

VOLUME 8 | NOMOR 2 | OKTOBER 2022

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

ELEKTRIKA

B O R N E O



Diterbitkan oleh

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

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

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 8, Nomor 2, Oktober 2022

Ketua Redaksi
(Editor-in-Chief)

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

Dewan Redaksi
(Editorial Board)

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

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

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

Asisten Redaksi
(Editorial Assistant)

Hendra, S.T.

Alamat Redaksi
(Address)

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



Diterbitkan oleh:
Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 8, Nomor 2, Oktober 2022

DAFTAR ISI

1. Penentuan Mutu Udang Vanname (*Litopenaeus Vannamei*) Menggunakan Teknologi Pengolahan Citra Digital Dengan Metode Morfologi Berbasis Analisis Dimensi
Sumardi dan Aji Bijaksana Abadi..... 1 – 5
2. Probabilitas Deteksi Dan False Alarm Sebagai Kinerja Deteksi Pada Radar Full-Phased MIMO
Mizar Ahmad Maulana dan Syahfrizal Tahcfullah6 – 11
3. Unit Commitment Dengan Integrasi Pump Storage Hydroelectricity Untuk Mengatasi Masalah Duck Curve
Patria Julianto..... 12–17
4. Sistem Pengaturan Beban Generator Tiga Fasa Secara Otomatis Berbasis Internally Triggered TRIAC
Muhammad Deval Efendi, Abdul Muis Prasetia dan Linda Sartika 18–22
5. Sistem Kendali Jarak Jauh Lampu Penerangan Berbasis Internet of Things
Hermansyah 23–26

PENENTUAN MUTU UDANG VANNAME (*LITOPENAEUS VANNAMEI*) MENGUNAKAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN CITRA DIGITAL DENGAN METODE MORFOLOGI BERBASIS ANALISIS DIMENSI

Sumardi¹, Aji Bijaksana Abadi²

^{1,2}PT Midi Utama Indonesia Tbk, Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹sumardi175z@gmail.com

Abstract—North Kalimantan is the main producer of shrimp with an achievement of 9,900 tons or about 57.56 percent of the total shrimp production in Kalimantan, where Tarakan City is the main supplier, so it is called the Fisheries City. Shrimp exports for the Tarakan region are up to 75% from Japan and the rest to the USA and China. Vaname shrimp which is far superior to disease with a high survival rate than tiger prawns. Efforts to improve the quality can be done through the process of sorting and grading which is the post-harvest stage after the process of separating the heads of shrimp, shrimp will be grouped based on size (large, small and medium) according to market demand. This study will propose a system for determining the quality criteria of Vanname shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using digital image processing technology with morphological methods based on dimensional analysis. Broadly speaking, the morphological method will be used to determine the vannamei shrimp image against the background by using dilation and erosion as the separation, thus the edge of the image can be determined properly on the pixel per metric calculation, then dimensional analysis will process the length, width and area of the resulting binary image. Vannamei shrimp morphology is based on pixel comparison with the actual reference length, so that Vanname shrimp quality criteria will be obtained automatically and can work in real-time. The result of measuring length as a parameter determining the category of shrimp has an accuracy of 96.7% with an accuracy percentage of 53.3% in determining the category.

Keywords—Vaname Shrimp, Sorting, Grading, Digital Image Processing

Intisari—Kalimantan utara merupakan produsen utama udang dengan capaian 9.900 ton atau sekitar 57,56 persen dari total produksi udang se-Kalimantan, Dimana Kota Tarakan sebagai pemasok utamanya, sehingga disebut Kota Perikanan. Ekspor udang untuk wilayah Tarakan adalah Jepang hingga 75% dan sisanya USA dan Cina. udang vaname yang jauh lebih unggul terhadap penyakit dengan angka hidup yang tinggi daripada udang windu. Upaya peningkatan kualitas tersebut dapat dilakukan melalui proses sortasi dan *grading* yang merupakan tahapan pasca panen setelah proses pemisahan kepala udang, udang akan dikelompokkan berdasarkan ukuran (besar, kecil dan sedang) sesuai dengan permintaan pasar. Penelitian kali ini akan mengusulkan sistem penentuan kriteria mutu udang Vanname (*Litopenaeus vannamei*) menggunakan teknologi pengolahan citra digital dengan metode morfologi berbasis analisis dimensi. Secara garis besar metode morfologi akan digunakan untuk menentukan citra udang vaname terhadap background dengan menggunakan dilasi dan erosi sebagai pemisahannya, dengan demikian tepi citra dapat ditentukan dengan baik pada perhitungan *pixel per metric*, kemudian analisis dimensi akan mengolah panjang, lebar dan luasan

dari citra biner hasil morfologi udang vaname berdasarkan perbandingan pixel dengan panjang referensi sebenarnya, sehingga akan diperoleh kriteria mutu udang Vanname secara otomatis dan dapat bekerja secara real-time. Hasil pengukuran panjang sebagai parameter penentu kategori udang memiliki akurasi sebesar 96.7% dengan persentase akurasi pada penentuan kategori sebesar 53.3%.

Kata Kunci—Udang Vaname, Sortasi, Grading, Pengolahan Citra Digital

I. PENDAHULUAN

Kalimantan utara merupakan produsen utama udang dengan capaian 9.900 ton atau sekitar 57,56 persen dari total produksi udang se-Kalimantan [1]. Dimana Kota Tarakan sebagai pemasok utamanya, sehingga disebut Kota Perikanan. Ekspor udang untuk wilayah Tarakan adalah Jepang hingga 75% dan sisanya USA dan Cina [2]. Udang windu merupakan jenis udang yang menjadi primadona pengekspor, akan tetapi mulai mengalami penurunan akibat dari serangan penyakit, sehingga pihak pengekspor mengalihkan permintaannya pada udang vaname yang jauh lebih unggul terhadap penyakit dengan angka hidup yang tinggi [3]. Udang vaname atau udang putih merupakan udang asli amerika yang memiliki daya tarik dari kenggulannya terhadap udang windu sehingga masyarakat Tarakan mulai membudidayakan udang ini.

Peningkatan hasil produksi perikanan ini mempengaruhi tingkat ekspor dan pendapatan daerah. Kegiatan produksi yang meningkat ini menyebabkan tuntutan terhadap kualitas yang tinggi pula. Upaya peningkatan kualitas tersebut dapat dilakukan melalui proses sortasi dan *grading*. Proses ini merupakan tahapan pasca panen setelah proses pemisahan kepala udang yaitu pemisahan terhadap udang yang baik dan segar, tidak cacat serta berwarna cerah [4]. Setelah itu udang akan dikelompokkan berdasarkan ukuran (besar, kecil dan sedang) sesuai dengan permintaan pasar.

Pada umumnya kegiatan sortasi dan *grading* yang dilakukan dengan tenaga manusia yang mengakibatkan produk yang dihasilkan memiliki kualitas hasil sortasi yang tidak seragam. Ketidak seragaman kualitas hasil sortasi akan menyebabkan rendahnya volume dan nilai ekspor. Dimana proses tersebut melibatkan interaksi antara beberapa manusia dalam hal ini pegawai perikanan yang melakukan sortasi dengan melakukan kontak langsung dengan produk dan pegawai lainnya, yang

memerlukan minimal 2 pegawai dalam 1 meja kerja dan mengharuskan untuk berdekatan untuk mempercepat pekerjaan.

Maka perlu adanya teknologi tepat guna dalam hal otomatisasi pemrosesan hasil perikanan seperti proses sortasi dan grading serta mengurangi interaksi antar manusia yang padat sesuai dengan program 3M pemerintah (memakai masker, mencuci tangan dan menjaga jarak), hal ini sejalan dengan visi Kementerian Kelautan dan Perikanan yaitu mewujudkan sektor kelautan dan perikanan Indonesia yang mandiri, maju, kuat, dan berbasis kepentingan nasional.

Salah satu alternatif teknologi yang dapat diterapkan adalah *image processing* atau pengolahan citra terhadap udang vaname berdasarkan ukuran untuk menentukan *grading* atau kelompok udang (besar, kecil dan sedang). Pengolahan citra digital merupakan pemrosesan setiap data 2 dimensi sedangkan citra digital merupakan sebuah larik (array) yang berisi nilai-nilai real maupun kompleks yang direpresentasikan dengan deretan bit tertentu.

Penelitian yang pernah dilakukan dengan memanfaatkan teknologi pengolahan citra adalah rancang bangun system deteksi ukuran udang vaname dengan metode *pixel counting* [5]. Pada penelitian tersebut menggunakan metode deteksi warna RGB dan HSV untuk mendapatkan jumlah pixel citra dari webcam external berupa gambar yang akan diproses di PC. Namun metode ini belum efektif dalam menyelesaikan permasalahan sortasi dan grading secara cepat dan *real-time* karena citra yang diperoleh berupa gambar bukan video dan harus melalui pemrosesan secara eksternal di PC.

Oleh karena itu berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian kali ini akan mengusulkan sistem penentuan kriteria mutu udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) menggunakan teknologi pengolahan citra digital dengan metode morfologi berbasis analisis dimensi. Secara garis besar metode morfologi akan digunakan untuk menentukan citra udang vaname terhadap background dengan menggunakan dilasi dan erosi sebagai pemisahannya, dengan demikian tepi citra dapat ditentukan dengan baik pada perhitungan *pixel per metric*, kemudian analisis dimensi akan mengolah panjang, lebar dan luasan dari citra biner hasil morfologi udang vaname berdasarkan perbandingan pixel dengan panjang referensi sebenarnya, sehingga akan diperoleh kriteria mutu udang Vanname secara otomatis dan dapat bekerja secara *real-time*. Diharapkan sistem ini akan bekerja secara akurat, presisi, dan konsisten sehingga ke depan dapat dijadikan sebagai sistem pendukung keputusan kriteria mutu udang Vanname secara otomatis yang terintegrasi..

II. LANDASAN TEORI

Pemutuan suatu produk secara konvensional dapat menurunkan kualitas produk dikarenakan ketidakseragaman manusia dalam menentukan satuan tertentu berdasarkan perkiraan dan hanya memanfaatkan penglihatan yang tidak konsisten. Salah satu pemutuan produk seperti udang vaname sebagai salah satu komoditi ekspor yang unggul adalah menggunakan metode *grading* berdasarkan berat dari udang yang kemudian dikategorikan berdasarkan ukuran (besar, kecil dan

sedang) kemudian diterapkan pada system otomatisasi seperti pada penelitian [6] yang menggunakan mikrokontroler Arduino uno R3 dan sensor load cell sebagai penentu bobot udang vaname yang kemudian akan dikategorikan berdasarkan berat. Hasil pengujian timbangan alat *grading* tersebut dibandingkan dengan hasil timbangan digital memiliki akurasi 99,77% dengan nilai persen perolehan kembali sebesar 99,93%. Saat dioperasikan dengan menggunakan masing-masing 5 udang dengan grade S, M dan L memiliki akurasi 80%. Namun teknologi ini masih belum efektif dikarenakan tidak dapat membedakan kualitas dari udang yang akan dikelompokkan. Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan teknologi pengolahan citra digital yang mampu mengenali kualitas produk dari citra yang ditangkap dan kemudian dapat dikelompokkan berdasarkan ukuran.

Penentuan kriteria mutu produk menggunakan metode pengolahan citra digital sudah banyak dilakukan seperti pada penelitian [7] yang memanfaatkan teknologi pengolahan citra digital yang dikombinasikan dengan jaringan syaraf tiruan untuk menentukan pemutuan pada produk cabai merah besar. Parameter mutu citra yang digunakan adalah indeks r, indeks g, perimeter, area, Panjang, area yang cacat dan diameter. Pelatihan JST yang digunakan menggunakan tiga variasi yaitu 10, 15 dan 20 dengan data training sebanyak 300 buah data. Dimana variasi JST terbaik adalah 20 node lapis tersembunyi dengan tingkat akurasi 100%. [8] menggunakan pengolahan citra digital pada pemutuan beras kepala, beras patah, beras menir dan gabah dengan dua tipe parameter yaitu menggunakan indeks B, *roundness*, luas, panjang dan saturation, sedangkan untuk beras merah, beras kuning/rusak, beras hijau mengapur dan benda asing dapat menggunakan parameter indeks R, indeks G, indeks B, *roundness* dan luas. *Training* yang dilakukan pada 5 parameter menunjukkan hasil yang baik yaitu 97,14% untuk Inpari 13, 99,6% untuk Inpari 19, 98,37% untuk Cirata, 97,9% untuk Muncul dan 99,6% untuk Way Apo Buru. Validasinya menunjukkan 96,74% untuk Inpari 13, 95,35% untuk Inpari 19, 96,73% untuk Cirata, 96,02% untuk Muncul, dan 98,68% untuk Way Apo Buru. Sedangkan untuk Training citra beras merah, beras kuning/rusak, beras hijau mengapur dan benda asing hasilnya adalah 98,55% dengan validasinya adalah 90,48%. [6] melakukan penelitian untuk menentukan pemutuan udang vaname dengan teknologi pengolahan citra. Metode yang digunakan adalah *pixel counting* dimana data ukuran diperoleh dari serangkaian proses pengenalan citra menggunakan metode deteksi warna RGB dan HSV lalu dithresholding untuk mendapatkan citra biner yang kemudian pixel hitam dan putih dihitung sebagai penentu ukuran dari udang vaname yang sebelumnya telah dibandingkan dengan data referensi.

Penggunaan teknologi pengolahan citra digital banyak digunakan dalam penyortiran industri makanan [9], pemutuan buah-buahan [10] dan [11], termasuk industri udang. Dalam industri udang PCD diterapkan pada penentuan mutu, seperti udang beracun [12], kekerasan cangkang [13], panjang [14], bentuk [15], kesegaran [16], cacat [17] dan massa udang [18]. Dalam industri pertanian seperti pada penelitian [19]. Pada penelitian ini menggunakan metode yang berbeda yaitu morfologi

sebagai proses segmentasi yang dikombinasikan dengan metode PPM (*pixel per metric*) dalam menentukan nilai konversi ukuran udang vaname yang bekerja secara *real-time*.

III. METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Waktu Penelitian

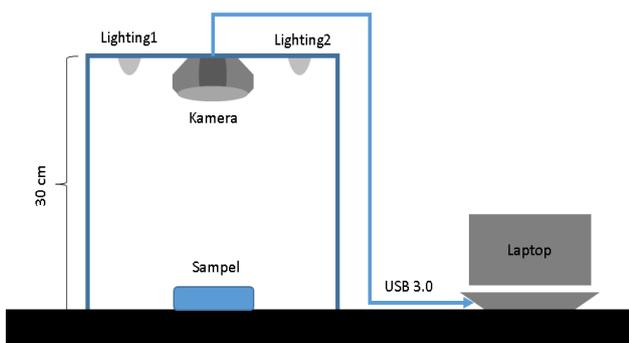
Penelitian ini merupakan penelitian experimental dengan menggunakan metode morfologi dalam menentukan jumlah pixel pada citra yang akan ditentukan kriteria mutunya. Penelitian ini menggunakan dua variabel yaitu variabel dependen dan variabel independen. Variabel dependen pada penelitian ini adalah kelompok hasil sortir udang vaname dalam besar (B), sedang (S), dan kecil (K). Variabel independen pada penelitian ini adalah ukuran area citra udang hasil tangkap kamera. Waktu penelitian ini adalah 3 bulan. Perancangan dan pengujian sistem pemutuan udang vaname dilakukan secara daring melalui aplikasi Zoom dengan mengacu pada data base melalui pendekatan analisis data sekunder terhadap penelitian serupa dan secara Luring pada Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Borneo Tarakan dengan memperhatikan protokol kesehatan.

B. Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah 30 ekor udang vanamei dengan ukuran dimensi yang berbeda-beda. Sampel yang digunakan masing-masing berupa 10 ekor udang vanamei dengan kategori besar, kecil dan sedang. Keseluruhan data sampel dan populasi diperoleh melalui pendekatan data sekunder pada jurnal ilmiah serupa dan pengukuran sample secara langsung.

C. Rancang Bangun Sistem Pemutuan Udang Vaname

Sistem Pemutuan udang vanamei dengan teknologi pengolahan citra meliputi beberapa proses, yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan citra dan tahap penentuan mutu. Persiapan sampel ditunjukkan pada Gambar 2 yang merupakan tahap awal dengan menyajikan 3 kelompok ukuran udang sebelum diakuisisi menggunakan kamera seperti pada Gambar 1 dengan ketentuan background yang berwarna hitam atau kontras.

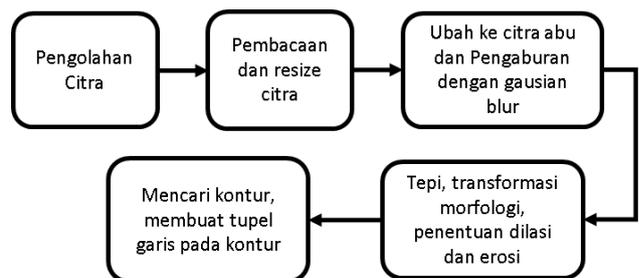


Gambar 1. Skema Diagram Sistem Akuisisi Citra Pemutuan Udang Vaname

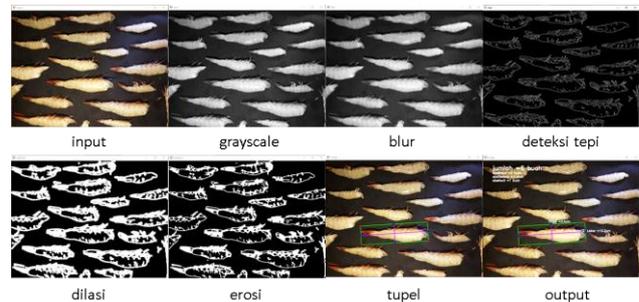


Gambar 2. Diagram Blok Tahap Persiapan Sampel

Tahap pengolahan citra seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, terdiri dari proses pembacaan dan resize ukuran citra sehingga hanya objek saja yang diukur, kemudian citra dikonversi menjadi *grayscale* dan *blur* untuk mempermudah proses segmentasi, selanjutnya tahap segmentasi dengan metode morfologi, tahap akhir adalah pembuatan tupel dari area objek yang telah disegmentasi. Tahap olah citra pada *python* ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Diagram Blok Tahap Pengolahan Citra



Gambar 4. Proses Olah Citra

Tahap akhir adalah penentuan mutu udang berdasarkan kelompok yang telah ditentukan seperti pada table 1 dibawah. Tupel berupa garis panjang dan lebar dari kontur udang ditampilkan pada interface sistem beserta kategori dari ukuran udang yang didapatkan dari olah PPM. Penentuan mutu ditunjukkan pada gambar 4 dibawah.

Tabel 1 Kriteria Mutu Udang Vaname

| No | Kategori | Keterangan |
|----|----------|---|
| 1 | Kecil | Berat 70-100 ekor/kg atau size 70-100 dan memiliki lebar kurang dari 8 cm. |
| 2 | Sedang | Berat 40-70 ekor/kg atau size 40-70 dan memiliki lebar lebih dari 8 cm dan kurang dari 10 cm. |
| 3 | Besar | Berat 20-40 ekor/kg atau size 20-40 dan memiliki lebar lebih dari 10 cm. |



Gambar 5. Diagram Blok Tahap Penentuan Mutu

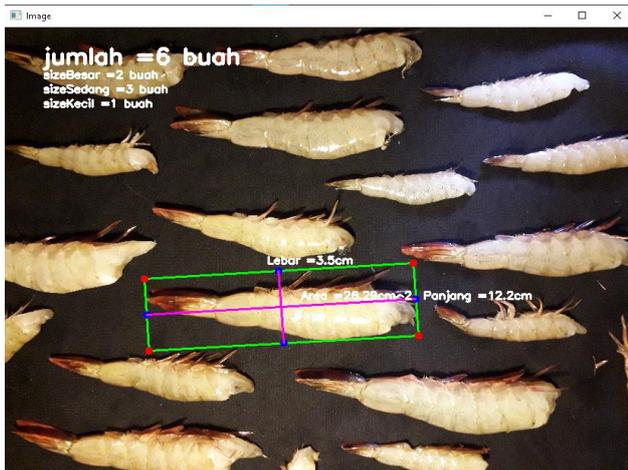
D. Analisa Data

Setelah nilai citra udang vanamei dikumpulkan pada 30 sampel penelitian berdasarkan *database* dan pengukuran referensi maka data akan dianalisa menggunakan PPM (*pixel per metric*) berdasarkan perbandingan nilai pixel pajang, lebar dan luas dengan nilai referensi dari dimensi udang vaname.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Akuisisi Citra

Hasil pemrosesan sistem menggunakan Bahasa pemrograman python ditampilkan melalui plot seperti pada gambar 5, dimana citra udang yang ditangkap kamera secara *real-time* berupa video diproses satu per satu dengan menunjukkan tupel berupa garis dan titik dari panjang dan lebar udang serta sistem *counting* jumlah udang perkategori.



Gambar 6. Output Program Pemutuan Udang Vaname

B. PPM (*pixel per metric*)

Perhitungan PPM ditentukan dari perbandingan panjang dan lebar citra udang output sistem terhadap panjang dan lebar udang referensi atau ukuran udang sebenarnya. Pada tahapan pemanggilan program melalui cmd (*command prompt*), direktori file *python* dipanggil beserta panjang dan lebar referensi. Hasil konversi PPM ditunjukkan pada gambar 6, dimana parameter yang ditampilkan adalah panjang dan lebar dalam cm dan area udang dalam kuadrat.

Area udang ditentukan dari perhitungan jumlah piksel dalam kontur udang hasil segmentasi dengan metode morfologi yang dibandingkan dengan area koin sebagai referensi.

C. Analisa Data

Hasil pengukuran panjang udang secara *real* dan pengukuran sistem dibandingkan sehingga diperoleh error rata-rata sistem sebesar 3.3% dengan akurasi sebesar 96.7%, data ini menunjukkan nilai pengukuran sistem dapat ditolerir karena error kurang dari 5 %, sedangkan akurasi sistem dalam menentukan kategori mutu udang sebesar 53.3%. Besarnya persentase akurasi penentuan kategori didasarkan dari ukuran panjang udang, dimana perubahan kecil dari nilai panjang mempengaruhi kategori secara signifikan. Data pengukuran dari 30 sampel dapat dilihat pada table 2 dibawah.

Tabel 2. Akurasi Perhitungan Panjang dan Kategori

| Citra | Panjang <i>Real</i> (cm) | Panjang Sistem (cm) | Kategori | Error (%) |
|--|--------------------------|---------------------|----------|-----------|
| 1 | 9 | 9.2 | B | 2.17 |
| 2 | 5.9 | 6 | S | 1.67 |
| 3 | 9 | 8.9 | B | 1.12 |
| 4 | 11.8 | 12.1 | B | 2.48 |
| 5 | 9.4 | 9.5 | B | 1.05 |
| 6 | 12.2 | 12 | B | 1.67 |
| 7 | 9.3 | 9.2 | S | 1.09 |
| 8 | 10.7 | 10.3 | B | 3.88 |
| 9 | 9.6 | 9.7 | S | 1.03 |
| 10 | 2 | 2.4 | K | 16.67 |
| 11 | 11.1 | 10.8 | B | 2.78 |
| 12 | 7.2 | 7 | S | 2.86 |
| 13 | 5.9 | 6.2 | S | 4.84 |
| 14 | 8.7 | 8.8 | B | 1.14 |
| 15 | 6.1 | 6.2 | S | 1.61 |
| 16 | 6.3 | 6.2 | S | 1.61 |
| 17 | 13.4 | 13.1 | B | 2.29 |
| 18 | 12.8 | 12.9 | B | 0.78 |
| 19 | 9.6 | 9.9 | B | 3.03 |
| 20 | 6.3 | 6.2 | K | 1.61 |
| 21 | 10.2 | 10 | S | 2.00 |
| 22 | 14.1 | 13.8 | B | 2.17 |
| 23 | 5.5 | 5.9 | K | 6.78 |
| 24 | 3.2 | 3.6 | K | 11.11 |
| 25 | 7.6 | 7.7 | S | 1.30 |
| 26 | 8.8 | 8.3 | S | 6.02 |
| 27 | 11 | 11.2 | B | 1.79 |
| 28 | 12.4 | 12.3 | B | 0.81 |
| 29 | 3.7 | 3.6 | K | 2.78 |
| 30 | 9.2 | 9.2 | B | 8.90 |
| Error Rata-Rata (%) | | | | 3.3 |
| Akurasi Kategori $((30-14)/30*100\%)$ | | | | 53.3 |
| Akurasi Panjang $(100\% - \text{Error Rata-rata})$ | | | | 96.7 |

V. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat menentukan panjang, lebar dan area udang menggunakan metode PPM dengan baik, sehingga proses sampling secara konvensional dapat dilakukan dengan cepat, serupa dan konstan. Hasil pengukuran panjang sebagai parameter

penentu kategori udang memiliki akurasi sebesar 96.7% dengan persentase akurasi pada penentuan kategori sebesar 53.3%. Perubahan kecil pada ukuran panjang udang dapat mempengaruhi pengkategorian secara signifikan. Pada proses akuisisi citra diperlukannya pencahayaan yang baik dan background yang berwarna gelap agar citra yang diperoleh mudah diproses, oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan untuk mengatasi batasan dari penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Muklis, "kaltara antaranews," 2020. [Online]. Available: <https://kaltara.antaranews.com/berita/473410/kaltara-sebagai-produsen-utama-udang-di-kalimantan>. [Accessed 16 February 2021].
- [2] Uno, "rakyatkaltara prokal," 2020. [Online]. Available: <https://rakyatkaltara.prokal.co/read/news/19358-black-tiger-jatuh-alihkan-permintaan-ke-udang-vaname.html>. [Accessed 16 February 2021].
- [3] Amri, K., Budi Daya Udang Vaname, Gramedia Pustaka Utama, 2013.
- [4] Putro, S, "Peran Mutu Dalam Menunjang Ekspor Udang Nasional.," *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, vol. 3, no. 1, pp. 1-6, 2008.
- [5] Caritasillah, S and Sutoko, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Ukuran Udang Vaname (Litopenaeus Vannamei) Dengan Metode Hitung Pixel (Pixel Count)," in *Prosiding Seminakel*, 2019.
- [6] Framita,R., Kuncoro, E and Purnomo,R.H., "Penggunaan Mikrokontroler Tipe Arduino Uno R3 Untuk Proses Pemutuan Udang Vanname (Litopenaeus vannamei) Berdasarkan Bobot," *Doctoral dissertation, Sriwijaya University*, 2017.
- [7] Sugianto, A, "Pemutuan Buah Cabai Merah Besar (Capsicum Annuum L.) Menggunakan Pengolahan Citra Digital Dan Jaringan Syaraf Tiruan," 2012.
- [8] Somantri, E.A., Darmawati and Astika, I "Identifikasi Mutu Fisik Beras Dengan Menggunakan Teknologi Pengolahan Citra Dan Jaringan Syaraf Tiruan (Identification of physical quality of rice by using technology image processing and artificial neural network)," *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, vol. 10, no. 2, pp. 95-103, 2017.
- [9] Sitorus, S. H., & Ristian, U., "Penerapan Metode Decision Tree Untuk Mengklasifikasikan Mutu Buah Jeruk Berdasarkan Fitur Warna Dan Ukuran.," vol. 9, no. 1, p. 11, 2021.
- [10] Al Rivan, M. E., & Sung, G. R., "Identifikasi Mutu Buah Pepaya California (Carica Papaya L.) Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan," *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*, vol. 10, no. 1, pp. 113-119, 2021.
- [11] Tomasevic, I., Tomovic, V., Ikoncic, P., Lorenzo Rodriguez, J. M., Barba, F. J., Djekic, I., Nastasijevic, I., Stajic, S., & Zivkovic, D., "Evaluation of poultry meat colour using computer vision system and colourimeter: Is there a difference?," *British Food Journal*, vol. 121, no. 5, pp. 1078-1087, 2019.
- [12] Zhang, D., Lillywhite, K. D., Lee, D.-J., & Tippetts, B. J., "Automatic shrimp shape grading using evolution constructed features.," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 100, pp. 116-122, 2014.
- [13] Thanasarn, N., Chaiprapat, S., Waiyakan, K., & Thongkaew, K., "Automated discrimination of deveined shrimps based on grayscale image parameters," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 42, no. 4, 2019.
- [14] Liu, Z., "Soft-shell Shrimp Recognition Based on an Improved AlexNet for Quality Evaluations," *Journal of Food Engineering*, vol. 266, 2020.
- [15] Ghasemi-Varnamkhashti, M., Goli, R., Forina, M., Mohtasebi, S. S., Shafiee, S., & Naderi-Boldaji, M., "Application of Image Analysis Combined with Computational Expert Approaches for Shrimp Freshness Evaluation," *International Journal of Food Properties*, vol. 19, no. 10, pp. 2202-2222, 2016.
- [16] Afrinanda, L., & Ilyas, I., "Perancangan Sistem Klasifikasi Udang Beracun Pada Jenis Udang Tenggek Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (K-NN).," *Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir*, vol. 6, no. 1, pp. 1-7, 2020.
- [17] Lin, H.-Y., Lee, H.-C., Ng, W.-L., Pai, J.-N., Chu, Y.-N., Liou, C.-H., Liao, K.-C., & Kuo, Y.-F., "Estimating shrimp body length using deep convolutional neural network," 2019.
- [18] Poonnoy, P., & Asavasanti, S., "Implementation of coupled pattern recognition and regression artificial neural networks for mass estimation of headless-shell-on shrimp with random postures," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 44, no. 8, 2019.
- [19] Jana, S., Parekh, R., & Sarkar, B., "De novo approach for automatic volume and mass estimation of fruits and vegetables," *Optik*, 2020.

PROBABILITAS DETEKSI DAN *FALSE ALARM* SEBAGAI KINERJA DETEKSI PADA RADAR *FULL-PHASED* MIMO

Mizar Ahmad Maulana¹, Syahfrizal Tahcfullloh²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹mizqrahmad3458@gmail.com

²syahfrizal@borneo.ac.id

Abstract—The Full-Phased MIMO (FPMIMO) radar uses overlapping subarrays with the same number of elements on both sides at transmit and receive (Tx-Rx). Simultaneous use of subarrays (W and X) for the total number of antennas in Tx-Rx, namely U and V , results in the advantages of this radar in beam pattern Tx-Rx gain, signal to interference plus noise ratio (SINR), maximum number of detections, virtual arrays, and detection performance. The detection performance of the radar is generally expressed in terms of detection and false alarm probabilities. In this paper, the two probabilities have been formulated and evaluated based on the signal threshold, the number of antennas in the Tx-Rx subarray, the variation of the SNR, and the variation of the false alarm probability. From the results obtained that the two radar probabilities are more effective and flexible than existing radars in terms of detection performance that adapts to target conditions and their environment. For the number of antennas in Tx-Rx with $U = V$ elements, the Tx-Rx subarray configuration ($W = 1$ and $X = 0.5V$) gives the best detection performance.

Keywords—false alarm, FPMIMO, detection performance, probability of detection, subarray.

Intisari—Radar Full-Phased MIMO (FPMIMO) menggunakan subarray yang saling overlap dengan jumlah elemen sama pada kedua sisi array baik di transmit dan receive (Tx-Rx). Pemanfaatan simultan subarray (W dan X) untuk jumlah total antena di Tx-Rx yaitu U dan V , menghasilkan keunggulan radar ini dalam beam pattern Tx-Rx gain, signal to interference plus noise ratio (SINR), jumlah maksimum deteksi, array virtual, dan kinerja deteksi. Kinerja deteksi radar umumnya disajikan dalam probabilitas deteksi dan false alarm. Pada makalah ini telah diformulasikan dan dievaluasi kedua probabilitas tersebut berdasarkan level ambang batas sinyal, jumlah antena di subarray Tx-Rx, variasi level SNR, dan variasi probabilitas false alarm. Dari hasil yang diperoleh bahwa kedua probabilitas radar tersebut lebih efektif dan fleksibel dibanding radar-radar yang sudah eksis terkait kinerja deteksi yang menyesuaikan terhadap kondisi target dan lingkungannya. Untuk jumlah antena di Tx-Rx dengan $U = V$ elemen maka diperoleh pada konfigurasi subarray Tx-Rx ($W = 1$ dan $X = 0,5V$) memberikan kinerja deteksi terbaik.

Kata Kunci—false alarm, FPMIMO, kinerja deteksi, probabilitas deteksi, subarray.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan radar multi antena untuk tujuan selain militer saat ini berkembang sangat pesat terutama di bidang sipil seperti radar *autonomous vehicular* [1], peralatan *scanning* kesehatan untuk deteksi tumor pada

tubuh [2], dll. Perkembangan terkini dari radar multi antena tersebut berupa radar *subarray* (SAR) dengan elemen antena yang berjumlah sama baik di sisi *transmit* (Tx) saja seperti pada studi [2], [3] dan di sisi *transmit-receive* (Tx-Rx) oleh studi [4]. Penggunaan SAR ini diketahui memiliki kelebihan-kelebihan secara simultan yaitu radar di satu sisi mampu memiliki gain koheren tinggi untuk deteksi target yang *signal to noise ratio* (SNR) lemah dan *radar cross section* (RCS) kecil serta di sisi yang lain mampu meningkatkan deteksi terhadap banyak target karena adanya kemampuan untuk *diversity waveform* [4]. Dampak positif lain dari metode SAR bagi radar antara lain adanya peningkatan gain *beam pattern* pada Tx-Rx, kemampuan meminimalisasi pengaruh interferensi dengan capaian SINR tinggi, jumlah target terdeteksi maksimum, ukuran *array* virtual besar, kinerja deteksi, fungsi ambiguitas, dan fleksibilitas konfigurasi dari radar ke kondisi khusus seperti radar dengan satu SAR yang bertindak sebagai radar *phased-array* (PHA) dan radar dengan SAR satu elemen yang bertindak sebagai radar MIMO [4].

Pada beberapa penelitian sebelumnya telah dibahas terkait kinerja deteksi pada radar SAR seperti yang telah dilakukan [2], [3] untuk radar SAR MIMO pada sisi Tx sedangkan [4] untuk radar SAR di sisi Tx-Rx. Pada studi [2], kinerja deteksi untuk probabilitas deteksi (PD) dan probabilitas *false alarm* (PFA) ditentukan berdasarkan kriteria *Neyman-Pearson* (NP) dengan *waveform* berupa kode *Barker* yang targetnya berfluktuasi mengikuti mode *Swerling*. Sementara kinerja deteksi pada studi oleh [3] menggunakan *likelihood ratio test* (LRT) juga berdasarkan kriteria NP dengan memanfaatkan variabel sinyal dan *noise* berdistribusi *chi-square*. Untuk kinerja deteksi pada studi [4] diperoleh PD dan PFA berdasarkan radar SAR di Tx-Rx menggunakan kriteria NP dengan variabel sinyal dan *noise* berdistribusi eksponensial.

Kinerja deteksi sangat ditentukan oleh penentuan ambang batas tegangan (*threshold* (TH)) atau daya sinyal karena dapat mempengaruhi kondisi *false alarm rate* [5] dimana jika TH terlalu rendah akan mengakibatkan naiknya probabilitas mis-deteksi (PMD) namun jika terlalu tinggi akan mengakibatkan naiknya PFA. Berdasarkan penelitian [4] dan [5], nilai TH berkisar 30 dari tegangan sinyal untuk nilai PFR sekitar 10^{-4} . Begitu juga pengaruh SNR masukan bagi penentuan PD turut menjadi perhatian pada makalah ini karena untuk SAR berelemen banyak atau jumlah SAR kecil maka nilai PD semakin tinggi [4]-[5]. Hal ini bisa diartikan bahwa pada jumlah SAR kecil memiliki gain koheren atau gain

perarahan (*direction gain*) yang lebih fokus sehingga berdampak pada tingginya SNR dan PD. Hal sebaliknya terjadi untuk radar dengan jumlah SAR banyak karena gain koherennya rendah maka PD juga menurun. Pada radar yang menggunakan SAR akan terlihat kemampuan fleksibilitas jumlah SAR yang mengikuti kondisi target yang dideteksi.

Pada makalah ini akan diformulasikan dan dievaluasi kinerja deteksi seperti PD dan PFA berdasarkan radar dengan SAR di Tx-Rx yang belum disajikan pada penelitian yang telah diuraikan sebelumnya [2]-[4] yaitu berdasarkan kriteria NP dengan variabel sinyal dan *noise* berdistribusi *chi-square*. Dengan demikian makalah ini akan menyajikan PD dan PFA yang dipengaruhi oleh level TH sinyal, jumlah antena di SAR Tx-Rx, variasi level SNR, dan PD dengan variasi PFA.

II. MODEL SINYAL RADAR FPMIMO

Untuk radar FPMIMO telah diteliti oleh [4] dimana terdapat SAR pada Tx-Rx. Bila terdapat total antena di Tx dan Rx yang selokasi berturut-turut yaitu U dan V antena dengan rentang jumlah SAR di Tx dan Rx berturut-turut adalah $1 \leq W \leq U$ dan $1 \leq X \leq V$ dimana SAR di Tx-Rx adalah W dan X . Spasi antar elemen antena di Tx dan Rx masing-masing adalah d_{Tx} dan d_{Rx} yang umumnya berukuran setengah panjang gelombang dari frekuensi kerja radar. Jumlah elemen SAR baik W dan X masing-masing ditentukan oleh $U_W = U - W + 1$ dan $V_X = V - X + 1$. Kondisi sinyal yang ditransmisikan oleh radar menuju target dan kembali diterima radar bersifat tanpa dispersif serta memiliki lebar bidang frekuensi yang sempit maka sinyal vektor $X \times 1$ yang diterima dinyatakan dengan

$$\mathbf{y}(t) = \gamma \sum_{i=1}^I \sigma_i(\theta_i) [\mathbf{I}(\theta_i) \circ \mathbf{m}(\theta_i)] [\mathbf{j}(\theta_i) \circ \mathbf{k}(\theta_i)]^T \Phi(t) + \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

dengan

$$\mathbf{j}(\theta) = [\mathbf{a}_1^H \mathbf{c}_1(\theta) \quad \dots \quad \mathbf{a}_W^H \mathbf{c}_W(\theta)]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{c}(\theta) = [1 \quad \dots \quad e^{-j2\pi(U-1)d_{Tx} \sin(\theta)/\lambda}]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{k}(\theta) = [e^{-j2\pi f \mu_1(\theta)} \quad \dots \quad e^{-j2\pi f \mu_W(\theta)}]^T \quad (4)$$

$$\mathbf{l}(\theta) = [\mathbf{b}_1^H \mathbf{d}_1(\theta) \quad \dots \quad \mathbf{b}_X^H \mathbf{d}_X(\theta)]^T \quad (5)$$

$$\mathbf{d}(\theta) = [1 \quad \dots \quad e^{-j2\pi(V-1)d_{Rx} \sin(\theta)/\lambda}]^T \quad (6)$$

$$\mathbf{m}(\theta) = [e^{-j2\pi f \mu_1(\theta)} \quad \dots \quad e^{-j2\pi f \mu_X(\theta)}]^T \quad (7)$$

dimana γ adalah $(U/W)^{0.5}$, jumlah target $i = 1, 2, \dots, I$, $\sigma(\theta)$ sebagai koefisien pantulan pada target θ yang diterima radar yang sebanding dengan RCS, vektor koheren dan direktivitas radar masing-masing dinyatakan dengan $\mathbf{j}(\theta)$ dan $\mathbf{k}(\theta)$ berdimensi $W \times 1$ pada antena Tx dan $\mathbf{l}(\theta)$ dan $\mathbf{m}(\theta)$ pada antena Rx berdimensi $X \times 1$. $\mathbf{c}(\theta)$ dan $\mathbf{d}(\theta)$

masing-masing adalah vektor *steering* pada Tx dan Rx. Untuk vektor bobot SAR di Tx dan Rx dinyatakan dengan \mathbf{a} dan \mathbf{b} . Operator transpose *Hermitian*, perkalian *Hadamard*, dan transpose dinyatakan berturut-turut dengan $(\cdot)^H$, “ \circ ”, dan $(\cdot)^T$. Jika frekuensi kerja radar f maka panjang gelombang-nya dinyatakan dengan λ . Sedangkan $\Phi(t)$ adalah *waveform* untuk SAR yang ditransmisikan dimana $\Phi(t) = [\phi_1(t) \quad \phi_2(t) \quad \dots \quad \phi_W(t)]^T$ dan $\mathbf{n}(t)$ merupakan vektor *noise* yang bersifat *white Gaussian* berdimensi $X \times 1$.

Setelah diumpangkan pada suatu *match filter* untuk W *waveform* maka pada sinyal (1) berubah menjadi vektor data sinyal berdimensi $WX \times 1$ yaitu

$$\mathbf{y} = \gamma \sigma \text{kron}\{[\mathbf{j}(\theta) \circ \mathbf{k}(\theta)][\mathbf{l}(\theta) \circ \mathbf{m}(\theta)]\} + \mathbf{n} \quad (8)$$

dimana $\text{kron}\{\cdot\}$ adalah operator perkalian *Kronecker*.

Tampak dari sinyal vektor yang diterima (8) terdapat perbedaan dengan studi [3]. Perbedaan tersebut adalah adanya SAR di Rx sehingga terbentuk vektor koheren dan vektor diversifitas yang berpotensi dalam penambahan *degree of freedom* (DoF) pada fleksibilitas jumlah SAR. Hal inilah yang serius diamati pada formulasi dan evaluasi kinerja deteksi radar FPMIMO khususnya untuk PD dan PFA.

III. KINERJA DETEKSI RADAR FPMIMO

Pada bab ini akan disajikan tahapan dalam formulasi kinerja deteksi radar FPMIMO berdasarkan kriteria NP dengan pendekatan distribusi sinyal dan *noise* berupa distribusi *chi-square* dimana sinyal dan *noise* berdasarkan pada (8). Berdasarkan kriteria NP maka uji hipotesis biner dari radar ini dapat diformulasikan dengan

$$\mathbf{y} = \begin{matrix} \mathbf{n} & H_0 \\ \gamma \sigma \text{kron}\{[\mathbf{j}(\theta) \circ \mathbf{k}(\theta)][\mathbf{l}(\theta) \circ \mathbf{m}(\theta)]\} + \mathbf{n} & H_1 \end{matrix} \quad (9)$$

dimana H_0 dan H_1 masing-masing adalah hipotesis bahwa pada \mathbf{y} hanya terdapat *noise* dan hipotesis pada \mathbf{y} terdapat sinyal dan *noise*. Untuk *noise* dan $\text{kron}\{[\mathbf{j}(\theta) \circ \mathbf{k}(\theta)][\mathbf{l}(\theta) \circ \mathbf{m}(\theta)]\}$ merupakan variabel acak dengan rerata nol dan varians berturut-turut $\sigma_n^2 \mathbf{I}_{WX}$ dan $\sigma_i^2 \mathbf{I}_{WX}$.

Berdasarkan pendekatan distribusi dari sinyal dan *noise* yaitu berdistribusi variabel acak *chi-square* ($\chi^2_{(\text{DoF})}$) maka uji statistik dari permasalahan deteksi pada (9) menjadi

$$\begin{aligned} & \|\mathbf{y}\|^2 \\ &= \frac{U_W V_X W X \sigma_n^2}{2} \chi^2_{(2WX)} \quad H_0 \quad (10) \\ &= \frac{\gamma^2 U_W^2 V_X^2 W^2 X^2 \sigma_i^2}{2} \chi^2_{(2WX)} + \frac{U_W V_X W X \sigma_n^2}{2} \chi^2_{(2WX)} \quad H_1 \end{aligned}$$

Melalui (10) dapat diturunkan ekspresi dari PD, PFA, dan TH dimana ketiganya memiliki relasi satu ke satu. PFA untuk radar FPMIMO dinyatakan dengan ekspresi

$$\begin{aligned}
& \text{PFA} \\
& = P\left(\frac{U_W V_X W X \sigma_n^2}{2} \chi_{(2WX)}^2 > \text{TH}\right) \\
& = P\left(\chi_{(2WX)}^2 > \frac{2\text{TH}}{U_W V_X W X \sigma_n^2}\right) \\
& = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left(\frac{2\text{TH}}{U_W V_X W X \sigma_n^2}\right)
\end{aligned} \quad (11)$$

dimana $P(\cdot)$ adalah probabilitas suatu fungsi, $F_{\chi^2(\text{DoF})}$ dan $F^{-1}_{\chi^2(\text{DoF})}$ berturut-turut adalah fungsi distribusi kumulatif (*cumulative distribution function*, cdf) *chi-square* dan invers-nya.

Melalui (11) dapat diturunkan ekspresi untuk TH yaitu

$$\text{TH} = \frac{U_W V_X W X \sigma_n^2}{2} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA}) \quad (12)$$

Ekspresi untuk PD dinyatakan dengan

$$\begin{aligned}
& \text{PD} \\
& = P\left(\frac{\gamma^2 U_W^2 V_X^2 W^2 X^2 \sigma_i^2}{2} \chi_{(2WX)}^2 + \frac{U_W V_X W X \sigma_n^2}{2} \chi_{(2WX)}^2 > \text{TH}\right) \\
& = P\left(\chi_{(2WX)}^2 > \frac{2\text{TH}}{\gamma^2 U_W^2 V_X^2 W^2 X^2 \sigma_i^2 + U_W V_X W X \sigma_n^2}\right) \\
& = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left(\frac{2\text{TH}}{\gamma^2 U_W^2 V_X^2 W^2 X^2 \sigma_i^2 + U_W V_X W X \sigma_n^2}\right)
\end{aligned} \quad (13)$$

Terakhir adalah substitusi (12) ke (13) akan menjadi

$$\text{PD} = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left[\frac{\sigma_n^2}{\gamma^2 U_W V_X W X \sigma_i^2 + \sigma_n^2} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA})\right] \quad (14)$$

Jika diketahui daya-daya dari sinyal target dan *noise* berturut-turut adalah σ_i^2 dan σ_n^2 dan SNR dapat ditentukan dari σ_i^2/σ_n^2 maka (14) dapat disederhanakan menjadi

$$\text{PD} = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left[\frac{1}{\gamma^2 U_W V_X W X (\text{SNR}) + 1} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA})\right] \quad (15)$$

Tampak pada (15) yang merupakan kontribusi dari makalah ini. Sebagai validasi bahwa radar FPMIMO merupakan bentuk umum dari radar lainnya seperti radar PHA, MIMO, dan *Phased*-MIMO (PMIMO) [3] maka berikut diberikan analisis PD dan PFA untuk radar-radar tersebut mengikuti kondisi SAR yang diimplementasikan ke (15). Untuk radar PMIMO memiliki SAR di Tx yaitu $1 \leq W \leq U$ dan SAR di Rx $X = V$ maka PFA, TH, dan PD dari (11), (12), dan (15) akan menjadi

$$\text{PFA}_{\text{PMIMO}} = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left(\frac{2\text{TH}_{\text{PMIMO}}}{U_W W V \sigma_n^2}\right) \quad (16)$$

$$\text{TH}_{\text{PMIMO}} = \frac{U_W W V \sigma_n^2}{2} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA}_{\text{PMIMO}}) \quad (17)$$

$$\begin{aligned}
& \text{PD}_{\text{PMIMO}} \\
& = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left[\frac{1}{\gamma^2 U_W W V (\text{SNR}) + 1} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA}_{\text{PMIMO}})\right]
\end{aligned} \quad (18)$$

Tampak bahwa ekspresi untuk PFA, TH, dan PD dari radar PMIMO pada (16)-(18) sejalan yang dinyatakan oleh studi [3] dengan sedikit modifikasi variabel.

Untuk radar MIMO memiliki SAR di Tx yaitu $W = U$ dan SAR di Rx $X = V$ maka PFA, TH, dan PD dari (11), (12), dan (15) akan menjadi

$$\text{PFA}_{\text{MIMO}} = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left(\frac{2\text{TH}_{\text{MIMO}}}{U V \sigma_n^2}\right) \quad (19)$$

$$\text{TH}_{\text{MIMO}} = \frac{U V \sigma_n^2}{2} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA}_{\text{MIMO}}) \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
& \text{PD}_{\text{MIMO}} \\
& = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left[\frac{1}{U V (\text{SNR}) + 1} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA}_{\text{MIMO}})\right]
\end{aligned} \quad (21)$$

Sementara untuk radar PHA memiliki SAR di Tx yaitu $W = 1$ dan SAR di Rx $X = V$ maka PFA, TH, dan PD dari (11), (12), dan (15) akan menjadi

$$\text{PFA}_{\text{PHA}} = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left(\frac{2\text{TH}_{\text{PHA}}}{U V \sigma_n^2}\right) \quad (22)$$

$$\text{TH}_{\text{PHA}} = \frac{U V \sigma_n^2}{2} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA}_{\text{PHA}}) \quad (23)$$

$$\text{PD}_{\text{PHA}} = 1 - F_{\chi_{(2WX)}^2}\left[\frac{1}{U^2 V (\text{SNR}) + 1} F_{\chi_{(2WX)}^2}^{-1}(1 - \text{PFA}_{\text{PHA}})\right] \quad (24)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah diformulasikan PD, PFA, dan TH dari radar FPMIMO seperti pada (15), (11), dan (12) maka tahap selanjutnya adalah mengevaluasinya terhadap beberapa faktor antara lain: nilai ambang batas (TH), variasi level SNR, variasi PFA, dan variasi jumlah SAR di TX-Rx. Untuk menguji keefektifannya maka dibandingkan dengan kinerja deteksi radar-radar yang sudah eksis seperti radar PHA dengan (22)-(24), radar MIMO dengan (19)-(21), dan radar PMIMO dengan (16)-(18). Bila diasumsikan radar FPMIMO memiliki $U = V = 10$ elemen antena dengan spasi antar elemen setengah panjang gelombang dari frekuensi kerja maka akan dihasilkan rentang jumlah SAR di Tx dan Rx masing-masing $1 \leq W \leq 10$ dan $1 \leq X \leq 10$. Kondisi jumlah SAR untuk radar PHA adalah $W = 1$ dan $X = 10$, radar MIMO adalah $W = 10$ dan $X = 10$, dan radar PMIMO adalah $1 \leq W \leq 10$ dan $X = 10$.

A. Nilai Ambang Batas

Telah diketahui bahwa TH ditentukan sedemikian rupa agar dapat memberikan rekomendasi nilai PFA karena jika terlalu rendah akan mengakibatkan besarnya PMD dan jika terlalu tinggi akan mengakibatkan besarnya PFA. Terlebih jika terdapat *jamming* atau interferensi maka akan berdampak pada penentuan PFA [6]. Dari hubungan satu ke satu antara TH, PFA, dan PD tampak bahwa penentuan TH berakibat langsung terhadap PFA dan PD. Jika diasumsikan diberikan σ_i^2 dan σ_n^2 berturut-turut yaitu 1 dan 0,1 maka diperoleh SNR sebesar 10 dB. Untuk rentang TH diberikan 0-30 maka hasil evaluasi dari kinerja PFA terhadap TH disajikan pada Gambar 1. Tampak dari Gambar 1 bahwa semakin naik TH maka PFA akan turun. Radar PHA ($W = 1, X = 10$) dan radar MIMO ($W = 10, X = 10$) memberikan PFA terkecil untuk naiknya nilai TH. Untuk radar FPMIMO dengan kondisi jumlah SAR di TX besar dan SAR di Rx kecil seperti ($W = 7, X = 2$) maka nilai PFA lebih cepat menurun dibanding kondisi SAR di Tx-Rx ($W = 3, X = 8$). Terlihat juga bahwa untuk mencapai PFA 10^{-4} maka dibutuhkan TH lebih dari 35. Hal ini mendukung penelitian [3] tentang nilai PFA diatas 30 agar tercapai PFA sebesar 10^{-4} . Pada saat TH bernilai 30 maka PFA dari radar PHA ($W = 1, X = 10$), MIMO ($W = 10, X = 10$), PMIMO ($W = 5, X = 10$), FPMIMO ($W = 3, X = 8$), dan FPMIMO ($W = 7, X = 2$) berturut-turut adalah 0,0498; 0,0498; 0,3679; 0,5940; dan 0,5514.

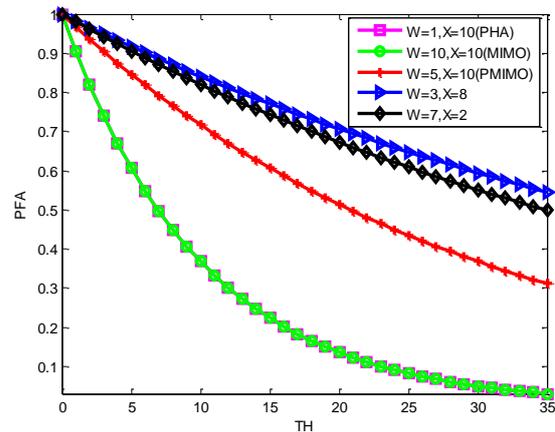
Untuk kinerja PD terhadap TH disajikan pada Gambar 2. Tampak dari Gambar 2 bahwa secara umum pada TH bernilai 30 maka semua radar memberikan PD diatas 0,997. Kinerja PD yang lebih superior adalah radar FPMIMO ($W = 3, X = 8$) dengan PD sebesar 1 dibanding radar-radar yang lain terutama untuk konfigurasi ($W = 7, X = 2$) yang memiliki PD sebesar 0,999. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah SAR di Tx dan Rx keduanya kecil berpotensi memberikan PD terbesar. Penentuan nilai PD sangat bergantung pada nilai PFA. PD pada Gambar 2 ditentukan dari PFA bernilai 10^{-4} dan TH lebih besar 30 sehingga hasil PD tersebut sejalan dengan studi [3].

B. Variasi Level SNR

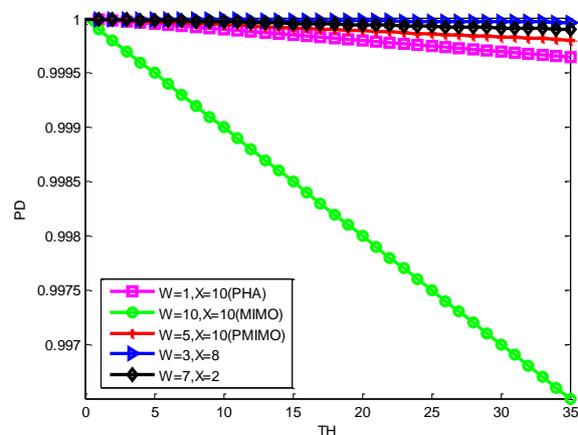
Nilai SNR ditentukan dari rasio antara daya sinyal pantulan target yang diterima antena Rx terhadap daya *noise* di Rx. Sehingga radar yang memiliki kinerja terbaik haruslah mampu menerima sinyal pantulan tersebut walaupun memiliki SNR rendah atau sangat lemah. Pada radar FPMIMO dimana kedua array di Tx dan Rx menggunakan SAR berpotensi meningkatkan kemampuan deteksi terhadap SNR yang lemah karena adanya penggunaan SAR dimana menurut hasil investigasi oleh [7] bahwa metode SAR yaitu konfigurasi hibrid antara PHA dan MIMO bisa meningkatkan kemampuan kinerja deteksi terutama PD. Untuk konfigurasi radar-radar serupa pada percobaan sebelumnya, PFA sebesar 10^{-4} , dan rentang SNR -20 dB - +20 dB sehingga hasil evaluasi PD tampak pada Gambar 3.

Tampak pada Gambar 3 bahwa kinerja PD radar FPMIMO ($W = 3, X = 8$) lebih superior dibanding kinerja PD radar-radar lainnya terutama untuk SNR rendah. Kemudian diikuti kinerja PD dari radar PHA dimana hal ini sejalan dengan hasil studi [3] dimana saat SNR rendah

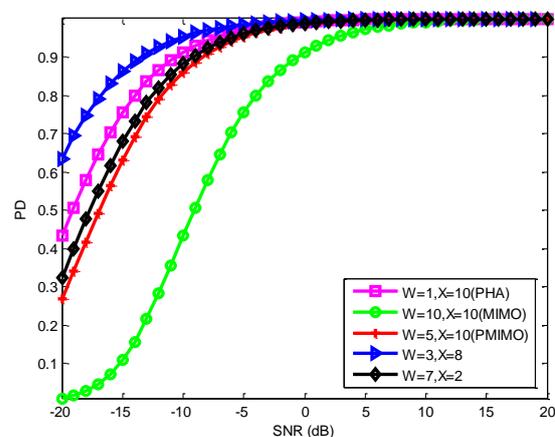
kinerja tersebut lebih baik dari kinerja radar MIMO. Secara umum ketika SNR diatas 10 dB maka PD diatas 99%. Tampak bahwa pengaturan jumlah SAR di Tx dan Rx mempengaruhi PD sehingga memungkinkan adanya optimalisasi PD untuk jumlah SAR di Tx dan Rx dengan jumlah tertentu.



Gambar 1. Kinerja PFA terhadap TH untuk semua konfigurasi radar.



Gambar 2. Kinerja PD terhadap TH untuk semua konfigurasi radar.



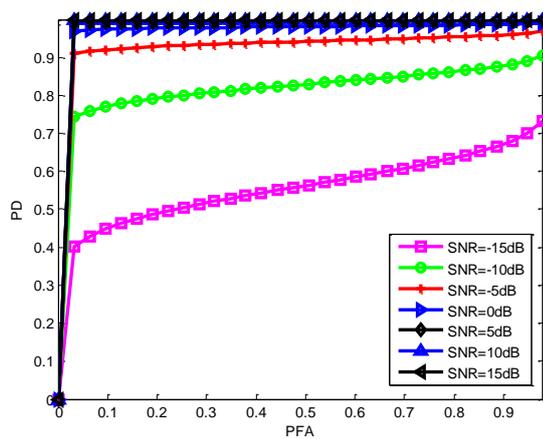
Gambar 3. Kinerja PD terhadap SNR untuk semua jenis radar.

Penggunaan SAR di Tx dan Rx pada radar FPMIMO juga menguatkan hasil studi [7] dan [8] dimana radar ini

mampu mendeteksi target walaupun level SNR rendah. Sebagai contoh untuk SNR 10 dB maka kinerja PD pada radar PHA ($W = 1, X = 10$), MIMO ($W = 10, X = 10$), PMIMO ($W = 5, X = 10$), FPMIMO ($W = 3, X = 8$), dan FPMIMO ($W = 7, X = 2$) berturut-turut adalah 0,9991; 0,9908; 0,9985; 0,9995; dan 0,9987.

C. Variasi PFA

Telah diketahui bahwa nilai PFA sangat mendikte nilai kinerja PD suatu radar. Khusus untuk radar FPMIMO dengan ($W = 7, X = 2$) pada Gambar 4 diperlihatkan kinerja PD terhadap PFA untuk variasi SNR yaitu $\{-15$ dB, -10 dB, -5 dB, 0 dB, $+5$ dB, $+10$ dB, $+15$ dB $\}$. Tampak bahwa untuk SNR lebih besar dari 10 dB maka kinerja PD memberikan nilai diatas 0,95% dengan PFA lebih besar 10^{-3} . Hal ini mendukung percobaan sebelumnya pada subbab B Variasi Level SNR dimana penentuan PD diatas 0,99% diberikan pada PFA bernilai 10^{-4} yang menunjukkan SNR diatas 10 dB.



Gambar 4. Kinerja PD terhadap PFA untuk variasi SNR pada radar FPMIMO.

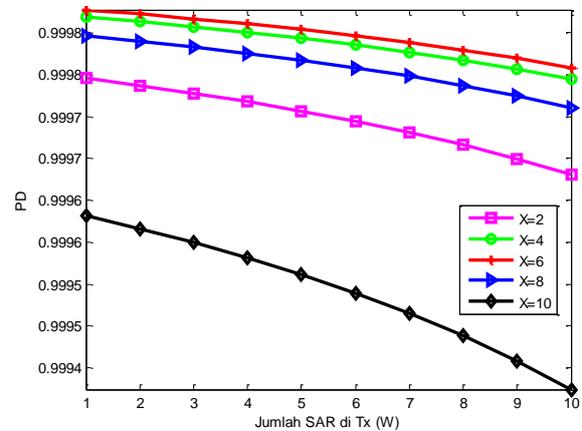
D. Variasi Jumlah SAR di Tx-Rx

Sebagai eksperimen evaluasi terakhir di makalah ini yaitu untuk memperlihatkan pengaruh jumlah SAR di Tx dan Rx terhadap kinerja PD. Serupa kondisinya dengan percobaan sebelumnya yaitu kinerja PD terhadap jumlah SAR di Tx dengan variasi X untuk $X = \{2, 4, 6, 8, 10\}$ dan kinerja PD terhadap jumlah SAR di Rx dengan variasi W untuk $W = \{2, 4, 6, 8, 10\}$ untuk PFA bernilai 10^{-4} dan SNR 10 dB berturut-turut ditampilkan pada Gambar 5(a) dan 5(b).

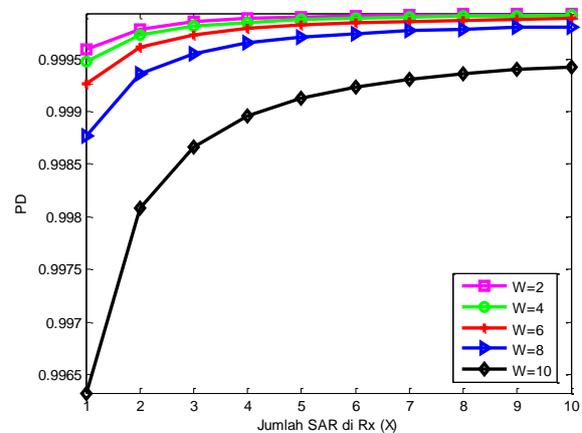
Pada Gambar 5(a) bahwa PD akan turun jika bertambah jumlah dari SAR di Tx yaitu W namun nilai PD diatas 0,9994 untuk $W = 10$. Tampak bahwa jika antena array di Tx-Rx ada 10 elemen maka nilai PD akan optimum jika jumlah SAR di Rx sekitar $X = 5$ dan $X = 6$ atau ukuran X separuh dari jumlah total antena Tx yaitu U (lihat Gambar 5(a) untuk kurva dengan garis tanda “+” berwarna merah). Sebagai contoh jika jumlah SAR di Tx yaitu $W = 5$ maka kinerja PD untuk variasi $X = \{2, 4, 6, 8, 10\}$ berturut-turut adalah $\{0,9998; 0,9998; 0,9999; 0,9998; 0,9996\}$.

Terlihat pada Gambar 5(b) bahwa PD cenderung naik dengan bertambahnya jumlah dari SAR di Rx yaitu X

dimana nilai PD diatas 0,9963 untuk $X = 1$. Tampak bahwa jika antena array di Tx-Rx ada 10 elemen maka nilai PD akan optimum jika jumlah SAR di Tx sekitar $W = 2$ (lihat Gambar 5(b) untuk kurva dengan garis tanda “□” berwarna merah muda) atau W yang kecil. Sebagai contoh jika jumlah SAR di Rx yaitu $X = 5$ maka kinerja PD untuk variasi $W = \{2, 4, 6, 8, 10\}$ berturut-turut adalah $\{0,9999; 0,9999; 0,9998; 0,9997; 0,9991\}$.



(a)



(b)

Gambar 5. Kinerja PD terhadap jumlah SAR: (a) sisi Tx dengan variasi $X = \{2, 4, 6, 8, 10\}$ dan (b) sisi Rx dengan variasi $W = \{2, 4, 6, 8, 10\}$.

V. KESIMPULAN

Kinerja deteksi baik PD, PFA, dan TH dari radar FPMIMO telah berhasil diformulasikan dan dievaluasi dimana telah juga divalidasikan menjadi konfigurasi radar-radar yang sudah eksis sebelumnya yaitu ($W = 1, X = 10$), ($W = 10, X = 10$), dan ($W = 5, X = 10$) berturut-turut sebagai radar PHA, MIMO, dan PMIMO. Hasil evaluasi kinerja deteksi dari radar ini menunjukkan bahwa terdapat relasi yang erat antara TH, PFA, dan PD dimana umumnya PD diatas 0,9997 untuk PFA bernilai 10^{-4} dan TH diatas 30. Untuk pengaruh SNR maka dengan adanya variasi jumlah SAR di Tx dan Rx maka kinerja deteksi tetap bekerja untuk SNR rendah. Untuk SNR diatas 10 dB akan memberikan kinerja deteksi radar tersebut diatas 99%. Terakhir, kinerja deteksi untuk variasi jumlah SAR

di Tx-Rx pada radar ini optimum jika $W = 1$ dan $X = 0,5V$ untuk kondisi jumlah elemen antena $U = V$. Kemampuan dalam pengaturan jumlah SAR di Tx-Rx ini kedepannya bisa menjadi salah satu strategi yang tepat untuk desain radar multiantena yang mampu mendeteksi target dengan resolusi tinggi biarpun level SNR dari sinyal pantul rendah.

REFERENSI

- [1] A. Sharma, S. Chaudhary, J. Malhotra, S. Khichar, and L. Wuttisittikulkiij, "Photonic sensor for multiple targets detection under adverse weather conditions in autonomous vehicles," *J. Sens. Actuator Netw.*, vol. 11, no. 60, pp. 1-15, 2022. <https://doi.org/10.3390/jsan11040060>
- [2] A. Taparugssanagorn, S. Siwamogsatham, and C. Pomalaza-Ráez, "Breast cancer nodes detection using ultrasonic microscale subarrayed MIMO radara," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2016, Article ID 1382960, pp. 1-6, 2016. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1382960>
- [3] S. Tahcfulloh, "Phased-MIMO antenna arrays of radar system in detection performance," in *Proc. Int. Conf. Commun. Networks Satellite*, Batam, Indonesia, 2020, pp. 117-120. <https://doi.org/10.1109/Commnetsat50391.2020.9328962>
- [4] S. Tahcfulloh and G. Hendratoro, "FPMIMO: a general MIMO structure with overlapping subarrays for various radar applications," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 11248-11267, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965192>
- [5] E. Fishler, A. Haimovich, R. S. Blum, L. J. Cimini, D. Chizhik, and R. A. Valenzuela, "Spatial diversity in radars-models and detection performance," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 54, no. 3, pp. 823-838, Mar. 2006. <https://doi.org/10.1109/TSP.2005.862813>
- [6] X. Chen, M. Hu, and S. Lu, "Modelling and analysis of constant false alarm rate performance in presence of jamming environments," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2022, Article ID 3780252, pp. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3780252>
- [7] C. Qi, J. Xie, H. Zhang, Z. Ding, and X. Yang, "Optimal configuration of array elements for hybrid distributed PA-MIMO radar system based on target detection," *Remote Sens.*, 2022, 14, 4129, pp. 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs14174129>
- [8] Y. Liu, Y. Ma, and H. Jing, "Detection performance analysis of the standard FDA and FDA-MIMO radar in the gaussian background," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2021, Article ID 6001513, pp. 1-11, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6001513>

UNIT COMMITMENT DENGAN INTEGRASI PUMP STORAGE HYDROELECTRICITY UNTUK MENGATASI MASALAH DUCK CURVE

Patria Julianto¹

¹Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹e-mail: patria@borneo.ac.id

Abstract—The increase in PV penetration has a negative side that needs to be anticipated as early as possible PV that can only operate during the day causes a decrease in load demand. On the contrary, at night, when the PV is not operating causes an increase in load demand. The phenomena will change the thermal generator's daily loading pattern and create the duck curve. In the duck curve, the gap between the load demand in the peak load period and the period outside the peak load is very large, so the operation of the electric power system becomes inefficient due to the low daytime and high nighttime operation of the plant. In this operating pattern, many generators will be turned off or operating with low loads during the day. Many thermal generators will be turned on or operating with high loads at night. The plant operates not optimally, efficiency decreases and generation costs will increase. In this research, pump storage hydroelectricity is used (PSH) to solving the duck curve by balancing the daily load demand. Furthermore, to reduce the generation costs, unit commitment is used with the integration of PV and PSH. The mixed integer programming (MIP) on unit commitment is solved using the CPLEX Solver in the GAMS software.

Keywords—Duck curve, high PV penetration, pump storage hydroelectricity, unit commitment.

Intisari—Peningkatan penetrasi PV memiliki sisi negatif yang perlu diantisipasi sedini mungkin. PV yang hanya dapat beroperasi pada siang hari menyebabkan penurunan permintaan beban, sebaliknya pada malam hari ketika PV sudah tidak beroperasi menyebabkan peningkatan terhadap permintaan beban. Hal tersebut akan mengubah pola beban harian dan menghasilkan duck curve. Pada duck curve, celah antara permintaan beban pada periode beban puncak dan diluar beban puncak sangat besar sehingga pengoperasian sistem tenaga listrik menjadi tidak efisien yang disebabkan oleh pengoperasian pembangkit di siang hari yang rendah dan malam hari yang tinggi. Pada operasi tersebut akan banyak pembangkit yang dimatikan atau beroperasi dengan beban rendah pada siang hari dan akan banyak pembangkit termal yang dihidupkan atau beroperasi dengan beban tinggi pada malam hari. Sehingga pembangkit beroperasi tidak optimal, efisiensi turun dan biaya pembangkitan akan meningkat. Pada penelitian ini, pump storage hydroelectricity (PSH) digunakan untuk mengatasi duck curve dengan cara menyeimbangkan permintaan beban. Selanjutnya, untuk menghemat biaya pembangkitan digunakan unit commitment dengan integrasi PV dan PSH. Masalah mixed integer programming (MIP) pada unit commitment diselesaikan menggunakan CPLEX Solver yang terdapat pada software GAMS.

Kata Kunci—Duck curve, penetrasi PV tinggi, pump storage hydroelectricity, unit commitment.

I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, harga PV mengalami penurunan yang cukup signifikan, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan penetrasi PV di seluruh dunia [1]. Hal tersebut merupakan perkembangan yang positif bagi pemanfaatan pembangkit berbasis energi baru terbarukan (EBT). Namun demikian, perkembangan tersebut juga memiliki sisi negatif yang perlu diantisipasi sedini mungkin. PV yang hanya dapat menghasilkan energi listrik pada siang hari menyebabkan penurunan permintaan beban pada pembangkit termal, sebaliknya pada malam hari ketika PV sudah tidak dapat menghasilkan energi listrik lagi terjadi peningkatan terhadap permintaan beban pada pembangkit termal.

Pada siang hari baik pembangkit PV maupun konsumen dengan PV akan memaksimalkan PV sebagai sumber energi listrik utamanya, sehingga permintaan beban ke sistem tenaga listrik akan berkurang, sedangkan pada malam hari permintaan beban akan meningkat disebabkan pembangkit PV dan konsumen dengan PV sudah tidak dapat lagi memanfaatkan energi listrik dari PV. Hal tersebut akan menyebabkan perubahan pada kurva permintaan beban harian menjadi seperti bentuk bebek dan saat ini telah dikenal sebagai masalah *duck curve* (kurva bebek) [2]-[9].

Pada *duck curve*, celah antara permintaan beban pada periode beban puncak dan periode diluar beban puncak sangat besar sehingga pengoperasian sistem tenaga listrik menjadi tidak efisien yang disebabkan oleh pengoperasian pembangkit di siang hari yang rendah dan malam hari yang tinggi. Pada pola operasi tersebut akan banyak pembangkit yang dimatikan atau beroperasi dengan beban rendah pada siang hari dan akan banyak pembangkit termal yang dihidupkan atau beroperasi dengan beban tinggi pada malam hari. Sehingga pembangkit beroperasi tidak optimal, efisiensi turun dan biaya pembangkitan akan meningkat.

Kondisi tersebut mengakibatkan unit pembangkit termal lebih sering mengalami kondisi on-off sehingga meningkatkan start-up cost (SUC) dari unit pembangkit termal itu sendiri. Oleh sebab itu diperlukan operasi optimum berupa penjadwalan on-off dari unit pembangkit termal yang disebut dengan *unit commitment*. Metode ini bertujuan untuk mendapatkan sebuah kombinasi tertentu dari unit pembangkit termal dengan kapasitas yang cukup untuk menanggung permintaan beban dengan biaya produksi paling murah.

Pada penelitian ini, *pump storage hydroelectricity* (PSH) sebagai sistem penyimpanan energi listrik digunakan untuk mengatasi *duck curve* dengan cara menyeimbangkan permintaan beban harian. Pada siang hari, PSH akan menyerap kelebihan daya listrik pada sistem untuk mengisi air pada penyimpanannya sedangkan pada malam hari PSH akan mensuplai daya listrik dengan cara menggerakkan turbin air menggunakan air yang terdapat pada penyimpanannya. Dalam penelitian ini, untuk menghemat biaya pembangkitan dan biaya start-up pada pembangkit termal digunakan *unit commitment* dengan integrasi PV dan PSH. Selanjutnya masalah *mixed integer programming* (MIP) pada *unit commitment* diselesaikan menggunakan *Cplex Solver* yang terdapat pada software *General Algebraic Modeling System* (GAMS).

II. DATA SISTEM

A. Data Pembangkit

Spesifikasi pembangkit termal disajikan pada Tabel I dan II, sedangkan spesifikasi PSH dapat dilihat pada Tabel III.

Tabel I
Koefisien Biaya Pembangkit Termal

| Unit | Koefisien Biaya Bahan Bakar | | | Biaya Start-up |
|------|-----------------------------|-------|---------|----------------|
| | a | b | c | |
| 1 | 450 | 19.17 | 0.00398 | 1800 |
| 2 | 665 | 27.17 | 0.00068 | 250 |
| 3 | 670 | 27.79 | 0.00064 | 250 |
| 4 | 700 | 16.60 | 0.00083 | 250 |
| 5 | 370 | 22.26 | 0.00079 | 520 |
| 6 | 480 | 27.24 | 0.00200 | 1100 |
| 7 | 680 | 16.50 | 0.00085 | 450 |
| 8 | 480 | 27.24 | 0.00098 | 520 |
| 9 | 660 | 25.92 | 0.00220 | 200 |
| 10 | 460 | 26.92 | 0.00291 | 200 |

Tabel II
Kapasitas Pembangkit Termal

| Unit | Pmax (MW) | Pmin (MW) | Min. Up Time (Jam) | Min. Down Time (Jam) |
|------|-----------|-----------|--------------------|----------------------|
| 1 | 162 | 25 | 6 | 6 |
| 2 | 55 | 10 | 1 | 1 |
| 3 | 55 | 10 | 1 | 1 |
| 4 | 55 | 10 | 1 | 1 |
| 5 | 85 | 25 | 3 | 3 |
| 6 | 130 | 20 | 5 | 5 |
| 7 | 80 | 15 | 4 | 4 |
| 8 | 75 | 25 | 1 | 1 |
| 9 | 55 | 10 | 1 | 1 |
| 10 | 55 | 10 | 1 | 1 |

Tabel III
Spesifikasi PSH

| Parameter | PSH | | | |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Keluaran daya maks. (MW) | 60 | 48 | 48 | 36 |
| Energi maks. (MWh) | 518 | 415 | 415 | 311 |
| Efisiensi (%) | 85 | 85 | 85 | 85 |
| Minimum up time (jam) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Minimum down time (jam) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Biaya O&M (\$/MWh) | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |

B. Data Beban dan PV

Data beban selama 24 jam dapat dilihat pada Tabel IV dan dalam bentuk grafik sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan untuk rugi-rugi saluran diasumsikan sebesar 4,5%.

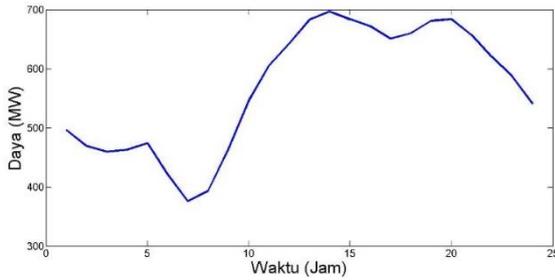
Sedangkan untuk data PV harian, pada penelitian ini menggunakan nilai rata-rata keluaran daya PV harian [10], [11] dan didistribusikan secara proporsional pada semua bus disetiap periode penjadwalan. Lokasi pemasangan PV dan kapasitasnya didistribusikan ke dalam empat area, seperti ditunjukkan pada Tabel V dan dalam bentuk grafik sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2. Selanjutnya, seperti dapat dilihat pada Gambar 3, keluaran daya PV akan membentuk *duck curve* sesuai dengan kapasitasnya. Semakin besar penetrasi PV, semakin signifikan masalah *duck curve*.

Tabel IV
Koefisien Biaya Pembangkit Termal

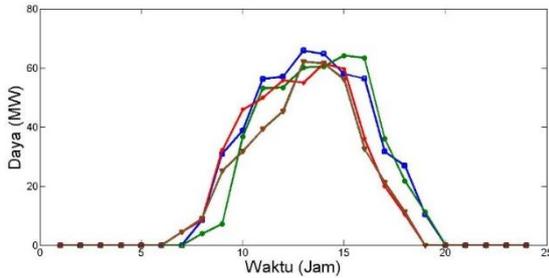
| Jam | Beban (MW) | Jam | Beban (MW) |
|-----|------------|-----|------------|
| 1 | 496.00 | 13 | 439.72 |
| 2 | 469.08 | 14 | 448.43 |
| 3 | 459.53 | 15 | 445.41 |
| 4 | 462.57 | 16 | 483.30 |
| 5 | 474.08 | 17 | 541.60 |
| 6 | 421.04 | 18 | 589.45 |
| 5 | 366.66 | 19 | 659.18 |
| 8 | 363.36 | 20 | 683.55 |
| 9 | 369.03 | 21 | 656.46 |
| 10 | 392.20 | 22 | 619.87 |
| 11 | 406.56 | 23 | 586.91 |
| 12 | 431.02 | 24 | 540.77 |

Tabel V
Keluaran Daya PV

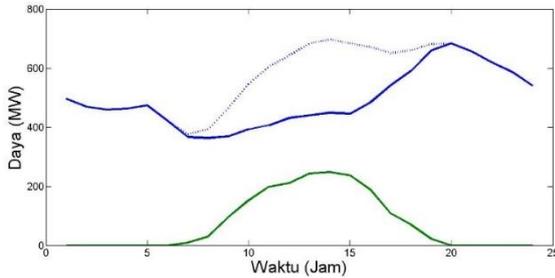
| Jam | PV | | | | Total |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 0.00 | 0.00 | 4.45 | 4.46 | 8.91 |
| 8 | 8.51 | 3.92 | 8.51 | 9.05 | 30.00 |
| 9 | 30.95 | 7.21 | 32.15 | 25.15 | 95.46 |
| 10 | 38.78 | 36.62 | 45.81 | 31.76 | 152.98 |
| 11 | 56.26 | 53.11 | 49.86 | 39.32 | 198.55 |
| 12 | 56.96 | 53.38 | 55.80 | 45.27 | 211.41 |
| 13 | 65.81 | 60.14 | 55.00 | 62.03 | 242.98 |
| 14 | 64.73 | 60.41 | 61.43 | 61.49 | 248.06 |
| 15 | 57.97 | 64.19 | 59.60 | 56.08 | 237.85 |
| 16 | 56.35 | 63.38 | 36.08 | 32.57 | 188.38 |
| 17 | 31.67 | 36.08 | 19.87 | 21.22 | 108.84 |
| 18 | 26.89 | 21.77 | 10.41 | 11.22 | 70.29 |
| 19 | 10.41 | 11.22 | 0.00 | 0.00 | 21.62 |
| 20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |



Gambar 1. Permintaan beban harian



Gambar 2. Keluaran daya PV



Gambar 3. Duck Curve

III. UNIT COMMITMENT DENGAN INTEGRASI PSH

Unit commitment merupakan proses untuk menentukan keputusan mendasar dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, yaitu menentukan jadwal pembangkitan energi listrik untuk setiap unit pembangkit dalam sistem sehingga permintaan beban dapat dipenuhi dengan biaya yang paling minimum [12]. Jadwal tersebut juga harus memastikan bahwa setiap unit pembangkit beroperasi dalam batasan teknisnya, yaitu: kapasitas keluaran, minimum up-time dan minimum down-time, variasi dari proses start-up, penggunaan bahan bakar dan kendala ramp.

Hasil dari *unit commitment* selanjutnya digunakan untuk proses *economic dispatch* untuk menentukan distribusi beban pada seluruh unit pembangkit, sehingga beban sistem tenaga listrik dapat terpenuhi pada setiap waktu yang ditentukan.

Masalah *unit commitment* mengandung variabel keputusan biner dalam jumlah yang besar dan dapat diformulasikan menjadi masalah optimasi *non linier mixed-integer* yang umumnya berskala besar dan bersifat non-konveks. Dengan meningkatnya penetrasi sumber energi baru terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga angin dan matahari dengan isu utamanya yaitu ketidakpastian, membuat pemodelan *unit commitment* selalu berubah dan berkembang menjadi lebih kompleks.

A. Fungsi Objektif *Unit Commitment*

Fungsi objektif pada penelitian ini adalah untuk meminimalkan biaya bahan bakar dan biaya *start-up* pembangkit termal sebagaimana Persamaan (1) berikut:

$$\min f = \sum_{t=1}^{N_t} \left[\sum_{g=1}^{N_g} [\text{Cost}_{g,t}^F + \text{Cost}_{g,t}^{\text{STU}}] \right] \quad (1)$$

Keterangan:

N_t : periode penjadwalan total;

N_g : jumlah pembangkit termal;

$\text{Cost}_{g,t}^F$: biaya bahan bakar;

$\text{Cost}_{g,t}^{\text{STU}}$: biaya start-up pembangkit

Untuk biaya bahan bakar pembangkit termal [13] dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2) berikut:

$$\text{Cost}_{g,t}^F = \alpha_g^F \times (P_{g,t})^2 + \beta_g^F \times (P_{g,t}) + \gamma_g^F \quad (2)$$

Keterangan:

$P_{g,t}$: Keluaran daya pembangkit termal unit g pada waktu t ;

$\alpha_g^F, \beta_g^F, \gamma_g^F$: Koefisien biaya pembangkit termal unit g .

B. Kendala-kendala *Unit Commitment*

Pada penelitian ini, perhitungan *unit commitment* harus memenuhi kendala-kendala persamaan maupun pertidak-samaan sebagaimana berikut ini:

1. Keseimbangan Daya Aktif

Kendala pertama pada penelitian ini adalah keseimbangan daya aktif. Dalam hal ini total daya yang dibangkitkan harus sama dengan permintaan beban. Pada penelitian ini, integrasi PSH pada sistem tenaga listrik akan berpengaruh pada keseimbangan daya aktif. PSH menyerap kelebihan daya pada sistem tenaga listrik yang digunakan untuk proses penyimpanan air ke dalam tandon dan PSH akan mengeluarkan air dari dalam tandon untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator untuk menghasilkan dan menyalurkan daya listrik ke sistem tenaga listrik pada saat dibutuhkan. Keseimbangan daya aktif pada sistem tenaga listrik dapat dinyatakan pada Persamaan (3) berikut:

$$P_{D,t} = \sum_{i=1}^{NG} P_{g,t} + \sum_{i=1}^{NPV} P_{PVi,t} + \sum_{i=1}^{NPSH} P_{PSHi,t} \times \eta_{PSH} - \sum_{i=1}^{NPSH} P_{PSHi,t} \quad (3)$$

Keterangan:

$P_{D,t}$: Permintaan beban pada waktu t ;

NPV : Jumlah titik area pembangkit PV;

$P_{PVi,t}$: Keluaran daya pembangkit PV unit i pada waktu t ;

$NPSH$: Jumlah PSH;

$P_{PSHi,t}$: Daya listrik yang diserap atau dihasilkan oleh PSH;

η_{PSH} : Efisiensi PSH.

2. Kapasitas Pembangkit Termal

Kendala pertidaksamaan terkait batasan kapasitas pembangkit termal, yaitu: batasan minimum dan maksimum dalam melayani permintaan beban dinyatakan pada Persamaan (4) berikut:

$$P_g^{\min} \leq P_{g,t} \leq P_g^{\max} \quad (4)$$

Keterangan:

P_g^{\min} : Output minimum pembangkit termal unit g ;
 P_g^{\max} : Output maksimum pembangkit termal unit g .

3. Ramping Pada Pembangkit Termal

Kendala pertidaksamaan terkait *ramping* atau lonjakan kenaikan atau penurunan beban pada pembangkit termal terdiri dari dua jenis yaitu: nilai *ramp-up* (RU) dan *ramp-down* (RD) dan masing-masing dihitung oleh unit pembangkit setiap jamnya pada periode operasi [13], [14] dinyatakan pada Persamaan (5) dan (6) berikut:

$$(P_{g,t+1} - P_{g,t}) \leq RU_g \quad (5)$$

$$(P_{g,t} - P_{g,t-1}) \leq RD_g \quad (6)$$

Keterangan:

RU_g : Nilai *ramp-up* pembangkit termal unit g ;
 RD_g : Nilai *ramp-down* pembangkit termal unit g .

4. Batasan Waktu Hidup dan Mati Pembangkit Termal

Kendala-kendala terkait waktu hidup dan mati pembangkit termal dapat dinyatakan dengan *minimum off-time* (MDT), yaitu: waktu minimum dalam jam pada suatu pembangkit termal dalam kondisi hidup boleh dimatikan dan *minimum on-time* (MUT), yaitu: waktu minimum dalam jam pada suatu pembangkit dalam kondisi mati boleh dihidupkan. Kendala-kendala pada unit-unit pembangkit setiap jamnya pada periode operasi [13], [15] dinyatakan pada Persamaan (7) dan (8) berikut:

$$OFFT_{g,t} \geq MDT_g \quad (7)$$

$$ONT_{g,t} \geq MUT_g \quad (8)$$

Keterangan:

$OFFT_{g,t}$: Waktu mati pembangkit termal unit g ;
 MDT_g : *Minimum down-time* pembangkit termal unit g ;
 $ONT_{g,t}$: Waktu hidup pembangkit termal unit g ;
 MUT_g : *Minimum up-time* pembangkit termal unit g .

5. Kendala-kendala Pada PSH

Pada penelitian ini, *unit commitment* digunakan untuk menentukan pola pengoperasian optimal dari PSH [13], [16] dengan menerapkan kendala-kendala sebagaimana Persamaan (9) berikut:

$$P_{PSH}^{\min} \leq P_{PSH,t} \leq P_{PSH}^{\max} \quad (9)$$

Keterangan:

$P_{PSH,t}$: Daya listrik yang diserap atau dibangkitkan oleh PSH;
 P_{PSH}^{\min} : Kapasitas minimal PSH;
 P_{PSH}^{\max} : Kapasitas maksimal PSH.

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bagian ini akan dibahas hasil dari simulasi *unit commitment* dengan integrasi PSH. Masalah *mixed integer programming* yang terdapat pada perhitungan *unit commitment* diselesaikan dengan menggunakan CPLEX Solver [17] pada *Software* GAMS. Hasil dari simulasi berupa penjadwalan pembangkit termal selama 24 jam, keluaran daya aktif optimal setiap unit pembangkit termal, dan biaya operasional unit pembangkit termal selama 24 jam. Selain itu, operasi optimal dari PSH dan kondisi penyimpanan PSH juga dihasilkan pada simulasi ini.

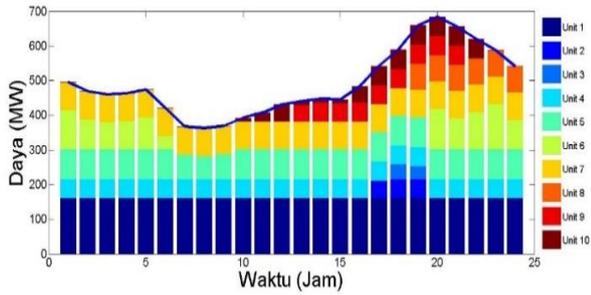
Hasil simulasi *unit commitment* tanpa PSH dapat dilihat pada Gambar 4 yang menunjukkan pola operasi pembangkit termal dan Gambar 5 yang menunjukkan biaya *start-up* pembangkit termal. Sedangkan untuk simulasi *unit commitment* dengan integrasi PSH dapat dilihat pada Gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa setelah integrasi PSH, bentuk kurva beban unit pembangkit termal menjadi lebih datar dibandingkan sebelum integrasi PSH.

Simulasi ini juga mengoptimalkan pola operasi dari PSH, apakah sebagai generator, beban atau dalam posisi siaga sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Ketika permintaan beban pada sistem tenaga listrik rendah akibat adanya penetrasi PV pada siang hari, unit pembangkit termal tetap beroperasi dengan membangkitkan daya lebih. Kelebihan daya dari unit pembangkit termal tersebut digunakan oleh PSH untuk memompa air kembali ke tanggul. Selanjutnya ketika permintaan beban tinggi pada periode beban puncak, PSH membangkitkan energi listrik dan menyalurkannya kepada konsumen dengan cara membuka tanggul untuk menggerakkan turbin yang tehubung pada generator. PSH yang memiliki pola pengoperasian seperti PLTA pada umumnya akan melakukan proses dengan siklus yang berlangsung terus menerus setiap hari.

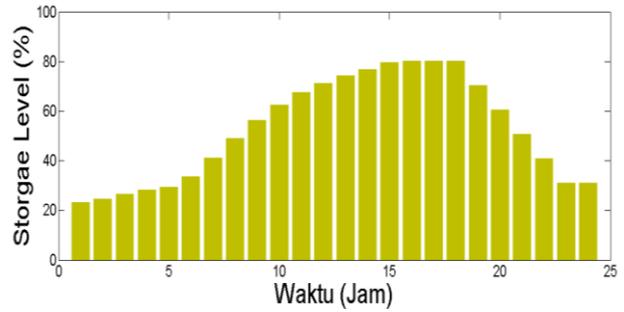
Untuk level penyimpanan pada masing-masing PSH dapat dilihat pada Gambar 8 sampai dengan 11. Level penyimpanan PSH memiliki peran yang sangat signifikan dalam proses optimasi untuk mengatasi masalah *duck curve*. Sebagai penyeimbang permintaan beban maka PSH yang diterapkan harus memiliki kapasitas penyimpanan yang sesuai dengan seberapa besar penetrasi PV pada sistem tenaga listrik.

Gambar 12 menunjukkan perbedaan antara simulasi *unit commitment* tanpa PSH dan dengan PSH. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa PSH telah berhasil mengatasi masalah *duck curve* dengan cara menyerap kelebihan daya listrik pada periode diluar beban puncak dan menghasilkan daya listrik pada periode beban puncak.

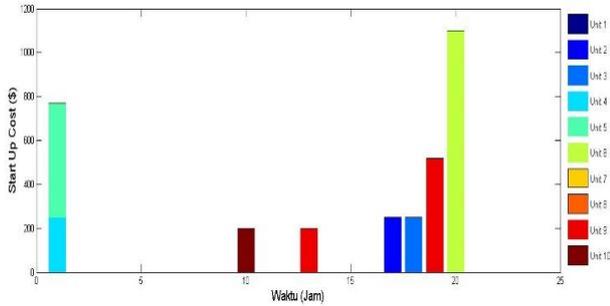
Untuk perbandingan antara biaya pembangkitan tanpa dan dengan PSH dapat dilihat pada Gambar 13. Dari Gambar tersebut terlihat jelas bahwa sistem tenaga listrik dengan PSH memiliki biaya pembangkitan yang lebih murah dibandingkan dengan sistem yang tanpa PSH. Pada sistem dengan PSH, on-off pada pembangkit-pembangkit termal lebih sedikit dilakukan. Hal tersebut berpengaruh terhadap biaya start-up pembangkit-pembangkit termal. Selain itu hasil optimasi juga akan menentukan keluaran daya yang paling optimal, sehingga total biaya pembangkitan juga akan berkurang.



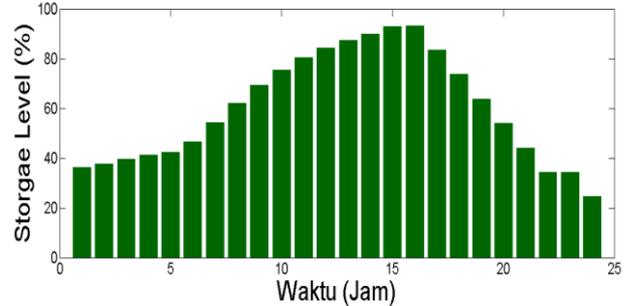
Gambar 4. Hasil Simulasi Tanpa PSH



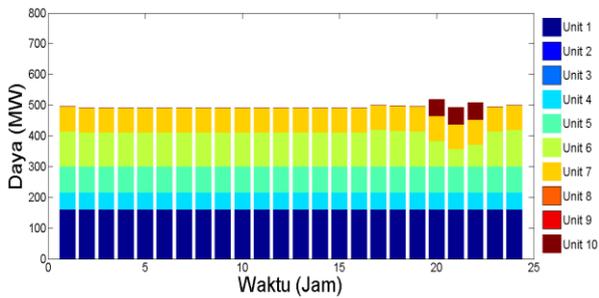
Gambar 9. Tingkat Penyimpanan PSH 2



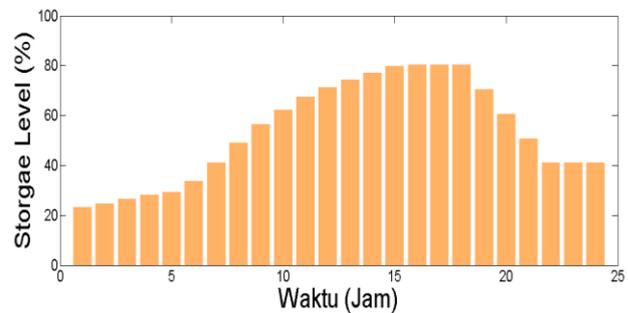
Gambar 5. Biaya Start-Up Tanpa PSH



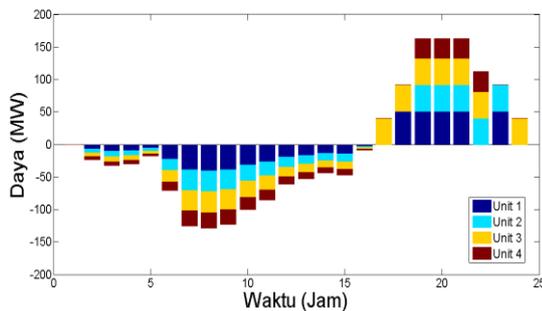
Gambar 10. Tingkat Penyimpanan PSH 3



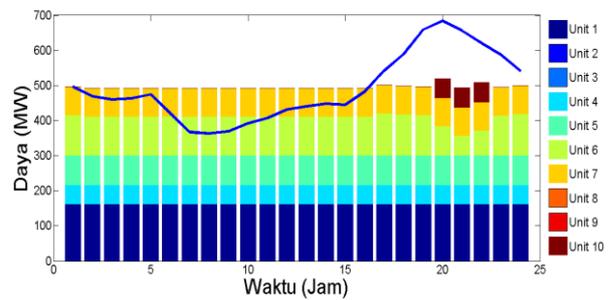
Gambar 6. Hasil Simulasi Dengan PSH



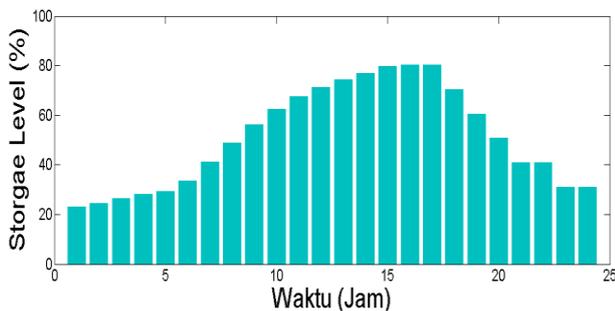
Gambar 11. Tingkat Penyimpanan PSH 4



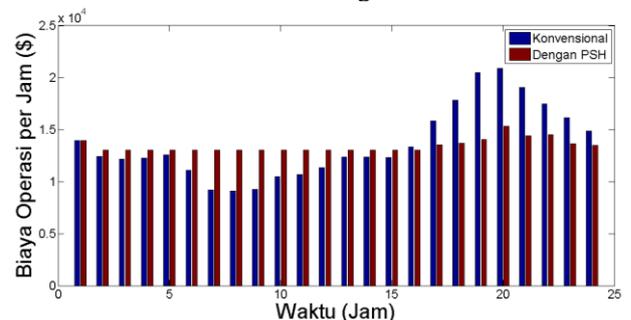
Gambar 7. Pola Operasi Optimal PSH



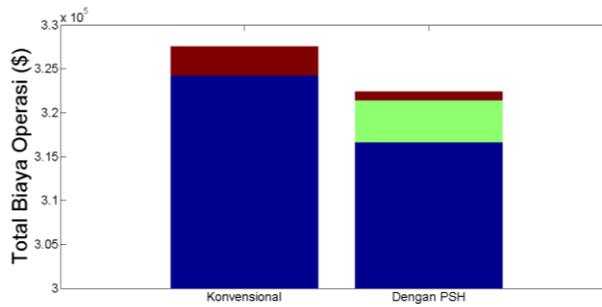
Gambar 12. Perbandingan Simulasi Sistem Tanpa PSH dan Sistem Dengan PSH



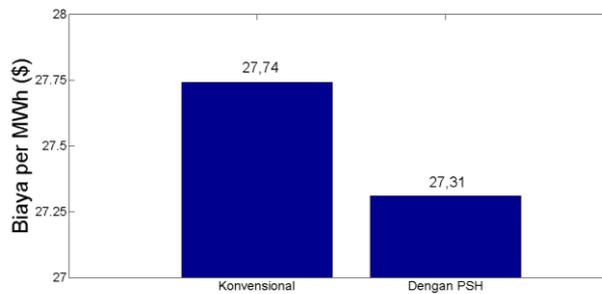
Gambar 8. Tingkat Penyimpanan PSH 1



Gambar 13. Perbandingan Biaya Per Jam



Gambar 14. Perbandingan Total Biaya Operasi Selama 24 Jam



Gambar 15. Perbandingan Biaya Per MWh

Selanjutnya, untuk mengetahui biaya pembangkitan pembangkit termal per MWh dapat menggunakan Persamaan (10) sebagaimana berikut:

$$= \frac{\text{Total Biaya Operasi 24 Jam}}{\text{Total Beban 24 Jam}} \quad \text{Biaya per MWh} \quad (10)$$

Hasil perhitungan biaya pembangkitan per MWh ditunjukkan pada Gambar 15. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa biaya pembangkitan per MWh sistem tenaga listrik tanpa PSH sebesar \$27,74, sedangkan sistem tenaga listrik dengan PSH berhasil mereduksi biaya pembangkitan per MWh menjadi sebesar \$27,31.

V. KESIMPULAN

Pertumbuhan instalasi PV yang sangat signifikan di seluruh dunia terjadi dalam beberapa tahun terakhir karena telah menjadi pilihan paling kompetitif untuk pembangkit energi listrik. Akibatnya, permintaan pembangkit termal menurun secara signifikan selama PV beroperasi sehingga menyebabkan terjadinya masalah *duck curve*. Pada kondisi tersebut, efisiensi generator termal menjadi turun dan menyebabkan biaya bahan bakar meningkat. Pada kondisi *duck curve*, unit pembangkit termal lebih sering on-off sehingga dapat meningkatkan biaya start-up dan dapat mengakibatkan kenaikan biaya pembangkitan listrik.

Penelitian ini mengembangkan optimasi *unit commitment* pada pembangkit termal dengan integrasi PSH sebagai sistem penyimpanan energi listrik. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa model yang diusulkan ini dapat mengatasi permasalahan *duck curve* dan fungsi objektif tercapai, yaitu: mereduksi biaya bahan bakar dan biaya *start-up* pembangkit termal.

REFERENSI

- [1] Renewable Capacity Statistics 2020, International Renewable Energy Agency (IRENA), 2021.
- [2] P. Denholm, M. O’Connell, G. Brinkman, and J. Jorgenson, “Overgeneration from Solar Energy in California: A Field Guide to the Duck Chart”, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-6A20-65023, 2015.
- [3] N. Kumar, S. Venkataraman, D. Lew, G. Brinkman, D. Palchak, and J. Cochran, “Retrofitting Fossil Power Plants for Increased Flexibility”, In: Proc. of the ASME 2014 Power Conference, Baltimore, Maryland, USA, pp.1-9, 2014.
- [4] F.R.S. Sevilla, D. Parra, N. Wyrsh, M. Patel, F. Kienzle, and P. Korba, “Techno-economic Analysis of Battery Storage and Curtailment in a Distribution Grid with High PV Penetration”, Journal of Energy Storage, Vol.17, No.1, pp.73–83, 2018.
- [5] R. Torabi, A. Gomes, and F.M. Dias, “The Duck Curve Characteristic and Storage Requirements for Greening the Island of Porto Santo”, In: Proc. of IEEE ES2DE, Funchal, Portugal, pp.1-6, 2018.
- [6] X. Yuan, B. Ji, Y. Yuan, R. M. Ikram, X. Zhang, and Y. Huang, “An Efficient Chaos Embedded Hybrid Approach for Hydro-thermal Unit Commitment Problem”, Energy Conversion and Management, Vol.91, pp. 225_237, 2015.
- [7] Demand Response and Energy Efficiency Roadmap: Maximizing Preferred Resources, California Independent System Operator, 2013.
- [8] R. Jovanovic, S. Bayhan, and I.S. Bayram, “A Multiobjective Analysis of the Potential of Scheduling Electrical Vehicle Charging for Flattening the Duck Curve”, Journal of Computational Science, Vol.48, pp.1-9, 2021.
- [9] H. O. R. Howlader, M. M. Sediqi, A. M. Ibrahim dan T. Senjyu, “Optimal Thermal Unit Commitment for Solving Duck Curve Problem by Introducing CSP, PSH and Demand Response,” IEEE Access, vol. 6, pp. 4834-4844, 2018.
- [10] R. A. Messenger dan J. Ventre, Photovoltaic Systems Engineering Third Edition, America: Taylor & Francis Group, 2010.
- [11] D. Lew dan N. Miller, “Reaching New Solar Heights: Integrating High Penetrations of PV into The Power System,” IET Renewable Power Generation, vol. 11, no. 1, pp. 20-26, 2015.
- [12] J. A. Momoh, Smart Grid Fundamentals of Design and Analysis, America: John Wiley & Sons Inc., 2012.
- [13] A. J. Wood, B. F. Wollenberg dan G. B. Sheble, Power Generation, Operation, and Control Third Edition, America: John Wiley & Sons Inc., 2014.
- [14] S. Rehman, L. M. Al-Hadhrani dan M. M. Alam, “Pumped Hydro Energy Storage System: A Technological Review,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 44, pp. 586-598, 2015.
- [15] G. F. Reid dan L. Hasdorff, “Economic Dispatch Using Quadratic Programming,” dalam IEEE PES Winter Meeting, New York, 1973.
- [16] R. C. Eberhart dan Y. Shi, “Particle Swarm Optimization : Developments, Applications and Resources,” dalam Proceedings of The 2001 Congress on Evolutionary Computation, Seoul, South Korea, 2001. Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.
- [17] IBM ILOG CPLEX optimization studio. [Online]. Available from: <https://www.ibm.com/analytics/cplex-optimizer> [accessed 2021].

Sistem Pengaturan Beban Generator Tiga Fasa Secara Otomatis Berbasis Internally Triggered TRIAC

Muhammad Deval Efendi¹, Abdul Muis Prasetia², Linda Sartika³

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

¹devalgps@gmail.com

²prasetia.electric@gmail.com

³lindasartika75@gmail.com

Abstract—A generator is an electrical machine that converts mechanical/motion energi into electrical energi. The performance of the generator is strongly influenced by the load, so when the load exceeds the generator limit, it is called overload disturbance. In this study, the author makes a generator load regulation sistem based on Internally Triggered TRIAC which functions to reduce the voltage value to the load automatically so that the current value can always be at the set point, which is 0.50 A. In this study, a resistive load in the form of an incandescent lamp with specifications of 100 W is used. As many as two and one 5 W incandescent lamp. For one 100 W incandescent lamp, the current value is 0.40 A and for one 5 W incandescent lamp, the current value is 0.06 A. When all loads are on, the current value ready by the sensor is 0.86 A so that the sistem responds to a load. More because the current value exceeds the set point. The sistem lowers the voltage value to 17.67 V so that the current value can always be at the set point of 0.50 A.

Keywords—Electrical Energi, Generator, Overload, Current Sensor, Internally Triggered Triac.

Intisari—Generator merupakan mesin listrik yang mengubah energi mekanik/gerak menjadi energi listrik. Kinerja generator sangat dipengaruhi oleh adanya beban, sehingga ketika beban melebihi batas generator maka disebut gangguan beban lebih. Dalam penelitian ini penulis membuat sistem pengaturan beban generator berbasis Internally Triggered TRIAC yang berfungsi untuk menurunkan nilai tegangan ke beban secara otomatis agar nilai arus bisa selalu berada di setpoint yang ditetapkan yaitu 0.50 A. Pada penelitian ini menggunakan beban resistif berupa lampu pijar dengan spesifikasi 100 W sebanyak dua buah dan lampu pijar 5 W sebanyak satu buah. Untuk satu buah lampu pijar 100 W terukur nilai arus sebesar 0.40 A dan untuk satu buah lampu pijar 5 W terukur nilai arus sebesar 0.06 A. Ketika semua beban dalam kondisi nyala maka nilai arus yang terbaca oleh sensor sebesar 0.86 A sehingga sistem merespon telah terjadi beban lebih karena nilai arus melebihi setpoint. Sistem menurunkan nilai tegangan hingga ke 17.67 V agar nilai arus bisa selalu berada disetpoint yaitu 0.50 A.

Kata Kunci—Energi Listrik, Generator, Beban Lebih, Sensor Arus, Internally Triggered Triac.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi membuat semua pekerjaan manusia menjadi lebih mudah terutama pada bidang energi listrik [10]. Energi listrik merupakan bentuk energi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat yang

penggunaannya tidak hanya terbatas oleh suatu kalangan aja baik itu kalangan atas, menengah maupun bawah. Energi listrik diproduksi oleh generator [8]. Kinerja dari generator sangat dipengaruhi oleh beban. Ketika beban telah melebihi batas generator maka disebut gangguan beban lebih [1]. Ketika terjadi beban lebih maka dapat merusak generator [9]. Untuk itu penulis membuat sistem pengaturan beban generator berbasis Internally Triggered TRIAC yang bertujuan untuk menstabilkan nilai arus ketika terjadi beban lebih dengan cara menurunkan nilai tegangan yang mengalir ke beban menggunakan Internally Triggered TRIAC.

Generator AC merupakan mesin listrik yang bekerja dengan mengubah energi mekanik/gerak menjadi energi listrik. Generator ini disebut juga generator sinkron karena kecepatan putar medan magnet stator harus sama dengan kecepatan putar medan magnet rotor. Penelitian terdahulu yang menjadi acuan penulis dalam penelitian ini salah satunya adalah sistem pengaturan beban generator satu fasa berbasis Arduino Uno. Penelitian ini berfokus dengan nilai arus lebih pada beban. Pada beban dipasang relai sebagai pemutus arus saat terjadi beban lebih [2].

Penelitian selanjutnya yaitu merancang rangkaian pengatur iluminasi lampu pijar menggunakan Internally Triggered TRIAC. Penelitian ini merupakan bentuk implementasi rangkaian *dimmer* untuk mengatur iluminasi lampu pijar. Proses pengaturan iluminasi lampu pijar ini dipengaruhi oleh impedansi dari lampu sehingga saat impedansi bisa diatur maka akan mempengaruhi nilai arus, tegangan dan frekuensi yang melintasi beban. Sehingga terjadilah perubahan iluminasi lampu pijar tersebut [6].

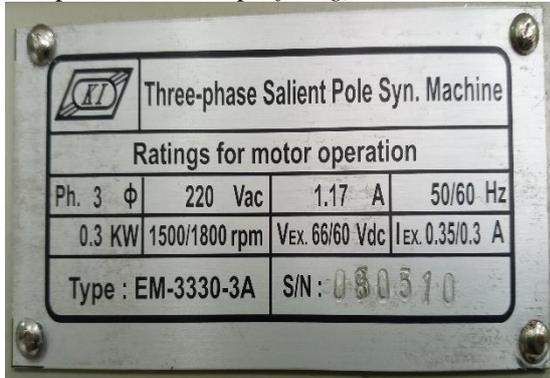
Penelitian selanjutnya yaitu merancang modul proteksi arus beban lebih yang bertujuan untuk memutus aliran listrik ke beban ketika terjadi beban lebih dengan menggunakan relai arus lebih. Penelitian ini menggunakan generator sinkron tiga fasa dengan penggunaan beban resistif. Sensor arus untuk membaca nilai arus pada beban. Serta adanya sebuah indikator yang menandakan telah terjadinya beban lebih dengan menggunakan lampu indikator atau *buzzer* [3].

Penelitian selanjutnya yaitu rancang bangun sistem proteksi beban lebih pada perangkat elektronik berbasis Arduino. Tujuannya adalah untuk melindungi peralatan elektronik dari kerusakan atau paling tidak meminimalisir terjadinya kerusakan. Pada penelitian ini menggunakan relai arus lebih sebagai pemutus dan sensor arus serta tegangan untuk membaca nilai arus dan tegangan pada

peralatan elektronik. *Keypad* digunakan untuk memasukkan nilai batas daya yang digunakan pada beban sehingga jika terjadi beban lebih maka relai akan bekerja [7].

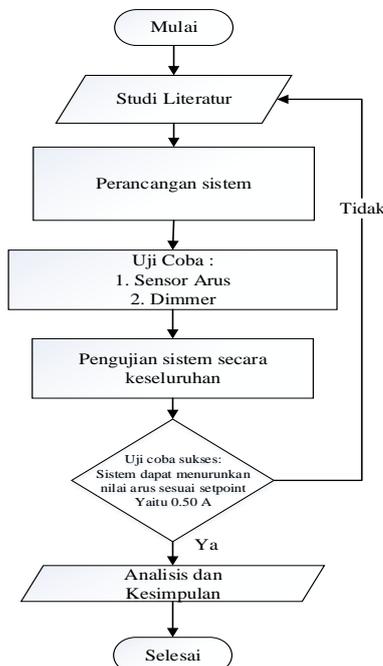
II. METODE PENELITIAN

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah generator sinkron tiga fasa, sensor arus untuk membaca nilai arus pada beban, mikrokontroller, modul *Internally Triggered TRIAC*, *trainer*, kabel jumper, lampu pijar sebagai beban resistif pada generator, LCD sebagai penampil karakter, multimeter atau clampmeter, laptop, osiloskop dan rumah lampu (*fitting*).



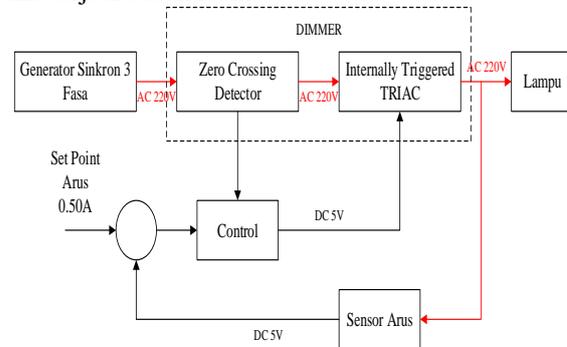
Gambar 1. Spesifikasi Generator Sinkron Tiga Fasa

Internally Triggered TRIAC merupakan komponen terintegrasi yang terdiri dari *DIAC* dan *TRIAC*. *DIAC* akan mengalirkan arus ketika tegangan breakdown terlampaui sesuai tegangan pemicu oleh *TRIAC* sehingga *TRIAC* aktif untuk bisa mengatur tegangan keluaran yang mengalir ke beban [4]. Tegangan yang diatur oleh *Internally Triggered TRIAC* akan mempengaruhi nilai arus yang mengalir ke beban. Hal ini karena tegangan berbanding lurus dengan arus.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Pertama-tama dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem yang terdiri dari mikrokontroller, sensor arus, LCD. Semua komponen dirancang menjadi satu di dalam sebuah kotak plastic. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan beban resistif yaitu lampu pijar 100 W sebanyak dua buah dan lampu pijar 5 W sebanyak satu buah. Ketiga lampu tersebut dihubung parallel. Tahapan berikutnya adalah uji coba *Internally Triggered TRIAC* dan sensor arus. Kemudian dilakukan uji coba sistem secara keseluruhan untuk melihat respon sistem dalam menstabilkan nilai arus sesuai *setpoint* yang ditetapkan ketika terjadi beban lebih.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem

Pada sistem sudah ditetapkan nilai *setpoint* yaitu 0.50 A. Keluaran generator terhubung dengan *Internally Triggered TRIAC* dimana pada modul ini sudah terdapat rangkaian *Zero Crossing Detector*. Sensor arus terhubung dengan beban untuk membaca nilai arus pada beban. Ketika nilai arus yang terbaca sensor diatas *setpoint* maka sistem akan merespon untuk menstabilkan kembali nilai arus ke *setpoint* yang ditetapkan yaitu 0.50 A.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini berdasarkan uji coba *Internally Triggered TRIAC* dan sensor arus. Kemudian dilakukan uji coba sistem keseluruhan. Jika nilai arus yang terbaca sensor diatas 0.50 A maka dianggap beban lebih dan sistem melakukan penurunan nilai tegangan ke beban agar nilai arus bisa kembali stabil sesuai *setpoint* yaitu 0.50 A.

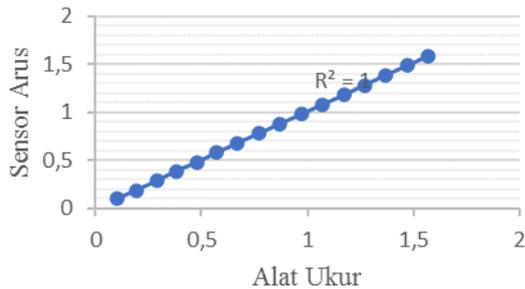
A. Kalibrasi Sensor Arus

Sebelum dapat digunakan sensor arus harus dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara menyamakan nilai yang terbaca pada alat ukur dengan pembacaan sensor.

Tabel 1 Data Hasil Kalibrasi Sensor Arus

| Alat Ukur (A) | Sensor Arus (A) | Error % |
|---------------|-----------------|---------|
| 0.57 | 0.58 | 1.72 |
| 0.67 | 0.68 | 1.47 |
| 0.77 | 0.78 | 1.28 |
| 0.87 | 0.88 | 1.13 |
| 0.97 | 0.98 | 1.02 |
| 1.07 | 1.08 | 0.92 |
| 1.17 | 1.18 | 0.84 |
| 1.27 | 1.28 | 0.78 |
| 1.37 | 1.39 | 1.43 |
| 1.47 | 1.49 | 1.34 |
| 1.57 | 1.59 | 1.25 |

Berdasarkan data pada tabel diatas maka didapatkan grafik linearitas sensor arus. Dalam uji coba ini akan memperlihatkan linearitas nilai arus dari alat ukur dengan pembacaan sensor. Dari gambar dapat dilihat bahwa R^2 atau nilai korelasi untuk sensor adalah 1, memiliki tingkat hubungan linieritas yang sangat tinggi. Dikatakan sangat tinggi karena tingkat hubungan atau korelasi antara dua variabel yang dibandingkan antara pembacaan dari sensor dengan alat ukur memiliki nilai korelasi antara 0.8 sampai dengan 1.



Gambar 4. Grafik Kalibrasi Sensor Arus

B. Uji Coba Sensor Arus

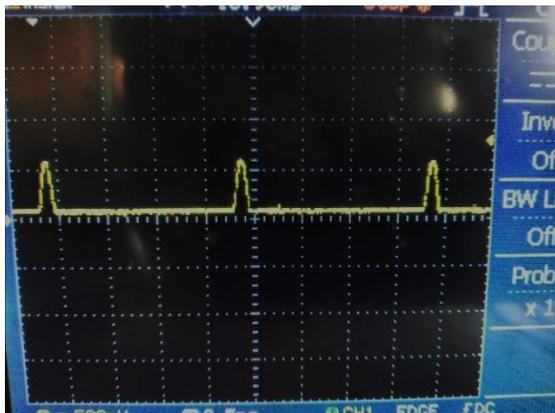
Pada tahapan ini sensor arus diuji dengan menggunakan beberapa kombinasi lampu pijar sebagai beban resistif. Kombinasi lampu yang digunakan formasinya dapat dilihat pada Tabel 2, tabel ini digunakan untuk mempermudah dalam proses pengujian sistem.

Tabel 2 Hasil Uji Coba Sensor Arus Terhadap Beban

| No. | Beban | | | | | Arus (A) |
|-----|-------|------|------|-----|-----|----------|
| | 100 W | 15 W | 15 W | 5 W | 5 W | |
| 1. | on | off | off | off | off | 0.40 |
| 2. | on | on | off | off | off | 0.47 |
| 3. | on | on | on | off | off | 0.54 |
| 4. | off | off | on | on | on | 0.19 |

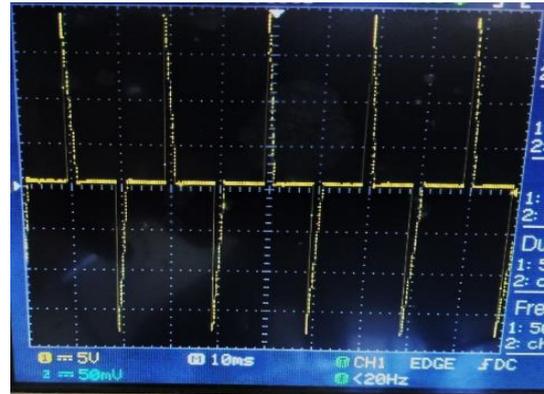
C. Uji Coba Internally Triggered TRIAC

Pada tahapan ini modul Internally Triggered TRIAC diuji untuk mengatur tegangan keluaran yang mengalir ke beban dengan cara mengatur nilai duty cycle melalui program. Pengujian pertama melihat bentuk sinyal Zero Crossing Detector pada osiloskop. Zero Crossing Detector berfungsi untuk mendeteksi nilai nol pada persilangan sinyal sinusoidal.



Gambar 5. Bentuk Sinyal Zero Crossing Detector

Pengujian berikutnya adalah untuk melihat tegangan keluaran Internally Triggered TRIAC dengan cara mengatur nilai duty cycle.



Gambar 6. Bentuk Sinyal Keluaran Internally Triggered TRIAC Duty Cycle 20%

Tabel 3 Tegangan Keluaran Internally Triggered TRIAC

| PWM | Tegangan Keluaran (V) | Duty Cycle (%) |
|-------|-----------------------|----------------|
| 25.5 | 20 | 10 |
| 51 | 47 | 20 |
| 76.5 | 87 | 30 |
| 102 | 124 | 40 |
| 127.5 | 157 | 50 |
| 153 | 183 | 60 |
| 178.5 | 205 | 70 |
| 204 | 215 | 80 |
| 229.5 | 218 | 90 |
| 255 | 219 | 100 |

D. Uji Sistem Keseluruhan

Pada tahapan ini sistem keseluruhan diuji dan terhubung ke beban yang sudah dirangkai. Dalam sistem ini sudah ditetapkan nilai setpoint yaitu 0.50 A. Jika nilai arus yang terbaca sensor diatas 0.50 A maka dianggap terjadi beban lebih. Sehingga sistem memberikan respon dengan menurunkan nilai tegangan oleh Internally Triggered TRIAC yang mengalir ke beban agar nilai arus bisa stabil sesuai setpoint yang ditetapkan. Tegangan masukkan generator yang digunakan adalah 220 V.

Tabel 4 Data Pengaruh Beban Terhadap Tegangan Keluaran Generator

| Beban | | | Tegangan Generator (V) | |
|-------|-----|-----|------------------------|--------------|
| L1 | L2 | L3 | Masukan (V) | Keluaran (V) |
| off | off | off | 220 | 220 |
| on | off | off | 220 | 202 |
| off | on | off | 220 | 202 |
| off | off | on | 220 | 215 |
| on | on | off | 220 | 194 |
| off | on | on | 220 | 198 |
| on | on | on | 220 | 192 |

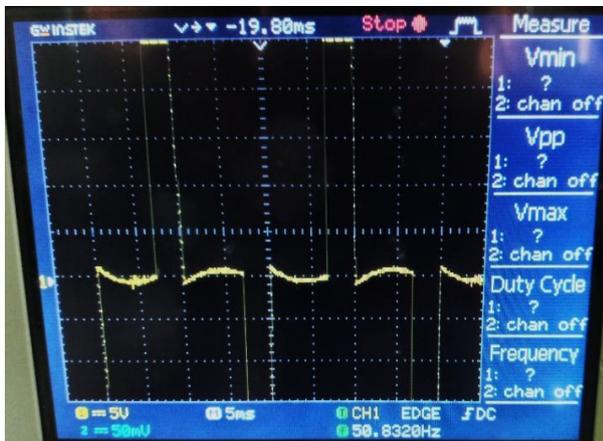
Berdasarkan data Tabel 4 dapat dianalisa bahwa tegangan generator dipengaruhi oleh adanya beban. Semakin banyak beban ditambahkan maka tegangan

generator akan menurun seiring bertambahnya beban tersebut. Hal ini menyebabkan pada lampu terjadi kedip cahaya akibat menurunnya tegangan generator.

Tabel 5 Data Keluaran Sistem Terhadap Arus Generator

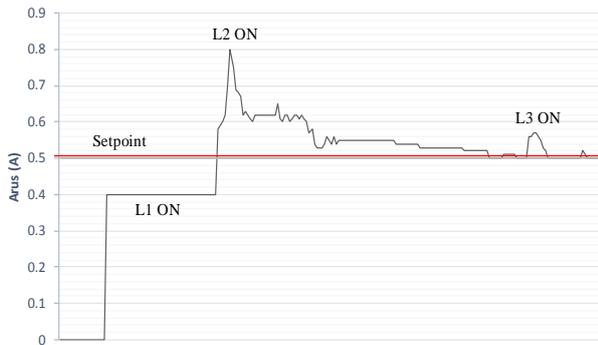
| Beban | | | Arus Open Loop (A) | Arus Close Loop (A) | PWM |
|-------|-----|-----|--------------------|---------------------|-----|
| L1 | L2 | L3 | | | |
| off | off | off | 0 | 0 | 255 |
| on | off | off | 0.40 | 0.40 | 255 |
| off | on | off | 0.40 | 0.40 | 255 |
| off | off | on | 0.07 | 0.07 | 255 |
| on | on | off | 0.80 | 0.50 | 42 |
| off | on | on | 0.46 | 0.46 | 255 |
| on | on | on | 0.86 | 0.50 | 37 |

Berdasarkan data Tabel 5 dapat dianalisa bahwa sistem bekerja sesuai yang diinginkan. Bertambahnya beban menyebabkan nilai arus semakin besar. Sistem dapat merespon saat terjadi arus beban lebih dengan menurunkan nilai tegangan yang mengalir ke beban agar nilai arus bisa stabil kembali pada *setpoint* yang ditetapkan yaitu 0.50 A.



Gambar 7. Bentuk Sinyal Keluaran Sistem (Puncak Atas)

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa tegangan yang mengalir ke beban diturunkan ke nilai 17.67 V agar nilai arus bisa selalu stabil pada *setpoint* yang ditetapkan yaitu 0.50 A.



Gambar 8. Grafik Sistem Nilai Arus Terhadap Beban



Gambar 9. Kombinasi Beban L1 dengan L2 dan L3

Dari grafik dapat dilihat bahwa saat L1 nyala nilai arusnya adalah 0.40 A. Ketika L2 dinyalakan maka nilai arus naik hingga 0.80 A. Sistem merespon terjadinya beban lebih sehingga sistem menurunkan nilai tegangan yang mengalir ke beban agar nilai arus bisa kembali stabil pada *setpoint* yang ditetapkan. Saat L3 dinyalakan nilai arus kembali naik. Sistem merespon kembali bahwa terjadi beban lebih dan menurunkan nilai tegangan ke beban agar nilai arus bisa stabil kembali pada *setpoint* yang ditetapkan yaitu 0.50 A.

IV. KESIMPULAN

Dari pengujian serta pembahasan yang ada maka dapat disimpulkan bahwa sensor arus PZEM-004T merupakan sensor dengan pembacaan digital yang dapat mengukur nilai tegangan, arus, faktor daya, dan frekuensi. Memiliki tingkat akurasi dalam pengukuran yang cukup baik. Hasil kalibrasi sensor arus memiliki nilai error rata-rata sebesar 1.12%. Sistem dapat menstabilkan nilai arus saat terjadi beban lebih pada *setpoint* yang sudah ditetapkan yaitu 0.50 A. Hanya saja tegangan keluaran generator menjadi tidak stabil karena pengaruh pembebanan. Ada baiknya sistem ini dilengkapi dengan AVR agar tegangan keluaran generator saat diberi beban bisa stabil pada nilai 220 V. Tegangan yang mengalir ke beban telah diturunkan saat terjadi beban lebih ke nilai 17.67 V agar nilai arus bisa stabil pada *setpoint* yang sudah ditetapkan yaitu 0.50 A.

REFERENSI

- [1] Alfaq, M. M., Sadana, M. F. I., Amiruddin, M., and Carsoni. (2020). Sistem Kendali Frekuensi Generator Metode On – Off. *Prosiding Seminar Nasional NCIET, 1*, 111–117.
- [2] Andriansah, A. K., & Haryudo, S. I. (2020). Sistem Pengaturan Beban Generator Satu Fasa Secara Otomatis Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro, 09(02)*, 339–346.
- [3] Daud, A. (2019). Rancang Bangun Modul Proteksi Arus Beban Lebih Dan Hubung Singkat. *Jurnal Teknik Energi, 9(1)*, 37–44.
- [4] Dewi, K., Rapi, S., Naim, M., & Sari, E. U. (2016). Implementasi Zero Crossing Pada Kontrol Unit untuk pengaturan Iuminasi Lampu Pijar dan Kipas Angin Berbasis Nuvoton. *Prosiding Seminar Teknik Elektro & Informaika*, 320–326.

- [5] Guntoro, H., Somantri, Y., & Haritman, E. (2013). Rancang Bangun Magnetic Door Lock Menggunakan Keypad dan Solenoid Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Electrans*, 12(1), 39–48.
- [6] Herlan, & Prabowo, B. A. (2009). Rangkaian Dimmer Pengatur Iluminasi Lampu Pijar Berbasis Internally Triggered TRIAC. *INKOM Journal of Informatics, Control Systems, and Computers*, 3(1), 14–21.
- [7] Ningsih, M. Y., & Adam. (2018). Rancang Bangun Sistem Proteksi Beban Lebih pada Perangkat Elektronik Berbasis Arduino. *Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT)*, 55–60.
- [8] Tandioaga, R., Marhatang, Payung, T. T. R., & Khatimah, H. (2014). Analisis Pengaturan Tegangan Generator Sinkron Tiga Fasa Hubungan Bintang Akibat Pembebanan Tidak Seimbang. *SINERGI*, 2, 170–180.
- [9] Yani, A. (2018). Pengaruh Perubahan Beban Resistif Terhadap Sistem Tenaga Listrik. *Journal of Electrical Technology*, 3(1), 18–21.
- [10] Yusniati, & Matondang, N. N. S. (2020). Analisis Sistem Pembebanan Pada Generator Diesel Titi Kuning. *SEMNASSTEK UISU*, 59–64.

Sistem Kendali Jarak Jauh Lampu Penerangan Berbasis Internet of Things

Hermansyah

Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng, Bantaeng, Sulawesi Selatan, Indonesia

anchaogi.hp@gmail.com

Abstract— This paper presents the results of making a prototype of a safe remote lighting control system with low manufacturing costs. The method used in this research is the method of designing and making prototypes of remote control system. The prototype made demonstrates a remote control system for lighting through the "Blynk IoT" application on a Smart phone. This control system is a safe method to control the device remotely on the condition that the device must be connected to the internet network. The component that functions to connect the device to the internet network is ESP8266. Tests are carried out using the Blynk IoT application to ensure the system can work according to the operator's wishes. The challenge faced in making this prototype is in terms of the voltage drop that always occurs on the GPIO side of the ESP8266 so that you have to install a voltage boost circuit on the GPIO side. A voltage boost is installed to ensure that the output voltage to the relay coil remains at a stable value. The implementation of this prototype can be further developed to build Smart Homes and Smart Industries.

Keywords— ESP8266, IoT, Internet, Control.

Intisari—Makalah ini menyajikan hasil pembuatan prototype sistem control lampu penerangan jarak jauh yang aman dengan biaya pembuatan yang murah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode perancangan dan pembuatan prototype sistem pengontrolan jarak jauh. Prototype yang dibuat mendemonstrasikan sistem control jarak jauh lampu penerangan melalui aplikasi "Blynk IoT" pada Smart phone. Sistem control ini merupakan metode yang aman untuk mengontrol perangkat dari jarak jauh dengan syarat perangkat tersebut harus terhubung ke jaringan internet. Komponen yang berfungsi untuk menghubungkan perangkat ke jaringan internet adalah ESP8266. Pengujian dilakukan dengan menggunakan aplikasi Blynk IoT untuk memastikan sistem bisa bekerja sesuai dengan keinginan operator. Tantangan yang dihadapi pada pembuatan prototype ini adalah dari segi drop tegangan yang selalu terjadi pada sisi GPIO ESP8266 sehingga harus memasang rangkaian boost tegangan pada sisi GPIO untuk memastikan tegangan yang keluar menuju coil relay tetap stabil. Implementasi prototype ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk membangun Smart Home dan Smart Industri.

Kata Kunci— ESP8266, IoT, Internet, Kontrol.

I. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT), merupakan teknologi yang memungkinkan mengendalikan perangkat elektronik dari jarak jauh melalui jaringan internet. Kemampuan akses IoT tidak terbatas pada jarak karena pada dasarnya IoT memanfaatkan jaringan internet dalam melakukan komunikasi antara pusat control dengan objek yang dikontrol melalui mikroprosesor ESP8266. Penelitian

sebelumnya membahas tentang bagaimana mengendalikan lampu jarak jauh menggunakan aplikasi smart phone "Telegram" namun pada implementasinya aplikasi "Telegram" belum bisa memberikan respon yang cepat dalam melakukan pengendalian jarak jauh. Oleh karena itu penelitian ini dirancang untuk mengendalikan lampu jarak jauh dengan respon pengendalian yang lebih cepat dari sebelumnya.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah, untuk membuat system control lampu penerangan jarak jauh dan memberikan kemudahan pengontrolan melalui fitur-fitur yang ada pada aplikasi "Blynk IoT" yang disinkronkan dengan NodeMCUESP8266, serta meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja akibat kontak fisik dengan saklar lampu konvensional.

II. KAJIAN LITRATUR

A. Internet of Things (IoT)

IoT merupakan deskripsi dari jaringan fisik yang diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak, sensor dan teknologi digital yang lain dengan tujuan untuk melakukan komunikasi data antar perangkat/device atau system yang lain yang terhubung dengan internet. Pada dasarnya IoT mampu menghubungkan lebih dari satu device yang berbeda dengan menggabungkan kecerdasan digital dengan berbagai macam sensor sehingga memudahkan bagi manusia dalam mengendalikan device dari jarak yang tak terbatas. Selain itu IoT juga mampu dalam memberikan data pengukuran secara real time tanpa adanya campur tangan manusia [1].

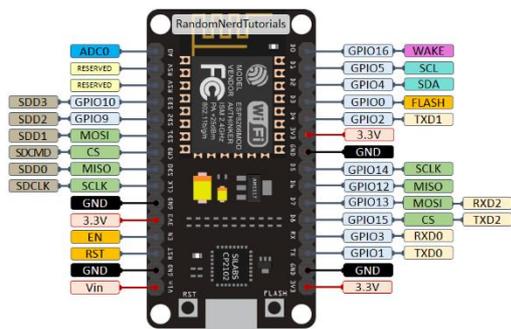
IoT merupakan salahsatu pelopor revolusi industry 4.0 karena kemampuannya di bidang *smart manufacturing, asset management, smart power grid, connected logistics* dan *smart digital supply chains* [1].

B. Node MCU ESP8266

NodeMCU terdiri dari perangkat keras berupa System On Chip ESP8266 buatan Espressif System. Board NodeMCU8266 bisa deprogram menggunakan IDE Arduino sehingga memudahkan dalam proses pemrogramannya. NodeMCU merupakan board control dari ESP8266 [2].

NodeMCU memasang ESP8266 ke dalam sebuah board yang kompak dengan berbagai fitur yang saling terintegrasi dan didalamnya terdapat komponen antena yang berfungsi untuk mengunci jaringan Wifi/Internet. NodeMCU dilengkapi dengan chip komunikasi USB to serial. Sehingga untuk injeksi programnya ke dalam ESP8266 hanya memerlukan kabel data USB yang dihubungkan ke PC. NodeMCU dilengkapi dengan pin I/O yang dapat

digunakan sesuai dengan fungsi yang tertera pada datasheetnya. [3]



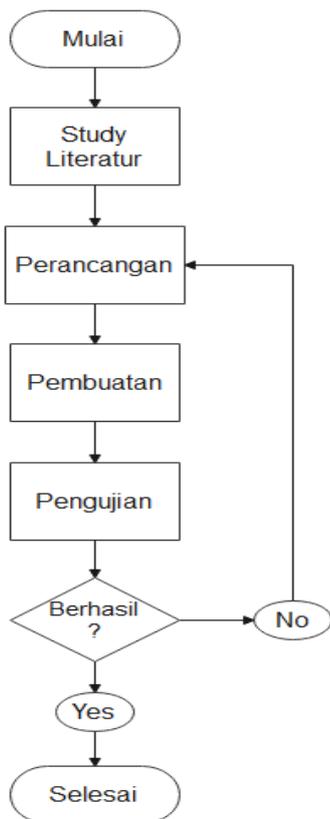
Gambar.1 Node MCU ESP8266

III. METODE

A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur yang terkait dengan penelitian. Tahapan ini mempelajari penelitian yang telah dilakukan oleh orang lain dengan mengumpulkan berbagai referensi terkait.



Gambar 5. Alur Penelitian

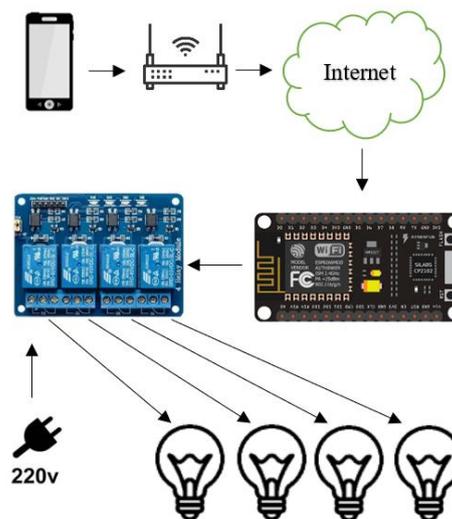
2. Melakukan perancangan dan pembuatan prototype. Pada tahapan ini rancangan dibuat dengan menghubungkan setiap komponen ke board NodeMCUESP8266 termasuk relay lampu, switch manual dll.

3. Merancang board system kendali jarak jauh pada smart phone melalui aplikasi Blynk IoT.
4. Membuat program system kendali jarak jauh menggunakan aplikasi IDE Arduino.
5. Melakukan sinkronisasi antara ESP8266 dengan Aplikasi Blynk IoT pada smart phone dengan cara melakukan pengimputan input token Aplikasi Blynk IoT kedalam program IDE yang telah dibuat.
6. Menghubungkan ESP8266 ke jaringan internet dengan cara memasukkan nama Wifi dan Paword Wifi kedalam program IDE yang dibuat.
7. Mengimput program yang telah dibuat kedalam ESP8266
8. Melakukan pengujian prototype.

B. Rancangan Prototype yang Dibuat

Sistem ini terdiri dari beberapa komponen yang saling bekerjasama sehingga memungkinkan untuk mengendalikan lampu dari jarak yang tak terbatas dengan syarat harus terhubung ke jaringan internet. Model system seperti ini biasa dikenal dengan nama smart home. Beban lampu pada gambar mewakili berbagai macam beban elektronik, baik untuk beban elektronik yang ada di industri maupun beban elektronik yang ada di rumah. Untuk mengendalikan beban lampu tersebut perlu menggunakan aplikasi smart phone “Blynk IoT”.

Blynk IoT adalah server web yang digunakan untuk mengimplementasikan sistem prototipe IoT. Aplikasi ini Sangat mudah digunakan dan dapat dikontrol dan dipantau dari jarak yang tak terbatas, Gambar.3 menunjukkan tampilan desktop dari Blynk IoT server dan terhubung ke perangkat smart phone sehingga memungkinkan untuk melakukan pengontrolan dan pemantauan secara real time. [4] Gambar.2 menampilkan ringkasan sistem control yang dibuat.



Gambar 2. System control lampu jarak jauh

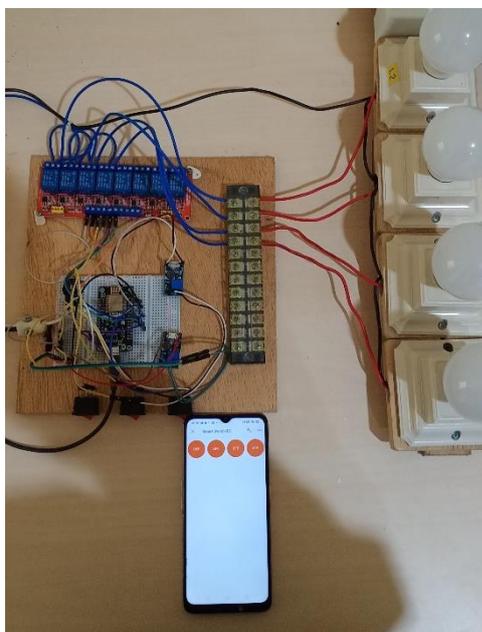
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototype sistem pengontrolan lampu jarak jauh telah dibuat dan diuji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan aplikasi Blynk IoT untuk memastikan sistem bisa bekerja sesuai dengan keinginan operator.

Gambar.3a dan Gambar 3.b menampilkan snapshot dari perangkat keras yang dikendalikan oleh aplikasi Blynk IoT pada smartphone.



(a)



(b)

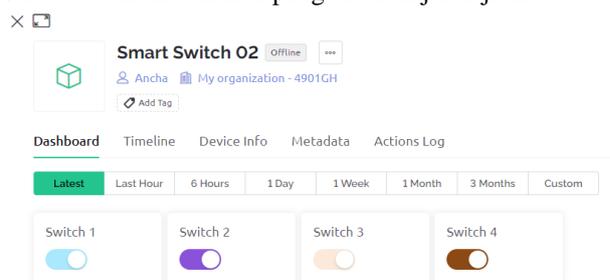
Gambar.3 Snapshot Pengontrolan Lampu Melalui Aplikasi Blynk IoT pada Smart Phone

Perangkat ini dapat dikendalikan dan dipantau statusnya dari seluruh lokasi yang ada di dunia dengan syarat perangkat tersebut harus terhubung dengan jaringan internet. Setiap kali aplikasi dibuka di *smartphone*, aplikasi akan terhubung ke server. Selanjutnya, jika pengguna menekan tombol ON/OFF pada *Smartphone*, maka permintaan HTTP yang sesuai dengan perangkat tersebut akan dikirim ke server. Dengan demikian, server akan memperbarui nilainya dan memberikan imputan pada ESP8266 untuk memberikan perintah pada pin GPIO untuk melakukan eksekusi 0/1 (LOW/HIGHT) pada setiap pin GPIO ESP8266 yang digunakan.

Prototype yang dibuat mendemonstrasikan sistem control jarak jauh lampu penerangan melalui aplikasi Android pada Smart phone menggunakan “Blynk IoT”.

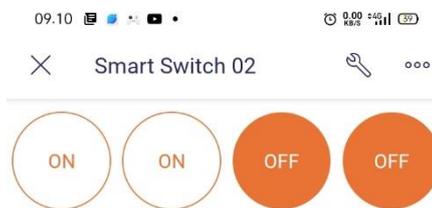
Sistem control ini merupakan metode yang aman untuk mengontrol perangkat dari jarak jauh. IOT menyediakan fitur komunikasi data yang diperlukan sehingga memungkinkan untuk implementasi kontroler jarak jauh pada skala besar. Tantangan yang kami hadapi pada pembuatan prototype ini adalah dari segi drop tegangan yang selalu terjadi pada sisi GPIO ESP8266 sehingga harus memasang rangkaian boost tegangan pada sisi GPIO untuk memastikan tegangan yang keluar menuju coil relay tetap stabil.

Prototype ini mampu memberikan respon yang sangat cepat apabila operator melakukan pengendalian jarak jauh. Tidak terdapat delay saat menekan tombol ON/OFF pada aplikasi smart phone. Gambar.4 menampilkan screensoot tampilan pengaturan pada web <https://blynk.cloud/dashboard/> yang digunakan sebagai server dalam melakukan pengendalian jarak jauh.



Gambar.4 screensoot tampilan pengaturan pada web <https://blynk.cloud/dashboard/>

Gambar 5 menampilkan screensoot tampilan pengaturan tombol pada aplikasi “Blynk IoT” di smart phone. Pengaturan pada smartphone ini telah disinkronkan dengan server seperti yang terlihat pada Gambar 4 di atas.



Gambar.5 Screensoot tombol ON/OFF pada aplikasi Blynk IoT di smart phone

V. KESIMPULAN

Makalah ini menyajikan hasil pembuatan prototype sistem control lampu penerangan jarak jauh yang aman dengan biaya pembuatan yang sangat terjangkau. Implementasinya dapat dikembangkan lebih lanjut dalam membangun Smart Home dan Smart Industri.

Setelah melakukan pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa Prototype yang dibuat dapat bekerja dengan baik serta dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui koneksi internet.

REFERENSI

- [1] Barakbah dkk 2013. Logika Dan Algoritma. Program Studi Teknik Informatika. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [2] Schwartz, M. (2016). *Internet of Things with ESP8266*. Packt Publishing Ltd.
- [3] Nurhuda, Harpad, Mubarak, (2020), "Kendali Lampu Menggunakan Perintah Suara Berbasis Node MCU" Sebatik 1410-3737.
- [4] Madhu, G. M., & Vyjayanthi, C. (2018, June). Implementation of cost effective smart home controller with Android application using node MCU and internet of things (IOT). In 2018 2nd International Conference on Power, Energy and Environment: Towards Smart Technology (ICEPE) (pp. 1-5). IEEE.