

VOLUME 4 | NOMOR 2 | OKTOBER 2018

p-ISSN 2443-0986

ELEKTRIKA BORNEO



Diterbitkan oleh

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 4, Nomor 2, Oktober 2018

DAFTAR ISI

1. Perencanaan Penyediaan Daya Listrik Berbasis Tenaga Surya untuk Penerangan Jalan Umum di Kampus Universitas Borneo Tarakan
Ashariansyah dan Achmad Budiman..... 1 – 5
2. Analisa Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Pada Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN Tarakan
Arif Fadillah dan Patria Julianto 6 – 10
3. Analisis Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa 15 HP Menggunakan Metode Dol (Direct On Line) Pada PDAM Juwata Laut Tarakan
Sugeng Riyanto dan Andi Supriandi 11–16
4. Analisa Beban Transformator Distribusi 3 Fasa Pada Penyulang 1 PT. PLN (Persero) ULK Tarakan
Achmad Budiman dan Andi Munair 17–23
5. Analisis Ketersediaan Daya dan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi di Universitas Borneo Tarakan
Patria Julianto dan Julidar Sidebang 24–28

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 4, Nomor 2, Oktober 2018

Ketua Redaksi
(Editor-in-Chief)

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

Dewan Redaksi
(Editorial Board)

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

Rudy, S.T., M.T.

Arif Fadllullah, S.Pd., M.Kom.

Abdul Muis Prasetia, S.T., M.T.

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

Asisten Redaksi
(Editorial Assistant)

Awang Pradana, S.Kom., M.Kom.

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

PERENCANAAN PENYEDIAAN DAYA LISTRIK BERBASIS TENAGA SURYA UNTUK PENERANGAN JALAN UMUM DI KAMPUS UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

Ashariansyah¹, Achmad Budiman²

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

¹anshariansyah@borneo.ac.id

²achmad1177@gmail.com

Abstract—Very bright, energy-efficient and durable LED-based solar street lighting using solar cells as a source that functions to receive sunlight which is then converted into electricity through the photovoltaic process. This paper discusses solar-based public street lighting planning that will be placed on the UBT campus. For planning, it requires solar panel components which include Solar Panels, Solar Modules, Batteries, Battery Chargers, Controllers, Inverters, LED Lights and UV LIGHT METERS. This research is about the study of PLTS development as a backup of electric power in the area of the Tarakan University of Borneo. The results obtained in planning Public street lighting is the measurement of sunlight for one week. the largest average measurement is around 722 W / m² and the smallest measurement is 678 W / m². and using supporting device components, namely 200 Wp Module as many as 75 solar panels, led lights load of 40 Watts with a total of 103 lights having a total led load of 4,120 Watts, 100 Ah Batteries as many as 108 units and battery Regulators of 223,17 A and inverters used which is 7,000 W.

Keywords— Solar Cells, Solar Modules, Battery Chargers, Controllers, Led Lights, Uv Light Meters.

Intisari— Lampu penerangan jalan tenaga matahari berbasis LED jenis hi- power yang sangat terang, hemat energi dan tahan lama menggunakan panel surya/solar cell sebagai sumber yang berfungsi menerima sinar matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses *photovoltaic*. Tulisan ini membahas tentang perencanaan penerangan jalan umum berbasis tenaga surya yang akan di tempatkan di kampus UBT. Untuk perencanaannya memerlukan komponen panel surya yang di antaranya adalah Panel Surya, Modul Surya, Baterai, Baterai Charger, Controller, Inverter, Lampu LED Dan UV LIGHT METER. Penelitian ini mengenai kajian pembangunan PLTS sebagai cadangan daya listrik di daerah Kampus universitas Borneo Tarakan. Hasil yang di peroleh dalam perencanaan Penerangan jalan umum yaitu pengukuran cahaya matahari selama satu minggu. nilai rata-rata pengukuran terbesar sekitar 722 W/m² dan pengukuran terkecil adalah 678 W/m². dan menggunakan komponen perangkat pendukung yaitu Modul 200 Wp sebanyak 75 panel surya , beban lampu led sebesar 40 Watt dengan total 103 lampu memiliki total beban led 4.120 Watt , Baterai 100 Ah sebanyak 108 unit dan Regulator baterai sebesar 223,17 A serta inverter yang di gunakan yaitu 7.000 W.

Kata Kunci— Solar Cell, Modul Surya, Battery Charger, Controller, Lampu Led, Uv Light Meter.

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi matahari merupakan sumber energi yang dapat di manfaatkan penerangan jalan di perkotaan

maupun pedesaan. Lampu Jalan Tenaga Surya secara otomatis dapat mulai menyala pada sore hari dan padam pada pagi hari dengan perawatan yang mudah dan efisien selama bertahun-tahun.

Secara keseluruhan sistem ini dirancang untuk penyediaan cahaya penerangan umum dengan sumber energi terbarukan, bebas biaya perawatan dan berumur ekonomis lama[1]. Dengan sistem pemasangan yang cepat dan mudah, PJU LED Tenaga Surya dapat menjadi solusi yang cepat dalam mengatasi kebutuhan penerangan jalan umum. Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya dapat menjadi alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut diatas karena potensinya yang cukup besar di seluruh daerah di Indonesia. PLTS dapat digunakan sebagai cadangan suplai daya listrik apabila terjadi gangguan pada suplai daya dari PLN. PLTS dapat digunakan langsung maupun melalui penyimpanan seperti baterai.

II. LANDASAN TEORI

A. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya

Lampu Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya adalah lampu penerangan jalan yang menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi listriknya[2]. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya sangat cocok digunakan untuk jalan-jalan di daerah-daerah yang belum terjangkau oleh listrik PLN dan juga daerah-daerah yang mengalami krisis energi listrik terutama di daerah terpencil. Penerangan Jalan Tenaga Surya merupakan sebuah alternatif yang murah dan hemat untuk digunakan sebagai sumber listrik penerangan karena menggunakan sumber energi gratis dan tak terbatas dari alam yaitu energi matahari[3][4].

B. Energi yang dihasilkan dari Radiasi Matahari

Besarnya energi yang dihasilkan dari radiasi matahari yang masuk ke modul data ditentukan.

$$I_r \frac{m \times h}{\text{Standart test condition}}$$

Dengan

I_r : Intensitas radiasi matahari (watt/m²)

P_{in} : Daya input radiasi matahari(Watt).

1000 W/m² : Standart test condition.

Untuk mendapatkan kapasitas daya pada modul, yang diperlukan di dalam perhitungan adalah jumlah jam kerja

bukan besarnya radiasi matahari, dibagi dengan standart test condition yaitu 1000 W/m^2 [5].

C. Komponen PLTS

- Solar Cell (Panel Surya)
- Modul Surya
- Baterai Charger
- Solar PV Controller
- Inverter
- Lampu Led
- Alat Uv Light Meter.

D. Keuntungan Dan Rugi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya

1) Keuntungan PLTS

- Cahaya matahari merupakan energi yang dapat diperbaharui dan tidak akan habis.
- Pembangkit listrik tenaga surya merupakan pembangkit yang bersih dan ramah lingkungan.
- Sel surya relative panjang
- Panel surya tidak memberikan kontribusi terhadap polusi suara dan bekerja dengan sangat diam.
- Jika berdirinya PLTS ini di kampus UBT bisa di jadi kan bahan praktikum yang berhubungan dengan kuliah Pembangkit Listrik Tenaga Surya bagi Mahasiswa Teknik khususnya jurusan Teknik Elektro.

2) Rugi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Proses pembangkitan hanya dapat dilakukan pada siang hari. Lebih buruk lagi jika proses pembangkitan dilakukan pada musim penghujan serta bahan pembuatan komponen pembangkit listrik tenaga surya masih berharga mahal terutama untuk tipe sel fotovltaik.

E. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

- 1) Mencari total beban pemakaian per hari, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Total Beban(Wh)} = (\text{Daya} + 30\%) \times \text{Lama Pemakaian.}$$

- 2) Menentukan ukuran kapasitas modul surya yang sesuai dengan beban pemakaian.
Jumlah jam kerja matahari :

$$\frac{\text{radiasi matahari } \frac{\text{wh}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

Dengan :

$$1000 \text{ W/m}^2 = \text{Standart test condition.}$$

Kapasitas modul :

$$\frac{\text{Beban pemakaian harian}}{\text{jumlah jam kerja matahari}} \times 1,1$$

Menghitung jumlah modul yang akan dipakai

Jumlah modul :

$$\frac{\text{Daya Modul}}{\text{Kapasitas Modul}}$$

- 3) Menentukan kapasitas baterai/Accu
Persamaan yang digunakan adalah :

$$C = \frac{E_m}{V_B \times DOD \times \eta_{\text{Total}}}$$

C = Kapasitas baterai (Ah)

E_m = Energi total yang harus di suplai (Wh)

V_B = Tegangan kerja baterai (Volt)

DOD = Tingkat kedalaman pengosongan baterai (%)

η_{total} = Efisiensi total sistem photovoltaic (%)

- 4) Menentukan besar arus *battery charger regulator*

$$I_{\text{maks}} = \frac{P_{\text{maks}}}{V_s}$$

Dengan :

I_{maks} = Arus Maksimal

P_{maks} = Beban Maksimal

V_s = Tegangan Sistem

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu pelaksanaan

Pembangunan PLTS pada PJU di daerah Kampus Universitas Borneo Tarakan.

B. Strategi Pengembangannya

Penelitian ini merupakan penelitian yang baru yang dilakukan di Kampus universitas Borneo Tarakan sehingga di perlukan pengambilan data secara langsung di lokasi tempat penelitian. Serta di lakukan perhitungan guna perancangan pembangkit listrik tenaga surya.

C. Objek Penelitian

Penelitian ini membahas mengenai PLTS sebagai cadangan daya listrik pada PJU di daerah Kampus Borneo Tarakan.

D. Tahap Penelitian

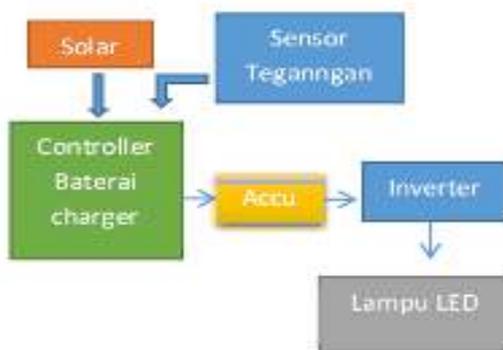
1. Pengumpulan Literatur
2. Studi kasus
3. Pengumpulan Data
4. Analisa Data
5. Kesimpulan
6. Alat Penelitian
7. Uv Light Meter
8. Laptop

E. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

F. Teknik dan perencanaan sistem penerangan



Gambar 2 Perencanaan sistem penerangan

Pada perencanaan dan pembuatan perangkat keras baterai charge dan lampu LED sebagai sumber lampu untuk kebutuhan beban Penerangan Jalan Umum.

Total daya yang digunakan untuk lampu penerangan jalan umum di areal kampus UBT:

- 1) Jumlah Titik Tiang : 65 TOT
- 2) Jumlah Titik Tiang : 19TOG
- 3) Sudut Stang Ornament :29,772 Derajat
- 4) Tinggi Tiang : 7 Meter
- 5) Jumlah total lampu :103 bohlam
- 6) P total daya lampu : 4.120Watt
- 7) Iluminasi (Lux) :1,752 Lux
- 8) Waktu beroperasi : 12 jam
 - Menyala :Pukul 18.00 WITA
 - Padam :Pukul 06.00 WITA

Untuk mengetahui hasil dari total daya lampu maka,

$$\begin{aligned}
 P &: \text{Watt} \times (\text{TOT} + (2 \times \text{TOG})) \\
 &: 40 \times (65 + (2 \times 19)) \\
 &: 40 \times 103 \\
 &: 4.120 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Mengetahui hasil total daya lampu dan pemakaian listrik.

Untuk mengetahui hasil dari total daya lampu maka,

$$\begin{aligned}
 P &= \text{Watt} \times (\text{TOT} + (2 \times \text{TOG})) \\
 &40 \times (65 + (2 \times 19)) \\
 &40 \times 103 = 4.120 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Menentukan Pemakaian Listrik Per Hari

$$\begin{aligned}
 P &= (\text{Total beban Watt} + 30\%) \times \text{jam pemakaian} \\
 &(4.120 \text{ W} + 30\%) \times 12 \text{ jam} \\
 &(4.120 \text{ W} + 1.236) \times 12 \text{ jam} \\
 &5.356 \text{ W} \times 12 \text{ jam} = 64.272 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

B. Perencanaan pada Sistem Fotovoltaik

Berdasarkan karakteristik beban dan kondisi yang ada. Perancangan yang dilakukan pada subbab ini terdiri dari pengukuran radiasi matahari perancangan modul photovoltaic, perencanaan baterai, perancangan battery control regulator perencanaan inverter, dan perencanaan lampu LED. Hasil Pengukuran Radiasi Matahari.

Tabel 1 Nilai rata-rata intensitas cahaya matahari selama satu minggu.

No	Hari/Tanggal	Rata-Rata Intensitas cahaya Matahari (W/m ²)	
		Min (w/m ²)	Max (w/m ²)
1	Kamis 27/07/2017	690	728
2	Jumat 28/07/2017	685	788
3	Sabtu 29/07/2017	618	669
4	Minggu 30/07/2017	735	760
5	Senin 31/07/2017	529	572
6	Selasa 01/08/2017	780	817
7	Rabu 02/08/2017	710	721
Rata-rata		678	722

Dan dari tabel diatas dapat dilihat nilai rata-rata maksimal intensitas cahaya matahari selama satu minggu sebesar 722 W/m² sedangkan nilai minimal intensitas cahaya matahari selama satu minggu adalah 678 W/m².

Keterangan Tabel

Tabel diberi nomor menggunakan angka romawi huruf besar. Keterangan tabel di tengah (*centered*) dengan font biasa berukuran 10 pt dengan huruf besar di awal kalimat. Keterangan tabel ditempatkan dibawah nomor Tabel, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

C. Menentukan Kapasitas dan Jumlah Modul

Untuk menentukan kapasitas daya modul surya diambil berdasarkan nilai rata-rata pengukuran energi matahari.



Gambar 3. Panel Surya (Sollar Cell)

Untuk kondisi penyinaran matahari di kampus UBT. dari nilai rata-rata intensitas matahari tersebut kita mencari nilai radiasi matahari dengan mengalikan nilai intensitas cahaya matahari. Pada perhitungan menggunakan nilai intensitas matahari terendah selama 9 jam yaitu sekitar jam 08:00 sampai 17:00.

$$\begin{aligned} \text{Radiasi matahari} &= P_{in} \times \text{Waktu efektif} \\ &= 529 \text{ W/m}^2 \times 9 \text{ h} \\ &= 4.761 \text{ Wh/m}^2 \end{aligned}$$

Dan untuk mencari jam kerja matahari dapat dengan membagikan besaran nilai radiasi matahari dengan standart test condition yaitu 1.000 W/m^2 .

$$\begin{aligned} \text{Jumlah jam kerja matahari (h)} &= \frac{\text{radiasi matahari } \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \\ &= \frac{4761 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \\ &= 4.761 \text{ h} \end{aligned}$$

Untuk mencari besarnya nilai kapasitas yang dibutuhkan oleh modul dapat dicari dengan membagikan besarnya total beban dengan jumlah jam kerja matahari dan dikalikan dengan faktor penyusutan sebesar 1,1.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas modul (W)} &= \frac{\text{beban pemakaian (Wh)}}{\text{Jumlah kerja matahari (h)}} \times 1.1 \\ &= \frac{64.272 \text{ (Wh)}}{4.761 \text{ (h)}} \times 1.1 \\ &= 14.850 \text{ W} \end{aligned}$$

Kemudian setelah mendapat besar kapasitas modul yang di butuhkan maka untuk mencari jumlah modul yang akan di pakai dapat dihitung dengan membagikan

kapasitas modul yang butuhkan dengan daya modul yang di pergunakan.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah modul} &= \frac{\text{daya modul (W)}}{\text{kapasitas modul (Wp)}} \\ &= \frac{14.850 \text{ W}}{200 \text{ Wp}} \\ &= 75 \text{ panel} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah panel yang di pergunakan sebagai cadangan daya pada pju untuk menggantikan suplai daya utama dari PLN dengan beban daya sebesar 5.356 watt dalam sejumlah 75 buah panel.

D. Menentukan Kapasitas dan Jumlah Baterai

Untuk menentukan kapasitas baterai harus mengetahui total beban yang akan di tanggung. dalam hal ini total beban yang akan di tanggung adalah sebesar 64.272 Wh. Jadi untuk menentukan nilai kapasitas baterai yang akan digunakan sebagai cadangan daya adalah dengan membagikan beban total dengan tegangan kerja pada baterai, tingkat kekosongan baterai dan efisiensi total sistem PV.



Gambar 4. Baterai

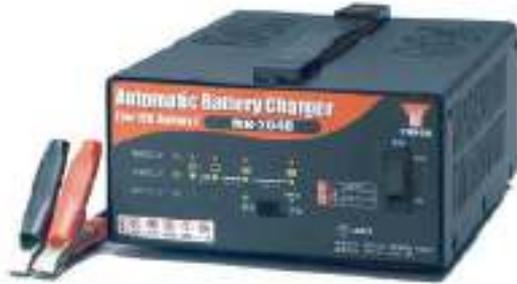
Menentukan nilai kapasitas baterai :

$$\begin{aligned} C &= \frac{E_m}{V_B \times DOD \times \eta_{Total}} \\ &= \frac{64.272 \text{ Wh}}{24 \text{ V} \times 50\% \times 50\%} \\ &= 10.712 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Untuk menentukan jumlah baterai yang akan di gunakan maka dapat di cari dengan mebagikan kapasitas baterai yang di butuhkan dengan dengan kapasitas baterai yang di pakai.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baterai} &= \frac{\text{Kapasitas baterai dibutuhkan (Ah)}}{\text{kapasitas baterai dipakai (Ah)}} \\ \text{Jumlah baterai} &= \frac{10.712 \text{ (Ah)}}{100 \text{ (Ah)}} \\ &= 108 \text{ unit} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah baterai yang digunakan sebagai cadangan daya pada Pju adalah sejumlah 108 unit.



Gambar 5. Baterai Charger

Untuk menentukan besaran arus yang akan di gunakan adalah dengan membagikan daya modul yang di gunakan dengan tegangan sistem.

$$I_{\text{maks}} = \frac{E_{\text{maks}} W}{V_s}$$

$$= \frac{5.356 W}{24 V}$$

$$= 223,17 A$$

E. Menentukan Inverter yang Dipakai

Spesifikasi inverter harus sesuai dengan tegangan kerja dari sistem dan tegangan pada beban AC. Berdasarkan tegangan sistem maka tegangan masuk dari inverter 48 VDC.



Gambar 6. Inverter

Tegangan keluaran dari inverter yang tersambung ke beban adalah 220 VAC. Berdasarkan perhitungan daya yang diperlukan maka kapasitas inveter yang di gunakan.

$$\begin{aligned} \text{kapasitas inverter :} \\ &= \text{beban total} \times 1,3 \\ &= 5.356 W \times 1,3 \\ &= 6.962,8 = 7.000 W \end{aligned}$$

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari sebuah penelitian serta hitungan daya dalam PJU-TS di Area kampus UBT.

- Dalam sebuah perencanaan PJU yang berbasis Tenaga Surya membutuhkan perkiraan Area luas yang kosong dengan panjang 40 meter dan lebar sekitar 40 meter .
- Dari hasil pengukuran intensitas cahaya matahari dalam satu minggu nilai rata-rata pengukuran terbesar sekitar 722 W/m² dan pengukuran terkecil adalah 678 W/m².
- Dan untuk penyimpanan atau suplai daya sebuah PJU (Penerangan Jalan Umum) yang berbasis Tenaga Surya maka di perlukan komponen perangkat

pendukung, yaitu Modul 200 Wp sebanyak 75 panel surya , beban lampu led sebesar 40 Watt dengan total 103 lampu memiliki total beban led 4.120 Watt , Baterai 100 Ah sebanyak 108 unit dan Regulator baterai sebesar 223,17A serta inverter yang di gunakan yaitu 7.000 W.

VI. SARAN

Dengan ada nya sebuah ide dan pemikiran perencanaan mensuplai daya tenaga surya dari PJU di kampus UBT serta melihat potensi area yang sangat luas dan potensi intensitas cahaya matahari maka pemanfaatan energi tenaga surya menjadi sebuah perencanaan . selain itu dari penulis menyadari memiliki kekurangan yang sangat banyak maka bimbingan serta lanjutan penelitian mengenai PJU (Penerangan Jalan Umum) Berbasis tenaga Surya menjadi sebuah kelengkapan bagi Skripsi yang berjudul Perencanaan Penyediaan Daya Listrik Berbasis Tenaga Surya Untuk Penerangan Jalan Umum Di Kampus Universitas Borneo Tarakan.

REFERENSI

- [1] Donny T B Sihombing, Ir. Surya Tarmizi Kasim Msi Konsentrasi Teknik Energi, Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
- [2] Gunardi Yudhi, "Perancangan Dan Pembuatan Pembangkit Listrik TenagaMatahari Untuk Lampu Penerangan Jalan", Jurusan Teknik Elektro Universitas Mercu Buana Jakarta, 2010.
- [3] Hasnawiya Hasan "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pulau Saugi", Jurusan Teknik Perkapalan - Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea - Makassar,Sulsel 90245.
- [4] Rusminto Tjatur W, "Solar Cell Sumber Energi masa depan yang ramah Lingkungan", Jakarta: Berita Iptek, 2003.
- [5] Suparwiyono (2016) Kajian Penggunaan pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Cadangan Daya Listrik Padabase Transceiver Station (BTS) Pantai Amal di Kota Tarakan. Tarakan : Universitas Borneo Tarakan.
- [6] Immanuel, David. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, diakses pada 26 Maret 2014,
- [7] (2014) gdm energy homepage on [Online]. Available: <http://gdmenergy.com/datasolusi/penerangan-jalan-Umum-tenaga-suryapjuts-20W-tiang-6m.html>
- [8] (2014) indo energi homepage on [online]. Available : <http://www.indoenergi.com/2012/04/keunggulan-dan-kelemahan-panelsurya.html>

ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU FASA KE TANAH PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV PT. PLN TARAKAN

Arif fadillah¹, Patria julianto²

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

¹ariffadillah@borneo.ac.id

²patria81@gmail.com

Abstract— Short-circuit interference can also occur due to translucent or broken insulation because it cannot withstand overvoltages, both from within (Overvoltages and abnormal currents) or those from outside. This study aims to determine the short-circuit current of one-phase to ground disturbance, and the level of the busbar voltage during interference at PT. PLN SELL IT. In this study the method used for power flow simulation is Newton Rapon on the ETAP software. The equipment used is an Intel Pentium laptop with 1GB of RAM, in this study the simulation of this disturbance simulation was carried out on all feeders with the largest short circuit fault results of 2,476 kA in feeder 2 and the smallest disturbance current of 0.760 kA in feeder 4.

Keywords— Etap software, short circuit, power failure, single phase, voltage.

Intisari—Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam (Tegangan lebih dan arus tak normal) maupun yang berasal dari luar. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan arus hubung singkat gangguan satu fasa ke tanah, dan tingkat tegangan busbar selama gangguan pada PT. PLN TATAKAN. Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk simulasi alaran daya adalah newton Rapon pada softwer ETAP. Peralatan yang digunakan adalah laptop acer intel pentium dengan RAM 1GB, pada penelitian ini simulasi gangguan ini simulasi gangguan hubung singkat di lakukan pada semua feeder dengan hasil gangguan hubung singkat terbesar 2.476 kA pada feeder 2 dan arus gangguan terkecil sebesar 0,760 kA pada feeder 4.

Kata Kunci—Etap software, gangguan hubungan singkat, daya, satu fasa, tegangan.

I. PENDAHULUAN

Listrik bukan termasuk kebutuhan primer, namun kenyataan di keseharian kita keberadaan listrik sangat berpengaruh pada kehidupan kita, pergerakan roda perekonomian sangat bergantung pada kelistrikan. Kemajuan Era Teknologi menuntut untuk tergantung pada listrik karena hampir semua peralatan untuk pengoperasiannya membutuhkan listrik[1].

PT. PLN Tarakan adalah salah satu BUMN yang bergerak di bidang ketenagalistrikan. PLN bertanggung jawab atas ketersediaan listrik dari hulu sampai hilir yaitu mulai dari sisi pembangkitan sampai pendistribusiannya ke pelanggan. Di dalam proses kontinyuitas ketersediaan listrik ke pelanggan PLN menghadapi berbagai kendala, salah satunya adalah adanya gangguan, baik di sisi

pembangkitan maupun pendistribusian. Gangguan ini bisa disebabkan oleh sistem maupun non sistem[2][3].

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat. Untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem Proteksi yang tepat pada Sistem Tenaga Listrik dapat ditentukan[4]. Hubung singkat terjadi akibat dari faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan adalah rusaknya peralatan listrik. Faktor eksternal adalah antara lain cuaca buruk, seperti badai, hujan, bencana, seperti gempa bumi, angin ribut, kecelakaan kendaraan; runtuhnya pohon, petir, aktivitas konstruksi, ulah manusia, dan lain-lain. Sebagian besar gangguan terjadi karena cuaca buruk, yaitu hujan atau badai, dan pohon[5]. Pembahasan dalam penelitian ini adalah hubungan singkat satu fasa ke tanah menggunakan dimana pengerjaannya menggunakan *software ETAP powerstation 12*.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan arus hubung singkat gangguan satu fasa ke tanah, dan tingkat tegangan busbar selama gangguan pada PT. PLN Tarakan. Dapat menjadi bahan pertimbangan bagi PT. PLN Tarakan untuk memperbaiki kinerja sistem proteksi agar dapat menjaga kontinuitas pelayanan daya kepada konsumen.

II. LANDASAN TEORI

Analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik. Berdasarkan kesimetrisannya, gangguan terdiri dari gangguan simetris dan asimetris. Gangguan simetris adalah gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus dan tegangan pada masing-masing fasa bernilai sama. mengalir pada setiap fasa tidak seimbang, yaitu di antaranya hubung singkat 1 fasa ke tanah, hubung singkat fasa ke fasa, dan hubung singkat 2 fasa ke tanah.

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Dari ketiga sistem tersebut, sistem distribusi merupakan bagian yang letaknya paling dekat dengan konsumen, fungsinya adalah menyalurkan energi listrik dari distribusi ke konsumen.

B. Sistem Distribusi 20 kV

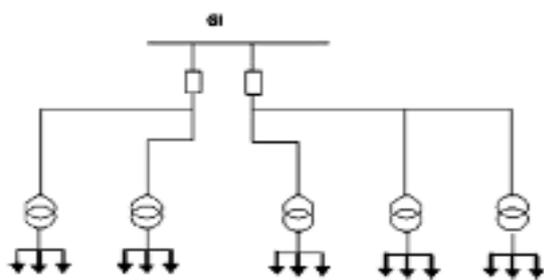
Keluaran dari trafo daya dikumpulkan dulu pada Bus 20 KV di kubikel Gardu Induk untuk kemudian di distribusikan melalui beberapa penyulang 20 KV ke konsumen dengan jaringan berupa Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) atau Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM). Khusus SUTM, jaringan bisa ditarik sepanjang puluhan sampai ratusan Km termasuk percabangannya dan biasanya ada diluar kota besar. Seperti diketahui di Indonesia, jaringan dengan konduktor telanjang yang digelar di udara bebas banyak mengandung resiko terjadi gangguan hubung singkat fasa-fasa atau satu fasa-tanah. Disepanjang SUTM terdapat percabangan yang dibentuk didalam Gardu Distribusi atau Gardu Tiang. Sementara jaringan SKTM relatif lebih pendek dan berada di dalam kota besar dengan jumlah gangguan relatif sedikit.

C. Klasifikasi Sistem Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi dikategorikan kedalam beberapa jenis, sebagai berikut ;

1. Tegangan Pengenalnya :
 - JTM 20kV
 - JTR 380/220 volt
2. Konfigurasi Jaringan Primer
 - Jaringan Distribusi Pola Radial

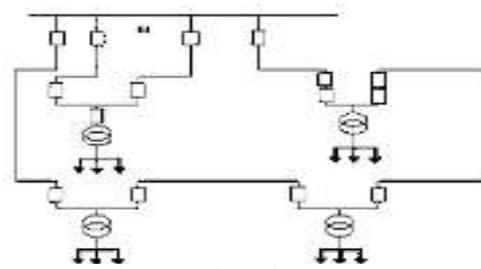
Pola radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah.



Gambar 1. Pola Jaringan Radial

- Jaringan Distribusi Pola Loop

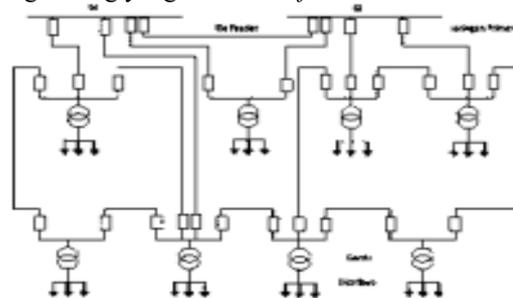
Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semua. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial)



Gambar 2. Pola Jaringan Loop

- Jaringan Distribusi Pola Grid

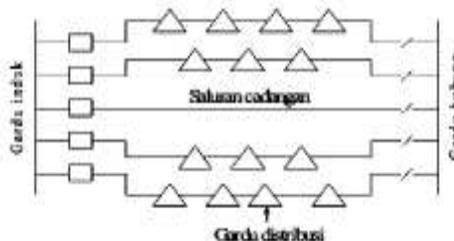
Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut *tie feeder*.



Gambar 3. Pola Jaringan Grid

- Jaringan Distribusi Pola Spindel

Jaringan primer pola spindel merupakan pengembangan dari pola radial dan loop terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut *express feeder*.



Gambar 4. Sistem Jaringan Spindel

3. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam (Tegangan lebih dan arus tak normal) maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir) bila gangguan hubung singkat di biarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya.

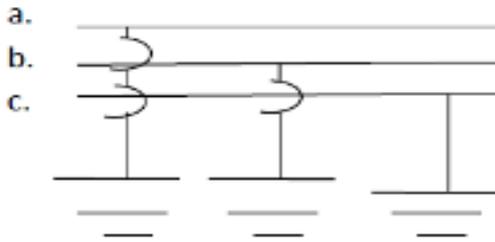
4. Komponen Simetris

Menurut teorema *Fortescue*, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan seimbang komponen itu adalah (Stevenson, 1982: 260):

- Komponen urutan positif
- Komponen urutan negatif
- Komponen urutan nol

5. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena *flashover* antara penghantar fasa dan tanah (tiang *travers* atau kawat tanah pada SUTM). Persamaan yang di gunakan untuk menghitung hubung singkat satu fasa ke tanah adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Kondisi terminalnya sebagai berikut :

$$I_b = 0; I_c = 0; I_a = 0;$$

Untuk persamaan arus yang digunakan diperoleh dari komponen simetris arus :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

$$i_{a1} = \frac{3v_{vf}}{z_1 + z_2 + z_0}$$

Sehingga:

$$i_a = 3i_{a1} = \frac{3v_{vf}}{z_1 + z_2 + z_0}$$

Dengan :

- $i_a = 3i_{a1}$: Arus gamgguan pada titik terjadi gangguan.
- $3v_{vf}$: Tegangan pragangguan ke fasa netral
- Z_1 : Impedansi urutan positif rangkaian dalam Ohm
- Z_2 : Impedansi urutan negatif rangkaian dalam Ohm
- Z_0 : Impedansi urutan nol rangkaian dalam Ohm

III. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Pada tahap ini penulis mengumpulkan data dari PT.PLN Tarakan berupa data generator, data Transformator, data Kawat Penghantar, data Beban dan data Bus. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

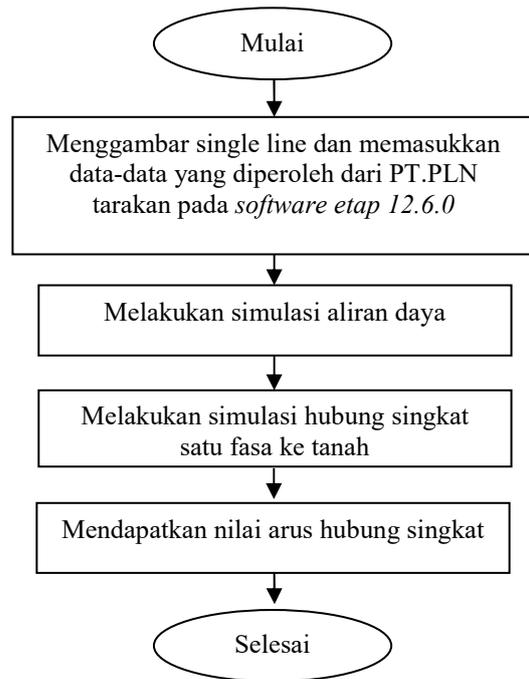
1. Diagram segaris (single line diagram) PT.PLN Tarakan
2. Data Busbar
3. Data pembangkit
4. Data transformator
5. Data saluran penghantar.
6. Data beban puncak PT.PLN Tarakan.
7. Data data tersebut di ambil dari PT PLN TARAKAN pada tanggal 23 juli 2016 jam 20.00.

B. Tahap Pengolahan Data

1. Pengambilan data yaitu data rill PT. PLN Tarakan berupa data generator, data Transformator, data Kawat Penghantar, data Beban dan data Bus.
2. Membuat diagram segaris(*single line diagram*) sistem distribusi 20 kV PT.PLN Tarakan berdasarkan data *single line diagram* yang diperoleh dari PT.PLN Tarakan pada *software ETAP PowerStation 12.6.0*

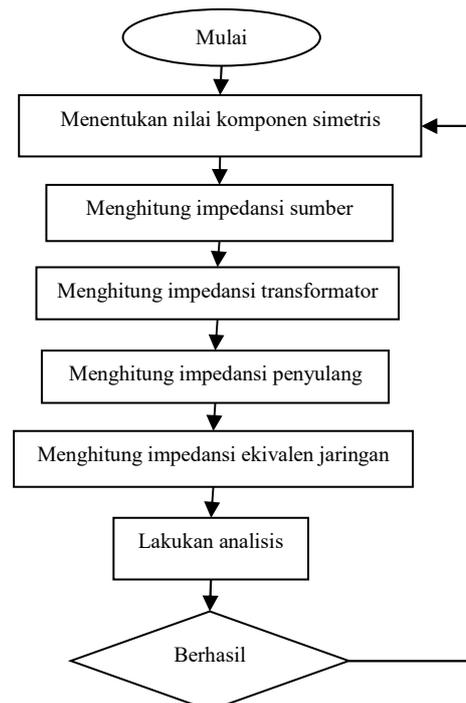
3. Memasukkan parameter kelistrikan kedalam tampilan perangkat *editor ETAP PowerStation12.6.0* sesuai dengan data yang diperoleh dari PT.PLN Tarakan.
4. Melakukan simulasi aliran daya pada software alat bantu *Power Station, software ETAP power station 12.6.0*
5. Melakukan simulasi arus hubung singkat satu fasa ketanah pada *software ETAP powerstation 12.6.0*
6. Menganalisis hasil simulasi arus hubung singkat satu fase pada *software*.

C. Flowchart Penelitian



Gambar 6. Flowchart diagram penelitian

D. Diagram alir analisis hubung singkat



Gambar 7. Diagram alur analisis hubungan singkat

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Tenaga Listrik PT.PLN Tarakan

Dalam sistem distribusi 20 kV PT. PLN Tarakan terdapat total 21 pembangkit dengan menggunakan tenaga Diesel. Dan terdapat 15 pembangkit listrik yang beroperasi, 3 pembangkit yang tidak beroperasi (stand by), dan 3 pembangkit mengalami Gangguan. Penyaluran sistem tenaga listrik PT. PLN Tarakan ke beban listrik dengan mengoperasikan pembangkit listrik secara paralel. Sistem paralel digunakan agar daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit sesuai dengan beban listrik yang ada. Daya listrik yang disalurkan ke beban listrik melalui penyulang (*feeder*) PT. PLN Tarakan dibagi dalam 7 penyulang (*feeder*). *Cosφ* pada PT.PLN Tarakan sebesar 0,85 dan *Sinφ* 0,52.

B. Simulasi Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Setelah melakukan simulasi aliran daya kemudian dilakukan simulasi hubung singkat pada masing-masing bus. Untuk gangguan ini dapat dianggap fasa *a* mengalami gangguan. Kondisi terminal pada saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah adalah tegangan pada fasa yang mengalami gangguan sama dengan nol ($V_a=0$), arus pada fasa b dan fasa c sama dengan 0 ($I_a = I_b = 0$). Masing-masing arus urutan sama besarnya $I_1=I_2=I_0$ dan arus urutannya sama dengan 1/3 arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah ($1/3I_a$). Berikut adalah hasil simulasi hubung singkat satu fasa ke tanah pada *software etab* pada masing masing bus.

C. Dari hasil data gangguan di masing masing bus diperoleh data gangguan satu fasa ke tanah sebagai berikut

1. Arus di tiap feeder dalam kondisi normal dan gangguan.

Feeder	Arus Normal (A)	Arus Gangguan (kA)
1	110,4	2,476
2	100,4	2,710
3	189,4	1,631
4	209,9	0,760
5	125,8	1,226
6	130,1	1,472
7	136,9	1,944

2. Perhitungan manual arus hubung singkat satu fase ke tanah.

Setelah menganalisa hasil hubung singkat satu fasa ke tanah kemudian di lakukan lagi analisa hubung singkat dengan menggunakan perhitungan manual pada lokasi gangguan tepatnya di beban bus 101 menentukan Z_1, Z_2, Z_0 . Dari perhitungan di etap di dapat nilai R dan X sehingga :

$$Z=(R+jX), \text{ maka}$$

$$Z_1 = 0,3826 + j 0,5846$$

$$Z_0 = 2,8447 + j 12,651$$

$$I_{a_j} = 3I_{a1} = \frac{3V_f}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)}$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{2 \times Z_1 + Z_0}$$

$$= \frac{11,562}{2 \times Z_1 + Z_0}$$

$$= \frac{11,562 \times 3}{2 \times (0,3826 + j 5,5846) + (2,8447 + j 12,6851)}$$

$$= \frac{34,687}{(0,7652 + j 1,1692) + (2,8447 + j 12,6851)}$$

$$= \frac{34,687}{\sqrt{3,6099^2 + 13,8543^2}}$$

$$= 2,4228 \text{ kA}$$

Hasil perbandingan hubung singkat feeder 1 bus 101 :
 Etap di dapat hasil pada feeder 1 : 2,476 kA
 Di perhitungangan manual di dapatkan :2,4228 kA

V. KESIMPULAN

- A. Hasil dari simulasi ETAP di PT.PLN Tarakan didapatkan nilai arus terbesar terletak di beban feeder 4 dengan nilai arus sebesar 209.9 kA dan dengan beban 0,600 MW dan arus terendah terdapat di beban feeder 2 dengan arus 110 kA dan dengan beban 0,400 MW.
- B. Hasil gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada PT.PLN Tarakan di dapatkan arus hubung singkat terbesar terjadi di beban feeder 1 dengan arus sebesar 2,476 kA dan arus terendah hubung singkat terjadi di beban feeder 4 yaitu dengan arus 0,660 kA.
- C. Hasil perhitungan manual di beban feeder 1 adalah 2,4228 kA hasil di etap pada beban feeder 1 adalah 2,476 kA
- D. Besarnya arus gangguan hubung singkat tergantung pada impedansi saluran yang bergantung pada panjang saluran, jenis konduktor, dan luas penampang konduktor, semakin panjang saluran semakin kecil arus gangguan semakin besar hambatan jenis konduktor semakin kecil arus gangguan dan semakin besar luas penampang konduktor semakin besar arus gangguan.

REFERENSI

- [1] Affandi Irfan, Juni 2009, "Analisa Setting Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Amira, Juli 2014, "Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat
- [2] Cekmas Cekdin, 1 Fasa Ke Tanah, . Sistem Tenaga Listrik. Palembang : Penerbit Andi Yogyakarta (2006).
- [3] Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian. Transmisi Daya Listrik, "rangkain listrik" Palembang : Penerbit Andi Yogyakarta R.H.Sianipar (2013)
- [4] Hidayat, Ade Wahyu, September 2013, "Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang

Topan Gardu Induk Teluk Betung ".Volume 7, No. 3, hal 109, 22 april 2015

- [5] Tomi.Dkk. gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah 20 kv pt. PLN (persero) Sebatik Menggunakan Software etap powerstation 12.6.0. 2015
- [6] Pada SUTT 150 KV Untuk Setting Relay OCR (Aplikasi GI PIP PAUH LIMO) ". Volume 3 No. 2, hal 96-97, 24 maret 2015.

ANALISIS PENGASUTAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA 15 HP MENGUNAKAN METODE DOL (*DIRECT ON LINE*) PADA PDAM JUWATA LAUT TARAKAN

Sugeng Riyanto¹, Andi Supriadi²

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

¹sugeng@borneo.ac.id

²andizs_khaaiilzsh@yahoo.com

Abstract—A three phase induction motor is an electrical machine that converts electrical energy into mechanical energy using a couple of electric fields and has a slip between the stator field and the rotor field. An induction motor is a motor that many of us meet in small and large industries. This type of motor has several advantages including: construction that is simple, strong, the price is relatively cheap and do not require complicated maintenance. In principle this induction motor is operated at a constant speed, if the load changes then the motor speed will change. The three phase induction motor that is analysis is a motor with the *TECO 3 PHASE INDUCTION* brand on the intake pump of the PDAM Juwata sea Tarakan area with a power of 11 kW/15 HP which produces a Start current of 22.5721 Ampere, start torque of 0.2744 Nm, Losses copper of 611.8580 Watts and the efficiency of 0.94%. The method used in three phase induction motor is to use (*Direct On Line*) direct connection.

Keywords—Induction motor three phase, Start current, Start torque, Copper losses, and Efficiency

Intisari—Motor induksi tiga fasa adalah suatu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan menggunakan gandengan medan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor. Motor induksi merupakan motor yang banyak kita jumpai dalam industri kecil dan besar. Motor jenis ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya: konstruksi yang sederhana, kokoh, harga relatif murah dan tidak memerlukan perawatan yang rumit. Pada prinsipnya motor induksi ini dioperasikan pada kecepatan yang konstan, apabila beban berubah maka, kecepatan motor akan berubah. Motor induksi tiga fasa yang dianalisis adalah motor dengan merk *TECO 3 PHASE INDUCTION* pada pompa intake PDAM daerah Juwata Laut Tarakan dengan daya sebesar 11 kW/15 HP yang menghasilkan arus Start sebesar 22,5721 Ampere, Torsi start sebesar 0,2744 Nm, Rugi-rugi tembaga sebesar 611,8580 Watt dan Efisiensinya sebesar 0,94 % . Metode yang digunakan pada motor induksi tiga fasa adalah dengan menggunakan hubung langsung (*Direct On Line*).

Kata Kunci—Motor induksi tiga fasa, Arus start, Torsi start, Rugi-rugi tembaga, dan Efisiensi

I. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor listrik yang banyak digunakan di industri-industri besar maupun di industri kecil. Pada industri besar seperti: Pertambangan minyak, Perusahaan pengolahan kayu, dan Perusahaan daerah air minum (PDAM). Sedangkan, pada industri kecil seperti: Pabrik roti dan industri rumahan lainnya. Industri besar

pada pertambangan minyak, motor listrik ini digunakan pada pompa minyak yang ada dilapangan sebagai media penggerak (mekanik) untuk menghisap minyak yang ada di dalam bumi naik ke permukaan[1]. Pada perusahaan pengolahan kayu, motor listrik ini digunakan pada mesin *rotary* ataupun mesin-mesin lainnya untuk menguliti batang kayu yang dipotong dengan sesuai ukuran kemudian di kuliti sehingga menjadi lembaran tipis (*veneer*).

Pada perusahaan daerah air minum (PDAM), motor ini digunakan pada mesin pompa *intake* atau pada mesin yang lainnya sebagai alat penggerak untuk mengambil atau menghisap air yang ada disungai maupun dari waduk kemudian dihisap naik dan dialirkan ke bak-bak penampungan dan sedangkan, pada industri kecil seperti: pada pabrik roti motor listrik ini digunakan sebagai alat penggerak (mekanik) untuk mencampurkan bahan-bahan hingga menjadi satu. Untuk keuntungannya motor induksi tiga fasa adalah kokoh, murah, dan serta perawatannya yang mudah. Motor induksi dalam suatu sistem kelistrikan sangat dibutuhkan dalam perindustrian[2]. Pompa *intake* pada motor listrik adalah sebagai mesin untuk menghisap air dari aliran sungai ataupun dari waduk. Penelitian ini disusun untuk mengetahui nilai arus yang mengalir pada motor induksi 15 HP dalam keadaan berbeban penuh dan tidak berbeban dengan menggunakan metode langsung atau DOL (*Direct On Line*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai arus yang mengalir pada motor induksi tiga fasa 15 HP pada pompa intakedalam keadaan beban penuh dan tidak berbeban pada PDAM untuk daerah Juwata Laut Tarakan.

II. LANDASAN TEORI

Motor induksi merupakan motor listrik yang paling banyak digunakan di lingkungan rumah tangga sampai di industri-industri besar. Hal ini disebabkan karena, motor induksi memiliki berbagai keunggulan yaitu: harga yang relatif murah dan perawatannya mudah, konstruksi yang sederhana dan kuat, (konstruksi hampir tidak pernah mengalami kerusakan, khususnya motor dengan tipe rotor sangkar tupai)[3].

Rotor sangkar tupai mempunyai kecepatan putar dan torsi yang hampir konstan, konstruksi rotor tersusun oleh beberapa batangan logam yang dimasukkan melewati slot-slot yang ada pada rotor motor induksi. Rotor kumparan atau rotor belitan, tipe motor induksi yang memiliki rotor terbuat dari lilitan tembaga yang sama dengan lilitan statornya, kelebihan dari motor induksi

dengan tipe rotor kumparan atau belitan konstruksi sangat kuat dan sederhana, menghasilkan putaran yang konstan, harganya relatif murah dan keandalannya tinggi dan biaya pemeliharaan rendah karena pemeliharaan motor hampir tidak diperlukan.

A. Motor Induksi

Motor induksi adalah suatu mesin listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak (mekanik) dengan menggunakan gandengan medan listrik dan mempunyai slip (s) antara medan stator dan medan rotor. Pada motor induksi arus motor bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi, merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat perbedaan relatif antara putaran rotor dengan putaran yang dihasilkan oleh stator.



Gambar 1. Motor induksi tiga fasa 15 HP[4].

Bagian motor induksi terdiri dari stator dan rotor, dipisahkan dengan bagian stator oleh celah udara yang sempit dengan jarak antara 0.4 mm sampai 4 mm.

B. Stator Motor Induksi

Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silinder. Alur alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas (prespan), setiap elemen inti dibentuk dari lempengan besi. Lempengan besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti.



Gambar 2. Stator Motor[5]

Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Terbuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan kumparan.

C. Medan Putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya tiga fasa.

Hubungan dapat berupa hubungan bintang (Y) dan delta (Δ). Oleh karena itu untuk mesin dengan jumlah kutub ($pole$) lebih dari dua, kecepatan sinkron (langsung) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

D. Prinsip kerja motor induksi

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi, diantaranya :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan (belitan) stator akan timbul medan putar.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada stator.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul dengan induksi gaya gerak listrik (ggl) sebesar tiga fasa.
4. Karena, kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, gaya gerak listrik (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
6. Bila dikopel mula-mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar.
7. Seperti yang dijelaskan pada no.3 tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).
8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut *slip*.
9. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus (I) tidak mengalir pada kumparan rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel, kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil n_s .
10. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron (tidak langsung).

E. Daya motor induksi tiga fasa

Menghitung besarnya arus pada keadaan berbeban penuh dan tidak berbeban dirumuskan sebagai berikut dengan jumlah rugi geser dan angin.

$$Z_f = R_f + j_f X_f$$

Mencari nilai arus rotor (I) dirumuskan sebagai berikut :

$$I = \frac{v}{\sqrt{3 \cdot z}}$$

Mencari nilai daya masuk rotor (P_R) dirumuskan sebagai berikut:

$$P_R = 3 \times (I)^2 \times R$$

Mencari nilai daya keluar rotor pada slip dirumuskan sebagai berikut :

$$P_m = (1 - s) \times (P_R)$$

Mencari nilai daya keluaran (P_{out}) pada rotor sebagai berikut :

$$P_{out} = P_m - \text{rugi geser dan angin (3\%)}$$

Untuk $\cos \varphi$ dirumuskan sebagai berikut:

$$\cos \varphi = \frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (X_2)^2}}$$

Arus motor pada saat *start* (I_{st}) dirumuskan sebagai berikut :

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_2)^2}}$$

Untuk mencari nilai torsi *start* (T_{st}) dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{st} = k \times E_2 \times I_2 \times \cos \varphi$$

Untuk mencari rugi-rugi daya (P_{cu}) dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{cu} = 3 \times (I_2)^2 \times R_2$$

F. Pengasutan motor listrik (starting motor)

Overload relay merupakan komponen kontrol yang terpisah. Ketika sebuah kontaktor digabungkan dengan *overload relay*, maka dapat disebut sebagai sebuah pegasut motor (*motor starter*) sederhana. Gabungan kedua komponen tersebut dapat digabungkan menjadi komponen sebelumnya, menjadi kontaktor *circuit breaker*. Komponen tersebut juga merupakan sebuah motor *starter* yang sederhana.

G. Pengasutan hubung Langsung (Direct On Line)

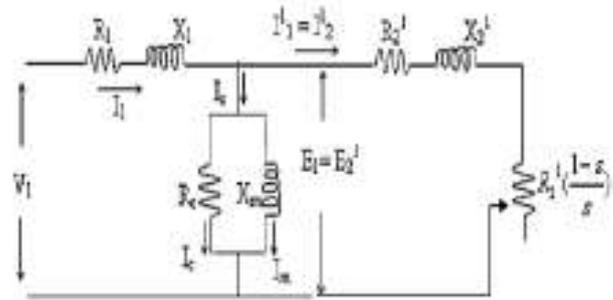
Pengasut hubungan langsung dalam istilah asing disebut *direct on line* (DOL), dan umumnya digunakan pada motor induksi berdaya 5 Kw. Hal ini memiliki efek yang sama seperti balikan skunder pendek sebuah transformer dan selanjutnya hal ini akan mengakibatkan permintaan yang besar terhadap suplai. Daya torsi yang dihasilkan pada saat pengasutan bisa menjadi 2–3 kali lipat daya torsi beban penuh. Pengasutan langsung secara dasar terdiri dari rangkaian yang merupakan tempat kontaktor yang berhubungan dengan arus motor, *thermal overload* dan tombol kontrol. Motor induksi dengan daya menengah dan besar antara 10 Kw sampai 50 Kw menggunakan pengendalian bintang segitiga untuk starting awalnya.

H. Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa

Efisiensi motor induksi adalah ukuran keaktifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang dinyatakan sebagai perbandingan antara watt keluaran dan watt masukan. Efisiensi energi adalah bahwa efisiensi merupakan perbandingan atau rasio dari daya keluaran yang berguna terhadap daya input total dan biasanya dinyatakan dalam persen. Juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi-rugi, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

I. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Keterangan pada gambar 3 adalah

- I1 = Arus rotor
- V1 = Tegangan stator
- E1 = Ggl yang dihasilkan oleh fluks celah udara
- R1 = Tahanan stator
- R2 = Tahanan rotor
- Rc = Rugi-rugi inti stato
- X1 = Reaktansi bocor stator
- X2 = Reaktansi bocor rotor
- Xm = Reaktansi magnetisasi

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alur Penelitian



Gambar 4. Diagram Alur Proses Penelitian

B. Prosedur Penelitian

1. Studi kepustakaan adalah dengan cara mencari buku-buku yang berkaitan dengan motor listrik, buku-buku dari perusahaan (PDAM) dan melalui internet.
2. Observasi langsung ke lapangan untuk melihat lebih jelas mengenai motor listrik yang akan dijadikan objek penelitian.
3. Melakukan proses pengambilan data untuk motor 15 Hp.

4. Melakukan analisis perhitungan dari data yang diperoleh dilapangan.
5. Hasil penelitian dan kesimpulan.

C. Spesifikasi Peralatan

Adapun spesifikasi dari motor induksi tiga fasa 15 Hp Pompa Intake pada PDAM Juwata Laut Tarakan sebagai berikut:



Gambar 5. Name Plate Motor Induksi 15HP

Dapat dilihat dari tabel data tahanan (Ω) motor induksi tiga fasa di dapatkan besarnya tahanan (Ω) masing-masing adalah:

Tabel 1. Data Tahanan (Ω) Motor Induksi tiga fasa 15 HP pada Pompa Intake PDAM Juwata Laut Tarakan

R_1	R_2	X_1	X_2	X_m
0,2605	0,4003	1,373	1,8687	47,992

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menghitung Jumlah RPM

Motor induksi tiga fasa merk Teco 50 Hz, 15 Hp, dengan putaran 1500 rpm pada keadaan tidak berbeban. Untuk mencari nilai rpm digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 n_s &= \frac{120 \cdot f}{p} \\
 &= \frac{120 \times 50 \text{ Hz}}{4} \\
 &= \frac{6000}{4} \\
 &= 1500 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Sehingga, nilai rpm pada motor induksi tiga fasa dalam keadaan berbeban penuh adalah sebesar 1455 rpm dan dalam keadaan tidak berbeban sebesar 1500 Rpm.

B. Menghitung Besarnya Nilai Slip (s)

Untuk mencari nilai jumlah kutub pada motor induksi tiga fasa adalah 4 pole maka, nilai slip (s) dalam keadaan berbeban penuh dan tidak berbeban pada motor digunakan pada persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \\
 &= \frac{1500 - 1455}{1500} \times 100\% \\
 &= \frac{45}{1500} \\
 &= 0,03 \text{ atau } 3\%
 \end{aligned}$$

C. Menghitung Besarnya Arus Keadaan Beban Penuh dan Tidak Berbeban (diam)

Dengan jumlah rugi geser dan angin bernilai 0,03 atau 3% Maka dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 Z_f &= R_f + j_f X_f = \frac{\left(\left(\frac{R_2}{s}\right) + j X_2\right) \times (j X_m)}{R_2 + j(X_2 + X_m)} \\
 &= \frac{\left(\frac{0,4003}{0,03} + j 1,8687\right) \times (j 47,992)}{0,4003 + j(1,8687 + 47,992)} \\
 &= \frac{(13,34 + j 1,8687) \times (j 47,992)}{0,4003 + j 49,8607} \\
 &= \frac{-89,6826 + j 640,2132}{0,4003 + j 49,8607} \\
 &= \frac{646,4641 \angle 88,8^\circ}{49,8623 \angle 89,9^\circ} \\
 &= 12,9649 \angle -1,1^\circ \\
 &= 12,9625 + j 0,2488
 \end{aligned}$$

Mencari nilai daya masuk rotor (P_R) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_R &= 3 \times (I)^2 \times R \\
 &= 3 \times (16,9221)^2 \times 12,9625 \\
 &= 3 \times 286,3574 \times 12,9625 \\
 &= 11.135,7233 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai daya keluar rotor digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_m &= (1 - s) \times (P_R) \\
 &= (1 - 0,03) \times (11.135,7233) \\
 &= 10.801,6516 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai daya keluaran pada rotor, Sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= P_m - \text{rugi geser dan angin } 3\% \\
 &= 10.801,6516 - 324,0495 \\
 &= 10.477,6021 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Analisis Daya Masukan, Daya Keluaran Rotor dan Daya Keluaran

Nilai daya masuk rotor (P_R)	Nilai daya keluar rotor pada slip (P_m)	Daya Keluaran (P_{out})
11.135,7233 watt	10.801,6516 watt	10.477,60621 watt

Untuk mencari nilai cos ϕ pada persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (X_2)^2}} \\ &= \frac{0,4003}{\sqrt{(0,4003)^2 + (1,8687)^2}} \\ &= \frac{0,4003}{\sqrt{0,1602 + 3,4920}} \\ &= \frac{0,4003}{3,6522} = 0,10 \end{aligned}$$

Maka, arus motor pada saat *start* (I_{st}) dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_2)^2}} \\ &= \frac{380}{\sqrt{\left(\frac{0,4003}{0,03}\right)^2 + (1,8687)^2}} \\ &= \frac{380}{\sqrt{(178,035) + (3,4920)}} \\ &= \frac{380}{16,8349} = 22,5721 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai torsi *start* (T_{st}) pada persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{st} &= k \times E_2 \times I_2 \times \cos \varphi \\ &= \frac{3}{2 \times \pi \times N_s} \times 380 \times I_2 \times \cos \varphi \\ &= \frac{3}{2 \times 3,14 \times 1455} \times 380 \times 22,5721 \times 0,10 \\ &= 0,00032 \times 380 \times 22,5721 \times 0,10 \\ &= 0,2744 N_m \end{aligned}$$

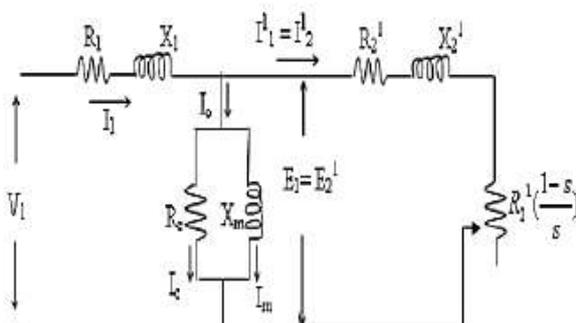
Tabel 3. Hasil Analisis Arus *Start* dan *Torsi Start*

Arus <i>Start</i>	Torsi <i>Start</i>
22,5721 A	0,2744 N _m

Untuk mencari rugi-rugi tembaga pada motor induksi tiga fasa digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{cu} &= 3 \times (I_2)^2 \times R_2 \\ &= 3 \times (22,5721)^2 \times 0,4003 \\ &= 3 \times 509,4996 \times 0,4003 \\ &= 611,8580 \text{ Watt} \end{aligned}$$

D. Menghitung Besarnya Arus pada Keadaan Beban Penuh dan Tidak Berbeban (0) pada Rangkaian Ekuivalen



Gambar 6 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Maka, mencari nilai R_c pada rangkaian ekuivalen dirumuskan pada persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$R_c = \frac{V_1^2}{P_1} = \frac{380^2}{11000} = 13,127 \Omega$$

Maka, untuk mengetahui besar arus dalam keadaan berbeban penuh dapat dihitung pada persamaan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_0 &= \frac{V}{Z_{R_c} + j X_m} \\ &= \frac{380}{13,127 + j 47,992} \\ &= \frac{380}{49,3006 \angle j 74,70^\circ} \\ &= 7,7078 \angle - 74,70^\circ \\ &= 2,03 + j 7,43^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2' &= \frac{V}{(R_1 + R_2/s)^2 + j(X_1 + X_2)^2} \\ &= \frac{380}{(0,2605 + 0,4003/0,03)^2 + j(1,373 + 1,8687)^2} \\ &= \frac{380}{(0,2605 + 13,34) + j(3,2417)} \\ &= \frac{380}{13,6005 + j(3,2417)} \\ &= \frac{380}{13,9814 \angle - 13,40^\circ} \\ &= 27,1789 \angle - 13,40^\circ \\ &= 26,4389 + j 6,2986^\circ \text{ Amper} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= I_0 + I_2' = 2,03 + j 7,43 + 26,4389 - j 6,2986 \\ &= 28,46 - j 1,14 \\ &= 28,4828 \angle - 2,29^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Maka, arus yang mengalir pada *line* (I_L) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_L &= \sqrt{3} \cdot I_1 \\ &= \sqrt{3} \times 28,4828 \angle - 2,29^\circ A \\ &= 49,3336 \angle - 2,29^\circ \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil Analisis Dalam Keadaan Berbeban Penuh

$I_0(A)$	$I_2(A)$	$I_1(A)$	$I_L(A)$
2,01 A	26,4389 A	28,4828 A	49,3336 A

Untuk mengetahui besar arus dalam keadaan tidak berbeban (0) dapat dihitung sebagai berikut: (Sehingga slip (s) dalam keadaan diam (0) bernilai 100% = 1)

$$\begin{aligned}
 I_0 &= \frac{V}{Z_{Rc} + jX_m} \\
 &= \frac{380}{13,127 + j 47,992} \\
 &= \frac{380}{49,3006 \angle - 74,70^\circ} \\
 &= 7,7078 \angle - 74,70^\circ \\
 &= 2,03 + j 7,43 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_2 &= \frac{V}{(R_1 + R_2/s)^2 + j(X_1 + X_2)^2} \\
 &= \frac{380}{(0,2605 + 0,4003/1)^2 + j(1,373 + 1,8687)^2} \\
 &= \frac{380}{(0,2605 + 0,4003) + j(3,2417)} \\
 &= \frac{380}{0,6608 + j 3,2417} \\
 &= \frac{380}{3,3083 \angle - 78,47^\circ} \\
 &= 114,8626 \angle - 78,47^\circ \\
 &= 22,9588 + j 112,5446 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_1 &= I_0 + I_2 \\
 &= 2,03 + j 7,43 + 22,9588 - j 112,5446 \\
 &= 24,98 - j 105,11 \\
 &= 108,0375 \angle - 76,60^\circ \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Maka, arus yang mengalir pada *line* (I_L) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_L &= \sqrt{3} \cdot I_1 \\
 &= \sqrt{3} \times 108,0375 \angle - 76,60^\circ \\
 &= 187,1264 \angle - 76,60^\circ \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 hasil analisis dalam keadaan tidak berbeban

$I_0(A)$	$I_2(A)$	$I_1(A)$	$I_L(A)$
2,03 A	22,9588 A	108,0375 A	187,1264 A

V. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan pada motor induksi tiga fasa 15 HP 11 Kw dengan Merk motor TECO didapat besarnya nilai *slip* (s) 0,03 atau 3%, Daya masukan rotor (P_R) sebesar 11.135,7233 Watt, (P_{out}) sebesar 10.477,6021 Watt dan nilai untuk arus *start* (I_{st}) 22,5721 Ampere dengan nilai torsi *start* (T_{st}) 0,2744 Nm. Maka rugi-rugi daya tembaga (P_{cu}) motor induksi 15 Hp dengan merk Teco sebesar 611,8580 Watt.

REFERENSI

[1] Harten, P. Van, Setiawan, Ir, Instalasi Listik Arus Kuat 3, Proyek Pembinaan dan Pengembangan Dikmenjur, PT. Binacipta, Jakarta, 1981.

[2] Yusnan Badruzaman, Pengasutan Konvensional Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai. Semarang. Jurusan Teknik Elektro. Poli Teknik Negeri Semarang.2012.

[3] Agus, Analisis Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Conveyor Pada Bandara Juwata Tarakan dan Tingkatan daya pada motor induksi. Tarakan.2017.

[4] (2018). The engineering. [Online] . Available. [Http://www.TheEngineeringproject.com/2018/01/10/Rotor-sangkar-tupai](http://www.TheEngineeringproject.com/2018/01/10/Rotor-sangkar-tupai).

[5] (2018) Motor induksi. [Online]. Available. <http://www.MotorInduksi.com/2017/03/10/Aliran-daya-dan-rugi-rugi-motor-listrik>.

[6] (2018) Motor induksi. [Online]. Available. <http://www.MotorInduksi.com/2017/03/17/Rangkaia-n-ekivalen-motor-induksi>.

ANALISA BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 3 FASA PADA PENYULANG 1 PT. PLN (PERSERO) ULK TARAKAN

Achmad Budiman¹, Andi Munair²

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

¹achmad1177@gmail.com

²munaerr_je@gmail.com

Abstract— *In the distribution of electrical energy to customers, sometimes not all of the energy generated reaches the customer due to losses incurred in the transformer. In this study the authors conducted a focused analysis on the 3 phase distribution transformer on feeder 1 located at PT. PLN (Persero) ULK Tarakan to determine the effect of the unbalanced 3 phase distribution transformer load on current, power losses and transformer efficiency. From the results of the calculation of data analysis that of the 38 transformers that can be said to be balanced that still meet the IEEE standard requirements there are 19 transformers for the morning and 12 transformers for the evening. While that can be said to be unbalanced that does not meet IEEE standards there are 19 transformers for the morning and 26 transformers for the evening. Efficiency will be greater if the incoming power and the outgoing power does not have a large difference or efficiency will be greater if the losses (losses) power is getting smaller but vice versa. Power losses due to neutral currents flowing in neutral conductors can be reduced if the cross-sectional area is enlarged, but a large cost is required.*

Keywords—3 phase transformer, load imbalance, and neutral current

Intisari—Transformator merupakan salah satu perangkat listrik yang berperan penting dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan. Dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan, terkadang tidak semua energi yang dibangkitkan sampai ke pelanggan karena adanya rugi-rugi yang terjadi pada transformator. Pada penelitian ini penulis melakukan analisa yang terfokus di transformator distribusi 3 fasa pada penyulang 1 yang terdapat di PT. PLN (Persero) ULK Tarakan untuk mengetahui pengaruh ketidakseimbangan beban transformator distribusi 3 fasa terhadap arus, rugi-rugi daya dan efisiensi transformator. Dari hasil perhitungan analisa data bahwa dari ke-38 transformator yang dapat dikatakan seimbang yang masih memenuhi syarat standar IEEE ada 19 transformator untuk pagi harinya dan 12 transformator untuk malam harinya. Sedangkan yang dapat dikatakan tidak seimbang yang sudah tidak memenuhi standar IEEE ada 19 transformator untuk pagi harinya dan ada 26 transformator untuk malam harinya. Efisiensi akan semakin besar apabila daya masuk dan daya keluar tidak mempunyai selisih yang besar atau efisiensi akan besar apabila rugi-rugi (*losses*) daya semakin kecil namun sebaliknya. Rugi-rugi (*losses*) daya akibat arus netral yang mengalir pada penghantar netral dapat dikurangi bila luas penampang di perbesar, namun diperlukan biaya yang besar

Kata Kunci—Transformator 3 fasa, ketidakseimbangan beban, dan arus netral

I. PENDAHULUAN

Seiring pesatnya pembangunan di Kota Tarakan diberbagai bidang maka dari itu dituntut adanya sarana

dan prasarana yang dapat mendukung, yaitu sumber tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun kebutuhan industri. Karena sumber tenaga listrik mudah untuk disalurkan dan dikonversikan kedalam bentuk tenaga lainnya[1]. Penyediaan tenaga listrik yang baik dan stabil merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik[2].

Transformator merupakan salah satu perangkat listrik yang berperan penting dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan[3]. Dalam pendistribusian energi listrik ke pelanggan, terkadang tidak semua energi yang dibangkitkan sampai ke pelanggan karena adanya rugi-rugi yang terjadi pada transformator[4]. Pada dasarnya dilakukan pembagian beban yang secara merata, karena adanya ketidaksamaan waktu penggunaan beban dan kapasitas beban akan menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada persediaan tenaga listrik pada transformator distribusi.

Ketidakseimbangan beban yang dimaksudkan adalah ketidakseimbangan beban antar fasa (fasa R, fasa S dan fasa T) menyebabkan arus mengalir dipenghantar netral transformator. Arus yang mengalir di penghantar netral transformator distribusi ini dikatakan sebagai rugi-rugi (*losses*) daya.

II. LANDASAN TEORI

A. Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah suatu peralatan listrik utama yang berperan penting untuk penyaluran daya listrik dalam suatu sistem distribusi, yang berfungsi untuk menurunkan tegangan distribusi primer yang merupakan tegangan menengah menjadi tegangan rendah pada sisi sekunder[5]. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step down* 20/0.4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 V, karena terjadi *drop voltage* maka tegangan rak TR dibuat diatas 380 V agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 V. Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer di hubungkan ke sumber listrik bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan feromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks)[6]. Karena arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik maka garis-garis gaya magnet (fluks) terbentuk pada inti yang akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah[7]. Jika arus yang mengalir berbentuk sinusoidal maka garis-garis gaya magnet (fluks) yang terjadi akan berbentuk sinusoidal pula.

Karena garis-garis gaya magnet (fluks) tersebut yang mana pada intinya terdapat lilitan primer dan lilitan sekunder maka pada inti primer dan sekunder tersebut akan timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi, tetapi arah dari GGL induksi primer berlawanan dengan arah GGL induksi sekunder sedangkan frekuensi masing-masing tegangan tersebut sama dengan frekuensi sumbernya.

B. Standar Nilai Ketidakseimbangan (IEEE std.446-1980)

Nilai ketidakseimbangan arus bisa dinyatakan dalam bentuk persentase (%) sesuai dengan standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineer*) Std. 446-1980 (*IEEE Recommended Practice For Emergency Standby Power System For Industrial and Commercial Application*) yaitu sebesar 5% sampai 20%. Adapun standar dan batas toleransi terlihat pada Tabel. 1

Tabel 1. Standar atau batas toleransi ketidakseimbangan beban

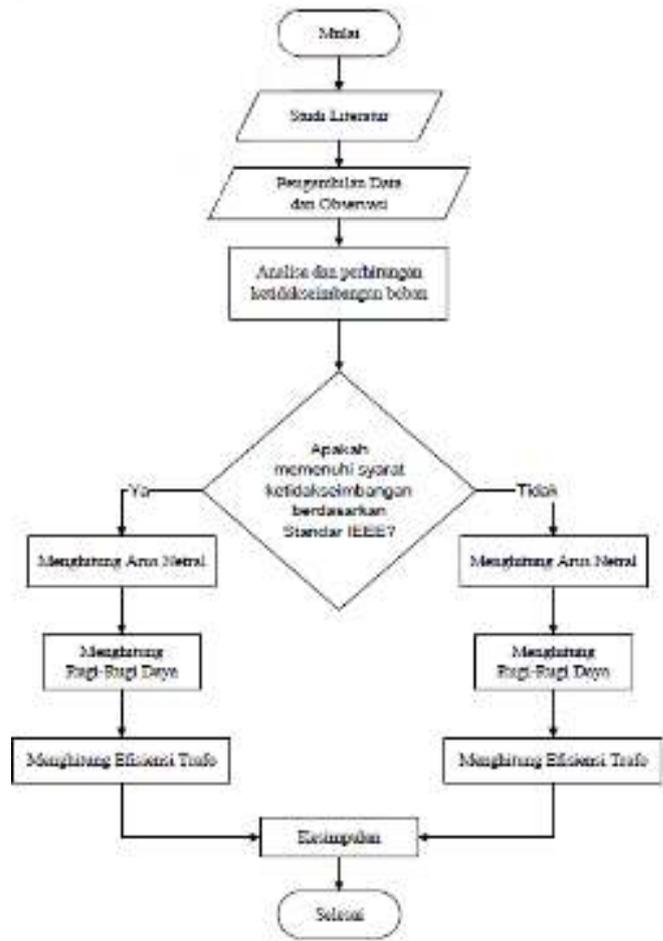
No.	Parameter	Maksimum
1	Regulasi tegangan keadaan mantap	+5,-10 s/d +10%,-15% (ANSI C84,1-1970) adalah +6,-13%
2	Gangguan Tegangan Drop tegangan sementara tegangan lebih transient	-25% s/d -30% Tidak lebih dari 0,5 s -100% dengan lama 4 s/d 20 ms +150% s/d 200% tidak boleh dari 0,2 ms
3	Distorsi tegangan Harmonik	3%-5% (beban linier)
4	Noise	Tidak ada standar
5	Variasi frekuensi	50 Hz ± 0,5 Hz sampai 1 Hz
6	Perubahan frekuensi	Sekitar 1 Hz
7	Ketidakeimbangan beban	5% s/d 20% mak. Pada setiap fasa
8	Ketidakeimbangan tegangan 3	2,5% s/d 5%
9	Faktor daya	0,18 s/d 0,9
10	Kapasitas beban	0,75 s/d 0,85 (beban terpasang)

Keterangan:

- 1,2,5,6 Tegangan pada sumber daya
- 3,4,7 Dihasilkan dari interaksi antara sumber dan beban
- 8,9,10 Tergantung pada jumlah beban

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Proses Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) ULK Tarakan

PT. PLN (Persero) ULK Tarakan memiliki 10 Penyulangyang terhubung dari pembangkit ke beban, dari 10 Penyulngdalam penelitian ini hanya akan membahas tentang beban transformator distribusi yang terdapat pada Penyulang1 PT. PLN (Persero) ULK Tarakan. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil data dan observasi dilapangan, setelah itu dilanjutkan dengan menganalisis pembeban yang terjadi di Penyulang 1. Apakah pembebanan yang terjadi pada pagi hari sama dengan pembebanan yang terjadi pada malam hari.

B. Data Spesifikasi Transformator Distribusi PT. PLN (Persero) ULK Tarakan

Data spesifikasi transformator distribusi ini di ambil dari PT. PLN (Persero) ULK Tarakan. Beberapa merek transformator distibusi 3 fasa yang terdapat di Penyulang 1 di setiap gardu memiliki daya yang berbeda-beda serta pertumbuhan beban di daerah ini pun sangat pesat sehingga gardu distribusi yang terdapat di Penyulang 1 semuanya berjumlah 38 gardu yang memiliki kapasitas mulai dari 25, 50, 100, 160 sampai 200 kVA. Semakin meningkatnya pertumbuhan beban maka semakin tinggi juga kapasitas daya yang dibutuhkan pada gardu distribusi. Data spesifikasi transformator yang berada di

Penyulang 1 PT. PLN (Persero) ULK Tarakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Prakiraan Konsumsi Energi Listrik Kabupaten Berau

No.	No. Gardu	Daya (KVA)	Jurusan	Tegangan Primer (KV)
1	SDM 17	160 3P	2	20
2	SDM 19	200 3P	1	20
3	SDM 20	200 3P	3	20
4	KBG 21	200 3P	2	20
5	SDM 22	200 3P	2	20
6	KRA 23	200 3P	3	20
7	SDM 24	200 3P	3	20
8	KBG 28	200 3P	3	20
9	KRA 29	200 3P	3	20
10	KRA 39	160 3P	2	20
11	PAM 47	200 3P	1	20
12	SDM 49	200 3P	2	20
13	PNP 54	200 3P	3	20
14	KPB 65	200 3P	2	20
15	KBG 101	100 3P	1	20
16	KRA 127	200 3P	3	20
17	THM 134	200 3P	2	20
18	KBG 144	200 3P	2	20
19	KBG 159	100 3P	1	20
20	KBG 160	50 3P	1	20
21	KBG 168	160 3P	2	20
22	SDM 183	200 3P	1	20
23	KRA 197	160 3P	2	20
24	KRA 201	200 3P	2	20
25	KBG 220	200 3P	2	20
26	SDM 221	100 3 P	1	20
27	SDM 222	160 3P	2	20
28	KBG 238	200 3P	3	20
29	KPB 245	160 3P	2	20
30	GDS 252	200 3P	1	20
31	GNB 256	160 3P	1	20
32	SDM 286	100 3P	1	20
33	KRA 292	100 3P	2	20
34	KRA 299	25 3P	1	20
35	KBG 311	160 3P	2	20
36	KRA 312	160 3P	2	20
37	KBG 330	100 3P	1	20
38	KBG 336	100 3P	1	20

Tabel 3. Data Spesifikasi transformator distribusi pada penyulang 1

Tegangan Sekunder (V)	Arus Primer	Arus Sekunder	Cos φ	Sin φ
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53

400	1,44	72	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	2,89	144,35	0,85	0,53
400	4,64	231	0,85	0,53
400	5,77	288,67	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	5,77	288,68	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53
400	0,72	36	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	4,62	231	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53
400	2,88	144,35	0,85	0,53

C. Data Pengukuran Transformator Distribusi

Data pengukuran transformator distribusi yang di peroleh dari PT. PLN (Persero) ULK Tarakan pada Penyulang 1 terdapat data pengukuran pagi dan data pengukuran malam, data pengukuran dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Data pengukuran transformator pada pagi hari

No. Gardu	S kVA	TEGANGAN		IN A	TOTAL BEBAN		
		L-L V	L-N V		R A	S A	T A
KBG 168	160	379	220	126	169	155	41
KRA 127	200	386	222	169	136	191	53
KBG 220	200	385	223	133	170	148	34
KRA 292	100	386	223	88	94	72	25
KRA 29	200	390	224	188	157	187	41
KRA 39	160	385	223	102	70	90	29
KBG 159	100	386	223	53	57	44	15
KBG 101	100	379	222	82	84	58	32
KRA 23	200	383	221	150	123	108	39
PAM 47	200	383	226	237	245	236	10
THM 134	200	387	221	215	164	209	52
KRA 197	160	381	223	133	112	146	30
KBG 21	200	382	224	170	160	130	42
KBG 336	100	382	226	113	58	62	56
KRA 312	160	387	223	98	114	49	64
GNB 256	160	384	225	80	97	123	40
SDM 183	200	387	222	36	28	32	10
KBG 160	50	383	222	44	37	49	13
GDS 252	200	386	224	190	198	207	15
KRA 299	25	385	226	20	36	29	17
KBG 144	200	391	226	131	170	122	50
KBG 238	200	389	222	217	172	185	49
KRA 201	200	392	225	158	154	146	16
PNP 54	200	383	221	115	117	107	16
KBG 311	160	382	221	106	129	133	32
KBG 330	100	386	222	14	27	6	26
KPB 245	160	385	222	83	84	80	5
KPB 65	200	385	222	103	107	81	35
SDM 19	200	393	224	94	87	127	38
SDM 20	200	382	221	128	92	176	75
SDM 221	100	386	223	8	32	37	30
SDM 49	200	383	221	98	102	75	25
SDM 22	160	383	221	103	130	131	35
SDM 24	200	385	223	158	137	172	37
SDM 222	160	386	223	64	111	57	56
SDM 17	160	384	222	204	199	179	25
SDM 286	100	383	222	153	122	134	32
KBG 28	200	390	227	87	98	82	17

Tabel 5. Data Pengukuran Transformator pada malam hari

No. GARDU	S kVA	TEGANGAN		IN A	TOTAL BEBAN		
		L-L V	L-N V		R A	S A	T A
KBG 21	200	384	225	209	170	170	46
KRA 23	200	385	228	188	177	112	80
PAM 47	200	391	229	203	210	212	13
KRA 29	200	388	226	156	186	228	67
KBG 101	100	386	225	136	125	137	15
KRA 39	160	381	222	125	92	80	50
KRA 127	200	381	222	171	194	104	89
KBG 160	50	381	222	49	44	69	23
KRA 201	200	382	222	271	218	220	57
KBG 168	160	382	222	130	194	209	80
THM 134	200	385	224	225	178	230	56
KBG 159	100	388	227	76	92	69	22
KRA 197	160	381	221	263	209	269	61
GDS 252	200	385	221	120	122	130	14
KBG 311	160	386	223	141	169	194	49
KRA 312	160	382	222	119	126	64	65
KBG 330	100	385	224	22	29	10	15
KBG 336	100	385	223	121	53	70	56
SDM 49	200	383	222	98	76	77	28
PNP 54	200	384	223	180	190	179	12
KBG 144	200	382	223	229	183	154	62
SDM 183	200	385	223	50	30	40	20
KBG 238	200	386	225	234	232	248	20
SDM 221	100	383	224	11	20	25	11
GNB 256	160	381	223	20	22	15	9
SDM 286	100	379	221	61	77	105	40
KRA 292	100	385	223	107	98	91	19
KRA 299	25	382	221	17	30	25	13
SDM 17	160	382	221	194	183	162	30
KPB 245	160	386	224	156	154	107	60
KPB 65	200	380	223	171	194	104	76
SDM 19	200	395	224	198	102	168	86
SDM 20	200	381	221	201	165	199	34
SDM 22	160	383	222	122	113	167	55
KBG 220	200	386	222	133	139	157	25
KBG 28	200	383	221	146	179	178	30
SDM 222	160	385	227	106	135	85	44
SDM 24	200	382	223	165	110	180	68

D. Data Perhitungan Transformator Distribusi

Dari data pengukuran kita dapat menghitung analisis beban puncak, segitiga daya, analisis ketidakseimbangan beban, analisis akibat dari ketidakseimbangan beban, analisis rugi-rugi (*losses*) daya dan efisiensi transformator distribusi pada gardu SDM 17 yang terdapat pada Penyulang 1.

E. Analisis Beban Puncak Transformator

Dalam analisis beban ini perlu diketahui terlebih dahulu arus beban penuh dengan menggunakan persamaan berikut dan nilai dari Tabel (3) adalah:

$$I_{FL} = \frac{S}{V_{L-L}} = \frac{160.000}{400} = 400 A$$

dengan:

I_F = Arus beban penuh pada beban 3 fasa (A)

S = Daya pada transformator (VA)

V_{L-L} = Tegangan pada sisi sekunder transformator pada tabel spesifikasi (V)

Untuk mencari arus rata-rata dengan persamaan (2.3) adalah:

1. Pada pagi hari (nilai dari tabel 4)

$$I_{rata-rata} = \frac{(I_R \times \sqrt{3}) + (I_S \times \sqrt{3}) + I_T \times \sqrt{3}}{3} = \frac{(204 \times \sqrt{3}) + (199 \times \sqrt{3}) + (179 \times \sqrt{3})}{3} = 336,02 A$$

2. Pada Malam hari (nilai dari tabel 5)

$$I_{rata-rata} = \frac{(I_R \times \sqrt{3}) + (I_S \times \sqrt{3}) + I_T \times \sqrt{3}}{3} = \frac{(194 \times \sqrt{3}) + (183 \times \sqrt{3}) + (162 \times \sqrt{3})}{3} = 311,19 A$$

Jadi persentase pembebanan dapat dihitung dengan persamaan adalah:

- a. Pagi hari :

$$\frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{336,02}{400} \times 100\% = 84\%$$

- b. Malam hari :

$$\frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{311,19}{400} \times 100\% = 77,80\%$$

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa beban puncak terjadi pada pagi hari yaitu 84%.

F. Analisis Segitiga Daya pada Transformator

Untuk mencari daya semu dengan persamaan sebagai berikut.

1. Pada pagi hari nilai dari tabel 4.

$$S = V_{L-L} \times I_{rata-rata} = 384 \times 336,02 = 129.031,68 VA = 129,03 kVA$$

2. Pada malam hari nilai dari tabel 5.

$$S = V_{L-L} \times I_{rata-rata} = 382 \times 311,19 = 118.874,58 VA = 118,88 kVA$$

S = Daya semu 3 fasa (VA)

V_{L-L} = Tegangan 3 fasa (V)

$I_{rata-rata}$ = Arus rata-rata 3 fasa (A)

Untuk Mencari daya aktif dengan persamaan sebagai berikut :

1. Pada pagi hari nilai dari tabel 3 dan 4

$$P = V_{L-L} \times I_{rata-rata} \times \cos\phi = 384 \times 336,02 \times 0,85 = 109.676,92 W = 109,68 kW$$

2. Pada malam hari dari tabel 3 dan 5

$$P = V_{L-L} \times I_{rata-rata} \times \cos\phi = 382 \times 311,19 \times 0,85 = 101.043,39 W = 101,04 kW$$

G. Analisis Ketidakseimbangan Beban

Dengan persamaan berikut, koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus perfasa dalam keadaan seimbang ($3 \times I$) sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$) dengan persamaan-persamaan berikut:

1. Pada pagi hari nilai dari tabel 4.

$$a = \frac{\sqrt{3} \times I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 204}{336,02} = 1,05$$

$$b = \frac{\sqrt{3} \times I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 199}{336,02} = 1,03$$

$$c = \frac{\sqrt{3} \times I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 179}{336,02} = 0,92$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban dalam(%) adalah :

$$= \frac{\{|a - 1|\} + \{|b - 1|\} + \{|c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,05 - 1|\} + \{|1,03 - 1|\} + \{|0,92 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 5,15\%$$

2. Pada malam hari nilai diambil dari tabel 5.

$$a = \frac{\sqrt{3} I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 194}{311,19} = 1,08$$

$$b = \frac{\sqrt{3} I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 183}{311,19} = 1,02$$

$$c = \frac{\sqrt{3} I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{\sqrt{3} \times 162}{311,19} = 0,90$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban dalam (%) adalah :

$$= \frac{\{|a - 1|\} + \{|b - 1|\} + \{|c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,08 - 1|\} + \{|1,02 - 1|\} + \{|0,90 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 6,56\%$$

H. Analisis Efisiensi Transformator

Untuk mengetahui nilai efisiensi adalah dengan menggunakan persamaan sebaai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

1. Pada Pagi hari tabel 3 dan 4
- $$P_{out} = (a+b+c) V_{L-N} \times I_{L-N} \times \cos\phi$$
- $$= (1,05+1,03+0,92)222 \times 194 \times 0,85$$
- $$= 109.823,4 W$$
- $$= 109,82 kW$$

Jadi efisiensi transformator pada pagi hari adalah :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}} \times 100\%$$

$$= \frac{109,82}{109,82 + 0,0044} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

2. Pada malam hari tabel 3 dan 5

$$P_{out} = (a+b+c) V_{L-N} \times I_{L-N} \times \cos\phi$$

$$= 1,08+1,02+0,90 221 \times 179,67 \times 0,85$$

$$= 101.253,02 W$$

$$= 101,25 kW$$

Jadi efisiensi transformator pada malam hari adalah :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{101,25}{P_{out} + P_{losses}} \times 100\%$$

$$= \frac{101,25}{101,25 + 0,0066} \times 100\%$$

$$= 99,99\%$$

η = Efisiensi transformator (%)

P_{in} = Daya masuk (W)

P_{out} = Daya keluar (W)

P_{losses} = P_N

Dari hasil perhitungan dengan persamaan diatas kita dapat mengetahui ketidakseimbangan beban yang terjadi pada pagi hari dan malam hari. Ketidakseimbangan beban lebih besar terjadi pada pagi hari karena penggunaan beban pada transformator SDM 17 adalah perkantoran yang dimana beban yang digunakan lebih besar di pagi hari daripada malam harinya. Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas.

Tabel 6. Data hasil perhitungan transformator pada pagi hari

No	No. GARDU	IRATA-RATA (A)	PERSENTASE PEMBEBANAN (%)	RATA-RATA KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN (%)
1	KBG 168	259,81	64,95	10,67
2	KRA 127	286,37	57,27	11,83
3	KBG 220	260,38	52,08	8,72
4	KRA 292	146,65	58,66	9,97
5	KRA 29	307,15	61,43	7,64
6	KRA 39	151,27	37,82	13,23
7	KBG 159	88,91	35,56	9,52
8	KBG 101	129,33	51,73	14,88
9	KRA 23	219,97	43,99	12,07
10	PAM 47	414,54	82,91	1,58
11	THM 134	339,48	67,9	10,88
12	KRA 197	225,74	56,44	9,38
13	KBG 21	265,58	53,12	10,14
14	KBG 336	134,52	53,81	30,33
15	KRA 312	150,69	37,67	29,12
16	GNB 256	173,21	43,3	15,33
17	SDM 183	55,43	11,09	8,33
18	KBG 160	75,06	60,04	9,74
19	GDS 252	343,52	68,7	2,91
20	KRA 299	49,07	78,52	19,61
21	KBG 144	244,22	48,84	13,71
22	KBG 238	331,4	66,28	8,94
23	KRA 201	264,43	52,89	2,91
24	PNP 54	195,72	39,14	3,54
25	KBG 311	212,46	53,12	9,06
26	KBG 330	27,14	10,85	48,23
27	KPB 245	142,61	35,65	1,89
28	KPB 65	168,01	33,6	11
29	SDM 19	177,82	35,56	15,8
30	SDM 20	228,63	45,73	22,22
31	SDM 221	44,46	17,78	45,89
32	SDM 49	158,77	31,75	12,12
33	SDM 22	210,16	52,54	10,07
34	SDM 24	269,62	53,92	7,99
35	SDM 222	133,95	33,49	29,02
36	SDM 17	336,02	84	5,15
37	SDM 286	236,14	94,45	8,15
38	KBG 28	154,15	30,83	6,74

Tabel 7 data hasil perhitungan transformator pada malam hari

No	No. GARDU	IRATA	PERENTA	RATA-RATA
		-RATA	SE	KETIDAKSEI
		(A)	PEMBEBA	MBANGAN
			NAN	BEBAN
			(%)	(%)
1	KBG 21	316,97	63,39	9,47
2	KRA 23	275,4	55,08	19,71
3	PAM 47	360,84	72,17	1,71
4	KRA 29	329,09	65,82	13,33
5	KBG 101	229,79	91,91	3,85
6	KRA 39	171,47	42,87	17,51
7	KRA 127	270,78	54,16	22,32
8	KBG 160	93,53	74,82	18,52
9	KRA 201	409,34	81,87	9,78
10	KBG 168	307,73	76,93	17,89
11	THM 134	365,46	73,09	10,43
12	KBG 159	136,83	54,73	10,97
13	KRA 197	427,82	106,95	10,26
14	GDS 252	214,77	42,95	3,23
15	KBG 311	290,98	72,75	10,71
16	KRA 312	178,4	44,6	25,24
17	KBG 330	35,22	14,09	33,88
18	KBG 336	140,87	56,35	32,51
19	SDM 49	144,91	28,98	11,42
20	PNP 54	316,97	63,39	2,55
21	KBG 144	326,78	65,36	14,25
22	SDM 183	69,28	13,86	16,67
23	KBG 238	412,23	82,45	2,8
24	SDM 221	32,33	12,93	27,38
25	GNB 256	32,91	8,23	14,04
26	SDM 286	140,3	56,12	19,75
27	KRA 292	170,9	68,36	5,63
28	KRA 299	41,57	66,51	19,44
29	SDM 17	311,19	77,8	6,56
30	KPB 245	240,76	60,19	15,35
31	KPB 65	270,78	54,16	22,32
32	SDM 19	270,2	54,04	23,08
33	SDM 20	326,2	65,24	8,26
34	SDM 22	232,09	58,02	16,42
35	KBG 220	247,68	49,54	6,53
36	KBG 28	290,41	58,08	8,61
37	SDM 222	188,22	47,05	16,16
38	SDM 24	262,69	52,54	18,32

Dari hasil perhitungan didapatkan persentase pembebanan yang ada di Penyulang 1 PT. PLN (Persero) ULK Tarakan. Nilai ketidakseimbangan bisa dinyatakan dalam bentuk persentase (%) sesuai dengan standar IEEE Std. 446 1980 (*IEEE Recommended Practice For Emergency Standby Power System For Industrial and Commercial Application*) nilai toleransi 5% sampai 20%.

Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada transformator distribusi dikarenakan beban-beban yang berada di fasa R, fasa S dan fasa T tidak seimbang (memiliki selisih yang jauh). Pada dasarnya dilakukan pembagian beban yang secara merata, karena adanya ketidaksamaan waktu penggunaan beban dan kapasitas beban maka timbullah ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik pada transformator distribusi SDM 17. Untuk mengurangi ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat dilakukan pemerataan beban yang ada di fasa R, fasa S dan fasa T. Akibat terjadinya ketidakseimbangan beban yang terjadi pada fasa R, fasa S dan fasa T di transformator maka timbullah arus netral yang mengalir di penghantar netral. Selain itu timbulah rugi-rugi (*losses*) pada penghantar netral yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9.

Tabel 8. Data hasil perhitungan rugi-rugi (*losses*) yang mengalir pada penghantar netral pada transformator yang masih dalam keadaan seimbang

Waktu	No. GARDU	Arus Netral		P _n		Efisiensi	
		A	Ø	kW	%		
PAGI HARI	KBG 168	37,98	309,6	0,0119	0,0143	99,99	
	KRA 127	47,95	64,79	0,019	0,0203	99,98	
	KBG 220	32,23	291,97	0,0086	0,0101	99,99	
	KRA 292	19,7	223,5	0,0032	0,0067	99,99	
	KRA 29	30,51	89,83	0,0077	0,0076	99,99	
	KRA 39	28	110	0,0065	0,0131	99,99	
	KBG 159	11,53	225,67	0,0011	0,0038	100	
	KBG 101	25,06	212,17	0,0052	0,0125	99,99	
	KRA 23	36,86	168,84	0,0113	0,0157	99,98	
	PAM 47	8,54	262,39	0,0006	0,0004	100	
	THM 134	48,28	94,39	0,0193	0,0173	99,98	
	KRA 197	29,72	65,95	0,0073	0,01	99,99	
	KBG 21	36,06	194,31	0,0108	0,0125	99,99	
	GNB 256	37,51	5,1	0,0116	0,0206	99,98	
	SDM 183	6,93	118,21	0,0004	0,0022	100	
	KBG 160	10,44	63,71	0,0009	0,0037	100	
	GDS 252	14,73	0,16	0,0018	0,0016	100	
	KRA 299	13,89	302,34	0,0016	0,01	99,99	
	KBG 144	44,2	258,05	0,0162	0,0199	99,98	
	KBG 238	40,11	311,91	0,0133	0,0122	99,99	
	KRA 201	10,58	189,08	0,0009	0,0011	100	
	PNP 54	9,16	219,11	0,0007	0,0011	100	
	KBG 311	25,24	336,09	0,0053	0,0076	99,99	
	KPB 245	3,6	222,19	0,0001	0,0002	100	
	KPB 65	24,25	216,43	0,0049	0,0089	99,99	
	SDM 19	37	37,64	0,0113	0,0191	99,98	
	SDM 49	25,24	216,1	0,0053	0,0102	99,99	
	SDM 22	27,51	330,02	0,0063	0,0092	99,99	
	SDM 24	30,51	64,8	0,0077	0,0087	99,99	
	SDM 17	22,91	197,32	0,0043	0,004	100	
	SDM 286	27,07	125,65	0,0061	0,0079	99,99	
	KBG 28	14,18	70,43	0,0017	0,0033	100	
	MALAM HARI	KBG 21	39	148,22	0,0126	0,0122	99,99
		KRA 23	71,14	200,51	0,0419	0,0465	99,95
		PAM 47	8,18	340,44	0,0006	0,0005	100
		KRA 29	62,64	183,71	0,0325	0,0299	99,97
		KBG 101	11,53	83,93	0,0011	0,0015	100
		KRA 39	40,36	163,13	0,0135	0,0243	99,98
KBG 160		22,91	219,1	0,0043	0,0143	99,99	
KRA 201		52,03	146,31	0,0224	0,0169	99,98	
KBG 168		72,67	338,51	0,0437	0,0438	99,96	
THM 134		49,69	83,22	0,0204	0,0171	99,98	
KBG 159		20,42	250,94	0,0035	0,0077	99,99	
KRA 197		57,24	83,01	0,0271	0,0196	99,98	
GDS 252		9,17	197,33	0,0007	0,001	100	
KBG 311		45,92	356,34	0,0175	0,0183	99,98	
SDM 49		21,52	145,91	0,0038	0,0081	99,99	
PNP 54		10,54	263,52	0,0009	0,0009	100	
KBG 144		65,51	170,76	0,0355	0,0335	99,97	
		SDM 183	17,32	118,22	0,0025	0,011	99,99
		KBG 238	15,1	214,81	0,0019	0,0014	100
		GNB 256	6,24	224,29	0,0003	0,003	100
	SDM 286	38,57	187,16	0,0123	0,0273	99,97	
	KRA 292	13,89	174,09	0,0016	0,0029	100	
	KRA 299	11,35	305,79	0,0011	0,0079	99,99	
	SDM 17	28,16	188,43	0,0066	0,0065	99,99	
	KPB 245	48,03	206,14	0,0191	0,0242	99,98	
	SDM 20	35,04	91,04	0,0102	0,0096	99,99	
	SDM 22	50,11	37,16	0,0208	0,0275	99,97	
	KBG 220	21,63	194,32	0,0039	0,0048	100	
	KBG 28	32,51	326,68	0,0088	0,0093	99,99	
KBG 29	43,56	243,54	0,0157	0,0255	99,98		
KBG 30	63,84	256,47	0,0337	0,0396	99,96		

Tabel 9. Data hasil perhitungan rugi-rugi (*losses*) yang mengalir pada penghantar netral pada transformator yang sudah tidak dalam keadaan seimbang

Waktu	No. GARDU	Arus Netral		PN		efisiensi
		A	Ø	kW	%	
PAGI HARI	KBG 336	53,11	144,47	0,0234	0,0535	99,95
	KRA 312	58,66	221,87	0,0285	0,0575	99,94
	KBG 330	18,36	246,04	0,0028	0,0313	99,97
	SDM 20	72,99	53,5	0,0441	0,0594	99,94
	SDM 221	26,85	337,49	0,006	0,0409	99,96
	SDM 222	50,86	261,37	0,0214	0,0487	99,95
MALAM HARI	KRA 127	80,99	222,45	0,0543	0,0619	99,94
	KRA 312	58,81	214,13	0,0286	0,0494	99,95
	KBG 330	16,64	229,58	0,0023	0,0199	99,98
	KBG 336	61,3	134,31	0,0311	0,0675	99,93
	SDM 221	12,29	168,84	0,0013	0,0119	99,99
	KPB 65	80,99	222,45	0,0543	0,0621	99,94
	SDM 19	85,06	74	0,0599	0,066	99,93

Arus netral yang mengalir di penghantar netral transformator dapat menimbulkan rugi-rugi (*losses*) daya. Besar kecilnya rugi-rugi (*losses*) dayayang terjadi dipengaruhi oleh besar kecilnya arus netral yang mengalir pada penghantar netral dan dari hasil perhitungan efisiensi juga dapat diketahui untuk memperoleh nilai efisiensi yang besar maka harus diusahakan rugi-rugi (*losses*) daya yang terjadi kecil.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa data dapat diambil kesimpulan seperti berikut:

- A. Waktu Beban Puncak (WBP) terjadi pada pagi hari dimana persentase pembebanan adalah 84% lebih besar daripada persentase pembebanan di malam harinya adalah 77,80%. Dimana penggunaan beban transformator SDM 17 adalah untuk perkantoran yang lebih banyak menggunakan energi listrik dipagi harinya dari pada malam harinya.
- B. Dari ke-38 transformator yang dapat dikatakan seimbang yang masih memenuhi syarat standar IEEE ada 32 transformator untuk pagi harinya dan 31 transformator untuk malam harinya. Sedangkan yang dapat dikatakan tidak seimbang yang sudah tidak memenuhi standar IEEE ada 6 transformator untuk pagi harinya dan ada 7 transformator untuk malam harinya.
- C. Besar kecilnya selisih nilai beban arus pada fasa R, fasa S dan fasa T akan mempengaruhi nilai rata-rata kesetidakseimbangan beban dan nilai arus yang mengalir dipenghantar netral transformator.
- D. Rugi-rugi (*losses*) daya yang terjadi pada transformator akan semakin besar apabila arus yang mengalir di penghantar netral transformator semakin besar dan sebaliknya.
- E. Efisiensi akan semakin besar apabila daya masuk dan daya keluar tidak mempunyai selisih yang besar atau efisiensi akan besar apabila rugi-rugi (*losses*) daya semakin kecil namun sebaliknya.
- F. Rugi-rugi (*losses*) daya akibat arus netral yang mengalir pada penghantar netral dapat dikurangi bila luas penampang di perbesar, namun diperlukan biaya yang besar.

REFERENSI

- [1] Cekdin, Cekmas dan Barlian, Taufik. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- [2] Handajadi, Wiwik. (2010). “*Optimalisasi dan Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Peralatan Listrik Untuk Proses Kimia*”. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi SAINS dan Teknologi. Institut SAINS & Teknologi AKPRINDO. Yogyakarta. Hal. A56-A60
- [3] Hidayat, Sopiari Noor. 2017. *Analisa Beban Transformator Distribusi 3 Fasa Pada Feeder 3 PT. PLN Nunukan*. Skripsi. Tarakan: Univ. Borneo Tarakan.
- [4] Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta:Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press)
- [5] Siregar, MHD. Arifin. 2013. *Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru*. Pekanbaru: Univ. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [6] Suhadi, dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [7] Tanjung, Abrar. 2012. *Analisis Sistem Distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja dan Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Electrical Transient Analysis Program*. Skripsi. Pekanbaru: Univ. Lancang Kuning.
- [8] (2017) kmi. [Online]. Available: www.kmi.co.id standart specification: IEC 60202-1

ANALISIS KETERSEDIAAN DAYA DAN KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI DI UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

Patria Julianto¹, Julidar Sidebang²

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

¹patria81@gmail.com

²julidar21sidebang@gmail.com

Abstract— Reliability level is one of the vital things in the distribution of electricity. A reliable distribution system will ensure a continuous level of service in the distribution system. In this channeling system, care should be taken regarding the use of the carrier type, the distribution system, or the protection or protection of the channeling. The purpose of this research is to calculate the existing power in the low voltage distribution network system at the University of Borneo Tarakan, and the method used is descriptive method. The results showed that the low voltage distribution network system at the University of Borneo Tarakan there are some deviations in the loading of unbalanced loads on each building, air and ground wire and ground meets the standards. The availability of power and reliability of distribution network system at Tarakan Borneo University is calculated as 0.92409 and 0.99981. For reliability index of whole distribution system based on SAIFI calculation: 0.2 f / yr, SAIDI: 3 h / yr, CAIDI: 15 h / yr, ASAI: 0.9996 pu, ASUI: 0.00034 pu. This can be interpreted that the availability of power and reliability of the distribution network at the University of Borneo Tarakan reliably.

Keywords— Reliability, distribution system, low voltage, University of Borneo Tarakan.

Intisari—Tingkat keandalan merupakan salah satu hal yang vital dalam penyaluran tenaga listrik. Sistem distribusi yang andal akan menjamin tingkat kontinuitas pelayanan pada sistem distribusi. Dalam sistem penyaluran ini harus diperhatikan mengenai penggunaan jenis penghantar, sistem penyalurannya, maupun proteksi atau pengaman dari penyaluran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung daya yang ada pada sistem jaringan distribusi tegangan rendah di Universitas Borneo Tarakan, dan metode yang digunakan adalah metode deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem jaringan distribusi tegangan rendah di Universitas Borneo Tarakan ada beberapa penyimpangan dalam pembebanan yaitu tidak seimbang beban pada tiap gedung, kawat penghantar udara dan tanah sudah memenuhi standar. Ketersediaan daya dan keandalan sistem jaringan distribusi di Universitas Borneo Tarakan terhitung sebesar 0,92409 dan 0,99981. Untuk indeks keandalan sistem distribusi keseluruhan berdasarkan perhitungan SAIFI: 0,2 f/yr, SAIDI: 3 h/yr, CAIDI: 15 h/yr, ASAI: 0,9996 pu, ASUI: 0,00034 pu. Hal ini dapat diartikan bahwa ketersediaan daya dan keandalan jaringan distribusi di Universitas Borneo Tarakan andal.

Kata Kunci—Keandalan, sistem distribusi, tegangan rendah, Universitas Borneo Tarakan.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kemajuan teknologi, peralatan pada jaringan distribusi mengalami modernisasi

dan otomatisasi, hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan keandalan dalam proses penyaluran tenaga listrik. Penyaluran tenaga listrik merupakan suatu hal yang penting, karena energi listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui saluran transmisi atau distribusi[1]. Saluran ini membawa tenaga listrik dari pusat tenaga listrik melalui saluran tenaga listrik melalui saluran penghubung, gardu-gardu induk (*substations*) dan gardu distribusi, dengan tegangan 150 kV, 70 kV, 20 kV, sampai tegangan untuk konsumen, yaitu 380/220 Volt, kenaikan dan penurunan tegangan ini dilakukan dengan transformator[2]. Universitas Borneo Tarakan sebagai salah satu konsumen PT. PLN Tarakan menggunakan energi listrik yang cukup besar, mengingat UBT adalah institusi pendidikan yang membutuhkan listrik sebagai pendukung utama dalam hal peyelenggara pendidikan tinggi, sehingga memerlukan suplai energi listrik yang andal. Untuk menentukan atau menghitung tegangan, arus, daya, dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan listrik pada keadaan pengoperasian normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang. Sebagai solusi dari permasalahan tersebut, Dilakukan penelitian dengan judul "**Analisis Ketersediaan Daya dan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi di Universitas Borneo Tarakan**". Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung daya yang ada pada sistem jaringan distribusi tegangan rendah di Universitas Borneo Tarakan.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah penelitian deskriptif. Metode penelitian deskriptif sebagai kegiatan yang meliputi pengumpulan data dalam rangka menguji hipotesis atau menjawab pertanyaan yang menyangkut keadaan yang sedang berjalan dari pokok suatu penelitian. Penelitian tentang sistem jaringan distribusi di Universitas Borneo Tarakan ini akan dilaksanakan selama tiga bulan pada bulan Maret hingga bulan Juni 2017. Sedangkan lokasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jaringan distribusi yang ada di gedung rektorat baru, gedung rektorat lama, gedung Fakultas Hukum, gedung Fakultas Ekonomi, gedung Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, gedung Fakultas Teknik, gedung Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, dan gedung Fakultas Pertanian.

B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyelesaian penelitian analisis ketersediaan daya dan keandalan sistem jaringan distribusi di Universitas Borneo Tarakan menggunakan beberapa metode, yaitu:

1. Metode literatur
Metode pengambilan data dengan cara membaca dan mempelajari buku-buku yang berkaitan dengan penelitian
2. Metode Wawancara
Yaitu konsultasi dengan dosen pembimbing skripsi, serta orang-orang lapangan yang dianggap memiliki pengetahuan dan wawasan terhadap permasalahan yang dibahas pada penelitian ini.
3. Observasi
Pengambilan data melakukan pengukuran secara langsung dilapangan bersama pendamping teknisi di Universitas Borneo Tarakan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan deskripsi data dari hasil penelitian mengenai sistem jaringan distribusi di Universitas Borneo Tarakan mempunyai 2 transformator distribusi, dapat dianalisis sebagai berikut:

A. Transformator Distribusi 200 KVA

Transformator distribusi yang telah terpasang di Universitas Borneo Tarakan merupakan transformator penurun tegangan dari tegangan distribusi 20.000 Volt menjadi 400 Volt dan penggunaannya adalah satu transformator untuk menyuplai khusus gedung E1 (Rektorat Baru).

B. Transformator Distribusi 1250 KVA

Gardu beton transformator distribusi merupakan transformator penurun tegangan dari distribusi 20.000 Volt menjadi 400 Volt penggunaannya adalah sejumlah pemakai untuk gedung-gedung perkuliahan, ruang dekan maupun laboratorium-laboratorium yang ada di Universitas Borneo Tarakan. Satu transformator ini menyuplai 9 titik beban gedung yang ada di Universitas Borneo Tarakan yaitu:

1. Gedung E2 (Rektorat Lama)
2. Gedung E3 (Fakultas Hukum, Ruang Dekan)
3. Gedung E4 (Fakultas Ekonomi, Ruang Dekan)
4. Gedung E5 (Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Ruang Dekan)
5. Gedung E6 (Fakultas Teknik, Ruang Dekan)
6. Gedung E7 (Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Ruang Dekan)
7. Gedung E8 (Fakultas Pertanian, Ruang Dekan)
8. Gedung E9 (LAB Fakultas Teknik Sipil)
9. Gedung E10 (Rusunawa)

C. Sistem Jaringan Distribusi

Sistem jaringan yang digunakan adalah sistem jaringan radial dimana bentuk jaringannya terlihat sederhana, aliran jaringan hanya berasal dari satu arah sumber pembangkitan, sistem ini sangat rendah keandalannya karena apabila titik utama terganggu maka titik cabang akan terganggu[3]. Dilihat dari kondisi lokasi ada beberapa tiap titik beban yang tidak sama atau tidakimbang, penggunaan tiang untuk jaringan tegangan menengah dan tegangan rendah sudah sesuai dengan

ketentuan yang ada maupun tiang pada penerangan, baik tiang yang terbuat dari bahan besi maupun dari bahan beton.

D. Penghantar Jaringan

Pada sistem jaringan distribusi tegangan rendah ini di Universitas Borneo Tarakan menggunakan kawat penghantar udara dan kawat penghantar tanah. Untuk kawat pilin udara berisolasi berjumlah empat kawat, dimana tiga kawat dipergunakan untuk tegangan tiga fasa sedang satu lagi kawat penghantar untuk kawat nol dan jenis kawat pilin udara berisolasi yang digunakan adalah jenis NFA2X-T yaitu kawat pilin udara berpenghantar aluminium berisolasi XLPE dan ini sudah sesuai dengan PUIL 2000. Untuk kawat penghantar tanah berisolasi berselubung termoplastik dan pelindung perisai baja berjumlah empat kawat, dimana tiga kawat dipergunakan untuk tegangan tiga fasa sedangkan satu lagi kawat penghantar untuk kawat nol dan jenis kawat penghantar tanah yang digunakan adalah jenis NYY dan NYFGbY yaitu kabel tanah berpenghantar tembaga berisolasi dan berselubung PVC dengan kemampuan hantar arus terlampir dan ini sudah sesuai dengan PUIL 2000[4].

Jarak antara penghantar udara dengan tanah, jarak antar titik tumpu dan ketentuan saluran kabel tanah tegangan rendah sudah sesuai dengan PUIL 2000. Berdasarkan hasil pengamatan didapat bahwa beban tiap fasa pada gedung E2 tidakimbang yaitu : untuk fasa R 4.334 Watt, fasa S 8.646 Watt dan T 1.144 Watt, demikian juga dengan beban pada gedung E10 yang tidakimbang yaitu: untuk fasa R 550 Watt, fasa S 880 Watt dan T 220 Watt, oleh karena itu besarnya penampang penghantar kabel tanah yang terpasang menggunakan kawat berpenghantar tembaga berisolasi termoplastik ada yang sesuai dan ada yang tidak sesuai dengan standart yang berlaku[5]. Seharusnya standar Kemampuan Hantar Arus (KHA) penghantar kabel tanah berisolasi dan termoplastik yaitu:

1. Untuk kawat penghantar jenis NYY dengan besar penampang nominal $4 \times 16 \text{ mm}^2$ 0.6/1 KV dengan Kemampuan Hantar Arus (KHA) sebesar 89 A.
2. Untuk kawat penghantar jenis NYY dengan besar penampang nominal $4 \times 2.5 \text{ mm}^2$ 0.6/1 KV dengan Kemampuan Hantar Arus (KHA) sebesar 34 A.

Dengan jumlah beban yang terpasang di Universitas Borneo Tarakan, penghantar kabel tanah jenis NYY $4 \times 16 \text{ mm}^2$ dari transformator distribusi menuju titik beban gedung tidak memenuhstandar yang berlaku. Penggunaan kawat penghantar udara berisolasi dipasang padadinding bangunan sudah sesuai dengan PUIL 2000 karena pada pasal 7.16.8.1 menjelaskan "kabel udara yang dipasang pada dinding tembok bangunan harus berjarak tetap sekurang-kurangnya 5 cm terhadap bangunan itu".

Sambungan pada tiap penghantar cukup baik hal ini terlihat caramenyambung penghantar yaitu dengan cara menjepit, sehingga hubungan tersebut tidak akan mengendur atau menjadi terlalu panas dalam keadaankerja normal, dan untuk sambungan bersama penyambungan penghantar dilakukan dengan menjepit penghantar tanpa menyebabkan terpotongnya kawat penghantar. (PUIL 2000 hal :259)

E. Sistem Pengamanan Distribusi

Pada jaringan distribusi tegangan rendah yang ada di Universitas Borneo Tarakan pengamanan untuk jaringan distribusi adalah dengan menggunakan *arrester* dan *fuse cut out*. Untuk pengamanan transformator sekunder dilayani oleh pemutus jaringan dan setiap gedung-gedung yang ada di UBT mempunyai pengaman *Circuit Breaker* sebagai pengaman arus lebih atau beban lebih.

F. Analisis Ketersediaan Daya

Analisis ketersediaan daya sistem jaringan distribusi Universitas Borneo Tarakan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan Transformator di Universitas Borneo tarakan

Komponen	λ (Kegagalan/Tahun/Jam)	μ (Perbaikan/Tahun/Jam)
TRAFO 1 200 kVA	0.00023	0.0028
TRAFO 2 1250 kVA	0	0

Catatan data sesuai dengan *name plate* transformator di Universitas Borneo Tarakan:

- 1) Ketersediaan pada transformator distribusi baik 100 %.
- 2) Kapasitas daya transformator 1 200 kVA adalah sebesar 105.000 kVA.
- 3) Kapasitas daya transformator 2 1250 kVA adalah sebesar 721.600 kVA.
- 4) Untuk total jumlah keseluruhan kapasitas transformator yang terpasang di Universitas Borneo Tarakan sebesar 826.600 kVA.
- 5) Untuk jumlah keseluruhan beban daya berdasarkan hasil pengukuran di Universitas Borneo Tarakan sebesar 199.914 kVA.

Daya yang tersedia pada transformator distribusi Universitas Borneo Tarakan adalah 603.586 kVA atau masih ada sekitar 39% daya yang tersedia pada transformator distribusi Universitas Borneo Tarakan.

Dari tabel 1. dapat dicari ketersediaan daya transformator 200 kVA Universitas Borneo Tarakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A &= \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) \\
 &= \left(\frac{0,0028}{0,00023 + 0,0028} \right) \\
 &= \frac{0,0028}{0,00303} \\
 &= 0,92409
 \end{aligned}$$

Dari tabel 1. dapat dicari ketersediaan daya transformator 1250 kVA Universitas Borneo Tarakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A &= \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) \\
 &= \left(\frac{0}{0 + 0} \right) \\
 &= \frac{0}{0} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan CB Tiap Gedung di Universitas Borneo tarakan

Komponen	λ (Kegagalan/Tahun/Jam)	μ (Perbaikan/Tahun/Jam)
CB Rektor Baru	0	0
CB Rektor Lama	0	0

CB Fakultas Hukum	0	0
CB Fakultas Ekonomi	0	0
CB FKIP	0	0
CB Fakultas Teknik	0	0
CB Fakultas Perikanan	0	0
CB Fakultas Pertanian	0	0
CB Lab Sipil	0	0
CB Rusunawa	0	0

Dari tabel 2. dapat dicari ketersediaan daya dari setiap CB sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A &= \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) \\
 &= \left(\frac{0}{0 + 0} \right) \\
 &= \frac{0}{0} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Dari tabel 3 dapat dicari ketersediaan daya dari setiap kabel sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A &= \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) \\
 &= \left(\frac{0}{0 + 0} \right) \\
 &= \frac{0}{0} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Dari tabel 4 dapat dicari ketersediaan daya dari setiap Bus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A &= \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) \\
 &= \left(\frac{0}{0 + 0} \right) \\
 &= \frac{0}{0} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Data hasil perhitungan kabel penghantar jaringan di Universitas Borneo Tarakan

Komponen	λ (kegagalan/Tahun/Jam)	μ (Perbaikan/Tahun/Jam)
Kabel 1	0	0
Kabel 2	0	0
Kabel 3	0	0
Kabel 4	0	0
Kabel 5	0	0
Kabel 6	0	0
Kabel 7	0	0
Kabel 8	0	0
Kabel 9	0	0
Kabel 10	0	0

Tabel 4 Data hasil perhitungan tiap Bus di Universitas Borneo Tarakan

Komponen	λ (Kegagalan/Tahun/Jam)	μ (Perbaikan/Tahun/Jam)
Bus 1	0	0
Bus 2	0	0
Bus 3	0	0
Bus 4	0	0
Bus 5	0	0
Bus 6	0	0
Bus 7	0	0
Bus 8	0	0

Bus 9	0	0
Bus 10	0	0

Dari tabel 4.5 dapat dicari ketersediaan daya dari setiap titik beban sebagai berikut:

$$A = \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) = \left(\frac{0}{0 + 0} \right) = \frac{0}{0} = 1$$

Tabel 5. Data hasil perhitungan titik beban tiap gedung di Universitas Borneo Tarakan

Nama Gedung	λ (Kegagalan/Tahun/Jam)	μ (Perbaikan/Tahun/Jam)
Gedung RektoratBaru	0	0
Gedung F. Hukum	0	0
Gedung F. Ekonomi	0	0
GedungRektorat Lama	0	0
Gedung F. FKIP	0	0
Gedung F. Teknik	0	0
Gedung F. Perikanan	0	0
Gedung F. Pertanian	0	0
Gedung Lab Sipil	0	0
Rusunawa	0	0

G. Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Eksponensial

1) Transformator 200 kVA
 $t = 24 \times 30 = 720$
 $t = 720/8760 = 0,082$
 $R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,00023 \times 0,082} = e^{-0,0001896} = 0,99981$

2) Transformator 1250 kVA
 $R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0.0} = e^{-0} = 1$

3) *Circuit Breaker*
 $R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0.0} = e^{-0} = 1$

4) Kabel Penghantar
 $R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0.0} = e^{-0} = 1$

5) BUS
 $R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0.0} = e^{-0} = 1$

6) Titik Beban Gedung
 $R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0.0} = e^{-0} = 1$

H. Analisis Indeks Keandalan SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI dan ASUI

Analisis indeks keandalan sistem jaringan distribusi dengan perhitungan manual dengan menggunakan rumus SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan ASAI di Universitas Borneo Tarakan adalah sebagai berikut:

1) SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)
 $SAIFI = \frac{\sum \lambda_i}{\sum N_i} = \frac{10}{10} = 0,2 \text{ f/customer.yr}$

2) SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)
 $SAIDI = \frac{\sum \mu_i}{\sum N_i} = \frac{30 \text{ hr}}{10} = 3 \text{ hr/customer.yr}$

3) CAIDI (*Consumer Average Interruption Duration Index*)
 $CAIDI = \frac{\sum \mu_i}{\sum \lambda_i} = \frac{30 \text{ hr}}{0,2 \text{ f}} = 15 \text{ hr/customer interruption}$

4) ASAI (*Average Service Availability Index*)
 $ASAI = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum \mu_i}{\sum N_i \times 8760} = \frac{10 (8760) - 30 \text{ hr}}{10 (8760)} = 0,9996 \text{ pu}$

5) ASUI (*Average Service Unavailability Index*)
 $ASUI = \frac{\sum \mu_i}{\sum N_i \times 8760} = \frac{30 \text{ hr}}{10 (8760)} = 0,00034 \text{ pu}$

Bahwa keandalan sistem jaringan distribusi tegangan rendah di Universitas Borneo Tarakan termasuk tipe yang rendah karena jaringan ini disuplai hanya dengan sebuah sistem distribusi tunggal (*singlecircuit*), apabila ada gangguan di saluran utama maka akan terganggu semua pada titik cabang saluran dan apabila ada perbaikan dititik cabang maka harus memutuskan saluran utamanya

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa sistem jaringan distribusi tegangan rendah di Universitas Borneo Tarakan dengan urutan sebagai berikut:

- a. Transformator distribusi sudah dapat menyuplai semua beban yang ada di lingkungan Universitas Borneo Tarakan dengan daya 1250 kVA yaitu pada gedung Fakultas Hukum, Fakultas Ekonomi, gedung Rektorat Lama, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Fakultas Teknik, Fakultas Perikanan dan

Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, LAB Fakultas Teknik Sipil, dan Rusunawa.

- b. Transformator distribusi sudah dapat menyuplai beban yang ada di gedung Rektorat Baru Universitas Borneo Tarakan dengan daya 200 kVA.
- c. Jumlah beban keseluruhan di Universitas Borneo Tarakan untuk perhitungan tiap fasa adalah sebagai berikut:
 - 1) Untuk fasa R, beban terhitung adalah sebesar : **67.408 Watt**
 - 2) Untuk fasa S, beban terhitung adalah sebesar : **77.616 Watt**
 - 3) Untuk fasa T, beban terhitung adalah sebesar : **54.890 Watt**

Sehingga jumlah beban keseluruhan menjadi **199.914 Watt**

- d. Pengamanan jaringan distribusi tegangan rendah di Universitas Borneo Tarakan menggunakan *Arrester*, sedangkan untuk melindungi terhadap arus lebih adalah *Fuse Cut out*. Nilai ketersediaan daya dan keandalan transformator 200 kVA sistem jaringan distribusi di Universitas Borneo Tarakan terhitung sebesar 0,92409 dan 0,99981.
- e. indekskeandalan sistem jaringan distribusi di Universitas Borneo Tarakan dengan menggunakan perhitungan SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI dan ASUI adalah:
 - 1) SAIFI : 0,2 kegagalan/tahun konsumen
 - 2) SAIDI : 3 jam/tahun konsumen
 - 3) CAIDI : 15jam/gangguan konsumen
 - 4) ASAI : 0,9996 perunit
 - 5) ASUI : 0,00034 perunit

Ketersediaan daya dan keandalan sistem jaringan distribusi di Universitas Borneo Tarakan untuk keseluruhannya dapat dikatakan handal, karena dapat dilihat melalui data-data hasil pengamatan langsung dilapangan dan menggunakan rumus yang dipakai untuk mengetahui ketersediaan daya dan keandalannya. untuk kegagalannya sendiri hanya 2 kali kegagalan selama 1 tahun beroperasi yaitu hanya Transformator 200 kVA yang menyuplai ke Gedung Rektorat Baru.

REFERENSI

- [1] adi, suryawan wibowo. 2007. *Analisis Ketersediaan Daya dan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*.Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- [2] Kadir, Abdul 2000. *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- [3] Priyanta,Dwi. Ir., MSE, *Modul Ajar Keandalan Dan Perawatan*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2000.
- [4] Adi Soeprijanto, Fauziah, dan Ontoseno Penangsang, 2012. *Studi Perbaikan Keandalan Jaringan Distribusi Primer Dengan Pemasangan Gardu Induk Sisipan Di Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan*. Jurnal Teknik Elektro. ISSN: 2301-9271. Vol.1. Hal.119-124.
- [5] Aditya Teguh Prabowo, Bambang Winardi, dan Susatyo Handoko, 2013. *Analisis Keandalan Sistem*

Distribusi 20 kV Pada Penyulang Pekalongan 8 Dan 11. Jurnal Teknik Elektro. ISSN: 2302-9927, 1005. Vol. 2, No.4.

- [6] Arifani Indah Nur, dan Heru Winarno, 2013. *Analisis Nilai Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Udara 20 kV Pada Penyulang Pandean Lamper 1,5,8,9,10 Di GI Pandean Lamper*. Jurnal Teknik Elektro. Vol.17 No.

Alamat Redaksi
Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan
Gedung D Lt. 3 Kampus Universitas Borneo Tarakan
Jl. Amal Lama No. 1 Tarakan 77123

