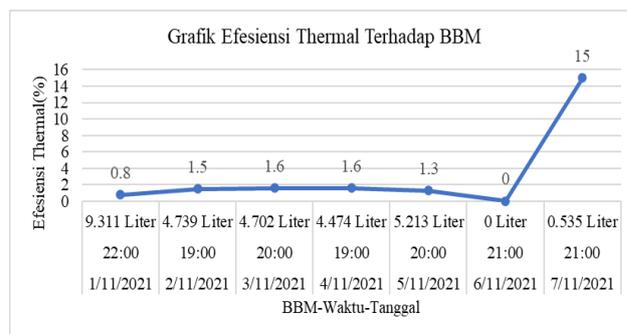
Gambar 4. Grafik Efisiensi *Thermal* Akibat Perubahan Beban Puncak Siang *Engine* 1 Bulan November Selama Satu Minggu



Gambar 5. Grafik Efisiensi *Thermal* Akibat Perubahan Beban Puncak Siang Terhadap BBM *Engine* 1 Bulan November Selama Satu Minggu



Gambar 6. Grafik Efisiensi *Thermal* Akibat Perubahan Beban Puncak Malam *Engine* 1 Bulan November Selama Satu Minggu



Gambar 7. Grafik Efisiensi *Thermal* Akibat Perubahan Beban Puncak Malam Terhadap BBM *Engine* 1 Bulan November Selama Satu Minggu

Berikut adalah perhitungan efisiensi *Thermal* terhadap perubahan beban Beban puncak siang dan malam *Engine* 2 :

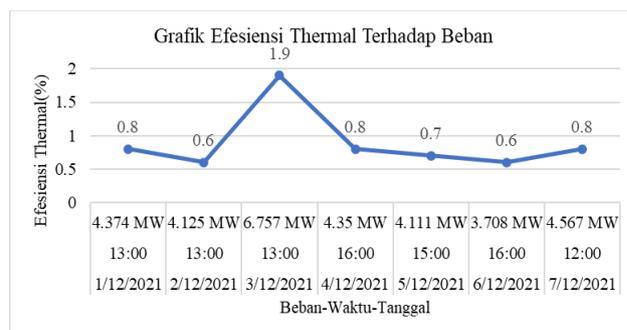
a. Beban Puncak Siang (13:00)

$$\eta_{th}(\text{solar}) = \frac{Q_{\text{output}}}{Q_{\text{input}}} \times 100\% = \frac{4.374}{5.699} = 0.8 \%$$

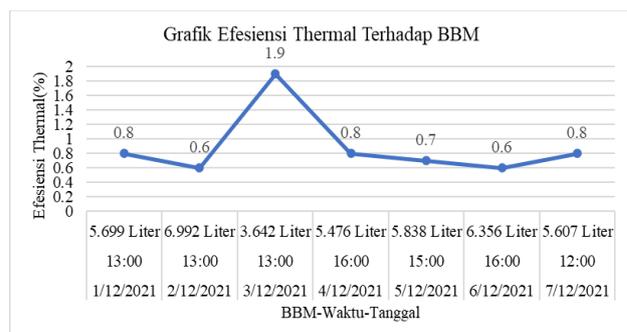
b. Beban Puncak Malam (19:00)

$$\eta_{th}(\text{solar}) = \frac{Q_{\text{output}}}{Q_{\text{input}}} \times 100\% = \frac{5.040}{4.946} = 1.0 \%$$

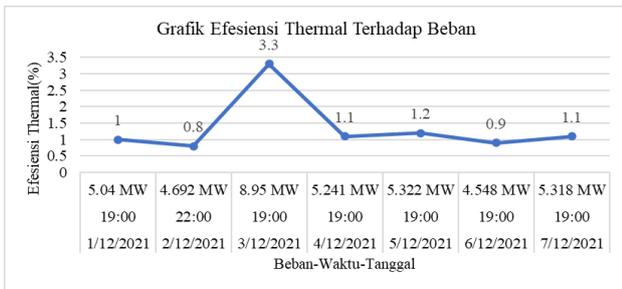
Untuk efisiensi *Thermal Engine* 2 dapat diketahui bawah kerja dari suatu mesin kalor yang terjadi pada saat perubahan beban puncak di siang hari pada tanggal 1 Desember adalah 0.8 %. Sedangkan kerja dari suatu mesin kalor pada beban puncak di malam hari tanggal 1 Desember adalah 1.0 %



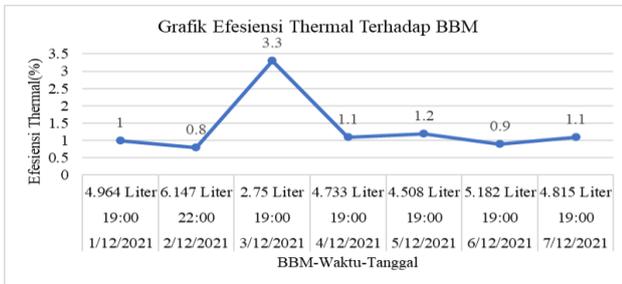
Gambar 8. Grafik Efisiensi *Thermal* Akibat Perubahan Beban Puncak Siang *Engine* 2 Bulan Desember Selama Satu Minggu



Gambar 9. Grafik Efisiensi *Thermal* Akibat Perubahan Beban Puncak Malam Terhadap BBM *Engine* 2 Bulan Desember Selama Satu Minggu



Gambar 10. Grafik Efisiensi *Thermal* Akibat Perubahan Beban Puncak Malam *Engine 2* Bulan Desember Selama Satu Minggu



Gambar 11. Grafik Efisiensi *Thermal* Akibat Perubahan Beban Puncak Malam Terhadap *BBM Engine 2* Bulan Desember Selama Satu Minggu.

E. Perhitungan Laju Panas Pembangkit (*Heat Rate*) Perubahan Beban *Engine 1 & 2*

Berikut ini adalah data perhitungan laju panas pembangkit (*Heat Rate*) akibat perubahan beban.

- a. Beban Puncak siang (jam 14:00)

$$Hr(solar) = \frac{mf \times HHV/LHV}{Kwhg} \text{btu/Kwh}$$

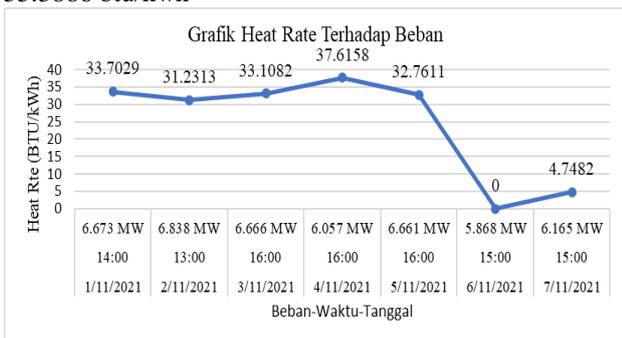
$$= \frac{5.335 \times 41.998}{6.673} = 33.7092 \text{ btu/kWh.}$$

- b. Beban Puncak Malam jam (22:00)

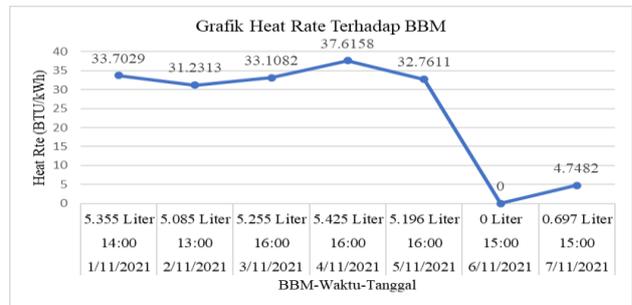
$$Hr(solar) = \frac{mf \times HHV/LHV}{Kwhg} \text{btu/Kwh}$$

$$= \frac{9.311 \times 41.998}{7.060} = 55.3886 \text{ btu/kWh}$$

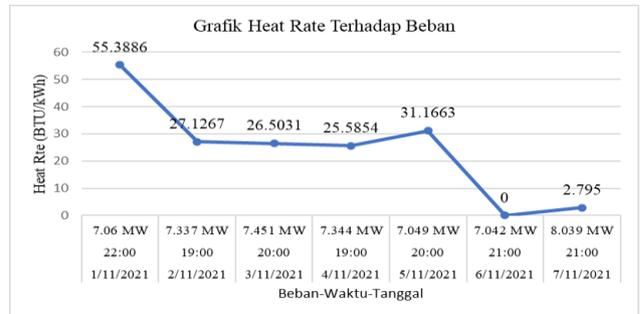
Dari perhitungan laju panas pembangkit *Engine 1* (*Heat Rate*) diatas pada tanggal 1 November sebesar 33.7029 btu/kWh. Dan pada saat beban puncak di malam hari dibutuhkan HSD pada tanggal 1 November sebesar 55.3886 btu/kwh



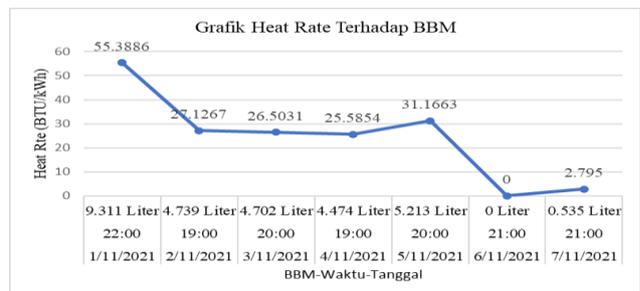
Gambar 12. Grafik *Heat Rate* Akibat Perubahan Beban Puncak Siang *Engine 1* Bulan November selama 1 Minggu



Gambar 13. Grafik *Heat Rate* Akibat Perubahan Beban Puncak Siang Terhadap *BBM Engine 1* Bulan November selama 1 Minggu



Gambar 14. Grafik *Heat Rate* Akibat Perubahan Beban Puncak Malam *Engine 1* Bulan November selama 1 Minggu



Gambar 15. Grafik *Heat Rate* Akibat Perubahan Beban Puncak Malam *Engine 1* Terhadap *BBM* Bulan November selama 1 Minggu

Berikut ini adalah data perhitungan laju panas pembangkit (*Heat Rate*) akibat perubahan beban PLTMG Tanjung Selor selama Satu Minggu.

- a. Beban Puncak Siang (jam 13:00)

$$Hr(solar) = \frac{mf \times HHV/LHV}{Kwhg} \text{btu/Kwh}$$

$$= \frac{5.699 \times 40.631}{4.374} = 52.9392 \text{ btu/kWh}$$

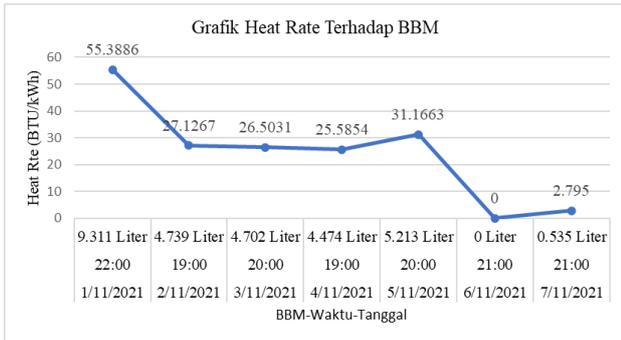
- b. Beban Puncak Malam (jam 19:00)

$$Hr(solar) = \frac{mf \times HHV/LHV}{Kwhg} \text{btu/Kwh}$$

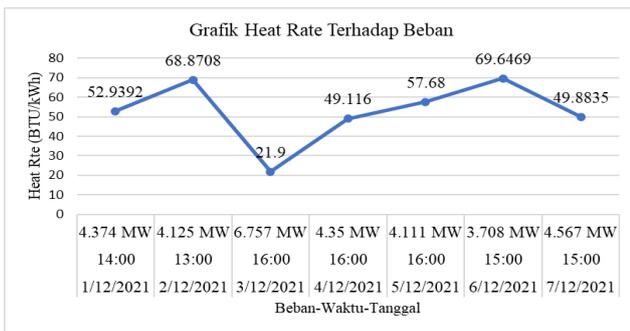
$$= \frac{4.946 \times 40.631}{5.040} = 39.8732 \text{ btu/kWh}$$

Dari perhitungan laju panas pembangkit *Engine 2* (*Heat Rate*) diatas dapat dilihat bahwa untuk membangkitkan daya listrik akibat perubahan beban yang terjadi pada siang hari dibutuhkan high speed diesel (HSD) pada tanggal 1 Desember adalah 52.9392

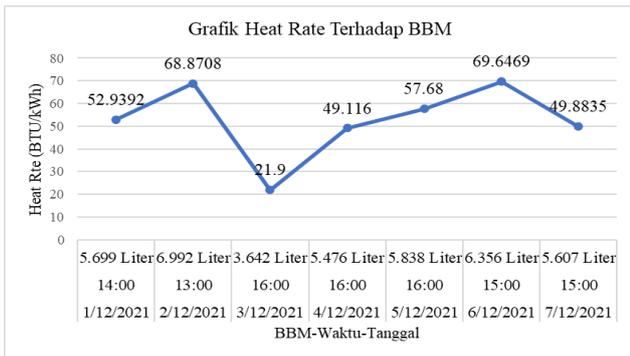
btu/kWh. Dan pada saat beban puncak dimalam hari dibutuhkan HSD pada 1 Desember adalah 39.8732 btu/kWh



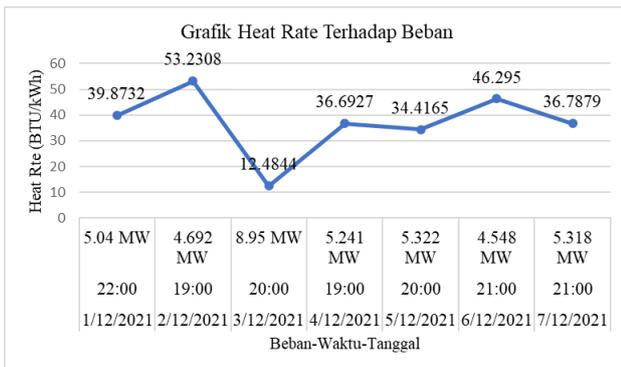
Gambar 16. Grafik Heat Rate Akibat Perubahan Beban Puncak Malam Engine 1 Terhadap BBM Bulan November selama 1 Minggu



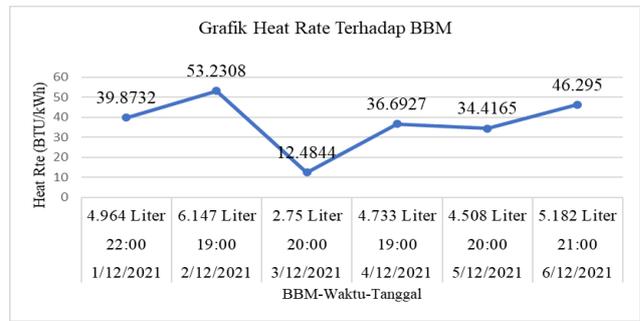
Gambar 17. Grafik Heat Rate Akibat Perubahan Beban Puncak Siang Engine 2 Selama 1 Minggu



Gambar 18. Grafik Heat Rate Akibat Perubahan Puncak Siang Terhadap BBM Engine 2 selama 1 Minggu



Gambar 19. Grafik Heat Rate Akibat Perubahan Beban Puncak Malam Engine 2 selama 1 Minggu



Gambar 20. Grafik Heat Rate Akibat Perubahan Beban Puncak Malam Terhadap BBM Engine 2 selama 1 Minggu

V. KESIMPULAN

Dari perhitungan data pemakaian BBM Engine Satu PLTMG Tanjung Selor Total pemakaian BBM selama satu hari pada tanggal 1 November sebesar 35.739 liter, sedangkan untuk pemakaian produksi listrik di tanggal 1 November sebesar 142.299 kWh, dan untuk SFC (*Specific fuel consumption*) yang dibutuhkan engine satu untuk membangkitkan 1 kWh pada tanggal 1 November sebesar 0.251277869 Liter/kWh. Sedangkan pada perhitungan pemakaian SFC pada saat beban puncak di siang hari dan malam hari bahan bakar yang di butuh kan pada saat beban puncak siang pada tanggal 1 November jam 14:00 sebesar 5.355 liter/kWh dan pada malam di jam 22:00 sebesar 9.311 Liter/kWh, dan untuk efisiensi thermalnya diketahui bawah kerja dari suatu mesin kalaor yang terjadi pada saat beban puncak siang pada tanggal satu November jam 14:00 sebesar 1.2 % dan pada malam hari di jam 22:00 sebesar 0.8 %, sedangkan untuk laju panas pembangkit (*Heat Rate*) untuk membangkitkan daya listrik akibat adanya perubahan beban yang terjadi dibutuhkan *High Speed Diesel* (HSD) pada beban puncak siang di tanggal 1 November jam 14:00 sebesar 33.7029 Btu/kWh dan pada malam hari di jam 22:00 sebesar 55.3886 btu/kWh.

Dari perhitungan data pemakaian BBM Engine Dua PLTMG Tanjung Selor Total pemakaian BBM selama satu hari pada tanggal 1 Desember sebesar 24.928 liter, sedangkan untuk pemakaian produksi listrik ditanggal 1 Desember sebesar 86.027 kWh, dan untuk SFC (*Specific fuel consumption*) yang di butuhkan engine satu untuk membangkitkan 1 kWh pada tanggal 1 Desember sebesar 0.289769491 Liter/kWh. Sedangkan pada perhitungan pemakaian SFC pada saat beban puncak di siang hari dan malam hari bahan bakar yang dibutuhkan kan pada saat beban puncak siang pada tanggal 1 Desember jam 13:00 sebesar 5.699 liter/kWh dan pada malam di jam 19:00 sebesar 4.946 Liter/kWh, dan untuk efisiensi termalnya diketahui bawah kerja dari suatu mesin kalor yang terjadi pada saat beban puncak siang pada tanggal 1 Desember jam 13:00 sebesar 0.8 % dan pada malam hari di jam 19:00 sebesar 1.0%, sedangkan untuk laju panas pembangkit (*Heat Rate*) untuk membangkitkan daya listrik akibat adanya perubahan beban yang terjadi dibutuhkan *High Speed Diesel* (HSD) pada beban puncak siang di tanggal 1 Desember jam 13:00 sebesar 52.9392 btu/kWh dan pada malam hari di jam 19:00 sebesar 39.8732 btu/kWh.

REFERENSI

- [1] Imansyah, L. N., Wibowo, R. S., & Soedibjo, S.(2014). *Kajian Potensi Kerugian Akibat Penggunaan BBM pada PLTG dan PLTGU di Sistem Jawa Bali. Jurnal Teknik ITS, 3(1), A1-A6.*
- [2] Bogi Adikumoro, Novirani, D., & Fitria, L. (2014).Pengaruh Pembebanan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Terhadap Efisiensi Biaya Pembangkit Listrik (Studi Kasus di PT Indonesia Power UBP Bali. Online nstitut Teknologi Nasional, 02 (02), 333 341
- [3] Widagno. (2013). *Optimasi Pola Pembebanan Daya Mesin Pembangkit Listrik Diesel SWD16 TM 410 Terhadap Efisiensi Konsumsi Bahanbakar.*
- [4] Gusnita, N., & Prima, B. (2017). *Analisa Teknis dan Ekonomis Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar PLTMG Terhadap PLTG Di Pusat Listrik Balai Pungut Duri. Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, 15(1), 15-27*
- [5] Maryanti, Budha. Dkk. 2012, *Pengaruh Penggunaan dan Perhitungan Efisiensi Bahan Bakar Premium dan Pertamina Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar Bensin. Jurnal Teknologi No.IVol.2Presisi,18(2).*

ANALISA PERBANDINGAN PENGGUNAAN BAHAN BAKAR (*FIBER & SHELL*) DAN AIR PADA *BOILER ADVANCE 30 TON* PT. CITRA SAWIT LESTARI

Alda Juliyanti¹, Fitriani²,

¹ PT Citra Sawit Lestari, Bulungan, Kalimantan Utara, Indonesia
² Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹aldajuliyanti08@gmail.com

²fitrianiubt22@gmail.com, fitriani@borneo.ac.id

Abstract—PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir has a power plant that uses an Advance 30 Ton Boiler. The main function of the boiler is to produce steam that is used in generating electricity for the needs of the plant. If steam production decreases, there is a disruption to the turbine generator which causes a decrease in electric power production and a decrease in the processing process. This study aims to determine the comparison between the feedwater system and the boiler fuel system to be able to generate electrical energy used by palm oil mills. After reviewing with observations of data analysis in the field, calculations were then carried out, the results of the comparison with the average use of fuel (fiber & shell) and water per hour were 5,100 kg of fuel (composition of 3,640 kg of fibers and 1,460 kg of shells, with a percentage of 71%: 29%) and 15,500 kg of feed water. With an average fuel specific consumption value per 1 kWh of 6.21 kg (composition of 4.44 kg of fibers and 1.77 kg of shells) and an average of 823 kW of generated electrical power.

Keywords— Water, Fuel, Boiler, Fuel Specific Consumption, Electricity

Intisari—PT. Citra Sawit Lestari memiliki PLTU yang menggunakan Boiler Advance 30 Ton. Fungsi utama boiler adalah untuk memproduksi uap yang digunakan dalam membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik. Jika produksi uap menurun maka terjadi gangguan terhadap generator turbin yang menyebabkan penurunan produksi tenaga listrik dan penurunan proses pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara sistem air umpan dan sistem bahan bakar boiler untuk bisa membangkitkan energi listrik yang digunakan oleh pabrik kelapa sawit. Setelah mengkaji dengan pengamatan analisa data di lapangan kemudian dilakukan perhitungan maka didapatkan hasil perbandingan dengan rata-rata penggunaan bahan bakar (fiber & shell) dan air per jam adalah 5.100 kg bahan bakar (komposisi 3.640 kg serabut dan 1.460 kg cangkang, dengan persentase 71%:29%) dan 15.500 kg air umpan. Dengan rata-rata nilai konsumsi spesifik bahan bakar per 1 kWh sebesar 6,21 kg (komposisi 4,44 kg serabut dan 1,77 kg cangkang) dan rata-rata daya listrik yang dibangkitkan sebesar 823 kW.

Kata Kunci— Air, Bahan Bakar, Boiler, Konsumsi Spesifik Bahan Bakar, Listrik

I. PENDAHULUAN

PT. Citra Sawit Lestari merupakan perusahaan swasta yang bergerak dibidang perkebunan dan pengolahan

kelapa sawit. Perusahaan ini memiliki cabang yang terletak di Tepurau, RT.007 Kelurahan Tanjung Palas Hilir Kecamatan Tanjung Palas Kabupaten Bulungan Kalimantan Utara. PT. Citra Sawit Lestari menggunakan generator pembangkit yang berkapasitas sebesar 1,2 MW. Untuk menunjang kegiatan operasional perusahaan, PT. Citra Sawit Lestari memiliki sistem pembangkit tenaga listrik sendiri. Perusahaan ini memiliki pembangkit listrik tenaga uap, yang mana uap yang digunakan berasal dari boiler.

Boiler (ketel uap) adalah suatu alat untuk mengkonversi air menjadi uap yang memiliki tekanan dan temperatur tertentu yang selanjutnya akan digunakan untuk proses pemanasan atau untuk di konversi menjadi tenaga. Sistem pada boiler terdiri dari sistem bahan bakar, sistem air umpan, dan sistem steam. sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang berperan untuk menyediakan bahan bakar yang digunakan pada proses pembakaran didalam dapur boiler. Sistem air umpan berperan untuk menyediakan air umpan untuk boiler sesuai dengan kebutuhan produksi uap. Sistem steam ini berperan untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi uap pada boiler. [1].

Fungsi utama boiler adalah untuk memproduksi uap untuk digunakan dalam membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik. Jika pembuatan uap menurun yang terjadi adalah gangguan terhadap generator turbin yang menyebabkan penurunan produksi tenaga listrik dan penurunan proses pengolahan. Untuk mengatasi hal tersebut maka perbandingan antara sistem air umpan dan sistem bahan bakar boiler perlu diperhatikan. Berdasarkan permasalahan yang diuraikan maka skripsi ini mengangkat judul “Analisa Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar (*Fiber & Shell*) Dan Air Pada Boiler Advance 30 Ton PT. Citra Sawit Lestari”.

II. LANDASAN TEORI

A. Boiler

Boiler/ketel uap adalah bejana tertutup yang mana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk steam berupa energi kerja. Air adalah sarana yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu sistem. Steam dengan tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang dimanfaatkan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu sistem. Ketika air dididihkan hingga

menjadi steam, maka volumenya meningkat sebesar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyamai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga sistem boiler adalah peralatan yang harus diatur dan dijaga dengan sangat baik.

Sistem pada boiler terdiri dari sistem bahan bakar, sistem air umpan, dan sistem steam. sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang berperan untuk menyediakan bahan bakar yang digunakan pada proses pembakaran didalam dapur boiler. Sistem air umpan berperan untuk menyediakan air umpan untuk boiler sesuai dengan kebutuhan produksi uap. Sistem steam ini berperan untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi uap pada boiler [1].

B. Air Umpan Boiler

Sistem air umpan boiler (*Boiler Feed Water*) harus memenuhi standar yang telah ditetapkan agar tidak menyebabkan kendala-kendala pada pengoperasian boiler. Air umpan harus bebas dari mineral-mineral yang tidak diperlukan serta padatan lainnya yang dapat menurunkan efisiensi kerja boiler. Air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi steam disebut air umpan [2].

Tabel I
Baku Mutu *Boiler Feed Water Chemtreat Inc.*

Parameter	Satuan	Ukuran
pH	Unit	10,5 – 11,5
Conductivity	µmhos/cm	5000, max
TDS	Ppm	3500, max
P-Alkalinity	Ppm	-
M-Alkalinity	Ppm	800, max
O-Alkalinity	Ppm	2,5 x SiO ₂ , min
T Hardness	Ppm	-
Silika	Ppm	150, max
Besi	Ppm	2, max
Phospat residual	Ppm	
Sulfite residual	Ppm	20 – 50
pH condensate	Unit	8,0 – 9,0

Sumber: Altret Performance Chemicals Gujarat Pvt.Ltd

C. Bahan Bakar Boiler

Bahan bakar adalah segala material yang dapat dibakar, materi apapun yang dapat diubah menjadi energi panas. Kebanyakan bahan bakar digunakan melalui melalui proses pembakaran (reaksi redoks), bahan bakar melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen. Proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar boiler (furnace) berfungsi untuk memperoleh kalor yang dapat merubah air menjadi uap [3].

Boiler pada pabrik kelapa sawit memakai bahan bakar padat yang mudah diperoleh, dan ekonomis yaitu sebagai serabut dan kelapa sawit, bila dibandingkan dengan bahan bakar lainnya. Penggunaan bahan bakar serabut dan cangkang kelapa sawit memiliki persentase untuk masing-masing komposisinya, nilai persentase dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [1].

$$P = \frac{F}{n} \times 100\% \tag{1}$$

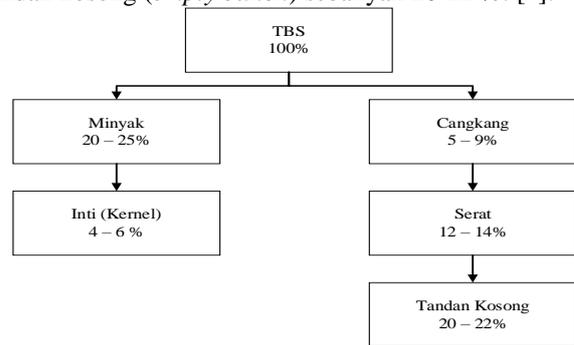
Dengan:

P = Besaran persentase

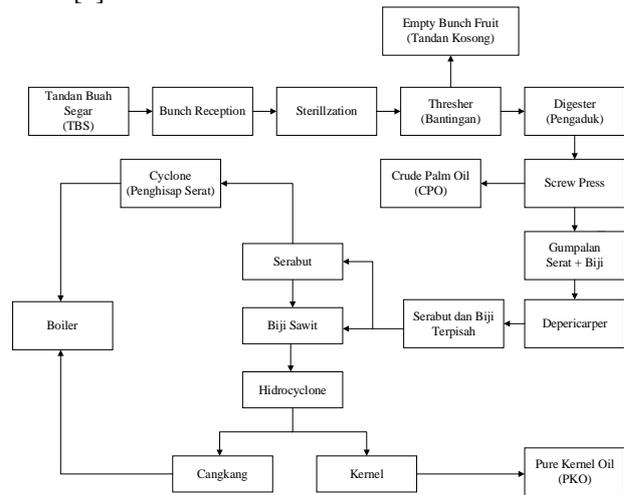
F = Jumlah bagian

n = Jumlah total

Dalam pengolahan TBS dengan mutu yang baik, dari 100% TBS, produk utama yang dihasilkan adalah berupa minyak sebanyak 20-25%, inti (*kernel*) sebanyak 4-6 %, dan produk lainnya berupa limbah yaitu serat (*fiber*) sebanyak 12-14 %, cangkang (*shell*) sebanyak 5-9%, dan tandan kosong (*empty bunch*) sebanyak 20-22 %. [4].



Gambar 1. Produk Pengolahan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit [4]



Gambar 2. Pengolahan TBS Kelapa Sawit [5]

Potensi pemanfaatan limbah kelapa sawit (serabut dan cangkang) sangat besar yaitu digunakan sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Potensi daya yang dihasilkan dari serabut dan cangkang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [6].

$$\text{Potensi daya yang dihasilkan serabut sawit} = \frac{\text{Jumlah serabut sawit dari TBS}}{\text{Jumlah serabut sawit yang dibutuhkan /kw}} \tag{2}$$

$$\text{Potensi daya yang dihasilkan cangkang sawit} = \frac{\text{Jumlah cangkang sawit dari TBS}}{\text{Jumlah cangkang sawit yang dibutuhkan /kw}} \tag{3}$$

Potensi daya yang dapat digunakan

$$= \text{Dayayang dihasilkan serabut} + \text{daya yang dihasilkan cangkang} \tag{4}$$

D. Konsumsi Spesifik Bahan Bakar

Konsumsi Spesifik Bahan Bakar atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) merupakan parameter yang biasa digunakan pada motor pembakaran dalam untuk menggambarkan pemakaian bahan bakar. Konsumsi spesifik bahan bakar didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran *massa* bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (*output*). Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kg/kWh [7].

Konsumsi spesifik bahan bakar merupakan daya listrik yang dapat di bangkitkan oleh banyak nya bahan bakar dalam menghasilkan listrik per kwh. Konsumsi spesifik bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [4].

$$SFC = \frac{Q_f}{Kw} \tag{5}$$

Dengan:

- SFC = Konsumsi spesifik bahan bakar (kg/kwh)
- Qf = Jumlah bahan bakar yang dipakai (kg/jam)
- Kw = Daya listrik yang dibangkitkan (kw)

III. METODE PENELITIAN

A. Lokasi penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Citra Sawit Lestari Kelurahan Tanjung Palas Hilir Kecamatan Tanjung Palas Kabupaten Bulungan Kalimantan Utara dan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan.

B. Alat dan bahan yang digunakan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan peralatan sebuah laptop dan data-data PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir serta jurnal-jurnal sebagai referensi pendukung pada penelitian ini.

C. Metode Pengambilan Data

Adapun metode-metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Melakukan pencarian bahan untuk pendalaman materi dalam menyelesaikan masalah yang dirumuskan, seperti pencarian studi literatur yang mana dapat digunakan sebagai acuan dan panduan informasi untuk mendukung keperluan dalam pelaksanaan penelitian.

2. Pengambilan Data Lapangan

Melakukan pengamatan data yang diberikan dan ditinjau dari jumlah penggunaan bahan bakar (*fiber & shell*), penggunaan air boiler, dan listrik yang dihasilkan pada PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir.

a. Wawancara

Melakukan komunikasi langsung terhadap pihak perusahaan yang berwenang untuk memberikan informasi dan data yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian.

b. Riset/Pengumpulan Data Tertulis

Melakukan pengambilan data yang dibutuhkan untuk memenuhi tujuan dan manfaat penelitian ini.

3. Konsultasi

Melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing, dosen penguji, dan mentor dari instansi yang bersangkutan serta pihak-pihak yang berkaitan dengan penelitian ini.

4. Analisis dan Kesimpulan

Melakukan analisis dari semua data yang diperoleh dan mengambil kesimpulan akhir keseluruhan proses yang telah dilakukan.

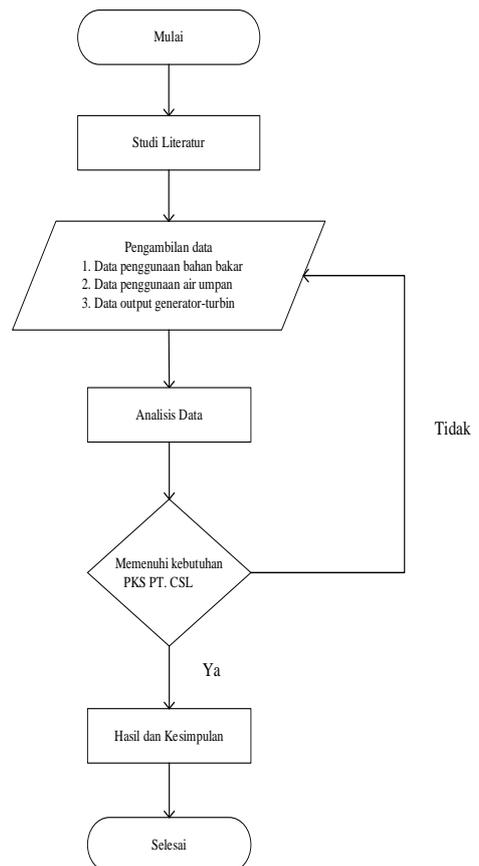
D. Data Penelitian

Data yang dianalisis adalah terdiri data primer dan sekunder. Yang mana data primer dan sekunder berupa data penggunaan bahan bakar boiler, data penggunaan air umpan boiler, dan data output generator turbin pada PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir. Selain itu, data sekunder lainnya berupa literatur dan jurnal elektronik.

E. Flowchart Penelitian

Flowchart atau diagram alir merupakan sebuah diagram dengan simbol-simbol grafis yang menerangkan aliran algoritma atau proses yang menunjukkan langkah-langkah yang disimbolkan dalam bentuk kotak, beserta urutannya dengan menghubungkan masing-masing langkah tersebut menggunakan tanda panah. Flowchart membantu analisis untuk memecahkan masalah kedalam segmen-segmen yang lebih kecil dan membantu dalam menganalisis alternatif-alternatif lain dalam pengoperasian.

Flowchart biasanya mempermudah penyelesaian suatu masalah khususnya masalah yang perlu dipelajari dan dievaluasi lebih lanjut.



Gambar 3. Diagram alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Boiler

PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir mempunyai kapasitas pengolahan pabrik sebesar 30 ton TBS/jam. Untuk mendukung pengolahan tersebut, PT. Citra Sawit Lestari memiliki PLTU yang mempunyai kapasitas 1200 kW dan boiler advance 30 ton. Boiler advance 30 ton merupakan jenis boiler water tube. Berikut data boiler yang digunakan di PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir.

Tabel II

Data Boiler PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir

Jenis		Water Tube Boiler
Steam Evaporation		30.000 kg/hr
Steam Design Pressure		34 barg
Steam Normal Working Pressure		30 barg
Steam Condition at Boiler Outlet		Superheated steam to 285 °C
Water Inlet Temperature		105 °C
Fuel		Fibre 70%, Shell 30%
Boiler Efficiency		75%
High heating value	Fiber	2.700 kcal/kg
	Shell	4.000 kcal/kg



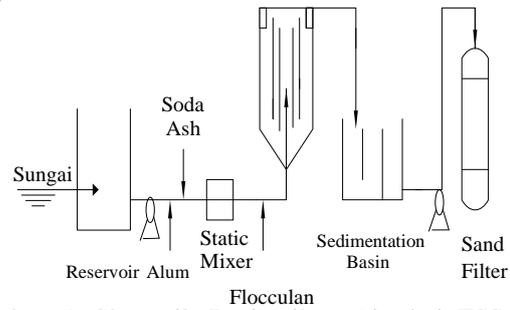
Gambar 4. Boiler PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir

B. Air Umpan Boiler

PT. Citra Sawit Lestari, air umpan untuk boiler akan diolah atau ditreatment atau dijernihkan dari TSS (*Total Suspended Solid*) dan TDS (*Total Disolved Solid*).

a. Penjernihan Air dari TSS (*Total Suspended Solid*)

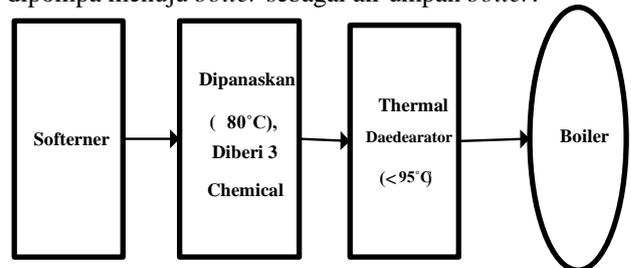
Air yang digunakan berasal dari sungai yang kemudian di tampung di reservoir (waduk). pH yang berada di waduk adalah 4,5-5,5. Setelah itu, air dipompa dan diinjeksi dengan soda ash untuk menaikkan PH sebesar 6,5-7,5. Setelah itu, air diinjeksi dengan alum yang bertujuan untuk membentuk TSS menjadi fluk. Setelah itu, air mengalir menuju static mixer yang bertujuan agar air tercampur dengan chemical. Kemudian, air diinjeksi dengan flocculant yang bertujuan agar TSS dapat saling terikat. Setelah itu, air dipompa menuju clarifier yang mana di clarifier fluk-fluk TSS akan saling mengikat sehingga tidak ada TSS di air. Kemudian, air dipompa menuju water basin untuk ditampung sementara. Lalu air dipompa menuju sand filter untuk di saring TSS yang masih tersisa. Setelah itu air dipompa menuju overhead tank sebagai penampung akhir.



Gambar 5. Skematik Penjernihan Air dari TSS (*Total Suspended Solid*)

b. Penjernihan Air dari TDS (*Total Disolved Solid*)

Air dari over head tank akan dipompa menuju softener, yang mana bertujuan untuk mengikat hardness berupa unsur CaCO₃ (*Calcium Carbonate*) dengan memberikan chemical resin. Setelah itu, air dipompa menuju feed water tank untuk dipanaskan dengan suhu ± 85°C. Hal ini bertujuan agar proses pembentukan steam lebih cepat. Kemudian, air dipompa menuju daederator yang mana air akan dipanaskan kembali dengan suhu ± 90°C. Hal ini bertujuan untuk mengurangi unsur O₂ (oksigen) dalam air. Setelah itu, air diberikan chemical yang meliputi injeksi alkaline yang bertujuan untuk menaikkan PH menjadi 10,5-11,5. Kemudian diberikan chemical fosfat dan sulfit yang bertujuan untuk membantu hardness agar mudah terlarut dan untuk mengikat O₂ (oksigen) yang masih tersisa di air. Dan akhirnya, air akan dipompa menuju boiler sebagai air umpan boiler.



Gambar 6. Skematik Penjernihan Air dari TDS (*Total Disolved Solid*)

Adapun parameter kontrol yang harus diperhatikan sebagai air umpan boiler adalah sebagai berikut.

Tabel III
Parameter Kontrol

PARAMETER		BOILER KONTROL
PH		10.5 – 11.5
TDS, ppm	, ppm	2.000 max
O-Alkalinity, ppm CaCO ₃	, ppm CaCO ₃	2.5 x ppm SiO ₂ , min
Ortho-PO ₄ residual	, ppm PO ₄	30 – 70
Sulfite residual	, ppm SO ₃	30 – 50
Silica	, ppm SiO ₂	90, max
Total Iron	, ppm Fe	2, max
Total Hardness	, ppm CaCO ₃	-
M-Alkalinity	, ppm CaCO ₃	700, max

Sumber: PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir

C. Bahan Bakar *Boiler*

PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir mempunyai kapasitas pengolahan pabrik sebesar 30 ton TBS/jam. Untuk mendukung pengolah tersebut, PT. Citra Sawit Lestari memiliki PLTU yang mempunyai kapasitas 1200 kW dan *boiler advance* 30 ton. *Boiler advance* 30 ton merupakan jenis *boiler water tube*. Berikut data *boiler* yang digunakan di PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir.



Gambar 7. Serabut (*Fibre*) Kelapa Sawit



Gambar 8. Cangkang (*Shell*) Kelapa Sawit

D. Hasil Pengukuran

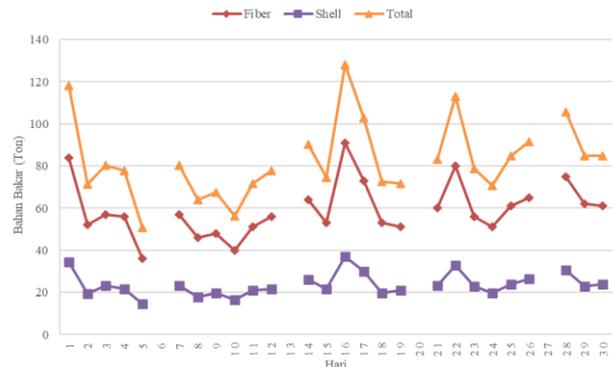
1. Data Penggunaan Bahan Bakar

Tabel IV

Data Penggunaan Bahan Bakar Periode 1-30 September 2020

TGL	HM Boiler (Hour)	Pemakaian Fibre		Pemakaian Shell		Pemakaian Total		
		Ton	T/H	Ton	T/H	To n	T/ H	
1	22	84	3,82	34	1,56	118	5,38	
2	14	52	3,71	19	1,37	71	5,09	
3	15	57	3,80	23	1,55	80	5,35	
4	15	56	3,73	22	1,45	78	5,19	
5	11	36	3,27	15	1,34	51	4,61	
6	0							
7	15	57	3,80	23	1,55	80	5,35	
8	13	46	3,54	18	1,38	64	4,91	
9	13	48	3,69	20	1,51	68	5,20	
10	12	40	3,33	16	1,36	56	4,69	
11	14	51	3,64	21	1,49	72	5,13	
12	15	56	3,73	22	1,45	78	5,19	
13	0							

TGL	HM Boiler (Hour)	Pemakaian Fibre		Pemakaian Shell		Pemakaian Total		
		Ton	T/H	Ton			Ton	
14	18	64	3,56	26	1,45	90	5,01	
15	14	53	3,79	22	1,55	75	5,33	
16	23	91	3,96	37	1,62	128	5,57	
17	21	73	3,48	30	1,42	103	4,90	
18	14	53	3,79	20	1,40	73	5,19	
19	14	51	3,64	21	1,49	72	5,13	
20	0							
21	17	60	3,53	23	1,37	83	4,90	
22	22	80	3,64	33	1,50	113	5,14	
23	15	56	3,73	23	1,52	79	5,26	
24	14	51	3,64	20	1,42	71	5,06	
25	17	61	3,59	24	1,40	85	4,98	
26	19	65	3,42	27	1,40	92	4,82	
27	0							
28	21	75	3,57	31	1,46	106	5,03	
29	17	62	3,65	23	1,35	85	5,00	
30	17	61	3,59	24	1,40	85	4,98	
Total		422	1.539	94,64	615	38	2.154	132
Rata-Rata		16	59	3,64	24	1,45	83	5,10



Gambar 9. Grafik Penggunaan Bahan Bakar Selama 1 Bulan

Penggunaan bahan bakar selama 1 bulan periode 1-30 September 2020 jumlah keseluruhan penggunaan bahan bakar sebesar 2.154 ton dengan komposisi 1.539 ton *fiber* dan 615 ton *shell* selama 422 jam yang setiap hari Minggu tidak beroperasi (*off duty*). Penggunaan bahan bakar paling kecil terjadi pada tanggal 5 September 2020 sebesar 36 ton *fiber* dan 15 ton *shell* dengan total keseluruhan sebesar 51 ton selama 11 jam. Penggunaan bahan bakar paling besar terjadi pada tanggal 16 September 2020 sebesar 91 ton *fiber* dan 37 ton *shell* dengan total keseluruhan sebesar 128 ton selama 23 jam. Yang berarti laju penggunaan bahan bakar terkecil adalah 3,27 ton/jam *fiber* dan 1,34 ton/jam

shell dengan total laju keseluruhan sebesar 4,61 ton/jam. Dan laju penggunaan bahan bakar terbesar adalah 3,96 ton/jam fiber dan 1,62 ton/jam shell dengan total laju keseluruhan sebesar 5,57 ton/jam. Rata-rata penggunaan bahan bakar selama 1 bulan adalah 83 ton dengan 59 ton fiber dan 24 ton shell selama 16 jam sehingga rata-rata laju penggunaan bahan bakar adalah 5,10 ton/jam dengan 3,64 ton/jam fiber dan 1,45 ton/jam shell.

Nilai persentase diperoleh dari hasil pengukuran penggunaan bahan bakar fiber dan shell menggunakan persamaan (1)

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase Serabut} &= \frac{f}{N} \times 100\% \\
 &= \frac{3.640 \text{ ton/jam}}{(3.640+1.450) \text{ ton/jam}} \times 100\% \\
 &= 71\% \\
 \text{Persentase Cangkang} &= \frac{f}{N} \times 100\% \\
 &= \frac{1.450 \text{ ton/jam}}{(3.640 + 1.450) \text{ ton/jam}} \times 100\% \\
 &= 29\%
 \end{aligned}$$

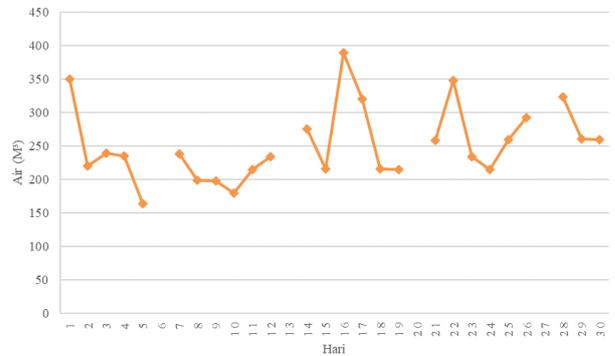
Nilai persentase penggunaan bahan bakar pada boiler PT. Citra Sawit Lesatari adalah 71% serabut (fiber) dan 29% cangkang (shell), maka perbandingan antara serabut (fiber) dan cangkang (shell) adalah 71%:29%.

2. Data Penggunaan Air Umpan

Tabel V
Data Penggunaan Air Umpan Periode 1-30 September 2020

TGL	HM Boiler (Hour)	Pemakaian Air (m ³)	Water Flow (T/H)
1	22	350	15,91
2	14	220	15,71
3	15	239	15,93
4	15	235	15,67
5	11	164	14,91
6		0	
7	15	238	15,87
8	13	199	15,31
9	13	198	15,23
10	12	180	15,00
11	14	215	15,36
12	15	234	15,60
13		0	
14	18	275	15,28
15	14	216	15,43
16	23	389	16,91
17	21	320	15,24
18	14	216	15,43
19	14	215	15,36
20		0	
21	17	258	15,18
22	22	348	15,82
23	15	234	15,60
24	14	215	15,36

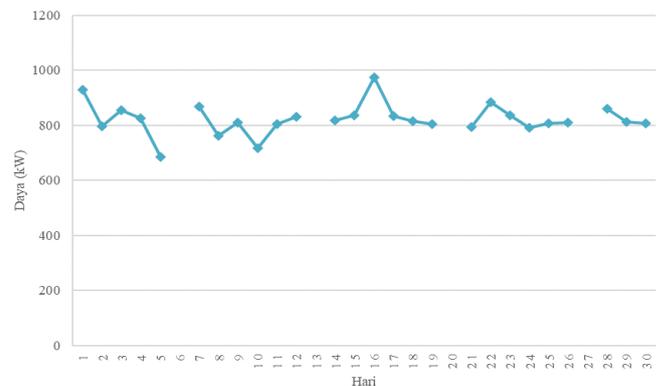
TGL	HM Boiler (Hour)	Pemakaian Air (m ³)	Water Flow (T/H)
25	17	260	15,29
26	19	292	15,37
27		0	
28	21	323	15,38
29	17	261	15,35
30	17	260	15,29
Total	422	6.554	403
Rata - Rata	16	252	15,50



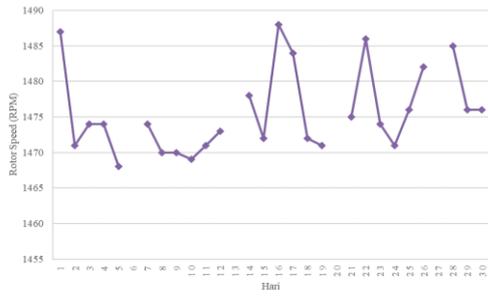
Gambar 10. Grafik Penggunaan Air Umpan Selama 1 Bulan

Penggunaan air umpan selama 1 bulan periode 1-30 September 2020 jumlah keseluruhan penggunaan air umpan sebesar 6.554 m³ selama 422 jam yang setiap hari Minggu tidak beroperasi (off duty). Penggunaan air umpan paling kecil terjadi pada tanggal 5 September 2020 sebesar 164 m³ selama 11 jam. Penggunaan air umpan paling besar terjadi pada tanggal 16 September 2020 sebesar 389 m³ selama 23 jam. Yang berarti laju penggunaan air umpan terkecil adalah 14,91 ton/jam. Dan laju penggunaan air umpan terbesar adalah 16,91 ton/jam. Rata-rata penggunaan air umpan selama 1 bulan adalah 252 m³ selama 16 jam sehingga rata-rata laju penggunaan air umpan adalah 15,50 ton/jam.

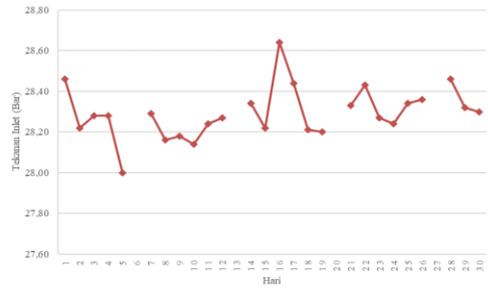
3. Data Output Generator-Turbin



Gambar 11. Grafik Daya yang Dibangkitkan Selama 1 Bulan



Gambar 12. Grafik Rotor Speed Selama 1 Bulan



Gambar 13. Grafik Tekanan Inlet Selama 1 Bulan



Gambar 14. Grafik Load Limit Selama 1 Bulan

Tabel VI
Data Output Generator Turbin

TGL	Ampere			Frekuensi (Hz)	Faktor Daya (Cosphi)	Daya (Kw)	Tegangan (Volt)	Rotor Speed	Load Limit	Tekanan Inlet (Bar)
	R	S	T							
1	1313	1294	1334	50	0,9	929	380	1487	46%	28,46
2	1164	1145	1184	50	0,9	796	380	1471	40%	28,22
3	1233	1254	1274	50	0,9	856	380	1474	41%	28,28
4	1205	1188	1228	50	0,9	826	380	1474	41%	28,28
5	1020	1011	1015	50	0,9	686	380	1468	37%	28,00
6										
7	1266	1246	1292	50	0,9	869	380	1474	41%	28,29
8	1107	1087	1133	50	0,9	762	380	1470	38%	28,16
9	1157	1177	1203	50	0,9	809	380	1470	39%	28,18
10	1042	1022	1068	50	0,9	718	380	1469	38%	28,14
11	1176	1196	1156	50	0,9	804	380	1471	40%	28,24
12	1214	1238	1198	49	0,9	832	380	1473	41%	28,27
13										
14	1194	1177	1217	50	0,9	818	380	1478	42%	28,34
15	1222	1205	1245	50	0,9	837	380	1472	40%	28,22
16	1340	1363	1383	50	0,9	974	380	1488	47%	28,64
17	1218	1201	1241	49	0,9	834	380	1484	45%	28,44
18	1170	1191	1211	50	0,9	814	380	1472	40%	28,21
19	1173	1156	1196	50	0,9	804	380	1471	40%	28,20
20										
21	1180	1160	1140	50	0,9	793	380	1475	42%	28,33
22	1276	1296	1317	50	0,9	886	380	1486	45%	28,43
23	1204	1224	1245	49	0,9	837	380	1474	41%	28,27
24	1138	1157	1178	50	0,9	792	380	1471	40%	28,24
25	1160	1180	1201	50	0,9	808	380	1476	42%	28,34
26	1163	1184	1204	49	0,9	810	380	1482	43%	28,36
27										
28	1259	1239	1279	50	0,9	860	380	1485	46%	28,46
29	1188	1168	1208	50	0,9	812	380	1476	42%	28,32
30	1181	1161	1201	50	0,9	808	380	1476	42%	28,30
Rata-Rata	1191	1189	1214	50	0,9	823	380	1476	41%	28,29

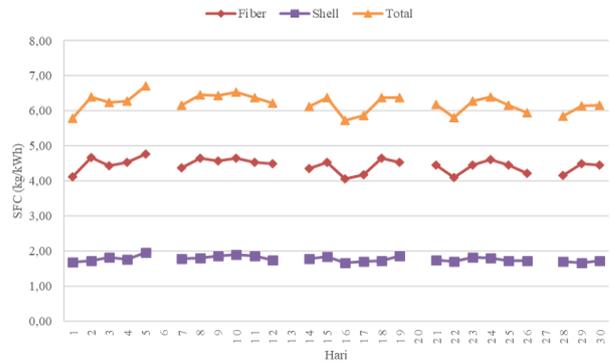
Output generator-turbin selama 1 bulan periode 1-30 September 2020 dengan setiap hari Minggu libur (*off duty*), output generator-turbin paling kecil terjadi pada tanggal 5 September 2020 dengan daya yang dibangkitkan sebesar 686 kW, tegangan 380 volt, arus 1.020 ampere, frekuensi 50 Hz dan cos phi 0,9. Tekanan inlet yang masuk sebesar 28 bar dengan rotor speed sebesar 1468 rpm dan load limit sebesar 37%. Output generator-turbin paling besar terjadi pada tanggal 16 September 2020 dengan daya yang dibangkitkan sebesar 974 kW, tegangan 380 volt, arus 1.383 ampere, frekuensi 50 Hz dan cos phi 0,9. Tekanan inlet yang masuk sebesar 28,64 bar dengan rotor speed sebesar 1488 rpm dan load limit sebesar 46%. Rata-rata output generator-turbin selama 1 bulan adalah daya yang dibangkitkan sebesar 823 kW, tegangan 380 volt, arus 1.218 ampere, frekuensi 50 Hz dan cos phi 0,9. Tekanan inlet yang masuk sebesar 28,29 bar dengan rotor speed sebesar 1476 rpm dan load limit sebesar 41%.

E. Perhitungan *Specific Fuel Consumption* (SFC)

Nilai *specific fuel consumption* (SFC) diperoleh dari hasil perhitungan nilai laju penggunaan bahan bakar dan nilai daya yang dibangkitkan menggunakan persamaan 5 halaman 3.

Tabel VII
Data Hasil Perhitungan *Specific Fuel Consumption* (SFC)

TGL	SFC (kg/kWh)		
	Fiber	Shell	Total
1	4,11	1,68	5,79
2	4,66	1,73	6,39
3	4,44	1,81	6,25
4	4,52	1,76	6,28
5	4,77	1,95	6,72
7	4,37	1,79	6,16
8	4,64	1,81	6,45
9	4,57	1,86	6,43
10	4,64	1,90	6,54
11	4,53	1,85	6,38
12	4,49	1,74	6,23
14	4,35	1,77	6,12
15	4,52	1,85	6,37
16	4,06	1,66	5,72
17	4,17	1,70	5,87
18	4,65	1,72	6,37
19	4,53	1,85	6,38
21	4,45	1,73	6,18
22	4,11	1,69	5,80
23	4,46	1,82	6,28
24	4,60	1,79	6,39
25	4,44	1,73	6,17
26	4,22	1,73	5,95
28	4,15	1,70	5,85
29	4,49	1,66	6,15
30	4,44	1,73	6,17
Rata-Rata	4,44	1,77	6,21



Gambar 15. Grafik *Specific Fuel Consumption* (SFC) Selama 1 Bulan

Perhitungan SFC selama 1 bulan periode 1-30 September 2020 dengan setiap hari Minggu libur (*off dut*), nilai SFC paling kecil terjadi pada tanggal 16 September 2020 sebesar 5,72 kg/kWh dengan 4,06 kg/kWh untuk *fiber* dan 1,66 kg/kWh untuk *shell*. Nilai SFC paling besar terjadi pada tanggal 5 September 2020 sebesar 6,72 kg/kWh dengan 4,77 kg/kWh untuk *fiber* dan 1,95 kg/kWh untuk *shell*. Rata-rata nilai SFC selama 1 bulan adalah sebesar 6,21 kg/kWh dengan 4,44 kg/kWh untuk *fiber* dan 1,77 kg/kWh untuk *shell*. Hasil ini berbanding terbalik dengan nilai penggunaan bahan bakar, air umpan, dan output generator-turbin yang mana nilai paling besar terjadi pada tanggal 16 September 2020 dan nilai terkecil terjadi pada tanggal 5 September 2020. Hal ini berarti semakin besar penggunaan bahan bakar, air umpan dan output generator-turbin maka nilai SFC semakin kecil.

Dari data di atas didapatkan hubungan ketika ketersediaan produksi kelapa sawit meningkat maka boiler beroperasi semakin lama sehingga penggunaan bahan bakar dan air umpan semakin meningkat yang menghasilkan tekanan inlet yang besar untuk meningkatkan putaran rotor maka daya yang dihasilkan semakin besar, namun konsumsi spesifik bahan bakar semakin menurun yang berarti pembakaran sudah baik dan sesuai dengan kebutuhan sehingga tidak mengalami pemborosan bahan bakar. Namun jika ketersediaan produksi kelapa sawit menurun maka yang terjadi adalah sebaliknya.

F. Perhitungan *Potensi Daya yang Dhasilkan Serabut dan Cangkang Sawit*

Potensi daya yang dihasilkan cangkang dan serabut sawit diperoleh dari hasil perhitungan jumlah serabut dan cangkang sawit dari TBS dengan jumlah serabut dan cangkang sawit yang dibutuhkan untuk membangkitkan 1 kW menggunakan persamaan (2) – (4).

Tabel VIII
Data Produksi Kelapa Sawit PT. Citra Sawit Lestari

Tanggal	Produksi Kelapa Sawit per Hari (Ton)
1-Sep-20	660
2-Sep-20	420
3-Sep-20	450
4-Sep-20	450
5-Sep-20	330

Tanggal	Produksi Kelapa Sawit per Hari (Ton)
6-Sep-20	0
7-Sep-20	450
8-Sep-20	390
9-Sep-20	390
10-Sep-20	360
11-Sep-20	420
12-Sep-20	450
13-Sep-20	0
14-Sep-20	540
15-Sep-20	420
16-Sep-20	690
17-Sep-20	630
18-Sep-20	420
19-Sep-20	420
20-Sep-20	0
21-Sep-20	510
22-Sep-20	660
23-Sep-20	450
24-Sep-20	420
25-Sep-20	510
26-Sep-20	570
27-Sep-20	0
28-Sep-20	630
29-Sep-20	510
30-Sep-20	510
Total	12.660

Dari Tabel VIII jumlah produksi kelapa sawit pada periode 1-30 September 2020 sebesar 12.660 ton/bulan atau 12.660.000 kg/bulan. PT. Citra Sawit Lestari menggunakan persentasi TBS terhadap bahan bakar sebesar 14% serabut (*fiber*) dan 6% cangkang (*shell*), maka didapatkan jumlah serabut dan cangkang selama sebulan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Hasil serabut} &= 14\% \times 12.660.000 \text{ kg/bulan} \\ \text{selama sebulan} &= 1.772.400 \text{ kg/bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hasil cangkang} &= 6\% \times 12.660.000 \text{ kg/bulan} \\ \text{selama sebulan} &= 759.600 \text{ kg/bulan} \end{aligned}$$

Dari Tabel VII perhitungan SFC, rata-rata nilai SFC selama 1 bulan adalah sebesar 6,21 kg/kWh dengan 4,44 kg/kWh untuk *fiber* dan 1,77 kg/kWh untuk *shell*. Yang berarti untuk menghasilkan daya 1 kW jika menggunakan serabut maka dibutuhkan serabut sebanyak 4,44 kg dan jika menggunakan cangkang dibutuhkan sebanyak 1,77 kg cangkang. Maka besar potensi daya yang dihasilkan selama sebulan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Potensi daya} &= \frac{\text{Jumlah serabut sawit dari TBS}}{\text{Jumlah serabut sawit yang dibutuhkan/kw}} \\ \text{yang dihasilkan} &= \frac{1.772.400}{4,44} \\ \text{serabut selama} &= 399.189,19 \text{ kW/bulan} \\ \text{sebulan} &= 399,19 \text{ MW/bulan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Potensi daya} &= \frac{\text{Jumlah cangkang sawit dari TBS}}{\text{Jumlah serabut sawit yang dibutuhkan/kw}} \\ \text{yang dihasilkan} &= \frac{759.600}{1,77} \\ \text{cangkang selama} &= 429.152,54 \text{ kW/bulan} \\ \text{sebulan} &= 429,15 \text{ MW/bulan} \end{aligned}$$

$$= 429,15 \text{ MW/bulan}$$

Potensi daya yang dihasilkan serabut dan cangkang sawit per jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Potensi daya yang} &= \frac{399,19}{720} \\ \text{dihasilkan serabut} &= 0,554 \text{ MW/jam} \\ \text{selama sejam} &= 0,554 \text{ MW/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Potensi daya yang} &= \frac{429,15}{720} \\ \text{dihasilkan cangkang} &= 0,596 \text{ MW/jam} \\ \text{selama sejam} &= 0,596 \text{ MW/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total daya yang} &= \text{daya yang dihasilkan serabut} + \text{cangkang} \\ \text{dihasilkan} &= 0,554 + 0,596 \\ &= 1,15 \text{ MW/jam} \end{aligned}$$

Potensi daya yang bisa digunakan PT. Citra Sawit Lestari untuk memenuhi kebutuhan listrik PKS perjam adalah 1,15 MW.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dengan melakukan pengumpulan data yang kemudian melakukan analisa dan perhitungan maka rata-rata bahan bakar yang digunakan pada *boiler advance* 30 Ton PT. Citra Sawit Lestari Tanjung Palas Hilir per jamnya adalah 5.100 kg dengan komposisi 71% (3.640 kg) serabut (*fiber*) dan 29% (1.460 kg) cangkang (*shell*), rata-rata air umpan yang digunakan per jamnya adalah 15.500 kg, rata-rata daya listrik yang dibangkitkan adalah 823 kW dan nilai konsumsi spesifik bahan bakar untuk membangkitkan 1 kWh adalah 6,21 kg dengan komposisi 4,44 kg serabut (*fiber*) dan 1,77 kg cangkang (*shell*). Potensi daya yang dihasilkan *fiber* dan *shell* untuk memenuhi kebutuhan listrik PKS PT. Citra Sawit Lestari perjam adalah 1,15 MW.

REFERENSI

- [1] Rahardja, B., dkk, (2022). *Water Tube Boiler Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 45 Ton/Jam*, Bekasi: Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi.
- [2] Fatimura, M. (2015). Tinjauan Teoritis Permasalahan *Boiler Feed Water* Pada Pengoperasian *Boiler* Yang Dipergunakan Dalam Industri. *JURNAL MEDIA TEKNIK*, Volume 12.
- [3] Hartono, L. B. dkk. (2020). Analisa Teknis dan Biaya Penggunaan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit dan Batu Bara pada Boiler DZL4 di PT. Lautan Luas Tbk. *Jurnal Teknik Mesin*, Volume 4.
- [4] Ginanjar, T., J., Suryani Lubis, . G. & M. Simanjuntak, Y., (2019). *Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Boiler Dengan Melakukan Uji Kalori Pada Pabrik Kelapa Sawit PT. Sentosa Prima Agro*. Pontianak: Universitas Tanjungpura Pontianak.
- [5] Yatno. (2016). *Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Guna Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit Di (PKS) PTPN IV Unit Usaha Adolina*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- [6] Azahrah, F. R. dkk. (2021). Keterlaksanaan Pembelajaran Bola Voli Secara Daring Pada SMA Kelas X Se-Kecamatan Majalaya. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, Volume 7.
- [7] Monasari, R. dkk. (2021). *Pengaruh Penambahan Zat Aditif Pada Campuran Bahan Bakar Bensin-*

- Bioethanol Terhadap Specific Fuel Consumption*. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- [8] Erhaneli & Syawal, W. A., (2017). Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Sawit Sebagai Bahan Bakar Pada PLTU Untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Masyarakat Kabupaten Bungo. *Jurnal Momentum*, Volume 19.
- [9] Erivianto, D. dkk. (2016). Penggunaan Limbah Padat Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Tenaga Listrik Pada Existing Boiler. *Scinstech*, Volume 26.
- [10] Klistafani, Y. dkk. (2021). Rancang Bangun Sistem Pengolahan Air Umpan *Boiler* Untuk Pengembangan Praktikum Sistem Pembangkit II. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [11] Manggala, A. dkk. (2020). *Pengaruh Level Ketinggian Air Terhadap Saturated Steam Pada Cross Section Water Tube Boiler Menggunakan Bahan Bakar Gas Dan Solar*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [12] Parinduri, L. & Arfah, M., (2019). *Pendekatan Energi Dalam Pengelolaan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Studi Kasus PT. Perkebunan Nusantara IV Kebun Adolina*. Medan: Universitas Islam Sumatera Utara.
- [13] Sugiharto, A. (2016). *Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler*. Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas.
- [14] Siswanto, J. E. (2020). *Analisis Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler dengan Menggunakan Variasi Campuran Antara Fiber dan Cangkang Buah Sawit*. Jambi: Sekolah Tinggi Teknologi Nasional (STITEKNAS).

STUDI *SETTING* RELE DIFFERENSIAL PADA TRAF0 DAYA PT. PLN TARAKAN

Muhammad Farhan Jafar¹, Achmad Budiman²

¹PT. Tarakan Elektrik Brothers, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

²Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹Farhanjafar619@gmail.com

²achmad1177@gmail.com

Abstract—*The power transformer is a component that plays an important role in supplying electric power, therefore a protective device is needed to protect it. The protection system used is a differential relay. The differential relay works based on the balance of the primary current and the secondary current of the protected transformer. This research method uses a numerical analysis approach. The results obtained from the calculation of the differential current are 0.241 A and the restrain current is 4.08 A. On the 20 kV side, the CT (In) secondary current is 3.96 A with a pickup current value of 0.5 A. The bias1 current value is the same as the the restrain current is 4.08 A and the value of the bias current2 is 12.24 A. When a single phase current to ground is disturbed by 1,723.75 on the 20 kV voltage side, the differential relay works to protect the PT PLN Tarakan power transformer.*

Keyword—*Power Transformer, Transformer Protection System, Differential Relay.*

Intisari—*Trafo daya adalah suatu komponen yang berperan penting dalam menyuplai tenaga listrik, maka dari itu perlu suatu alat proteksi untuk melindunginya. sistem proteksi yang digunakan adalah rele differensial. Rele differensial bekerja didasarkan atas keseimbangan arus primer dan arus sekunder trafo yang dilindungi. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan analisis numerik. Hasil yang diperoleh dari perhitungan arus differensial adalah 0,241 A dan arus restrain 4,08 A. pada sisi 20 kV didapatkan arus sekunder CT (In) sebesar 3,96 A dengan nilai arus pickup adalah 0,5 A. nilai arus bias1 sama dengan nilai arus restrain yaitu 4,08 A dan nilai arus bias2 adalah 12,24 A. Pada saat terjadi gangguan arus satu fasa ketanah sebesar 1.723,75 di sisi tegangan 20 kV maka menyebabkan rele differensial bekerja untuk memproteksi trafo daya PT. PLN Tarakan.*

Kata Kunci—*Trafo Daya, Sistem Proteksi Trafo, Rele Differensial*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit tenaga listrik berperan untuk menyalurkan energi listrik yang dihasilkan kepada konsumen yang artinya dapat menyediakan tenaga listrik secara kontinu dengan kualitas yang baik, sehingga untuk meningkatkan keandalan dan kekontinuitas tersebut pelayanan pengoperasian sistem pembangkit memerlukan suatu peralatan pengaman atau sistem proteksi untuk mencegah terjadinya gangguan yang mengganggu sistem. Penelitian

ini berfokus pada rele differensial yang terdapat pada trafo daya PT. PLN Tarakan.

Transformator daya adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi sebagai pemindah tegangan listrik bolak-balik primer ke sekunder berdasarkan prinsip induksi magnetik sehingga dapat menaikkan atau menurunkan tegangan [5].

Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan didalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan didalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari aliran yang seharusnya [4].

Rele differensial adalah suatu rele yang bekerja didasarkan atas keseimbangan, yaitu melakukan perbandingan terhadap arus sekunder trafo arus (CT) yang ada diperalatan dan instalasi listrik yang harus dilindungi. Rele differensial digunakan pada trafo daya saat adanya gangguan karena rele sangat selektif dan bekerja cepat. Tujuan utama pemasangan rele proteksi di transformator tenaga adalah sebagai alat pengaman sehingga kerusakan akibat gangguan dapat dikurangi sekecil mungkin [3].

II. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

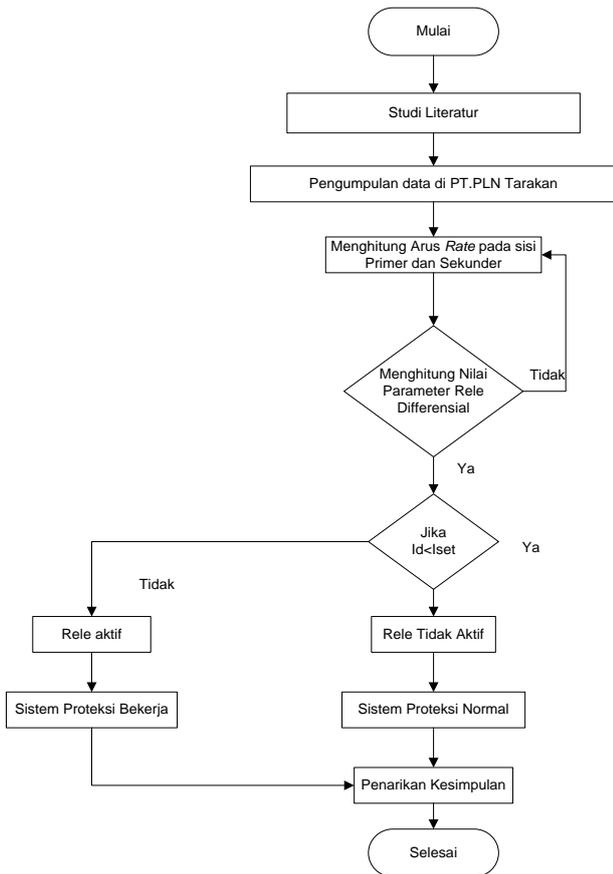
Pembuatan penelitian ini dilaksanakan setelah melakukan seminar proposal sesuai dengan jadwal yang ditentukan sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian. Penelitian dilaksanakan di Provinsi Kalimantan Utara, Tarakan di pembangkit listrik PT. PLN Tarakan pada trafo daya.

B. Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang di lakukan penulis dalam menyusun skripsi ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Metode utama pada penelitian ini adalah penelitian sekunder dikarenakan sumber data yang diperoleh dari suatu instansi terpercaya dalam bentuk data laporan. Langkah pertama yang dilakukan meliputi studi literatur yaitu pengumpulan jurnal referensi yang berkaitan dengan judul penelitian selanjutnya pengambilan data di PT. PLN Tarakan. Setelah data semua terkumpul selanjutnya menghitung arus nominal dan arus rating transformator, menghitung output arus CT di sisi sekunder, menghitung

arus yang masuk ke rele dan menghitung selisih arus atau arus differensial, serta menghitung arus rata-rata yang masuk ke rele dan *error mismatch* dan menghitung arus *setting* rele differensial, dan terakhir menghitung arus gangguan satu fasa ke tanah untuk mengetahui arus gangguan terbesar yang melewati bagian proteksi rele differensial tersebut.

Berikut adalah gambar dari diagram alir penelitian dimana fungsi dari diagram ini adalah mengetahui alur pengerjaan atau proses dalam bentuk gambar yang menampilkan langkah-langkah penelitian tersebut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian sebagai berikut:

- Studi Literatur

Pada langkah ini penulis mempelajari dan memahami berbagai sumber (Jurnal, Buku dan lain – lain) mengenai studi proteksi khususnya rele differensial pada transformator daya.
- Pengumpulan Data

Kemudian setelah melakukan studi literatur, lalu penulis mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian.

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah :

 - a. Daya *input* dan *output* trafo daya (VA)
 - b. Tegangan *input* dan *output* trafo daya(V)
 - c. *Manual book current transformer* (CT) yang terpasang pada trafo daya
 - d. Nilai *setting* arus rele differensial pada trafo daya
 - e. Nilai toleransi kerja dari rele differensial pada trafo daya

- Menghitung arus rate pada sisi primer dan sisi sekunder trafo daya

Pada tahap ini penulis menghitung arus rate pada trafo daya dengan menggunakan alat bantu berhitung seperti kalkulator dan lain-lain.
- Menghitung nilai parameter rele differensial

Pada tahap ini penulis menghitung nilai parameter dari rele differensial pada trafo daya dengan menggunakan alat bantu berhitung seperti kalkulator dan lain-lain. Untuk mendapatkan nilai parameter rele differensial terdapat beberapa persamaan antara lain :

 - a. Arus dari tiap sisi trafo daya yang masuk ke rele
 - b. Selisih arus dari tiap sisi trafo daya
 - c. Nilai *error mismatch*
 - d. Arus rata-rata dari tiap sisi trafo daya
 - e. Nilai *percent slope*
 - f. Nilai arus *setting* rele differensial
 - g. Dan mencari nilai arus yang dikeluarkan CT pada waktu ada gangguan (satu fasa ke tanah) serta pengaruhnya terhadap rele differensial tersebut.
- Feedback perhitungan

Setelah didapatkan nilai parameter rele differensial nya, penulis mengecek terlebih dahulu apakah perhitungan sudah benar, Jika terjadi kesalahan dalam perhitungan maka penulis akan mengulangi perhitungan dari menghitung arus rate pada tiap sisi trafo daya dan menghitung lagi nilai parameter rele differensial tersebut.
- Jika $I_d > I_{set}$

Rele differensial akan aktif dan memerintahkan CB agar *trip* sebab arus gangguan differensial melebihi arus *setting* rele differensial
- Jika $I_d < I_{set}$

Rele differensial tidak aktif dan sebab arus gangguan differensial kurang dari arus *setting* rele differensial.
- Analisis Data

Setelah didapatkan nilai perhitungan rele differensial, maka dapat diketahui nilai dari *setting* rele differensial tersebut sudah sesuai sebagai sistem proteksi atau tidak sesuai sistem proteksi.
- Kesimpulan

Pada tahap ini, penulis menjelaskan hasil akhir mengenai keseluruhan hasil dari penelitian yang dilakukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

- A. Data Transformator Daya dan Rele Differensial yang Digunakan PT. PLN Tarakan
- Dalam perhitungan diperlukan data Rele Differensial yang digunakan untuk melakukan *setting* Rele Differensial agar dapat bekerja dengan baik.

Tabel I
Data Rele Differensial pada Trafo Daya PT. PLN Tarakan

Current transformers (CT) (CONF/ CURRENT SCALING)	Inom	60 A
	Isec	5.0A
	I'nom	200A
	I'sec	5A
Voltage and power settings (CONF/ UNIT TRANSFORMTO)	Un	6.300V
	U'n	20.000V
	Sn	5.500KVA
	ConGrp	Dy11

B. Perhitungan Setting Rele Differensial pada Trafo Daya PT. PLN Tarakan

Perhitungan nilai rasio CT:

$$\begin{aligned} \text{In trafo pada sisi 20 KV} &= \frac{\text{Daya(kVA)}}{\sqrt{3} \text{ 20KV}} = \frac{5.500\text{kVA}}{\sqrt{3} \text{ 20KV}} \\ &= 158,77 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{Irating} = 110\% \times 158,77 = 174,647 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{In trafo pada sisi 6,3KV} &= \frac{\text{Daya(kVA)}}{\sqrt{3} \text{ 6,3KV}} = \frac{5.500\text{kVA}}{\sqrt{3} \text{ 6,3KV}} \\ &= 504,12 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{Irating} = 110\% \times 504,12 = 552,532 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan ini dapat diketahui bahwa arus nominal yang menuju ke trafo daya di sisi tegangan 20 kV adalah 158,77 A sedangkan di sisi tegangan 6,3 kV adalah 504,12 A.

Pada perhitungan arus maksimal di trafo daya dapat diketahui pada sisi tegangan 20 kV adalah 174,647 A sedangkan pada sisi tegangan 6,3 kV adalah 552,532 A. Sesuai dengan perhitungan tersebut, maka rasio CT yang terpasang pada sisi tegangan 20 kV adalah $\frac{200}{5}$ dan pada sisi tegangan 6,3 kV adalah $\frac{600}{5}$.

Berdasarkan uraian tersebut maka bila arus yang mengalir pada sisi tegangan tinggi adalah 5 A. Rasio CT yang dipilih adalah $\frac{200}{5}$ dan $\frac{600}{5}$.

Arus sekunder CT adalah arus *output* CT tersebut, dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Rasio CT 1} = \frac{600}{5} \text{ dan CT 2} = \frac{200}{5}$$

Arus rele pada sisi trafo 6,3 kV :

$$\begin{aligned} I_r &= I_n \times \frac{1}{\text{CT}} = 504,12 \times \frac{5}{600} \\ &= 4,201 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus rele pada sisi trafo 20 kV :

$$\begin{aligned} I_t &= I_n \times \frac{1}{\text{CT}} = 158,77 \times \frac{5}{200} \\ &= 3,96 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus differensial :

Arus differensial atau selisih arus I_r dan I_t , dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} I_d &= I_r - I_t \\ &= 4,201 - 3,96 = 0,241 \text{ A} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan arus differensial diatas dapat diketahui selisih arus sekunder CT1 dan CT2 adalah 0,241 A.

Perhitungan arus *restrain* I_r dan I_t , dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} I_{\text{restrain}} &= \frac{I_r + I_t}{2} \\ &= \frac{4,201 + 3,96}{2} = 4,08 \text{ A} \end{aligned}$$

Didapatkan hasil dari arus *restrain* yaitu 4,08 A. Perhitungan *percent slope*:

Mencari *percent slope*, untuk mendapatkan nilai *percent slope* maka diperlukan pembagian antar arus differensial dengan arus penahan dengan persamaan 2.14:

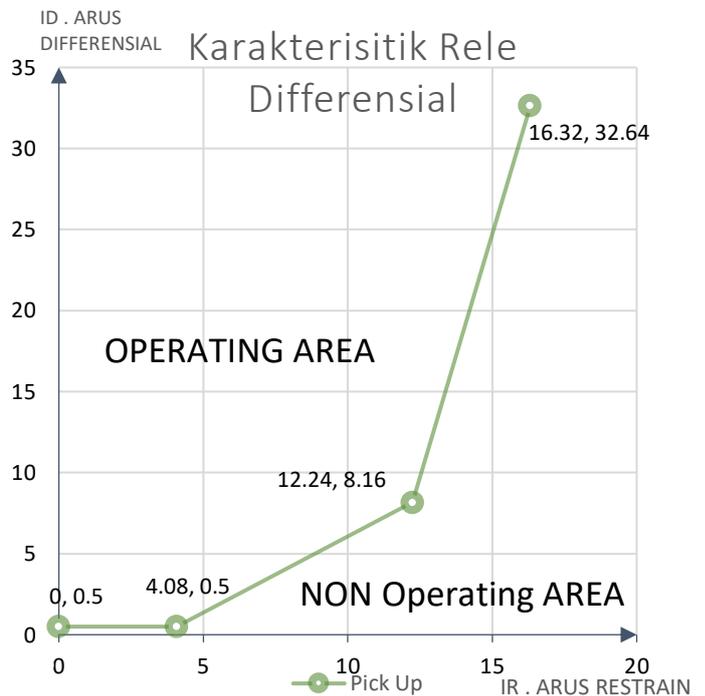
$$\begin{aligned} \text{Slope1} &= \frac{I_d \times 100\%}{I_{\text{restrain}}} \\ &= \frac{0,241 \times 100\%}{4,08} = 5,90\% \end{aligned}$$

$$I_d = 5,90\% \times 4,08 = 0,241 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{Slope2} &= \frac{I_d \times 100\%}{I_{\text{restrain}}} \\ &= \frac{0,241 \times 100\%}{4,08} \times 2 = 11,8\% \end{aligned}$$

$$I_d = 11,8\% \times 4,08 = 0,481 \text{ A}$$

Sehingga kurva karakteristik rele differensial yang di peroleh:



Gambar 2. Kurva Karakteristik Rele Differensial

Perhitungan arus *setting*:

Toleransi pada rele differensial untuk trafo daya PT. PLN Tarakan adalah 30 %, maka, menggunakan persamaan:

$$4,08 + (4,08 \times 30\%) = 5,304 \text{ A}$$

Hasil perhitungan arus setting diatas adalah 5,304 A dengan toleransi 30% lebih besar dengan asumsi yaitu: kesalahan CT (10%), kesalahan sadapan (10%), arus eksitasi (1%), *mismatch* (4%), dan factor keamanan (5%).

C. Gangguan pada Trafo Daya

Arus gangguan yang dapat menyebabkan nilai I_d 0,241A, menggunakan persamaan:

$$I_2 \text{ fault} = I_t + I_d = 3,96 + 0,241 = 4,201 \text{ A}$$

$$\text{If rele} = I_2 \text{ fault} \times I_r = 4,201 \times 4,201 = 17,64 \text{ A}$$

$$\text{If} = \text{If rele} \times \text{CT2} = 17,64 \times \frac{200}{5} = 705,6 \text{ A}$$

Pada saat Id sebesar 0,241 maka arus maksimal yang mengalir di sisi tegangan tinggi adalah sebesar 17,64 A. rele differensial akan bekerja bila arus yang mengalir lebih dari 705,6 A.

Contoh:

Tepatnya pada bus GH Indoor terdapat arus gangguan satu fasa ke tanah, untuk membuktikan nilai tersebut digunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Z1 &= 2,21 \text{ pu} \\ Z0 &= 0,61 \text{ pu} \\ I_{base} &= \frac{100\text{MVA} \times 1.000}{\sqrt{3} \times 20\text{kV}} = 2.890,17 \text{ A} \end{aligned}$$

persamaan arus gangguan satu fasa ketanah:

$$\begin{aligned} I_{a1} = 3i_{a1} &= \frac{3Ea}{(z_1+z_2+z_0)} \times I_{base} \\ &= \frac{3 \times 2.890,17}{2 \times (2,21) + (0,61)} \\ &= \frac{8.670,51}{5,03} \\ I_a &= 1.723,75 \text{ A} \end{aligned}$$

Error perhitungan (E):

Selisih Ia dan Ia *table* = 1.723,75 – 1.717 = 6,75

$$E = \frac{6,75 \times 100 \%}{1.723,75} = 0,391\%$$

Didapatkan error perhitungan sebesar 0,391 % dimana hasil perhitungan ini masih termasuk didalam toleransi yaitu dibawah 5%.

Arus gangguan sebesar 1.723,75 A di sisi tegangan 20 kV, menghitung arus gangguan yang dibaca rele dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} I_f \text{ rele} &= I_f \times CT2 = 1.723,75 \times \frac{5}{200} \\ &= 43,09 \text{ A} \\ I_2 \text{ fault} &= \frac{I_f \text{ rele}}{I_r} = \frac{43,09}{4,201} = 10,257 \text{ A} \\ Id &= I_2 \text{ fault} - It = 10,257 - 3,96 \\ &= 6,297 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus gangguan di sisi tegangan 20 kV adalah 1.723,75 A dan menghasilkan arus sekunder di CT1 sebesar 10,257 A serta arus differensial sebesar 6,297 A, oleh karena itu rele differensial aktif karena arus differensial melebihi arus *setting* rele.

IV. KESIMPULAN

Terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini sebagai berikut :

- Arus nominal pada sisi tegangan 20 kV adalah 158,77 A serta ditegangan 6,3 kV adalah 504,12 A. Hasil arus *rating* atau arus maksimal disisi tegangan 20 kV adalah 174,647 A dan disisi tegangan 6,6 kV adalah 552,532 A.
- Arus sekunder di CT tegangan 20 kV adalah 3,96 A dan disisi tegangan 6,3 kV adalah 4,201 A, Nilai *error mismatch* disisi tegangan 20 kV adalah sebesar 0,189 % dan disisi tegangan 6,3 kV adalah 0,211%.
- Perhitungan arus diferensial didapatkan dari selisih arus sekunder CT1 dan CT2 yaitu sebesar 0,241 A.

- Hasil dari perhitungan arus penahan (*restrain*) yaitu 4,08 A.
- Hasil perhitungan arus *setting* adalah 5,304 A dengan toleransi 30% lebih besar dengan asumsi yaitu: kesalahan CT (10%), kesalahan sadapan (10%), arus eksitasi (1%), *mismatch* (4%), dan factor keamanan (5%). Jadi jika arus sekunder yang mengalir pada rele differensial tersebut adalah 5 A maka nilai tersebut adalah nilai yang cocok.
- Arus gangguan terkecil adalah arus gangguan satu fasa ke tanah sehingga menjadi acuan dalam pengaturan rele differensial.
- Pada saat Id sebesar 0,241 maka arus maksimal yang mengalir di sisi tegangan tinggi adalah sebesar 705,6 A. rele differensial akan bekerja bila arus yang mengalir lebih dari 705,6 A.
- Pada perhitungan gangguan arus satu fasa ke tanah tepatnya pada bus GH Indoor didapatkan arus gangguan di sisi tegangan 20 kV adalah 1.723,75 A dan menghasilkan arus sekunder di CT1 sebesar 10,257 A serta arus differensial sebesar 6,297 A, oleh karena itu rele differensial aktif karena arus differensial melebihi arus *setting* rele.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya haturkan kepada Allah SWT, kedua orang tua, dosen-dosen, teman seperjuangan saya.

REFERENSI

- [1] Cekdin, C. (2006). Sistem Tenaga Listrik. Palembang: Andi Yogyakarta.
- [2] Effendi & Rahmat. (2020). Studi Sistem Proteksi Generator Pada pembangkit Listrik Tenaga Diesel Kabupaten Enrekang. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- [3] El-Bages, M. S. (2011). Improvement of digital differential relay sensitivity for internal ground faults in power transformers. International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, 3(3)
- [4] Fadillah, A. (2017). Analisa Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah Pada Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN Tarakan. Tarakan: Universitas Borneo Tarakan.
- [5] Rizki., Novia, A., & Sartono, S. (2014). Perbaikan Tegangan Sisi Sekunder Transformator Daya 150/20 kV di Gardu Induk Ungaran. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- [6] Samin, T. (2015). Analisa Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah pada Jaringan Distribusi 20 Kv PT PLN (Persero) Sebatik Menggunakan Software ETAP Power Station 12.6.0. Tarakan: Universitas Borneo Tarakan.
- [7] Sukma, R. A. (2018). Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 1 PT.PLN Persero Unit Layanan Khusus (ULK) Tarakan. Tarakan: Universitas Borneo Tarakan.
- [8] Vaasa Electronics. (2002). Generator and Transformer Differential Protection Relay.
- [9] Wahyu. (2021). Studi Rele Arus Lebih (OCR) Untuk Gangguan Satu Fasa ke Tanah Pada Penyulang 5 PT. PLN (UP3) Tarakan. Tarakan: Universitas Borneo Tarakan.
- [10] Wahyudin S. N., Diantari R. A., Rahmatullah T. M (2017). Analisa Proteksi Differensial pada Generator di PLTU Suralaya. Jurnal Energi & Kelistrikan.

- [11] Wijanarko, D. (2018). Analisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi pada Tranformator 60 MVA di Gardu Induk Palur. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [12] Yuniarto, Y., Subari, A., & Kusumastuti, D. H. (2015). Setting Relay Differensial Pada Gardu Induk Kaliwungu Guna Menghindari Kegagalan Proteksi. Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 17(3), 147-152.

SISTEM OTOMATISASI BLUR CITRA WAJAH MENGGUNAKAN GAUSSIAN FILTER DAN DLIB CNN

Audrey Nauffal Juniar¹, Sultan Mahdi², Hendra³, Galuh Larasati Wardhani⁴, Raudah⁵,

^{1,2}PT Phoenix Resources International, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

^{3,4,5}Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

*¹audreynauffal1206@gmail.com

²sultanmahdi43@gmail.com

³abdillahhendra794@gmail.com

Abstract—The purpose of writing this paper is to test an image processing-based facial blur automation system using OpenCV DLib CNN against several conditions such as the large number of faces in the image, the position facing the face, and when the face is blocked by a mask. The system process starts with inputting the image, resizing the image, turning the image gray and equalizing the image. Then face detection will be carried out with CNN Dlib where the detected face in the image will proceed to the blur process on the detected face. As a result of this writing, the system is able to detect faces both in the large number of faces in the image, the face position is 90 degrees from the front face, or when the face is blocked by a mask. And also there is an error when there are many faces in the image and there is an obstacle on one of the faces that causes the face not to be blurred.

Keywords— OpenCV, Face Detection, CNN.

Intisari—Penulisan ini bertujuan untuk menguji sistem otomasi blur wajah berbasis pengolahan citra menggunakan OpenCV DLib CNN terhadap beberapa kondisi seperti banyaknya jumlah wajah pada citra, posisi hadap dari wajah, dan juga ketika wajah terhalang oleh masker. Proses sistem ini diawali dengan menginput citra, *resize* citra, mengubah citra menjadi *graycale* dan ekualisasi citra. Kemudian akan dilakukan pendeteksian wajah dengan Dlib CNN dimana wajah yang terdeteksi pada citra akan dilanjutkan ke proses blur pada bagian wajah yang terdeteksi. Hasil dari penulisan ini, sistem mampu mendeteksi wajah baik pada jumlah wajah pada citra yang banyak, posisi wajah 90 derajat dari wajah depan, maupun saat wajah terhalang oleh masker. Dan juga terdapat error ketika terdapat banyak wajah pada citra dan terdapat halangan pada salah satu wajah yang menyebabkan wajah tersebut tidak ter-blur.

Kata Kunci—OpenCV, Deteksi Wajah, CNN

I. PENDAHULUAN

Blurring citra sering kita lihat di televisi untuk mengaburkan atau men-sensor konten-konten negative atau untuk melindungi identitas sesuatu. Salah satunya adalah *blurring* pada wajah. Dalam Pedoman Prilaku Penyiaran (P3), anak-anak atau remaja dalam peristiwa hukum baik sebagai pelaku maupun korban wajib disamarkan identitasnya. Selain anak-anak, seseorang yang masih berstatus tersangka juga harus dijaga identitasnya. Selain dari dunia jurnalistik, *blurring* wajah juga kita temukan di bidang lain, contohnya *street view* pada Google

Maps. Wajah semua orang yang tertangkap kamera di-blur wajahnya untuk menjaga identeitas mereka.

Proses blur ini biasanya dilakukan secara manual sehingga pada bidang seperti jurnalistik suatu kejadian tidak dapat ditampilkan secara langsung karena harus melalu proses *blurring* secara manual. Untuk memudahkan pekerjaan tersebut kita dapat membuat suatu program yang dapat mendeteksi wajah dari segala sudut yang kemudian akan di blur sehingga suatu kejadian dapat langsung disiarkan secara langsung dengan menghilangkan proses *blurring* secara manual. OpenCV adalah salah satu *library* yang dapat membantu karena dapat mengolah citra. Dengan memberi beberapa sample wajah, program tersebut dapat mendeteksi wajah dengan otomatis. Kemudian untuk mengaburkan citra wajah tersebut, terdapat *library* khusus untuk melakukan pekerjaan itu.

II. LANDASAN TEORI

A. Citra Digital

Berdasarkan kamus Webster, citra merupakan representasi, kemiripan, atau imitasi dari suatu objek atau benda. Sebuah citra digital dapat mewakili matriks yang terdiri dari M kolom dan N baris, dimana perpotongan antara kolom dan baris disebut piksel (*pixel = picture element*). Piksel merupakan elemen terkecil dari suatu citra. Sebuah piksel terdiri dari dua parameter, yaitu koordinat dan intensitas atau warna [1].

Secara matematis fungsi intensitas cahaya pada bidang dua dimensi didefinisikan sebagai $f(x, y)$ dan koordinat bidang dua dimensi didefinisikan (x, y) . Citra harus direpresentasikan secara numerik dengan nilai-nilai diskrit agar dapat diolah komputer. Pada citra yang berukuran $N \times M$ dapat dinyatakan dengan matriks sebagai berikut : [2]

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Suatu koordinat titik citra dinyatakan dengan indeks baris (i) dan indeks kolom (j), sehingga intensitas derajat keabuan pada titik (i,j) dinyatakan dengan $f(i, j)$. Bentuk matriks dari persamaan (1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,M-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{0,M-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N-1,0} & a_{N-1,1} & \dots & a_{N-1,M-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dengan $a_{i,j} = f(i, j)$ sehingga matriks pada persamaan (1) sama dengan matriks persamaan (2) [3].

B. Citra *Resize*

Citra *resize* merupakan proses untuk mengubah ukuran dari lebar dan tinggi sebuah citra. Proses ini berfungsi untuk mengubah citra yang terlalu besar atau terlalu kecil dari yang dibutuhkan. Dengan melakukan *resize*, ukuran beberapa citra dapat diatur sama dan kinerja sistem untuk proses lebih lanjut tidak terganggu [4]. Proses ini dibutuhkan pada sistem ini untuk mendeteksi wajah yang memiliki piksel kecil.

C. Citra *Grayscale*

Grayscale adalah citra digital yang hanya memiliki satu nilai *channel* pada setiap pikselnya, dimana nilai bagian warna merah, hijau, dan biru sama. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dihasilkan adalah warna dari hitam, keabuan, hingga putih. Tingkat keabuan merupakan warna abu dengan berbagai tingkatan dari hitam hingga mendekati putih dan memiliki kedalaman warna 8 bit (256 kombinasi warna keabuan) [5]. Tujuan dari *Grayscale* pada sistem ini adalah untuk mempercepat pemrosesan data untuk mendeteksi wajah tiap piksel.

D. Ekualisasi Citra

Ekualisasi digunakan untuk memperoleh penyebaran tingkat intensitas yang merata sehingga tiap tingkat intensitas memiliki jumlah piksel yang relatif sama. Untuk mengubah intensitas suatu piksel menjadi tingkat intensitas yang baru, menggunakan fungsi transformasi [6].

E. *Convolutinal Neural Network* (CNN)

CNN merupakan salah satu metode dalam *deep learning* yang menggunakan lapisan konvolusi untuk mengonvolusi suatu input dengan *filter*. CNN mempunyai dua tahapan utama yaitu *feature learning* yang terdiri dari *convolution layer*, ReLU (fungsi aktivasi) dan *pooling* dan *classification* yang terdiri dari *flatten*, *fully-connected layer*, dan prediksi. Pada setiap bagian CNN terdapat dua proses utama, yaitu *feed-forward* dan *backpropagation* [7].

F. *Gaussian Blur*

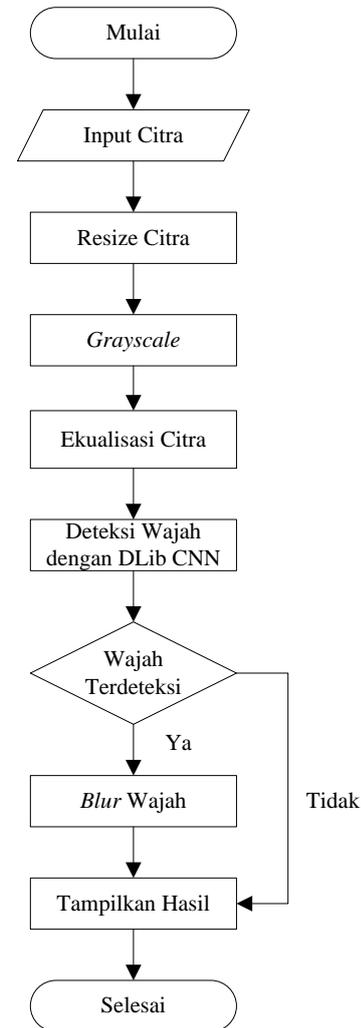
Gaussian blur adalah model *blur* yang memiliki fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function / PDF*) yang diberikan oleh kurva *Gaussian*. PDF yang mewakili sifat paling acak dalam bentuk satu dimensi seperti berikut:

$$p(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Dimana μ adalah nilai rerata dan σ adalah deviasi standar (atau akar varians) variabel random [8].

III. METODE PENELITIAN

Tahapan perancangan algoritma yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh gambar diagram alir di bawah.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Sistem

Input citra berupa wajah manusia dapat diambil secara langsung menggunakan kamera atau dapat menggunakan citra yang tersimpan pada komputer. Setelah itu citra akan di-*resize* agar citra wajah yang pikselnya kecil akan di-perbesar sehingga dapat terdeteksi dengan mudah.



428 640

Gambar 1. Citra input yang belum di-*resize*



550 750

Gambar 2. Hasil Citra yang telah di-*resize*

Gambar 2 menunjukkan hasil citra yang telah melalui proses *resize*. Sebelum dilakukan *resize* citra memiliki dimensi piksel sebesar 428 x 640, setelah dilakukan *resize* menjadi 550 x 750. Proses ini dibutuhkan pada sistem untuk mendeteksi wajah yang memiliki piksel kecil.

Kemudian citra warna diubah menjadi *grayscale* yang akan menampilkan variasi warna hitam dan putih. Warna RGB pada setiap piksel dijumlahkan kemudian dibagi tiga sehingga diperoleh nilai rata-rata *grayscale*.



550 750

Gambar 3. Hasil Citra *Grayscale*

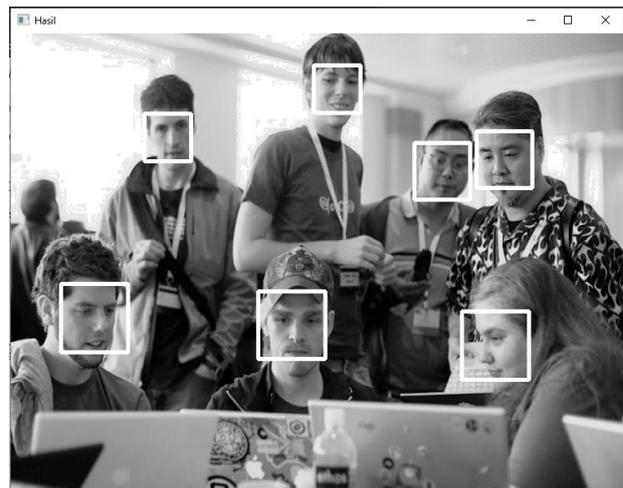
Tujuan dilakukannya *grayscale* adalah untuk mempercepat proses pendeteksian wajah pada citra. Karena dengan dilakukan *grayscale*, setiap piksel pada citra hanya memiliki satu *channel* warna dan citra yang memiliki kombinasi warna RGB memiliki 3 *channel* warna.

Setelah itu, dilakukan proses ekualisasi pada citra untuk menyamaratakan tingkat intensitas setiap piksel. Gambar di bawah menunjukkan hasil citra yang telah melewati proses ekualisasi. Tujuan dilakukannya ekualisasi pada sistem ini adalah untuk mengatur penyebaran intensitas keabuan yang rata. Sehingga citra wajah yang ada pada sisi gelap dapat terdeteksi dengan mudah.



Gambar 4. Citra Hasil Ekualisasi

Kemudian dilakukan deteksi wajah dengan menggunakan DLib CNN yaitu salah satu metode *deep learning* untuk mendeteksi wajah secara otomatis. Deteksi wajah menggunakan DLib CNN memiliki indikator penting yaitu *pre-trained*. Pada DLib merepresentasikan kotak pembatas melalui objek persegi panjang dengan properti kiri, atas, kanan, dan bawah. DLib CNN dianggap bisa mendeteksi dari segala sudut pandang. Namun jika citra yang di-*input* tidak terdapat wajah atau tidak terdeteksi wajah maka sistem hanya akan menampilkan hasil citra hingga proses *resize*.



Gambar 5. Citra Hasil Deteksi Wajah

Setelah wajah terdeteksi maka setiap wajah akan di-*blur* menggunakan metode *Gaussian blur*. Untuk melakukan pengaburan penuh pada wajah, maka kernel pada *Gaussian blur* diatur menjadi 85 x 85.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan sistem *blur* wajah secara otomatis ini digunakan bahasa pemrograman *Python*. Adapun hasil yang ditampilkan oleh sistem ketika citra telah diproses sebagai berikut :

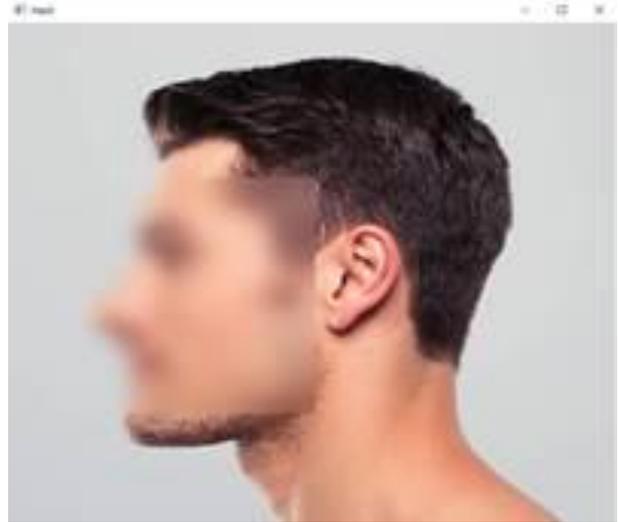


Gambar 7. Hasil Citra dengan Banyak Wajah dalam Satu Foto

Hasil deteksi wajah dengan kondisi banyak citra wajah dalam satu gambar menunjukkan metode DLib CNN dapat bekerja dengan baik. Secara keseluruhan wajah dapat dideteksi dan secara otomatis diburamkan walaupun masih terdapat kekurangan dari sistem dimana sistem tidak dapat membaca salah satu wajah dimana salah satu wajah tersebut terhalang dan terdapat *noise* pada citra wajah tersebut.

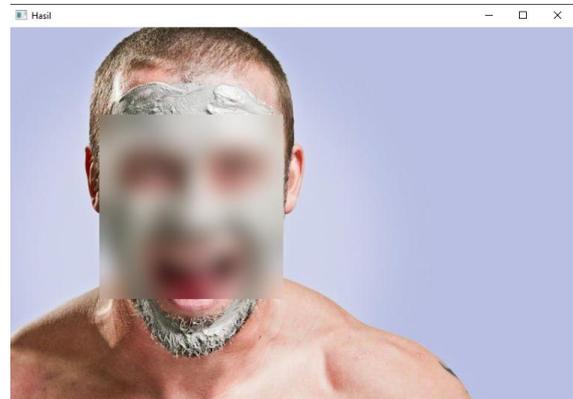


Gambar 8. Hasil Citra dengan perbedaan posisi kepala

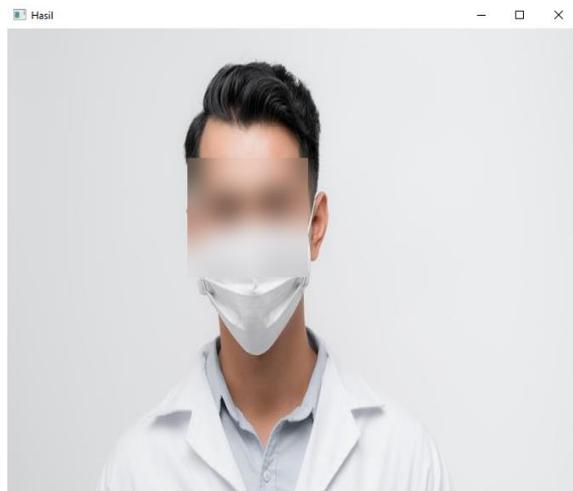


Gambar 9. Citra Hasil dengan Posisi Kepala 90 derajat

Hasil deteksi wajah dengan perbedaan posisi kepala menunjukkan bahwa DLib CNN dapat bekerja dengan baik walaupun posisi wajah berubah-ubah bahkan dengan posisi kepala 90 derajat dari arah wajah depan. Sehingga sistem dapat membuat wajah pada citra tersebut *blur*.



Gambar 10. Hasil Citra dengan Masker Wajah



Gambar 11. Citra Hasil dengan Masker Medis

Gambar di atas menunjukkan bahwa citra wajah yang menggunakan masker wajah maupun masker medis dapat mendeteksi citra wajah dan di-*blur* oleh sistem.

V. KESIMPULAN

Sistem pendeteksi wajah ini dapat bekerja dengan baik dimana sistem ini mampu membaca atau mendeteksi wajah pada sebuah citra pada kondisi jumlah wajah yang banyak, posisi wajah 90 derajat dari wajah depan dan citra wajah yang sedang mengenakan masker wajah maupun masker medis. Namun sistem ini belum mampu mendeteksi citra wajah ketika terdapat banyak wajah dalam citra tersebut dan terdapat wajah yang terhalang seperti pada Gambar 2, dimana salah satu wajah tidak terdeteksi karena sedikit terhalang oleh kepala dari orang yang terdapat didepannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Tuhan yang maha esa yang memberikan kami kesempatan untuk dapat menyelesaikan penelitian ini, Mahasiswa Universitas Borneo Tarakan dan semua pihak yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian.

REFERENSI

- [1] E Ardhiyanto, W Hadikurniawati, dan Z Budiarmo, "Implementasi Metode Image Subtracting dan Metode Regionprops untuk Mendeteksi Jumlah Objek Berwarna RGB pada File Video," *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, vol. 18, pp. 91-100, 2013.
- [2] D Bee, W Weku, dan A Rindengan, "Aplikasi Penentuan Tingkat Kesegaran Ikan Selar Berbasis Citra Digital," *d'CARTESIAN*, pp. 121-130, 2016.
- [3] Gonzalez R.C., R.E. Woods., dan S.L.Eddins, *Digital Image Processing 3rd Edition*, New Jersey: Pearson, 2008.
- [4] N Nurdin, D Hamdhana, dan MJ Setiawan, "Sistem Pendeteksi Pola Menggunakan Metode Peirce," *Teknik Informatika Universitas Malikussaleh*, vol. 9, 2017.
- [5] C. T. Utari, "Implementasi Algoritma *Run Length Encoding* Untuk Perancangan Aplikasi Kompresi dan Dekompresi File Citra," *Jurnal TIMES*, vol. V, pp. 24-31, 2016.
- [6] MA Bustomi, AZ Dzulfikar, "Analisis Distribusi Intensitas RGB Citra Digital untuk Klasifikasi Kualitas Biji Jagung menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan," *JURNAL FISIKA DAN APLIKASINYA*, vol. 10, 2014.
- [7] F. I. Noviana Dewi, "Implementasi Deep Learning Menggunakan Convolutional Neural Network untuk Sistem Pengenalan Wajah," *Faktor Exacta*, vol. 14, pp. 34-43, 2021.
- [8] A. Gunadi, "Pengurangan Noise Pada Citra Digital Menggunakan Filter Aritmatik Mean, Harmonik Mean, Gaussian, Max, Min, Dan Median Dengan Membandingkan PSNR," *Jurnal Ilmu Komputer Indonesia (JIK)*, vol. 5, pp. 2615-2711, 2020.

EVALUASI PENANGKAL PETIR MENGGUNAKAN METODE SUDUT PROTEKSI DAN BOLA GELINDING PADA GEDUNG FIK/KESEHATAN UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

Ronaldo Pati Gapar Lago¹, Sugeng Riyanto²

^{1,2} Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹ronal311098@gmail.com

²sugeng072.sr@gmail.com

Abstract— Evaluation of lightning protection using the protection angle and rolling ball method at the Fikes Building, University of Borneo Tarakan, external lightning at the Fikes Building, University of Borneo Tarakan and can prevent lightning strikes by plugging the electrode rod into the ground with an electrode rod length of 2 m or often called the plug method. which is in the Fikes Building, University of Borneo, Tarakan. The results of the data measured in the field along with the results of the data calculations obtained are as follows: Field data is 0.23 ohm, Calculation data is divided into two, namely: Calculation data according to field data is (0.75 ohm) and Calculation data according to SNI is (4.15 ohm), Thunder day data for 12 months with calculation results there are results 10.32 Km²/year, Lightning strike hazard index in table 2.5 with the results obtained at (12), rainfall data with calculated results of 5.24 Km²/year. The protection area (Ac) on the building in Middle roof is 100 574.29 Km² and side roof 90 416.08 Km², average annual lightning strikes in the middle roof gets 1.0 lightning strikes per year, and the side roof gets 0.90 lightning strikes per year. meanwhile the efficiency of lightning strikes in the middle roof of the building is 0.9% and the side roof of the building is 0.8%. Lightning strike data in 2022 in the area of the University of Borneo Tarakan is 1.659 A. The probability value or calculation number that a thunderstorm will occur is 13.8%, the calculated lightning radius is 345 m and the resulting circle of the rolling ball is 67.07 degrees.

Keywords— Lightning Arrester, Angle protection method, Rolling ball method.

Intisari—Evaluasi penangkal petir menggunakan metode sudut proteksi dan bola gelinding pada gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan, petir external pada Gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan dan dapat mencegah sambaran petir dengan cara batang elektorda di tancap ke tanah dengan panjang elektroda batang 2 m atau sering di sebut metode tancap yang ada pada Gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan. Dengan menggunakan dua metode yaitu metode sudut proteksi dan metode bola gelinding. Adapun hasil data yang di ukur di lapangan berserta hasil perhitungan data yang di peroleh adalah sebagai berikut: Data lapangan 0,23 ohm, Data hasil perhitungan terbagi dua yaitu: Data perhitungan menurut data lapangan sebesar(0,75 ohm)dan Data perhitungan menurut SNI sebesar(4,15 ohm), Data hari guruh selama 12 bulan dengan hasil perhitungan terdapat hasil 10,32 Km²/tahun, Indeks bahaya sambaran petir pada tabel 2.5 dngan hasil yang di peroleh sebesar(12), data curah hujan dengan hasil perhitungan 5,24 Km²/tahun. Area proteksi (Ac) pada gedung yaitu Atap tengah 100 574,29 Km² dan Atap samping 90 416,08 Km², rata rata sambaran petir pertahun

Atap tengah 1,0 sambaran petir pertahun, dan Atap samping 0,90 sambaran pertahun, Sedangkan efesiensi sambaran petir Atap tengah gedung 0,9% dan Atap samping gedung 0,8%. Data sambaran petir tahun 2022 pada area Universitas Borneo Tarakan sebesar 1,659 A. Nilai probability atau angka perhitungan yang akan terjadi badai petir terdapat sebesar 13,8%, perhitugan jari jari petir 345 m dan hasil lingkaran bola gelinding 67,07 derajat.

Kata Kunci—Penangkal Petir, Metode sudut proteksi, Metode bola gelinding.

I. PENDAHULUAN

Keamanan Petir atau anti Petir adalah istilah yang telah dicampur dalam bahasa kita, perkataan yang diberikan oleh kedua istilah ini adalah 100 persen terlindungi dari risiko petir, namun sebagai aturan umum hal ini tidak benar. Sebenarnya ada beberapa faktor yang sangat berpengaruh dalam menghadapi bahaya petir; jika kita ingin menemukan solusi komprehensif untuk bahaya petir, kita perlu mempertimbangkan faktor-faktor ini.

Sambaran petir bergilir ke bangunan, misalnya sambaran petir di luar wilayah jaminan penangkal petir atau menyambar tiang petir yang telah diintroduksi, maka aliran petir ini menyebar melalui jalur listrik, saluran informasi atau apapun yang menyambar bangunan tersebut, akhirnya petir ini menyambar merusak daya unit perangkat keras dan gadget dalam struktur. Masalah ini juga membingungkan karena perangkat keras elektronik menggunakan voltase DC yang kecil dan sangat sensitif.

Pada dasarnya sistem pengamanan sambaran petir langsung tidak membuat posisi kita 100 persen aman dari sambaran petir melainkan membuat kondisi bangunan kita terhindar dari bahaya yang mematikan akibat sambaran langsung dan mengurangi efek kerusakan pada peralatan listrik dan elektronik jika terjadi adalah sambaran petir yang mengenai struktur kita. Maka istilah pengamanan petir yang paling tepat adalah penangkal petir.

Bangunan dan isinya akan rusak parah jika sambaran petir langsung menyambar konstruksi gedung atau bangunan. Hal ini karena dapat menimbulkan kebakaran, kerusakan alat elektronik bahkan korban jiwa. Akibatnya, penangkal petir harus dipasang di setiap gedung.

Saya memutuskan untuk mengambil judul tersebut karena saya ingin menguji penangkal petir di Gedung Ilmu Kesehatan Universitas Tarakan Tarakan untuk melihat

apakah penangkal petir tersebut dapat menangani arus sambaran petir secara normal atau apakah perangkat di darat dapat menanganinya. Meskipun nilai resistansi, atau R, harus menjadi yang paling umum, resistansi arde, atau resistansi, untuk instalasi proteksi petir atau anti-petir biasanya harus kurang dari 3 Ohm. Karena semakin rendah nilai hambatan atau hambatan maka semakin baik pula pembentukannya karena nilai hambatannya rendah, sehingga arus dari sambaran petir ke bangunan akan mengalir ke tanah lebih efektif karena tanah memiliki nilai R di bawah 5 Ohm.

A. Rumusan masalah

- Bagaimana mencari nilai R (resistansi pertanahan) pada gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan.
- Bagaimana cara menghitung penangkal petir dengan metode sudut proteksi pada gedung Fikes Universitas Boarneo Tarakan
- Bagaimana cara menghitung penangkal petir dengan metode bola gelinding pada gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan.
- Bagaimana mencari jari jari petir pada gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan.

B. Batasan masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai sasaran dan tujuan yang diharapkan maka penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

- Metode yang di gunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metode sudut proteksi dan metode bola bergulir.
- Penelitian ini hanya di lakukan pada gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan.
- Data yang diambil di gedung Fikes Universitas Borneo Trakan.
- Tujuan
- Mengevaluasi apakah penangkal petir pada gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan sudah bekerja dengan baik.
- Evaluasi sudut proteksi petir external pada Gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan.
- Dapat mencegah sambaran petir dengan metode tancap/sudut pada Gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan

C. Manfaat

- Agar gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan lebih terasa aman.
- Agar gedung tersebut bisa lebih aman dan dapat mencegah dari sambaran petir dan kerusakan pada alat instalasi serta barang elektronika dan yang lainnya.

II. LANDASAN TEORI

A. Elektroda batang (Rod)

Elektroda batang merupakan elektroda yang terbuat dari besi atau baja profil yang dipasang secara tegak lurus masuk kedalam tanah (PUIL,2011,h.36). Umumnya digunakan batang tembaga atau biasa juga pipa galvanis dengan diameter minimal 1 inc sampai 2 inc (PUIL, 2011, h. 36), elektroda batang adalah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah [1].

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right] \tag{1}$$

B. Hubung paralel

Untuk memperkecil tanahan pentanahan maka pemasangan elektroda batang dapat dihubung paralel dengan jarak antara elektroda tersebut minimum harus dua kali panjangnya.

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots \dots + \frac{1}{R_n} \tag{2}$$

C. Indeks gedung

Terdapat beberapa indeks yang mempengaruhi kelayakan suatu bangunan atau Gedung untuk dilakukan pemasangan instalasi penangkal petir (PUIPP). Untuk bangunan Gedung Laboratorium

$$R = \text{indeks A} + \text{indeks B} + \text{indeks C} + \text{indeks D} + \text{indeks E} \tag{3}$$

D. Kerapatan sambaran petir ke tanah

Kerapatan sambaran petir merupakan banyaknya kejadian sambaran petir ke bumi dalam kurun waktu satu tahun di suatu daerah. Kerapatan sambaran petir dapat ditentukan berdasarkan perbandingan antara jumlah sambaran petir dengan luas wilayah yang dikaji.

$$N_g = 0,04 \cdot T d^{1,25} K m^2/\text{tahun} \tag{4}$$

E. Area proteksi

Konsep zona proteksi petir memungkinkan untuk merencanakan, mengimplementasikan dan memantau tindakan proteksi. Semua perangkat, instalasi, dan sistem yang relevan harus dilindungi dengan andal sampai batas yang wajar secara ekonomi. Untuk itu, sebuah bangunan dibagi menjadi beberapa zona dengan potensi risiko yang berbeda.

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \tag{5}$$

F. Menghitung rata rata jumlah sambaran Petir/Tahun Atap tengah Gedung.

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ pertahun} \tag{6}$$

G. Efisiensi

Efisiensi Sistem Proteksi Petir (SPP) ada beberapa tingkat proteksi I-II-III-IV dengan nilai efisiensi diantara 80% - 95%.

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \tag{7}$$

H. Mencari arus peir

Sebelum lanjut ke bola gelinding kita ahrus mengetahui berapa arus petir dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{arus petir}^{0,8m} \tag{8}$$

I. Bola bergulir/bola gelinding

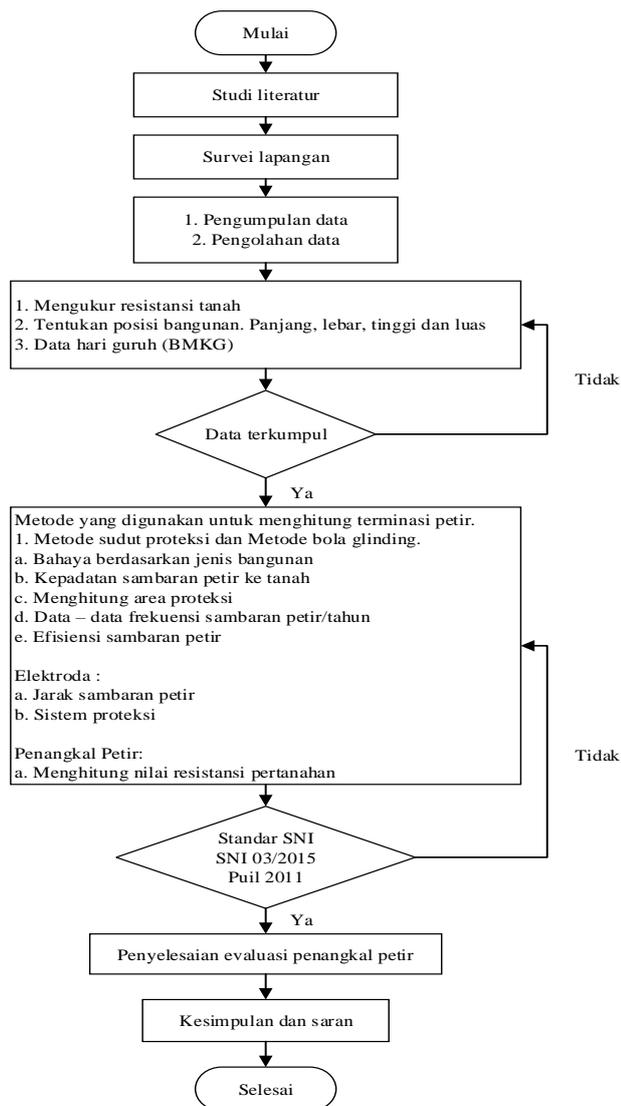
Penggunaan metode bola bergulir sangat baik digunakan terutama jika bentuk bangunannya rumit. Metode ini dilakukan dengan cara menggambarkan bangunan dan bola bergulir dengan jari-jari sesuai tabel perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{h}{r} \right) \right] \tag{9}$$

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram alir/kerangka penelitian

Diagram alir evaluasi penangkal petir menggunakan metode sudut proteksi dan bola gelinding ini menghitung resistansi tanah, tinggi lebar dan panjang gedung, data hari guruh, jumlah arus sambaran petir, jari jari petir.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

B. Tempat penelitian

Tempat penelitian tugas akhir ini adalah di gedung FIK/Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Taarakan

C. Metode

Metode yang di gunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metode sudut proteksi dan metode bola bergulir. Penelitian ini hanya di lakukan pada gedung Fikes Universitas Borneo Tarakan dan data yang diambil di gedung Fikes Universitas Borneo Trakan.

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran resistansi tanah dan jenis tanah pada Gedung Fikes/Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan.

Tabel I Hasil pengukuran data lapangan

Hasil ukuran dan jenis tanah (tanah pasir)	0,23 ohm (tanah pasir)
Panjang Elektroda Batang	2 Meter (elektroda batang)
Diameter Elektroda Batang	16 mm = 0,016 Meter

Perhitungan dari hasil data lapangan yang di ukur menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L R} \left[\ln \left(\frac{4L R}{A R} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{0,23}{2.3,14.2} \left[\ln \left(\frac{4.2}{0,016} \right) - 1 \right]$$

$$= 7,351 \Omega$$

Dengan:

- R= pertanahan (ohm)
- ρ = pertanahan tanah jenis (ohm meter)
- L= panjang elektroda batang (meter)
- A= diameter elektroda (meter)

Karena di dapatkan hasil pertanahan yang besar maka dapat di perkecil dengan cara menggunakan persamaan hubung pararel.

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{7,351} + \frac{1}{7,351} + \frac{1}{7,351} + \frac{1}{7,351}$$

$$+ \frac{1}{7,351} + \frac{1}{7,351} + \frac{1}{7,351} + \frac{1}{7,351}$$

$$+ \frac{1}{7,351} + \frac{1}{7,351} = 0,75 \Omega$$

B. Perhitungan menurut data PUIL 2011

Table II Jenis tanah dan Tahanan tanah

Jenis tanah pentanahan	Tahanan jenis tanah (Ω/m)
Tanah yang mengandung air dan garam	5-6
Tanah rawa	30
Tanah liat	100

Jenis tanah pentanahan	Tahanan jenis tanah (Ω/m)
Tanah pasir basah	200
Tanah batu kerikil basah	500
Tanah pasir dan batu kerikil kering	1.000
Batu	3.000

Sumber : (PUIL 2011, h. 42)

Perhitungan data lapangan menurut PUIL 2011 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right]$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{200}{2.3,14.4} \left[\ln \left(\frac{4.2}{0,016} \right) - 1 \right]$$

$$= 41,51 \Omega$$

Dengan :

RG= pertanahan (ohm)

ρ = pertanahan tanah jenis (ohm-meter)

\ln = logaritmus (dasar $e=2.7182818$)

LR= panjang elektroda batang (meter)

AR= diameter elektroda (meter)

Karena di dapatkan hasil pertanahan yang menurut PUIL 2011 sangat besar maka dapat di perkecil dengan cara menggunakan persamaan hubung paralel.

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51}$$

$$+ \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} = 4,15 \Omega$$

Tabel III

Tabel perhitungan menurut data PUIL 2011

1	Jenis tanah (ρ) tanah pasir	200 Ω
2	Panjang elektroda (L)	2 Meter
3	Prameter elektroda batang (a)	0,016 Meter
4	Hasil perhitungan	41,51 Ω
5	Total	4,15 Ω

C. Menghitung Indeks bahaya sambaran petir

Perhitungan penangkal petir.

Panjang gedung : 84 Meter
 Tinggi gedung : 27,32 Meter
 Panjang terminasi : 2 Meter
 Hari guruh : 85/Tahun 2022

menghitung Indeks bahaya sambaran petir (R) PUIP 1983.

$$R = \text{indeks A} + \text{indeks B} + \text{indeks C} + \text{indeks D} + \text{indeks E}$$

$$E = (3+1+3+0+5) = 12 \text{ (sedang)}$$

D. Menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah rata rata Km^2 /tahun (SNI 0.7017.2004.h.8)

Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_g = 0,04 \cdot T d^{1,25} \text{ Km}^2/\text{tahun}$$

$$N_g = 0,04 T d^{1,25} \text{ Km}^2/\text{tahun}$$

$$= 0,04 \cdot 85^{1,25} \text{ Km}^2/\text{tahun}$$

$$= 10,32 \text{ Km}^2/\text{tahun}$$

P= data curah hujan/tahun

$$0,04 P^{1,25} \text{ Km}^2/\text{tahun}$$

$$= 0,04 \cdot 49,86^{1,25} \text{ Km}^2/\text{tahun}$$

$$= 5,24 \text{ Km}^2/\text{tahun}$$

E. Menghitung area proteksi (A_c) atap tengah gedung FIKES

Tabel IV

Data Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan.

Tinggi atap	7,32 Meter
Panjang terminasi	2 Meter
Panjang gedung	84 Meter
Lebar gedung	20,50 Meter
Tinggi gedung	27,32 Meter
Tinggi gedung atap samping	6,32 Meter

a= panjang gedung

h= tinggi atap samping dan panjang terminasi

b= lebar Gedung

F. Atap tengah A_c (area proteksi) atap tengah gedung FIKES

Mnghitung area proteksi pada gedung fik menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2$$

$$A_c = ab + 6h(a.b) + 9.3,14.(\text{tinggi atap} + \text{panjang terminasi})$$

h = tinggi atap + panjang terminasi

$$= 7,32 \text{ Meter} + 2 \text{ Meter} = 9,32 \text{ Meter}$$

$$A_c = ab + 6h(a.b) + 9.3,14.9,32^2$$

$$= (84.20,50) + 6.9,33(84.20,50) + 9.3,14.9,32^2$$

$$= 100 574,29 \text{ Km}^2$$

G. Menghitung Atap samping A_c atap samping gedung FIKES

$$A_c = ab + 6.h(a.b) + 9.5,14.(\text{tinggi atap samping} + \text{panjang terminasi})$$

h = tinggi atap samping + panjang terminasi

$$= 6,32 \text{ Meter} + 2 \text{ Meter} = 8,32 \text{ Meter}$$

$$A_c = ab + 6h(a.b) + 9.3,14.8,32^2$$

$$= (84+20,50) + 6.8,32(84.20,50) + 9.3,14.8,32^2 = 90 416,08 \text{ Km}^2$$

H. Menghitung rata rata jumlah sambaran Petir/Tahun Atap tengah Gedung.

frekuensi sambaran petir langsung setempat
 N_d = menghitung frekuensi sambaran petir langsung setempat
 N_g = kerapatan sambaran petir ke tanah
 A_c = area proteksi dari bangunan

Cara menghitung jumlah sambaran petir/tahun dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ pertahun}$$

$$= 10,02 \cdot 100\,574,29 \cdot 10^{-6}$$

$$= 1,0 \text{ sambaran petir pertahun}$$

I. Atap samping

$$N_d = N_g \cdot A_c \cdot 10^{-6}$$

$$= 10,02 \cdot 90\,416,08 \cdot 10^{-6}$$

$$= 0,90 \text{ sambaran petir pertahun}$$

$$= 10,02 \cdot 90\,416,08 \cdot 10^{-6}$$

$$= 0,90 \text{ sambaran petir pertahun}$$

Menghitung Efisiensi sambaran petir dengan $N_c=0,1$
 Persamaan rumus efisiensi

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

N_c = efisiensi dengan proteksi petir
 N_d = frekuensi sambaran petir langsung setempat

Atap tengah gedung.

$$E \geq \frac{N_c}{N_d} = 1 - \frac{0,1}{1,0} = 0,9\% = 90\% \text{ table 2.8}$$

Atap samping

$$E \geq \frac{N_c}{N_d} = 1 - \frac{0,1}{0,90} = 0,8\% = 80\% \text{ table 2.8}$$

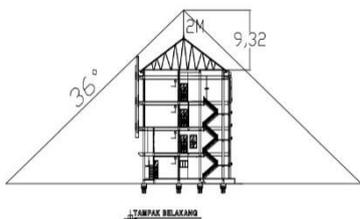
Tabel V

Hasil perhitungan pada Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan.

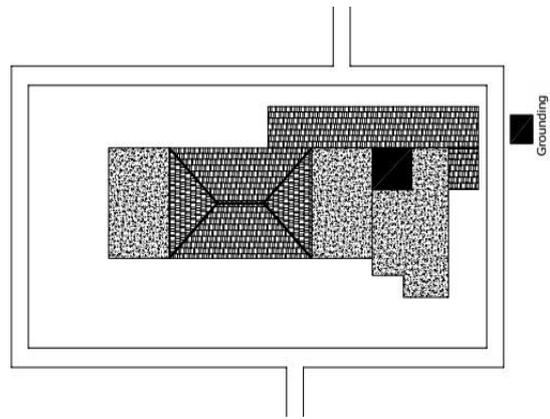
No	Luas area Gedung	Ukuran
1	Area proteksi tinggi atap	100 574,29 Km ²
2	Area proteksi atap samping	90 416,08 Km ²
3	Hari Guruh atap bagian samping dan tengah	0,9% / 0,8% pertahun
4	Tinggi proteksi bagian tengah	0,90% (proteksi III)
5	Tinggi proteksi bagian samping	0,80% (proteksi I)



Gambar 2. Tampak depan gedung FIK/Fakultas Ilmu Kesehatan



Gambar 3. Tampak samping gedung FIK/Fakultas Ilmu Kesehatan



Gambar 4. Tampak Atas gedung FIK/Fakultas Ilmu Kesehatan

J. Metode Bola Glinding Universitas Borneo Tarakan

Tabe VI

Data Sambaran Petir Pertahun 2022 pada area Universitas Borneo Tarakan.

No	Bulan	Arus sambaran perbulan	Satuan
1	Januari	30	A
2	Februari	0	A
3	Maret	192	A
4	April	0	A
5	Mei	189	A
6	Juni	174	A
7	Juli	64	A
8	Agustus	118	A
9	September	168	A
10	Oktober	320	A
11	November	147	A
12	Desember	257	A
Total perhitungan selama 1 tahun = 1,659			
rata rata pada tabel = 1,659/12 = 138 A			

sumber (BMKG kota berau)

$$\text{Perhitungan jumlah arus sambaran petir}$$

$$= 30+0+192+0+189+174+64+118+168+320+147+256$$

$$= 1,659 \text{ A}$$

$$\frac{1,667}{12} = 138 \text{ A}$$

Mencari nilai rata rata (12 bulan/tahun)

$$\frac{1,659}{12} = 138 \text{ A}$$

Cara untuk mencari nilai probability adalah:

$$\frac{1,659}{12} = 138 \text{ A}$$

$$\frac{138}{100} = 1,38\% = 1,38\%$$

K. Mencari jari jari petir

r = Jari-jari petir

I = Arus petir

Cara mencari nilai jari jari petir mengunaan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{h}{r} \right) \right]$$

Perhitungan:

$$r = \text{jari-jari petir} \cdot \text{arus petir}^{0,8m}$$

$$r = 6,7.1,38^{0,8}m$$

$$= 54,34 \text{ m}$$

Setelah kita mengetahui r dari bola glinding kemudian untuk menghitung luas sudut lindung suatu penangkal petir berdasarkan probability 1,38% dengan besaran arus petir 0,138 A maka di peroleh dari sudut lindung sebagai berikut:

$$h = \text{tinggi gedung}$$

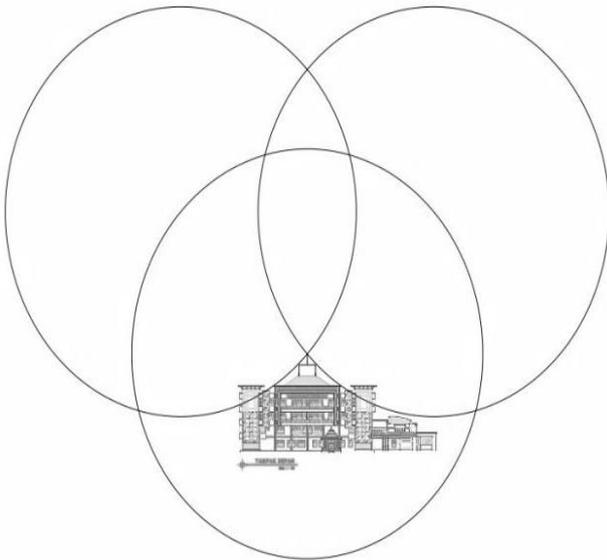
$$r = \text{jari jari petir}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left[1 - \left(\frac{h}{r}\right)\right]$$

$$= \sin^{-1}\left[1 - \left(\frac{27,32}{54,38}\right)\right]$$

$$= \sin^{-1}[1 - 0,502]$$

$$= 29,86^{\circ}$$



Gambar 5. Tiga Lingkaran pada gedung FIK/Fakultas Ilmu Kesehatan

Dari hasil 3 lingkaran pada gedung Fikes/Kesehatan Universitas Borneo Tarakan adalah sebesar 29,86 derajat

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisa dan perhitungan yang telah didapatkan dari Metode Jala Sudut Proteksi Petir Eksternal dan metode bola glinding/bergulir pada Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan/Fik Universitas Borneo Tarakan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Gedung Fakultas Ilmu Kesehatan/Fik Universitas Borneo Tarakan memiliki ukuran panjang 84 m dan lebar 20,50 m serta tinggi 27,32 m, yang terletak pada daerah dengan tingkat tidak rawan petir dengan perhitungan 85 hari guruh pertahun.
- Sambaran petir ketanah rata-rata pertahun $N_g = 10,32 \text{ Km}^2/\text{Tahun}$.
- Ae area proteksi atap tengah gedung Fakultas Ilmu kesehatan Universitas Borneo Tarakan sebesar $100.574,29 \text{ Km}^2$, sedangkan Ae area atap samping sebesar $90.416,08 \text{ Km}^2$.
- Frekuensi sambaran petir langsung pertahun sebesar 1,0

- Nilai tahanan R pada gedung Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Borneo Tarakan sebesar 0,75 ohm
- Tanah jenis tanah (ρ): 0,23 Ω (Tanah pasir)
- Panjang Elektroda (L): 2M (Elektrodabatang/pasak)
- Diameter Elektroda (a): 16 mm = 0,016 Meter
- Sudut proteksi pada gedung Fakultas ilmu kesehatan dengan metode mata jala tampak samping 21° dan tampak depan 36° , sedangkan menggunakan metode boala bergulir/gelinding $29,86^{\circ}$

REFERENSI

- [1] A Sugiharto(2019)<http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/puil2011>
- [2] Badan Standarisasi Nasional, Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan dan Gedung, Standar Nasional Indonesia.
- [3] Grounding-penangkal-petir.(2014)-[GROUNDING PENANGKAL-PETIR-\(pakarpetir.co.id\)](http://GROUNDING.PENANGKAL-PETIR-(pakarpetir.co.id))
- [4] Ir.Ryan (2019) pulse/pengantar-petir-pada-saluran-udara tegangan-menengah-ryan-mefiardhi
- [5] Keller, A. Edward. (2006). *Natural Hazards. Oxford: Routledge.*
- [6] Mulyadi, Ujang, 2014. *Kajian Perancangan Sistem Penangkal Petir Eksternal pada Gedung Pusat Komputer Universitas Riau*, Pekanbaru.
- [7] Penerapan Metode Jala Sudut Proteksi Dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal Yang Diaplikasikan Pada Gedung W Universitas Kristen Petra - Neliti
- [8] Sugiyono, 2009, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*, Bandung: Alfabeta
- [9] Supannur Bandri, 2012. *Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Gedung Bertingkat.*
- [10] Zoro Reynaldo, 2008, Sistem Proteksi Petir dan Sistem Grounding, ITB Bandung.
- [11] Perancangan Kinerja Penangkal Petir Menggunakan Metoda Bola Gelinding Pada Gedung Perpustakaan Universitas Lancang Kuning Pekanbaru Atmam1, Usaha Situmeang2 1,2 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

POTENSI BAKAU SEBAGAI ENERGI LISTRIK ALTERNATIF MENGUNAKAN METODE *PLANT MICROBIAL FUEL CELL* DI KOTA TARAKAN

Jordan Christian¹, Fitriani²,

¹ PT Tarakan Elektrik Brother's, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

² Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹ljchristian451@gmail.com

²fitrianiubt22@gmail.com, fitriani@borneo.ac.id

Abstract—The need for electrical energy continues to increase every year. This is inversely proportional to the availability of fuel, which decreases every year. Therefore, it is needed a new breakthrough to overcome the energy crisis in the future. In Tarakan City, there is a mangrove forest area that has a lot of microorganisms which can produce electrical energy if it is explored properly. Plant-Microbial Fuel Cell (P-MFC) is a technology for generating electricity by utilizing plants and bacteria in the soil. In the study, the plants used were mangroves in which the data were collected for 12 days. Anode and cathode applied were carbon and zinc which were connected to a multimeter to measure the value of current and voltage. The highest power obtained in the study was 137.19 mW and the lowest power was 9.44 mW. The result obtained were strongly influenced by the weather conditions. It was expected that P-MFC could be used as an alternative energy in terms of electricity generation.

Keywords—Renewable energy, mangroves, plant-microbial fuel cell (P-MFC).

Intisari—Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat tiap tahunnya. Hal tersebut berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar yang tiap tahun jumlahnya semakin berkurang. Maka diperlukan sebuah terobosan baru guna mengatasi krisis energi di masa yang akan datang. Di Kota Tarakan, terdapat kawasan hutan mangrove yang banyak menyimpan mikroorganisme yang bila dimanfaatkan dengan baik dapat menghasilkan energi listrik. Plant-Microbial Fuel (P-MFC) merupakan teknologi pembangkitan listrik dengan memanfaatkan tanaman dan bakteri dalam tanah. Dalam penelitian ini, tanaman yang digunakan ialah tanaman bakau dimana pengambilan data dilakukan selama 12 hari. Anoda dan katoda yang digunakan yaitu karbon dan seng yang dihubungkan ke multimeter untuk mengukur nilai arus dan tegangan. Daya tertinggi yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 137.19 mW dan daya terendah diperoleh sebesar 9.44 mW. Hasil yang didapatkan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Diharapkan melalui penelitian ini, P-MFC dapat digunakan sebagai energi alternatif dalam hal pembangkitan listrik.

Kata Kunci— Energi terbarukan, Tanaman bakau, Plant-Microbial Fuel Cell.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat tiap tahunnya seiring dengan

berkembangnya teknologi yang bertujuan untuk mempermudah aktifitas manusia. Meningkatnya kebutuhan energi listrik berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar yang jumlahnya tiap tahun semakin berkurang. Energi alternatif merupakan istilah yang merujuk pada energi yang dapat menggantikan bahan bakar konvensional.

Energi alternatif memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan energi konvensional antara lain sifatnya yang dapat diperbarui, jumlahnya yang tidak terbatas dan juga ramah terhadap lingkungan. Salah satu energi alternatif ialah teknologi Plant-Microbial Fuel Cell (P-MFC). Plant-Microbial Fuel Cell merupakan metode dengan memanfaatkan tanaman dan bakteri untuk menghasilkan listrik. P-MFC membuat proses yang terjadi secara alami pada sekitar akar tanaman secara langsung mampu menghasilkan listrik [1].

II. LANDASAN TEORI

A. Energi terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan. Energi terbarukan berasal dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal: matahari, tidal, angin, sungai, panas bumi, tumbuhan, kotoran hewan dan sebagainya. Energi terbarukan merupakan sumber energi paling bersih yang tersedia di planet ini. Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan perlu dikembangkan mengingat peran dan harga BBM terus meningkat dan melambung tinggi sebagai pengganti untuk penyedia energi yang berkelanjutan. Energi terbarukan diharapkan dapat mengatasi krisis energi dimasa yang akan datang.

B. *Plant Microbial Fuel Cell*

Plant-Microbial Fuel Cell merupakan metode yang memanfaatkan bakteri untuk menghasilkan listrik. Saat proses fotosintesis, tanaman akan mengeluarkan material yang tidak terpakai. Material tersebut akan dilepaskan ke tanah dan ditangkap oleh bakteri tanah yang kemudian diurai lagi membentuk energi listrik. Proses penguraian (degradasi) tersebut menghasilkan elektron dalam tanah. Untuk menangkap elektron tersebut perlu menempatkan sebuah elektroda di dekat akar tanaman (bakteri tanah) sehingga dapat dihasilkan listrik. P-MFC membuat proses

yang terjadi secara alami pada sekitar akar tanaman secara langsung akan mampu menghasilkan listrik.

Menurut Helder [2], P-MFC sebagai teknologi pembangkitan listrik memiliki banyak kegunaan. Seseorang dapat mengaplikasikan teknologi P-MFC dengan bermacam-macam ukuran dan skala. Beberapa contohnya ialah:

1. Listrik atap hijau: menggabungkan produksi listrik dengan atap yang menggunakan rerumputan hijau.
2. Produksi listrik di persawahan: menggabungkan produksi listrik dan produksi pangan.
3. Produksi listrik di lahan basah alami: menggabungkan produksi listrik dengan konservasi alam

P-MFC dipandang sebagai teknologi yang inovatif karena menghasilkan listrik dengan cara yang sama sekali baru.

C. Elektroda

Elektroda sendiri terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Hal ini dikarenakan elektroda tersebut dialiri arus listrik sebagai sumber energi dalam pertukaran elektron. Konsep dari elektrokimia didasari oleh reaksi redoks (reduksi-oksidasi) dan larutan elektrolit. Reaksi redoks merupakan gabungan dari reaksi reduksi dan juga reaksi oksidasi yang terjadi secara bersamaan. Reaksi reduksi merupakan peristiwa penangkapan elektron sedangkan reaksi oksidasi merupakan peristiwa pelepasan elektron yang terjadi pada media pengantar pada sel elektrokimia [3].

D. Tanaman

Adapun tanaman yang digunakan dalam penelitian ini ialah tanaman bakau. Tanaman bakau merupakan tanaman yang banyak ditemui di daerah pesisir pantai yang berlumpur. Khususnya di Kalimantan, tanaman bakau sangat mudah dijumpai di pinggiran sungai, daerah pertambakan dan disepanjang pesisir pantai. Di Kota Tarakan sendiri terdapat beberapa tempat yang menjadi kawasan konservasi mangrove yang menjadi habitat tumbuhnya tanaman bakau. Bakau menjadi tempat tinggal bagi beberapa spesies hewan seperti kepiting, kerang, udang dan ikan-ikan kecil. Tanaman bakau memiliki batang yang keras yang dapat tumbuh mencapai ketinggian 20–30 m.

E. Daya dan power density

Dalam mengukur besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh P-MFC digunakan multimeter untuk mengukur tegangan dan arus. Data yang berupa kuat arus dan tegangan akan diolah menjadi nilai daya melalui persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$P(mW) = V(mV) \times I(mA) \quad (1)$$

Ket:

- P = Daya (mW)
I = Arus (mA)
V = Tegangan (mV)

Selanjutnya dilakukan perhitungan power density. Power density atau kerapatan daya merupakan besar daya yang dapat diperoleh dari per-satuan luas permukaan

elektroda [4]. Adapun persamaan kerapatan daya sebagai berikut.

$$Pd(mW/m^2) = \frac{I(mA) \times V(V)}{A(m^2)} \quad (2)$$

Ket:

- Pd = Power density (Kerapatan daya) (mW/m²)
I = Arus (mA)
V = Tegangan (mV)
A = Luas permukaan anoda (m²)

III. METODE PENELITIAN

A. Lokasi penelitian

Penelitian berlokasi di Kawasan Konservasi Hutan Mangrove PT. Idec Abadi Wood Industries dan Hutan bakau di sekitar sungai bengawan dengan memilih salah satu pohon sebagai sampel penelitian.

B. Alat dan bahan yang digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah:

1. Multimeter digital DT-9205A
2. Elektroda karbon
3. Elektroda seng
4. Kabel
5. Resistor 1K Ω
6. Penjepit buaya

Bahan yang digunakan ialah:

1. Pohon bakau

C. Persiapan alat P-MFC

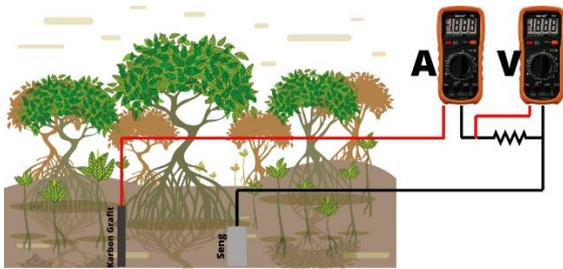
Perakitan alat dimulai dengan menyiapkan 2 buah elektroda yakni karbon grafit dan seng. Masing-masing elektroda disambungkan pada masing-masing kabel yang diujungnya telah terpasang penjepit buaya. Pada bagian sambungan dengan elektroda dilapisi lem tembak untuk mencegah kebocoran arus sehingga penyerapan elektron hanya terpusat pada elektroda.



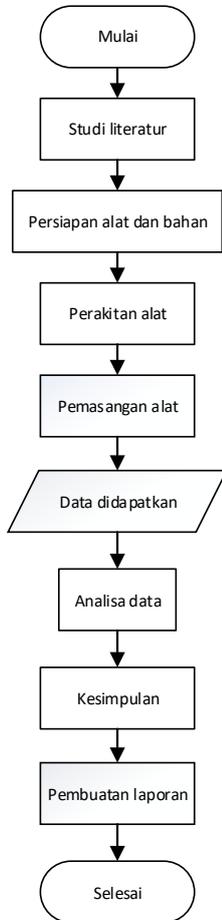
Gambar 1. Model elektroda karbon grafit dan seng

D. Pengambilan data

Data yang diambil berupa nilai arus dan tegangan yang diukur melalui penjepit buaya yang terhubung pada anoda dan katoda. Pengukuran nilai arus dilakukan menggunakan multimeter pada beban eksternal berupa resistor yang saling terhubung dengan anoda dan katoda [3]. Pengambilan data dilakukan setiap 60 menit sekali selama 10 jam dalam sehari, dari jam 08.00 sampai dengan 17.00. Pengambilan data ini dilakukan selama 12 hari.



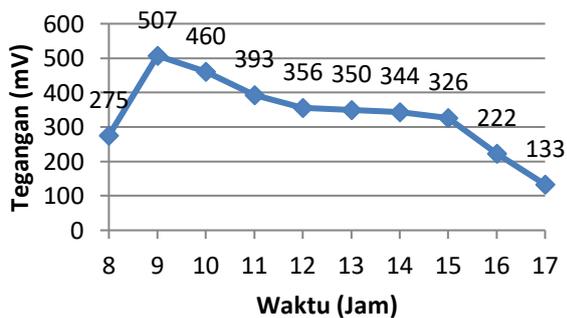
Gambar 2. Rangkaian Plant-Microbial Fuel Cell



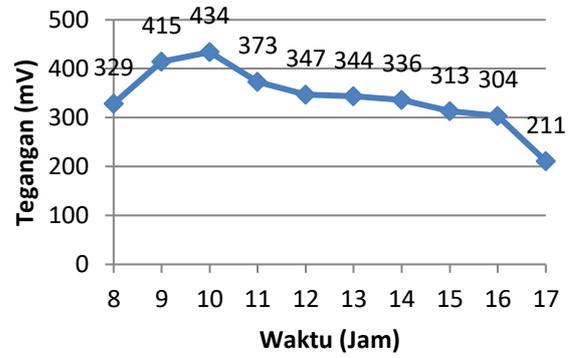
Gambar 3. Diagram alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

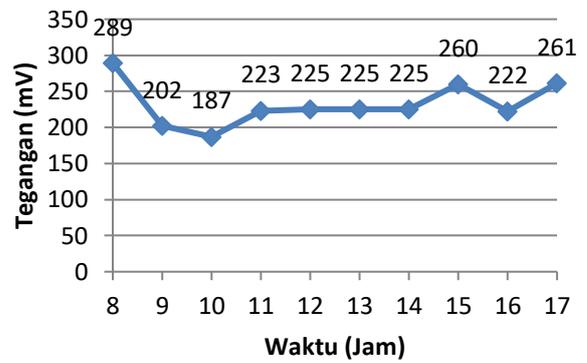
A. Hasil pengukuran



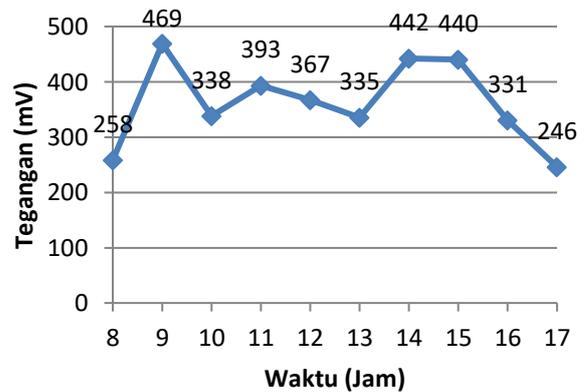
Gambar 4. Grafik tegangan hari 1



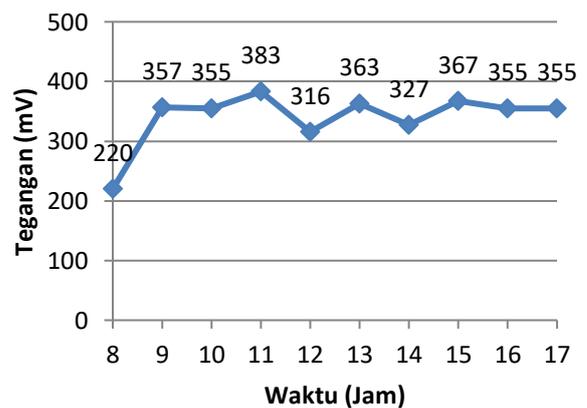
Gambar 5. Grafik tegangan hari 2



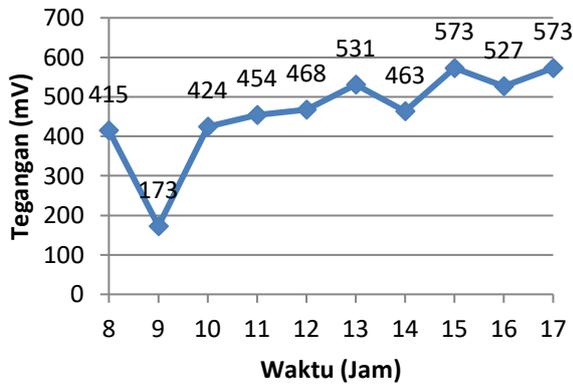
Gambar 6. Grafik tegangan hari 3



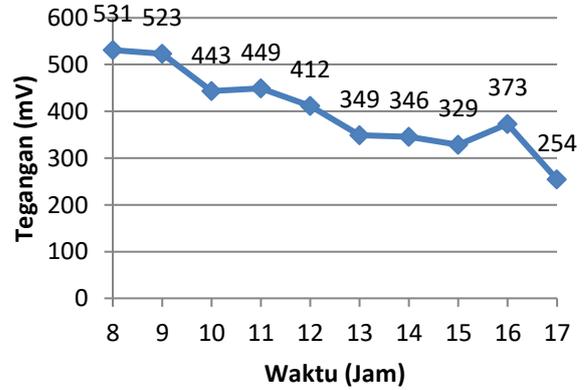
Gambar 7. Grafik tegangan hari 4



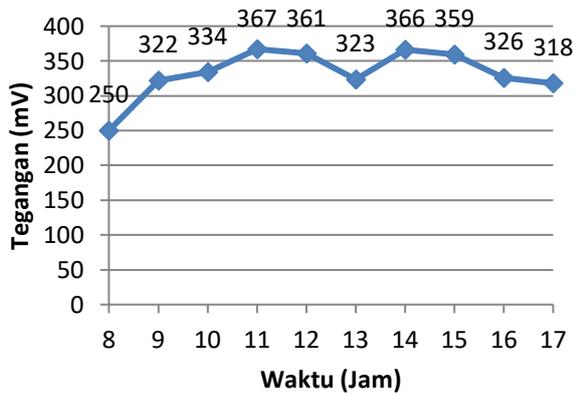
Gambar 8. Grafik tegangan hari 5



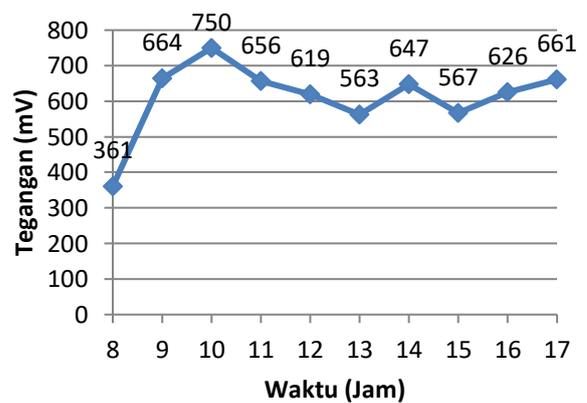
Gambar 9. Grafik tegangan hari 6



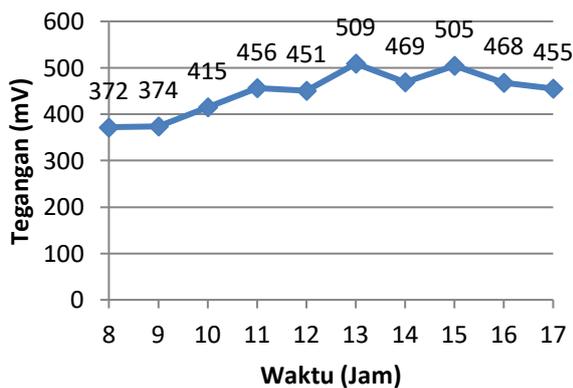
Gambar 13. Grafik tegangan hari 10



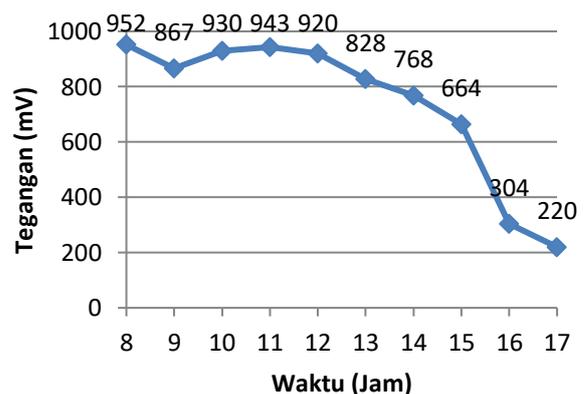
Gambar 10. Grafik tegangan hari 7



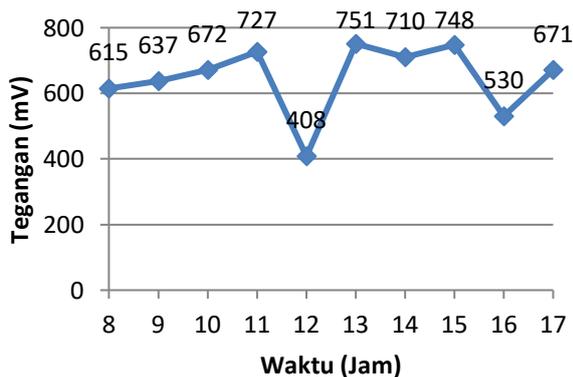
Gambar 14. Grafik tegangan hari 11



Gambar 11. Grafik tegangan hari 8



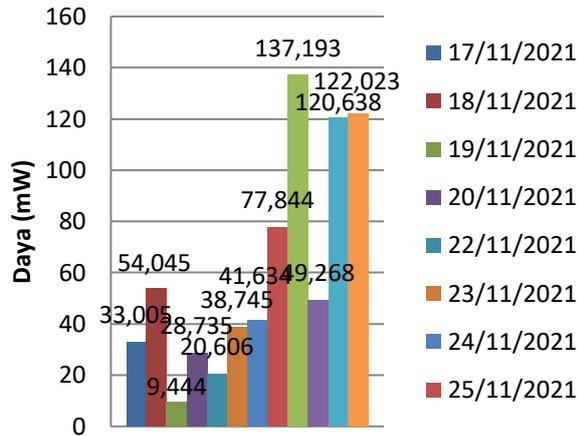
Gambar 15. Grafik tegangan hari 12



Gambar 12. Grafik tegangan hari 9

Nilai tegangan yang terukur cenderung tidak stabil. Nilai tegangan tertinggi didapatkan pada hari ke 12 pukul 08.00 pagi dengan nilai 952 mV dengan kondisi cuaca cerah dan kondisi air laut surut sedangkan nilai tegangan terendah diperoleh pada hari ke 1 pukul 17.00 sore dengan nilai 133 mV dengan kondisi cuaca matahari tertutup awan dan kondisi air laut pasang. Kondisi cuaca sangat mempengaruhi tegangan yang dihasilkan hal ini dikarenakan proses fotosintesis yang tidak stabil. Cuaca yang cerah cenderung dapat menghasilkan nilai tegangan yang cukup tinggi sedangkan apabila dalam satu hari cuaca mendung sehingga matahari cenderung tidak tampak karena tertutup awan maka nilai tegangan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan saat cuaca cerah.

B. Daya



Gambar 16. Grafik nilai rata-rata daya per-hari

Rata-rata nilai daya tertinggi diperoleh pada tanggal 26/11/2021 dengan nilai 137.193 mW dimana kondisi cuaca sedang cerah dari pagi sampai dengan sore. Sedangkan rata-rata nilai daya terendah diperoleh pada tanggal 19/11/2021 dengan nilai 9.444 mW dimana kondisi cuaca sempat hujan di pagi hari lalu langit menjadi mendung sepanjang hari dan matahari mulai muncul di sore hari. Daya yang didapatkan masih sangat kecil dan juga belum stabil perkembangan tiap jamnya. Hal ini dipengaruhi oleh penyerapan elektron pada elektroda tidak berlangsung optimal. Kondisi cuaca yang tidak stabil menyebabkan fotosintesis pada tanaman bakau tidak berlangsung baik sehingga pelepasan elektron dari sisa-sisa hasil fotosintesis cenderung tidak stabil.

C. Power density

Dari keseluruhan pengukuran didapatkan kerapatan daya rata-rata sebesar 233.60 mW/m². Dengan nilai tertinggi sebesar 890.12 mW/m² diperoleh pada hari 11 pukul 10.00 dan nilai terendah sebesar 15.46 mW/m² diperoleh pada hari 3 pukul 09.00. Rata-rata daya terbesar diperoleh pada hari ke 9 dengan nilai 521.63 mW/m² dimana kondisi pada saat itu cerah sepanjang hari dan kondisi air yang sedang surut.

V. KESIMPULAN

1. Nilai tegangan tertinggi yang diperoleh dalam penelitian ini ialah sebesar 952 mV dengan nilai tegangan terendah sebesar 133 mV.
2. Nilai daya tertinggi yang diperoleh dalam penelitian ini ialah sebesar 137.193 mW dengan nilai daya terendah 9.444 mW.
3. Rata-rata kerapatan daya yang diperoleh keseluruhan selama 12 hari pengukuran ialah sebesar 233.60 mW/m² dengan nilai rata-rata kerapatan daya terbesar diperoleh pada hari ke 9 dengan nilai 521.63 mW/m².
4. Tegangan yang dihasilkan dari teknologi Plant-Microbial fuel cell sangat dipengaruhi oleh cuaca. Hal ini dikarenakan tumbuhan memerlukan cahaya matahari untuk dapat berfotosintesis.

REFERENSI

- [1] Sholikah, U., Alfian, N., Kamaluddin, M., & Prasetyo, D. A. (2019). Sumber energi alternatif rumput vetiver dengan metode plant microbial fuel cell. *Prosiding Seminar Nasional Riset Terapan*, E8–E13.
- [2] Helder, M. (2012). Design criteria for the Plant-Microbial Fuel Cell Electricity generation with living plants – from lab to application.
- [3] Moeksin, R., Shofaudi, M. K., & Warsito, D. P. (2017). Pengaruh Rasio Metanol dan Tegangan Arus Elektrolisis Terhadap Yield Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Kimia No.1, Vol. 23, Januari 2017*
- [4] Alfian, N., Aurelia, M., Mulyanto, K. B., Sholikah, U., & Kunci, K. (2018). Potensi *Syzygium oleina* Sebagai Penghasil Listrik Alternatif Dengan Metode Plant-Microbial Fuel Cell. *9th Industrial Research Workshop and Seminar National*, 420–426. <https://pdfs.semanticscholar.org/6976/ac943ab4c9609c7ca805a0bcd154bcc1e387.pdf>