

Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan

Vol. 5 No. 2 - October 2024

Optimisasi Penempatan Recloser dan Sectionalizer untuk Memperbaiki Keandalan Jaringan pada Penyulang WNI10 Menggunakan Simulasi Reliability Assessment

Muhammad Andika Pratama, Yulianus Wahyo Setiyono, Alvin Harista Rahman

Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Menggunakan Board Sonoff melalui Smartphone Android

Syahban Rangkuti, Eliyana Firmansyah, Liman Khoeri Munandar

Analisis Kinerja Sistem Photovoltaic Management Platform pada Implementasi Sistem PLTS Hybrid Berbasis Internet of Things Area R&D Syngenta Cikampek

Kurniawan Aprilianto, Unan Yusmaniar Oktawati

Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Wirobrajan 07 (WBN07) sebagai Pemecah Beban Lebih (Overload) Penyulang Wirobrajan 01 (WBN01) di PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta

Astri Sumartopo, Yuris Mulya Saputra

Rancang Bangun Smart Belt Berbasis ATmega8 untuk Peningkatan Keselamatan dan Keamanan Berkendara

Darmawan Sidik, Faris Humami, Ramadhan Dwi Pasetyo

Department of Electrical Engineering and Informatics
Vocational College, Universitas Gadjah Mada
Jl. Yacaranda, Sekip Unit IV, Yogyakarta, 55281

Editorial Team

Editor in Chief

Unan Yusmaniar Oktiawati, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Associate Editor

Ahmad Adhiim Muthahhari, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Candra Febri Nugraha, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Editorial Board

Esa Prakasa, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

Fahmizal, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Fakih Irsyadi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Isnan Nur Rifai, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Kiagus Aufa Ibrahim, Chiba University, Japan

Prima Asmara Sejati, Chiba University, Japan

Rizki Firmansyah Setya Budi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

Suhono, The University of Manchester, United Kingdom

Vooi Voon Yap, Aberystwyth University, United Kingdom

Zainal Arif Burhanuddin, Universiti Teknologi Petronas, Malaysia

Copy Editor

Fitri Puspitasari, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Tika Erna Putri, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Assistant Editor

Andi Fariel, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Yessi Idianingrum Tanu Wijaya, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Editorial Forewords

Praise be to God, the Almighty, for His blessings and grace, which have enabled the publication of Vol. 5 No. 2, October 2024 of this journal. This edition is compiled with the aim of enriching knowledge in the field of applied electrical engineering, focusing on electricity, instrumentation, and applied electronics.

We sincerely hope that this journal will make a meaningful contribution to the advancement of these fields. Constructive feedback and suggestions are highly encouraged to help us improve future editions.

In closing, we would like to extend our heartfelt thanks to everyone who contributed to the successful publication of this issue.

Editor-in-Chief

Unan Yusmaniar Oktiawati, S.T., M.Sc., Ph.D.

Table of Contents

- 1. Optimisasi Penempatan Recloser dan Sectionalizer untuk Memperbaiki Keandalan Jaringan pada Penyulang WNI10 Menggunakan Simulasi Reliability Assessment** 56 - 64
Muhammad Andika Pratama, Yulianus Wahyu Setiyono, Alvin Harista Rahman
- 2. Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Menggunakan Board Sonoff melalui Smartphone Android** 65 - 74
Syahban Rangkuti, Eliyana Firmansyah, Liman Khoeri Munandar
- 3. Analisis Kinerja Sistem Photovoltaic Management Platform pada Implementasi Sistem PLTS Hybrid Berbasis Internet of Things Area R&D Syngenta Cikampek** 75 - 83
Kurniawan Aprilianto, Unan Yusmaniar
- 4. Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Wirobrajan 07 (WBN07) sebagai Pemecah Beban Lebih (Overload) Penyulang Wirobrajan 01 (WBN01) di PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta** 84 - 94
Astri Sumartopo, Yuris Mulya Saputra
- 5. Rancang Bangun Smart Belt Berbasis ATmega8 untuk Peningkatan Keselamatan dan Keamanan Berkendara** 95 - 102
Darmawan Sidik, Faris Humami, Ramadhan Dwi Pasetyo

Optimisasi Penempatan *Recloser* dan *Sectionalizer* untuk Memperbaiki Keandalan Jaringan pada Penyulang WNI10 Menggunakan Simulasi *Reliability Assessment*

Muhammad Andika Pratama^{1*}, Yulianus Wahyu Setiyono¹, Alvin Harista Rahman¹

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; y.wahyosetiyono@ugm.ac.id; alvin.harista.rahman@mail.ugm.ac.id

*Korespondensi: m.andikap03@gmail.com

Abstract – Failures or interruptions in the electric power distribution network affect the disruption of service continuity and the amount of electrical energy that can be sold to electricity consumers. To measure the reliability of a distribution network, the System Reliability Index can be used, such as SAIDI (system average interruption duration index) and SAIFI (system average interruption frequency index) ratio. Determining the placement location of a protection device such as a recloser and sectionalizer affects the value of SAIDI/SAIFI. The case study for optimal recloser and sectionalizer placement for WNI10 feeder using reliability assessment, then compared those results at each location where recloser and sectionalizer is placed. In order to get SAIDI and SAIFI values, parameters such as data rate of failure (λ), time to repair (U), and number of customers (N) are needed. In addition, for network data, the total load of each section and the length of the section are required. The goal from the comparison is to find the smallest SAIDI/SAIFI value from the different reclosers and sectionalizer placement, with the result that it can increase the network reliability for the WNI10 feeder. After changing the position of the protection device, the Wonogiri 10 feeder index became 26.48 hours/year (SAIDI) and 8.73 outages/year (SAIFI).

Keywords – failure, recloser, sectionalizer, network reliability, reliability assesment simulation

Abstrak – Gangguan atau pemadaman pada jaringan distribusi tenaga listrik berpengaruh pada terganggunya kontinuitas pelayanan dan jumlah energi listrik yang dapat terjual ke konsumen tenaga listrik. Untuk mengukur keandalan suatu jaringan distribusi dapat digunakan indeks keandalan sistem salah satunya angka SAIDI (*system average interruption duration index*) dan SAIFI (*system average interruption frequency index*). Penentuan lokasi SAIDI penempatan alat proteksi seperti *recloser* dan *sectionalizer* memengaruhi nilai kedua indeks keandalan tersebut. Studi kasus penempatan *recloser* dan *sectionalizer* yang optimal pada penyulang WNI10 ini menggunakan metode *reliability assessment* kemudian dilakukan perbandingan nilai SAIDI/SAIFI dari hasil simulasi jaringan distribusi pada tiap perpindahan lokasi penempatan *recloser*. Untuk mendapatkan nilai SAIDI dan SAIFI diperlukan parameter berupa data *rate of failure* (λ), *time to repair* (U), dan jumlah pelanggan (N). Selain itu, untuk data jaringan diperlukan besar beban tiap *section* dan panjang *section*. Perbandingan nilai SAIDI/SAIFI akan dicari nilai terkecil pada tiap perubahan penempatan *recloser* dan *sectionalizer* tersebut sehingga dapat meningkatkan keandalan jaringan pada penyulang WNI10. Setelah perubahan posisi alat proteksi, indeks keandalan penyulang Wonogiri 10 menjadi sebesar 26,48 jam/tahun (SAIDI) dan 8,73 padam/tahun (SAIFI).

Kata kunci – gangguan, *recloser*, *sectionalizer*, keandalan jaringan, simulasi *reliability assesment*

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan tenaga listrik menuntut perusahaan penyedia sistem kelistrikan seperti PTPLN untuk terus melakukan evaluasi terkait kuantitas dan kualitas tenaga listrik. Segi kuantitas meliputi terpenuhinya kebutuhan energi listrik untuk seluruh konsumen, sedangkan segi kuantitas meliputi tingginya keandalan sistem penyaluran tenaga listrik baik pada transmisi maupun distribusi [1] [2]. Salah satu penyebab tidak terpenuhinya kedua aspek tersebut adalah dikarenakan faktor lingkungan seperti cuaca dan pepohonan. Jumlah ketersediaan energi listrik yang memadai tidak menjamin ketika proses distribusi akan terjadi pemadaman karena gangguan [3]. Penilaian kualitas distribusi tenaga listrik atau keandalan sistem distribusi digunakan beberapa parameter indeks keandalan antara lain SAIDI (*system average interruption duration index*), SAIFI (*system average interruption frequency index*), CAIDI (*customer average interruption duration index*), dan lain sebagainya [4] [5].

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi dan paling berbahaya di antara gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan mengalirnya arus listrik yang bernilai besar pada penghantar sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada komponen penyaluran tenaga listrik seperti penghantar, transformator, dan peralatan lainnya [6]. Dikarenakan bahayanya efek yang ditimbulkan dari gangguan hubung singkat, maka diperlukan alat yang dapat mengenali arus gangguan sehingga dapat melakukan proteksi terhadap jaringan listrik.

Peralatan proteksi yang umumnya digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik antara lain PMT (*circuit breaker*), PBO (*recloser*), atau SSO (*sectionalizer*). Pemasangan PBO dan SSO pada penyulang dapat membantu meningkatkan indeks keandalan karena PBO dan SSO dapat mengurangi jumlah konsumen yang terdampak pemadaman dan mempercepat durasi gangguan [7] [8].

Penyulang Wonogiri 10 menyuplai sebanyak 40,4% energi listrik dari total enam penyulang pada sistem distribusi ULP Jatisrono, berdasarkan data akhir tahun 2022 [9]. Dikarenakan banyaknya jumlah konsumen yang disuplai melalui penyulang ini, kualitas pendistribusian tenaga listrik atau keandalan penyulang harus dioptimalkan. Salah satu cara melakukan pengoptimalan keandalan penyulang yaitu dengan melakukan optimisasi penempatan alat proteksi pada penyulang [10] [11]. Pada penelitian terkait [12] menyatakan bahwa penempatan *recloser* dan *sectionalizer* dapat dioptimisasi dengan *multi-objective particle swarm optimization* (MOPSO) untuk meminimalkan biaya pemadaman pelanggan dan meningkatkan keandalan sistem dengan investasi optimal. Pada penelitian ini, optimisasi penempatan *recloser* dan *sectionalizer* dilakukan dengan metode *reability assessment* dan pengaruhnya terhadap indeks keandalan nilai SAIDI/SAIFI pada penyulang WN10.

II. METODOLOGI

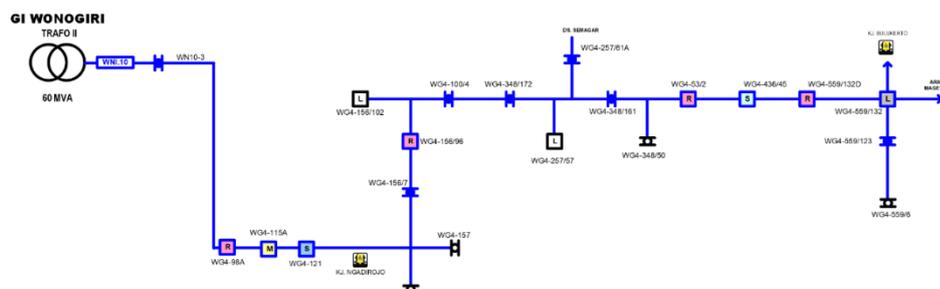
Metode penelitian ini menggunakan data pendukung komponen yang diukur dan dikumpulkan. Data diambil secara langsung (primer) dan dari sumber terkait (sekunder). Tahapan Penelitian dilakukan sejumlah beberapa kali bagian pengamatan yang dilakukan secara berurutan untuk menentukan hasil paling optimal.

A. Data Primer dan Data Sekunder

- 1) *Single Line Diagram ULP Jatisrono*: Diagram satu garis yang digunakan sebagai objek pengamatan pada penelitian ini adalah diagram satu garis untuk area ULP Jatisrono khususnya pada penyulang Wonogiri 10 yang ditampilkan pada Gambar 1.
- 2) *Data Jumlah Pelanggan*: Data total pelanggan yang diperlukan untuk pengamatan penelitian adalah total pelanggan pada penyulang Wonogiri 10 (WNI10). Penyulang WNI10 menyuplai 40,4% persen dari total pelanggan. Data total pelanggan diambil pada bulan Desember 2022 (Tabel 1).

Tabel 1. Jumlah pelanggan ULP Jatisrono

Penyulang	Jumlah Pelanggan
WNI10	59.867
Total Penyulang (6)	148.232



Gambar 1. Single line diagram penyulang WNI10

- 3) *Data Beban Penyulang*: Data beban pada WNI10 diukur pada tiap pangkal *section*. Pengukuran dilakukan dengan *Amp Stick* pada ketiga fase pada *switching* penyulang WNI10. Tabel 2 merupakan data beban penyulang WNI10.

Tabel 2. Data beban penyulang WNI10

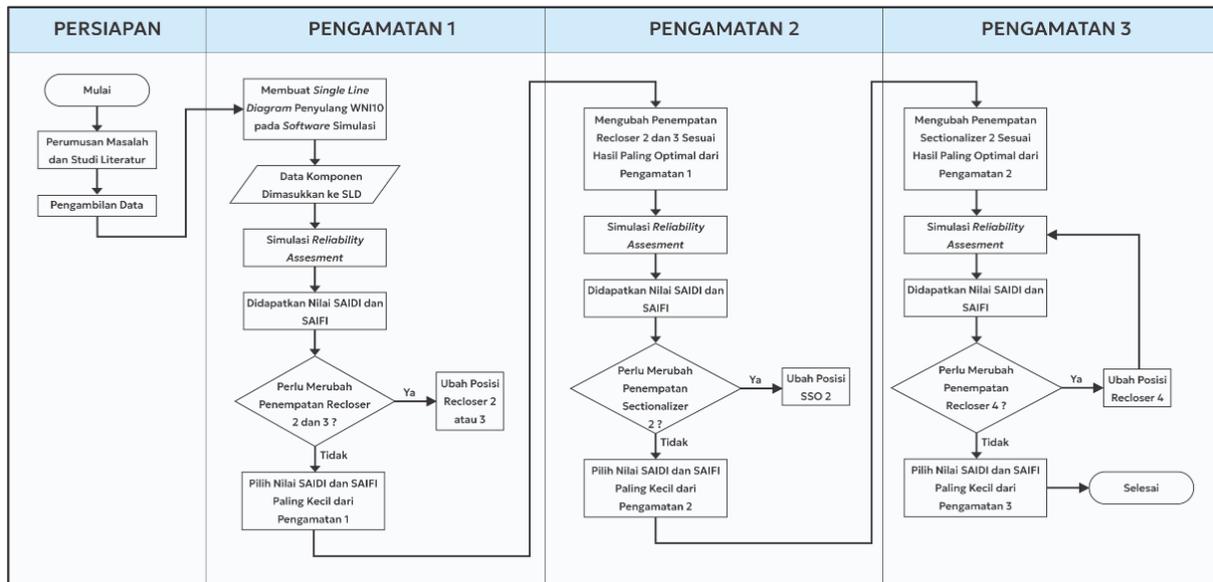
No. Tiang	Beban (A)			Peralatan
	R	S	T	
WG4-121	7	4	13	SSO
WG4-156/7	5	1	0	ABSW
WG4-156/96	18	20	7	Recloser
WG4-100/4	23	44	14	ABSW
WG4-348/172	3,4	8,2	25	ABSW
WG4-257/61A	13,6	24,2	16	ABSW
WG4-348/161	26	6	31	ABSW
WG4-53/2	44	80,6	70,6	Recloser
WG4-436/45	36	24,4	7,3	SSO
WG4-559/132D	54,9	7,2	7,3	Recloser
WG4-559/132 SW1	6	32,5	32,8	LBS
WG4-559/132 SW2	3,2	41,7	1,4	LBS
WG4-559/123	18,3	13,5	14,4	ABSW

- 4) *Data Panjang Section*: Data panjang *section* merupakan panjang penghantar yang diukur di antara dua peralatan *switching*. Data panjang *section* diukur melalui *enterprise asset management* (EAM). Penyulang WNI10 memiliki total panjang penyulang 64,51 km. Sedangkan untuk jarak tiap *section* ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Data panjang section penyulang WNI10

Section	1	2	3	4	5	6	7
Jarak (km)	3	6,2	0,55	5,2	0,65	6,1	7
Section	8	9	10	11	12	13	
Jarak (km)	8,6	6,2	0,21	7,4	0,6	7,2	

- 5) *Data Angka Keluar dan Durasi Perbaikan Komponen*: Angka keluar komponen merupakan nilai di mana keadaan sebuah komponen dalam sistem tenaga listrik tidak dapat berfungsi secara normal dikarenakan hal yang berkaitan dengan komponen tersebut [13]. Keadaan sebagaimana disebutkan bisa menyebabkan pemadaman ataupun tidak tergantung konfigurasi sistem. Durasi



Gambar 2. Diagram Alir tahapan penelitian

perbaikan merupakan lamanya waktu dari saat pemadaman terjadi hingga menyala kembali [13]. Adapun pemadaman yang dimaksud berupa pemadaman terencana maupun pemadaman darurat akibat adanya gangguan.

Tabel 4. Angka keluar dan durasi perbaikan komponen

Komponen	Failure Rate (Padam/Tahun)	Repair Time (Jam)
SUTM	0,2	3
Trafo	0,005	10
PMT	0,004	10
PBO	0,005	10
SSO	0,005	10
ABSW	0,003	10
LBS	0,003	10

B. Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian melalui tahapan yang dimulai dari perumusan masalah, studi literatur, pengambilan data, pembuatan simulasi, analisis hasil, dan terakhir didapatkan kesimpulan. Tahapan penelitian seperti ditunjukkan diagram alir pada Gambar 2.

C. Perancangan Simulasi

Tahapan pertama perancangan simulasi adalah membuat single line diagram sistem distribusi 20 kV penyulang WNI10 pada perangkat lunak. Komponen yang ditambahkan disesuaikan dengan single line diagram penyulang seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah pembuatan single line diagram selesai, kemudian dilakukan pengisian data komponen (Tabel 5). Komponen pertama adalah power grid yang mana diasumsikan sebagai sumber jaringan distribusi 20 kV yaitu trafo TM pada gardu induk.

Trafo GI menghasilkan rating tegangan 20 kV, sehingga pada rated kV bagian rating diisikan sejumlah 20 kV

balanced. Untuk mengatur rating hubung singkat trafo yaitu pada bagian short circuit rating, pada tiga fase dimasukkan rating hubung singkat tiga fase yang didapat dari (1).

Tabel 5. Spesifikasi trafo tegangan menengah

Spesifikasi	Keterangan
Merk Trafo	Unindo
Daya Pengenal	60 MVA
Frekuensi	50 Hz
Fase	3
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Short-circuit 150 kV	40 kA
Short-circuit 20 kV	25 kA
X/R ratio	12.5
NGR	0.4 Ohm

$$MVAsc(3p) = \sqrt{3} \times I_{sc(sek)} \times V_{L-L}$$

$$MVAsc(3p) = \sqrt{3} \times 25 \text{ kA} \times 20 \text{ kV} \tag{1}$$

$$MVAsc(3p) = 870 \text{ MVA}$$

Sedangkan pada rating hubung singkat 1 fase diisikan dengan nilai yang hampir sama seperti ditunjukkan oleh hasil perhitungan (2) dan (3).

$$I_{sc}(1p) = \frac{V_{L-L}}{\sqrt{3} \times NGR}$$

$$I_{sc}(1p) = \frac{20 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 0.4\Omega} \tag{2}$$

$$I_{sc}(1p) = 28571 \text{ A}$$

$$MVAsc(1p) = \sqrt{3} \times I_{sc1p} \times V_{L-L} \tag{3}$$

$$MVAsc(1p) = \sqrt{3} \times 28.57 \text{ kA} \times 20 \text{ kV}$$

$$MVAsc(1p) = 989.7 MVA$$

Peralatan PMT atau HVCB diatur pada bagian *Rating*. Pada bagian tersebut diisikan parameter seperti tegangan maksimum, arus kontinu, dan arus gangguan maksimum (Tabel 6).

Tabel 6. Spesifikasi komponen PMT [7]

Spesifikasi	Nilai
Rated kV	24 Kv
Rated Amp	400 A
Breaking	12,5 kA
Making Peak	31,3 kA

Untuk pengaturan busbar pada bagian *rating* dengan mengatur *rating* arus kontinu dan batas maksimum arusnya (*peak*). Busbar ID Kubikel memiliki arus kontinu dan maksimum yang sama dengan PMT (Tabel 7). Sedangkan untuk tipe peralatannya dipilih *switchgear* dikarenakan busbar berada pada tegangan di atas 1kV.

Tabel 7. Spesifikasi busbar [8]

Spesifikasi	Nilai
Standard	IEC
Type	Switchgear
Continuous Amp	400 A
Peak Amp	31,25 kA

Peralatan *switching* berupa ABSW dan LBS menggunakan komponen *contactor* pada *software* simulasi. *Setting* parameter yang diperlukan untuk *contactor* adalah *rating* arus dan tegangannya (Tabel 8). Sedangkan untuk pengaturan *reability*-nya disesuaikan dengan data pada Tabel 4.

Tabel 8. Spesifikasi peralatan *switching* [9]

Spesifikasi	Nilai
Type	Contactor
Rated kV	27 kV
Continuous Amp	630 A
Interupting Amp	12,5 kA
Failure Rate	0,003
Repair Time	10 hrs

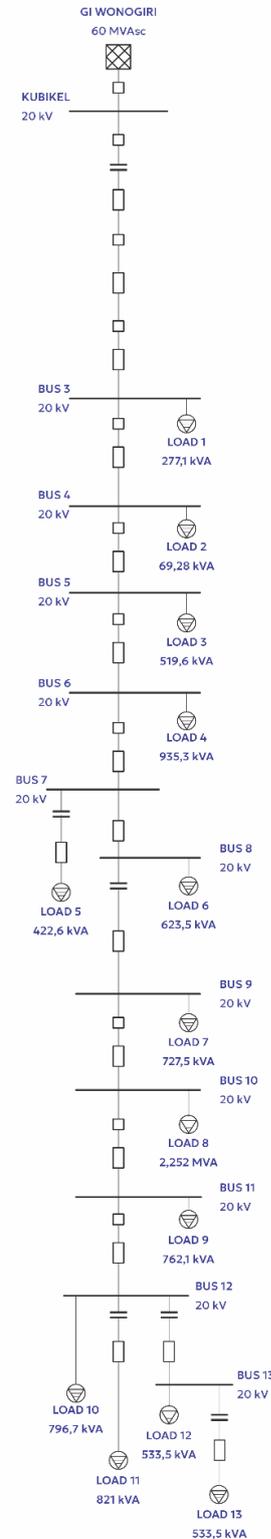
Komponen proteksi yaitu *recloser* dan SSO diasumsikan merupakan komponen yang sama sehingga memiliki parameter yang sama pula pada pengaturannya. *Setting* yang diperlukan untuk alat proteksi yaitu pada bagian *rating* (Tabel 9). Sedangkan untuk *setting reability*-nya disesuaikan dengan data pada Tabel 4.

Tabel 9. Spesifikasi alat proteksi [9]

Spesifikasi	Nilai
Rated kV	27 kV
Maximum Amp	630 A
Breaking kA	12,5 kA
Making kA	31,5 kA
Failure Rate	0,005
Repair Time	10 hrs

Penghantar atau *Cable* pada *SLD* yang telah dibuat diberikan pada setiap *section*. Maka untuk pengaturan panjang kabel disesuaikan seperti pada Tabel 10. Sedangkan

untuk spesifikasi penghantar, diatur pada bagian Info dan dipilih *Library*. Spesifikasi penghantar yang digunakan yaitu seperti ditunjukkan pada Tabel 11. Data *Reliability* komponen *cable* disesuaikan dengan Tabel 4.



Gambar 3. Single line diagram WNI10 pada *software* simulasi

Tabel 10. Data panjang SUTM

SUTM	1	2	3	4	5	6	7	8
Length (km)	4,3	0,84	3	6,2	0,55	5,2	0,27	6,1
SUTM	9	10	11	12	13	14	15	16
Length (km)	0,36	7	8,6	6,2	0,21	7,4	0,6	7,2

Tabel 11. Spesifikasi SUTM

Spesifikasi	Nilai
<i>Cable Type</i>	AAAC
<i>Rated kV</i>	20 kV
<i>Rated Current</i>	585 A
<i>Cable Area</i>	240 mm ²
<i>Pos./Neg. Impedance</i>	0,134+j0,316
<i>Zero Impedance</i>	0,282+j1,603
<i>Failure Rate</i>	0,2
<i>Repair Time</i>	3 hrs

Komponen terakhir yaitu *Lumped Load*. Karena beban tiap *section* diasumsikan sebuah trafo dengan asumsi faktor daya 90%. Untuk *setting* besar beban disesuaikan seperti pada Tabel 2, dan untuk parameter *Reliability* disesuaikan dengan Tabel 4. Sedangkan untuk parameter jumlah pelanggan (Tabel 12) dicari berdasarkan (4).

$$Plg. \text{ per Section} = \frac{\text{Beban Section}}{\text{Total Beban Penyulang}} \times \text{Total Plg.} \quad (4)$$

Tabel 12. Data pelanggan *section*

Section	Beban (A)*	Pelanggan
SEC1	8	1789
SEC2	2	447
SEC3	15	3355
SEC4	27	6038
SEC5	12,2	2728
SEC6	18	4025
SEC7	21	4696
SEC8	65	14536
SEC9	22	4920
SEC10	23	5144
SEC11	23,7	5300
SEC12	15,4	3444
SEC13	15,4	3444
Total	267,7	59867

*Beban rata-rata tiap fase

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data yang akan dilakukan pada pengerjaan penelitian adalah dengan melakukan perbandingan nilai SAIDI/ SAIFI pada setiap perubahan posisi peletakan *recloser* dan SSO. Dari hasil perbandingan nilai-nilai tersebut, akan dicari nilai SAIDI/SAIFI yang paling kecil sehingga menandakan posisi *recloser* yang lebih optimal.

A. Simulasi Reliability Assesment

Perubahan posisi yang pertama diamati adalah *Recloser 1* dan *Recloser 2*. Posisi kedua *recloser* juga tidak perlu untuk

dibalik karena hasilnya akan sama. Hasil simulasi pada Pengamatan-1 seperti ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil simulasi pengamatan-1

R3	SEC 3		SEC 4		SEC 6	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
R4						
SEC2	29,42	9,71	28,50	9,40	27,33	9,00
SEC3	-	-	28,60	9,43	27,42	9,04
SEC4	-	-	-	-	27,25	8,98
SEC6	-	-	-	-	-	-
SEC7	-	-	-	-	-	-
R3	SEC 7			SEC 8		
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
R4						
SEC2	26,94	8,88	27,70	9,13		
SEC3	27,00	8,90	27,72	9,14		
SEC4	26,60	8,76	27,10	8,93		
SEC6	26,48	8,73	26,55	8,75		
SEC7	-	-	26,86	8,85		

Perubahan posisi kedua yang diamati adalah *Sectionalizer 2*. Jumlah percobaan perubahan penempatan SSO 2 tersebut dilakukan sesuai dengan hasil paling rendah dari Pengamatan-1 dan *section* paling optimal dari *recloser 3*. Pengamatan-1 menunjukkan bahwa posisi *recloser 3* paling optimal berada pada *section 7*, maka kemungkinan jumlah percobaan perpindahan letak SSO2 hanya dua yaitu pada *section 8* dan *section 9*. Hasil simulasi pada Pengamatan-2 seperti ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil simulasi pengamatan-2

SSO	SEC 8		SEC 9	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
	26,98	8,90	26,48	8,73

Perubahan posisi terakhir yang diamati adalah *Recloser 4*. Jumlah percobaan perubahan penempatan *recloser 4* dilakukan sesuai dengan hasil paling rendah dari pengamatan-2 dan *section* paling optimal dari SSO 2. Pengamatan-2 menunjukkan posisi SSO 2 yang paling optimal berada pada *section 9*, maka kemungkinan jumlah percobaan perpindahan letak *recloser 4* hanya satu yaitu pada *section 10*. Hasil simulasi pada Pengamatan-3 ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil simulasi pengamatan-3

R4	SEC 10	
	SAIDI	SAIFI
	26,48	8,73

B. Perhitungan Matematis

Perhitungan secara matematis dilakukan untuk mendapatkan hasil lain di samping pengamatan dengan menggunakan simulasi perangkat lunak atau untuk membuktikan secara teoretis hasil yang didapatkan dari simulasi. Hasil perhitungan ini kemudian akan dibandingkan dengan hasil dari simulasi. Diharapkan bahwa baik hasil simulasi maupun matematis memiliki kesamaan. Untuk perhitungan indeks SAIDI dan SAIFI dilakukan analisis berdasarkan ketentuan pada SPLN 59:1985.

Pada pengamatan pertama (pengamatan perubahan posisi *recloser 2* dan *recloser 3*) percobaan pertama yaitu dengan meletakkan *recloser 2* pada *section 2* dan *recloser 3* pada *section 3*. Nilai yang pertama dicari adalah nilai indeks SAIFI. Dengan mempertimbangkan seluruh komponen yang berada pada penyulang, didapatkan nilai SAIFI seperti ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Perhitungan indeks SAIFI

Jenis Komponen	Nilai Komponen (Unit atau Km)	Angka Keluar (Unit/Tahun atau km/Tahun)	Sistem Keluar (Unit)	Frekuensi Pemadaman (Padam/Tahun)
	(Xi)	(Ji)	(Ci)	(F)
PMT	1	0,004	1	0,004
ABSW 1	1	0,003	1	0,003
Recloser 1	1	0,005	1	0,005
SSO 1	1	0,005	1	0,005
Recloser 2	1	0,005	1	0,005
Recloser 3	1	0,005	0,97	0,005
ABSW 2	5	0,003	0,96	0,014
SSO 2	1	0,005	0,96	0,005
Recloser 4	1	0,005	0,37	0,002
LBS	1	0,005	0,29	0,001
ABSW 3	1	0,003	0,29	0,001
SUTM 1	4,3	0,2	1	0,860
SUTM 2	0,84	0,2	1	0,168
SUTM 3	3	0,2	1	0,600
SUTM 4	6,2	0,2	0,97	1,203
SUTM 5	28,08	0,2	0,96	5,406
SUTM 6	6,2	0,2	0,37	0,461
SUTM 7	0,21	0,2	0,29	0,012
SUTM 8	7,4	0,2	0,29	0,428
SUTM 9	7,8	0,2	0,29	0,452
Trafo/Beban	13	0,005	0,077	0,005
SAIFI				9,65

Nilai- nilai pada Tabel 16 didapatkan dari proses perhitungan yang diuraikan berikut,

- 1) Kolom nilai komponen berisi jumlah dari komponen yang disebutkan pada kolom jenis komponen, dan berisi panjang konduktor atau SUTM di antara dua buah alat proteksi atau *switching* seperti ditunjukkan oleh Tabel 17.
- 2) Kolom angka keluar diisikan seperti pada Tabel 4 bagian *repair time*.
- 3) Kolom sistem keluar berisi rasio jumlah pelanggan yang ter dampak akibat terjadinya gangguan pada komponen. PMT memiliki nilai sistem keluar 1 dikarenakan ketika PMT mengalami gangguan seperti *short circuit*, maka seluruh pelanggan akan padam. Sedangkan *recloser 3* memiliki nilai sistem keluar 0,95 dikarenakan apabila pada *recloser* tersebut mengalami gangguan, maka *recloser* di depannya yaitu *recloser 2* akan bekerja (*open/trip*). Rasio pelanggan terdampak pemadaman dapat dihitung dengan (5).

$$Sistem\ Keluar = \frac{Pelanggan\ Padam\ (Section\ 2 - 13)}{Total\ Pelanggan\ Penyulang} \tag{5}$$

$$Sistem\ Keluar = \frac{58078}{59867} = 0,97$$

Sistem keluar pada trafo atau beban bernilai 0.077 dikarenakan apabila pada beban tersebut mengalami gangguan, maka alat proteksi pada trafo yang akan bekerja

sehingga trafo akan padam. Sistem keluar diperoleh dari (6).

$$Sistem\ Keluar = \frac{1}{Total\ Trafo/Beban} \tag{6}$$

$$Sistem\ Keluar = \frac{1}{13} = 0,077$$

- 4) Indeks SAIFI didapatkan dengan mengalikan seluruh parameter tiap komponen sehingga didapatkan frekuensi pemadaman (F). Nilai frekuensi pemadaman ini kemudian dijumlahkan.

Tabel 17. Range SUTM

SUTM	Alat Proteksi / Switching		Panjang
	A	B	
SUTM 1	PMT	RECLOSER 1	SUTM 1
SUTM 2	RECLOSER 1	SSO 1	SUTM 2
SUTM 3	SSO 1	RECLOSER 2	Section 1
SUTM 4	RECLOSER 2	RECLOSER 3	Section 2
SUTM 5	RECLOSER 3	SSO 2	Section 3 – 8
SUTM 6	SSO 2	RECLOSER 4	Section 9
SUTM 7	RECLOSER 4	LBS 1	Section 10
SUTM 8	BS 1 SW 1	UJUNG	Section 11
SUTM 9	LBS 1 SW 2	UJUNG	Section 12 - 13

Nilai yang selanjutnya dicari adalah nilai indeks SAIDI. Dengan mempertimbangkan seluruh komponen yang berada pada penyulang, didapatkan indeks SAIDI seperti ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18. Perhitungan Indeks SAIDI

Jenis Komponen	Frekuensi Pemadaman (Frekuensi/Tahun)	Repair Time (Jam)	Lama Pemadaman (Jam/Tahun)
	Fi	Ti	U
PMT	0,004	10	0,040
ABSW 1	0,003	10	0,030
Recloser 1	0,005	10	0,050
SSO 1	0,005	10	0,050
Recloser 2	0,005	10	0,050
Recloser 3	0,005	10	0,049
ABSW 2	0,014	10	0,144
SSO 2	0,005	10	0,048
Recloser 4	0,002	10	0,019
LBS	0,001	10	0,014
ABSW 3	0,001	10	0,009
SUTM 1	0,860	3	2,580
SUTM 2	0,168	3	0,504
SUTM 3	0,600	3	1,800
SUTM 4	1,203	3	3,609
SUTM 5	5,406	3	16,219
SUTM 6	0,461	3	1,383
SUTM 7	0,012	3	0,036
SUTM 8	0,428	3	1,285
SUTM 9	0,452	3	1,355
Trafo/Beban	0,005	10	0,050
SAIDI			29,32

Nilai- nilai pada Tabel 18 didapatkan dari proses perhitungan yang diuraikan berikut,

1. Nilai pada kolom Frekuensi Pemadaman (Fi) didapatkan dari hasil perhitungan frekuensi pemadaman tiap komponen Tabel 16 sebelumnya.
2. Kolom *Repair Time* (Ti) berisi perkiraan waktu perbaikan komponen hingga gangguan dapat teratasi berdasarkan SPLN 59:1985. Nilai *Repair Time* seperti ditunjukkan Tabel 4.

Proses perhitungan matematis indeks SAIDI dan SAIFI seperti langkah di atas dilakukan ke seluruh percobaan dari pengamatan ke-1 hingga ke-3. Hasil dari perhitungan secara matematis tersebut seperti ditunjukkan pada tabel 19, 20 dan 21. Tabel 19 dan 20 merupakan hasil perhitungan matematis pengamatan 1 dan 2, tabel 21 merupakan hasil perhitungan matematis pengamatan 3.

Tabel 19. Hasil perhitungan matematis pengamatan-1

R3 R2	SEC 3		SEC 4		SEC 6	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
SEC 2	29,32	9,65	28,40	9,34	27,23	8,95
SEC 3	-	-	28,50	9,37	27,31	8,90
SEC 4	-	-	-	-	27,15	8,98
SEC 6	-	-	-	-	-	-
SEC 7	-	-	-	-	-	-

R3 R2	SEC 7		SEC 8	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
SEC 2	26,83	8,82	26,83	8,82
SEC 3	26,90	8,84	26,90	8,84
SEC 4	26,50	8,71	26,50	8,71
SEC 6	26,37	8,67	26,37	8,67
SEC 7	-	-	-	-

Tabel 20. Hasil perhitungan matematis pengamatan-2

SSO	SEC 8		SEC 9	
	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI
	26,86	8,83	26,37	8,67

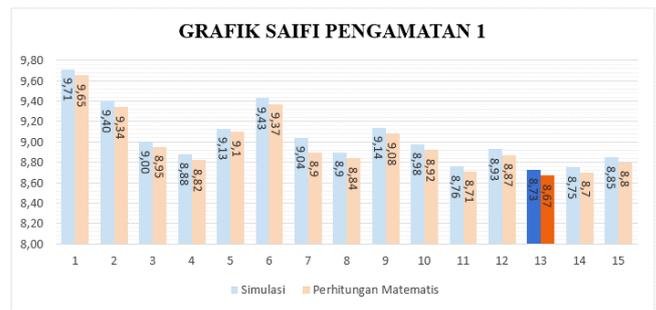
Tabel 21. Hasil perhitungan matematis pengamatan-3

R4	SEC 10	
	SAIDI	SAIFI
	26,37	8,67

C. Perbandingan Hasil

Metode pengamatan secara simulasi dan perhitungan matematis yang telah didapatkan, kemudian dibandingkan untuk menemukan keputusan perubahan posisi *recloser* dan *sectionalizer* yang memiliki hasil indeks SAIDI dan SAIFI paling optimal.

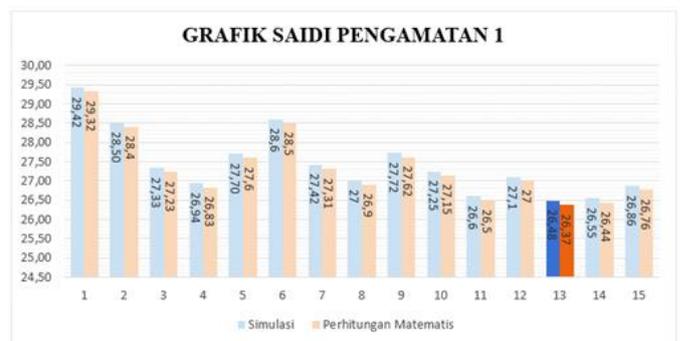
Pada pengamatan pertama yaitu perubahan posisi *recloser* 2 dan *recloser* 3 berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan matematis, didapatkan grafik nilai SAIDI dan SAIFI seperti ditunjukkan pada grafik Gambar 4 dan Gambar 5.



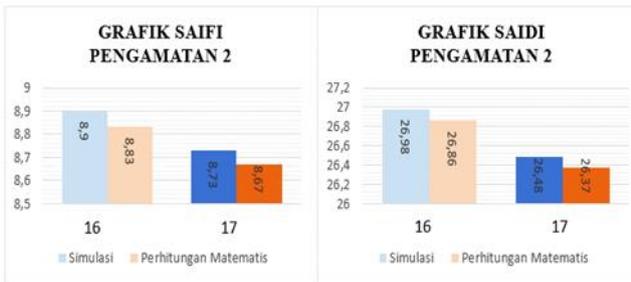
Gambar 4. Grafik perbandingan nilai SAIFI pengamatan-1

Dari hasil metode simulasi didapatkan bahwa penempatan kedua *recloser* paling optimal yaitu pada *section* 6 dan *section* 7 (Percobaan 13) dengan nilai SAIFI 8,73 padam/tahun dan SAIDI 26,48 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari seluruh hasil percobaan pada pengamatan pertama dengan metode simulasi. Sedangkan dari hasil perhitungan secara matematis didapatkan hasil yang sama yaitu penempatan kedua *recloser* paling optimal pada *section* 6 dan *section* 7 (Percobaan 13) dengan nilai SAIFI 8,67 padam/tahun dan SAIDI 26,37 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari seluruh hasil percobaan pada pengamatan pertama dengan metode perhitungan secara matematis.

Dari hasil paling optimal dari pengamatan 1 tersebut kemudian dicari hasil pengamatan 2 yaitu penempatan posisi SSO 2 paling optimal. Perbandingan hasil-hasil percobaan pada pengamatan 2 ditunjukkan grafik Gambar 6. Dari hasil metode simulasi didapatkan bahwa penempatan posisi SSO 2 paling optimal yaitu pada *section* 9 dengan nilai SAIFI 8,73 padam/tahun dan SAIDI 26,48 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari kedua hasil percobaan. Sedangkan dari metode perhitungan matematis didapatkan hasil yang sama yaitu penempatan posisi SSO 2 paling optimal pada *section* 9 dengan nilai SAIFI 8,67 padam/tahun dan SAIDI 26,37 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari kedua hasil percobaan.

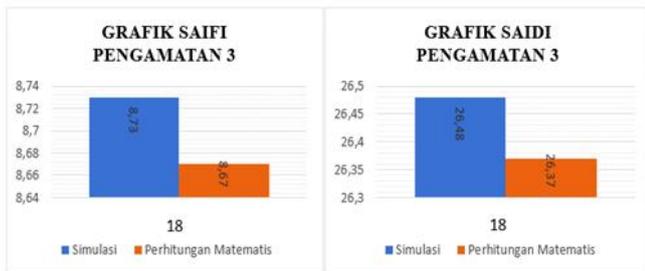


Gambar 5. Grafik perbandingan nilai SAIDI pengamatan-1



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai SAIFI/SAIDI pengamatan-2

Selanjutnya, dari hasil pengamatan ke-2 kemudian dilakukan pengamatan ke-3 yaitu mencari posisi *recloser* 4 yang paling optimal. Pada pengamatan ke-3 hanya dilakukan sekali percobaan yang hasilnya seperti grafik Gambar 7,



Gambar 7. Grafik perbandingan nilai SAIFI/SAIDI pengamatan-3

Dari hasil metode simulasi didapatkan bahwa penempatan posisi *Recloser* 4 paling optimal yaitu pada *section* 10 dengan nilai SAIFI 8,73 padam/tahun dan SAIDI 26,48 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari kedua hasil percobaan. Sedangkan dari metode perhitungan matematis didapatkan hasil yang sama yaitu penempatan posisi *Recloser* 4 paling optimal pada *section* 10 dengan nilai SAIFI 8,67 kali padam/tahun dan SAIDI 26,37 jam/tahun yang mana merupakan nilai terendah dari kedua hasil percobaan.

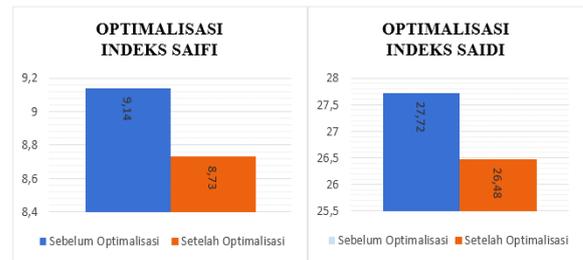
Pengamatan menggunakan metode simulasi menggunakan *software* memiliki *trend* grafik yang sama dengan hasil dari pengamatan menggunakan metode perhitungan secara matematis. Di mana posisi paling optimal dari peralatan *recloser* dan *sectionalizer* yaitu dengan meletakkan alat proteksi sebagai berikut,

1. *Recloser* 2 : *Section* 6
2. *Recloser* 3 : *Section* 7
3. *Sectionalizer* 2 : *Section* 9
4. *Recloser* 4 : *Section* 10

Berdasarkan hasil simulasi, pada posisi alat-alat proteksi sebelum dilakukan perubahan yaitu *recloser* 2 pada *section* 3, *recloser* 3 pada *section* 8, SSO 2 pada *section* 9, dan *recloser* 4 pada *section* 10 didapatkan nilai indeks SAIDI 27,72 jam/tahun dan indeks SAIFI 9,14 padam/tahun. Kemudian, setelah dilakukan perubahan posisi alat-alat proteksi tersebut didapatkan nilai indeks SAIFI 8,73 padam/tahun dan SAIDI 26,48 jam/tahun. Untuk perbedaan lebih jelas dari nilai

sebelum dan sesudah dilakukan perubahan posisi, seperti ditunjukkan pada grafik Gambar 8.

Dari grafik tersebut didapatkan bahwa perubahan posisi dari *recloser* dan *sectionalizer* penyulang WNI 10 berdasarkan simulasi menggunakan *software* dapat mengurangi nilai indeks SAIDI sebesar 1,24 poin atau sebesar 4,47% dan mengurangi indeks SAIFI sebesar 0,41 poin atau sebesar 4,48%.



Gambar 8. Grafik perubahan hasil optimisasi

Untuk menghitung persentase hasil optimisasi penempatan *recloser* dan *sectionalizer* seperti ditunjukkan (7) dan (8).

$$\begin{aligned}
 \% \Delta \text{SAIFI} &= \frac{|\text{SAIFI sebelum} - \text{SAIFI setelah}|}{\text{SAIFI sebelum}} \times 100\% \\
 &= \frac{|9,14 - 8,73|}{9,14} \times 100\% \\
 &= \frac{0,41}{9,14} \times 100\% = 4,48\%
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \% \Delta \text{SAIDI} &= \frac{|\text{SAIDI sebelum} - \text{SAIDI setelah}|}{\text{SAIDI sebelum}} \times 100\% \\
 &= \frac{|27,72 - 26,48|}{27,72} \times 100\% \\
 &= \frac{1,24}{27,72} \times 100\% = 4,48\%
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, kemudian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut,

- 1) Dari hasil simulasi, perubahan posisi alat proteksi (*recloser* dan *sectionalizer*) pada penyulang Wonogiri 10, dapat mengoptimisasi atau menurunkan indeks SAIDI dan SAIFI dari posisi sebelumnya.
- 2) Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, penempatan *recloser* dan *sectionalizer* yang optimal pada penyulang Wonogiri 10 adalah dengan meletakkan *recloser* 2 pada *section* 6, *recloser* 3 pada *section* 7, *sectionalizer* 2 pada *section* 9, dan *recloser* 4 pada *section* 10.
- 3) Setelah perubahan posisi alat proteksi, indeks keandalan penyulang Wonogiri 10 menjadi sebesar 26,48 jam/tahun (SAIDI) dan 8,73 padam/tahun (SAIFI) atau menjadi lebih optimal 4,48% (SAIDI) dan 4,47% (SAIFI) daripada posisi alat proteksi sebelumnya.

- 4) Berdasarkan indeks keandalan PLN (SPLN 68-2 : 1986) hanya nilai SAIDI yang memenuhi standar PLN (27 jam/tahun) dan sedangkan nilai SAIFI belum memenuhi standar PLN (4,16 kali/tahun).

PENELITIAN LANJUTAN

Untuk pengembangan yang lebih lanjut berdasarkan hasil dan kesimpulan penelitian yang telah dilakukan, disarankan atau direkomendasikan untuk penelitian ke depannya sebagai berikut,

- 1) Dikarenakan hasil indeks keandalan yang didapatkan tidak terlalu berkurang signifikan, maka untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan penambahan alat proteksi pada penyulang Wonogiri 10 kemudian mencari posisi yang paling optimal kembali.
- 2) Untuk memperoleh hasil yang lebih variatif, dapat dilakukan metode pengamatan yang berbeda seperti menggunakan kombinasi-kombinasi alat proteksi dengan jumlah percobaan yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Atmajaya, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 KV PT PLN (Persero) Area Pelayanan Jaringan (APJ) Pontianak Metode Reliability Network Equivalent Approach (RNEA)," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 2019.
- [2] B. Pandjaitan, *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Andi Offset, 2012.
- [3] Marwan, Alimin and A. E. Triana, "Penggunaan Metode Reliability Network Equivalent Approach untuk Mengevaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV," *Jurnal Teknologi Elekterika*, vol. 17, no. 12, 2020.
- [4] DIgSILENT Gmbh, *DIgSILENT Power Factory Version 15 User Manual*, Germany: DIgSILENT Gmbh, 2014.
- [5] Operation Technology Inc., "Reliability Assesment Analysis," in *ETAP Power Station 4.0 User Guide*, Southern California, Operation Technology Inc., 2001, pp. 23-25.
- [6] S. Hani, G. Santoso and R. D. Wibowo, "Penempatan Recloser sebagai Parameter Keandalan Sistem Proteksi pada Sistem Distribusi," *Simposium Nasional RAPI XVIII FT UMS*, 2019.
- [7] M. R. Sanaky, I. B. Sulitiawati, and E. Nurcahyo, "Peningkatan Indeks Keandalan dengan Penambahan Recloser pada Sistem Distribusi di PLTD Subaim Menggunakan Metode Section Technique," *JURNAL MAGNETIKA*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [8] A. Silaban, "Studi tentang Penggunaan Recloser pada Sistem Jaringan Distribusi 20kV," *Tugas Akhir Univeristas Sumatera Utara*, 2009.
- [9] A. W. D. P., "Optimalisasi Penurunan Gangguan Recloser pada Penyulang WNI10 di Wilayah Kerja ULP Jatisrono Masa Pandemi COVID-19," *Project Assignment Supervisory Education PT. PLN (Persero)*, 2020.
- [10] Y. L. Baracy, L. F. Venturini, N. O. Branco, D. Issicaba, and A. P. Grilo, "Recloser placement optimization using the cross-entropy method and reassessment of Monte Carlo sampled states," *Electric Power Systems Research*, vol. 189, 2020.
- [11] B. Ghosh, A. Kumar and A. R. Bhowmik, "Reliability Efficiency Enhancement of a Radial Distribution System through Value-based Auto-recloser Placement and Network Remodelling," *Protection and Control of Modern Power Systems*, 2023.
- [12] A. Zeinalzadeh, A. Estebarsari, and A. Bahmanyar, "Multi-Objective Optimal Placement of Recloser and Sectionalizer in Electricity Distribution Feeders," *2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, pp. 1-4, 2019.
- [13] PT PLN (Persero), *Keandalan pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV*, Jakarta: PT PLN, 1985.

Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Menggunakan *Board* Sonoff melalui *Smartphone* Android

Syahban Rangkuti^{1*}, Eliyana Firmansyah¹, Liman Khoeri Munandar¹

¹Teknik Elektro, Universitas Faletahan; eliyana123@gmail.com, khoerimnd@gmail.com

*Korespondensi: syahban3477@gmail.com

Abstract – *Solar Power Plants are a renewable alternative source of electrical energy. The designed solar power plant is equipped with an automatic transfer switch (ATS) monitoring and control system remotely via the eWeLink Android application, with the primary device for the control system using a Sonoff board. The Sonoff board is equipped with features for remote control that can be integrated via the internet network. The solar power plant monitoring system will be created to monitor the power, current, voltage, and kWh calculations used. This monitoring system can be operated remotely via a smartphone using an internet connection. The solar power plant is equipped with a sun tracking device (solar tracker) with a single-axis concept that can automatically direct the solar panels to follow the movement of the sun from east to west with the aim that the solar panels are always perpendicular to the sun so that the electrical power produced by the solar panels (solar panels) more optimally. This system uses 10WP solar panels, a solar charger controller (SCC), battery, inverter, Sonoff Pow R2, relay, time delay relay (TDR), 1 phase MCB, solar tracker module, and linear actuator. Overall, the monitoring system makes it easier for users to monitor solar power plants remotely and maximize solar panel power gain by using a solar tracker. On a 12V 16Ah battery with a DoD of 70% and a power loss of 20%, the time needed to charge the battery is around 6.8 hours. The higher the light intensity, the greater the electrical power produced by the solar panel.*

Keywords – *solar power plant, monitoring system, internet, solar tracker.*

Intisari – Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan salah satu sumber energi listrik alternatif terbarukan. Pembangkit listrik tenaga surya yang dirancang bangun dilengkapi dengan sistem monitoring dan kendali *automatic transfer switch* (ATS) dari jarak jauh melalui aplikasi android eWeLink dengan perangkat utama untuk sistem kendalinya menggunakan *board* Sonoff. *Board* Sonoff telah dilengkapi fitur untuk kendali jarak jauh yang dapat terintegrasi melalui jaringan internet. Sistem monitoring pembangkit listrik tenaga surya yang akan dibuat terdiri dari monitoring daya, arus, tegangan, dan kalkulasi kWh yang telah digunakan. Sistem monitoring ini mampu dioperasikan dari jarak jauh melalui perangkat *smartphone* dengan menggunakan koneksi internet. Pembangkit listrik tenaga surya yang dibuat dilengkapi perangkat pelacak matahari (*solar tracker*) dengan konsep *single axis* yang dapat mengarahkan panel surya secara otomatis mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat dengan tujuan agar panel surya selalu tegak lurus dengan matahari sehingga daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya (*solar Panel*) lebih maksimal. Sistem ini menggunakan panel surya 10WP, *solar charger controller* (SCC), baterai, *inverter*, Sonoff Pow R2, *relay*, *time delay relay* (TDR), MCB 1 Fasa, modul *solar tracker*, dan aktuatur linear. Secara keseluruhan sistem monitoring yang dibuat dapat membantu memudahkan pengguna saat melakukan monitoring pembangkit listrik tenaga surya dari jarak jauh, serta dapat memaksimalkan perolehan daya panel surya dengan penggunaan *solar tracker*. Pada baterai 12V 16Ah dengan DoD 70% serta rugi daya sebesar 20% maka dapat waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai adalah sekitar 6,8 Jam. Semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan oleh solar panel.

Kata kunci – *pembangkit listrik tenaga surya, sistem monitoring, internet, solar tracker.*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat menuntut untuk mencari alternatif sumber energi listrik yang ramah lingkungan menggantikan sumber energi fosil yang terbatas ketersediaannya. Beberapa penemuan dibidang energi salah satunya adalah panel surya, panel surya adalah teknologi terbarukan yang paling banyak digunakan di dunia sebagai sumber energi. Panel surya merupakan sumber energi ramah lingkungan, mudah dipasang dan dirawat, serta berkelanjutan. Prinsip kerja panel surya adalah mengubah energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Salah satu implementasi panel surya adalah menghasilkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata

nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1.353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik disebut juga dengan energi *photovoltaic* [1]. Pada awalnya teknologi ini digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah pedesaan terpencil kemudian berkembang menjadi lampu penerangan jalan berenergi surya, penyediaan listrik di tempat umum seperti rumah peribadatan, pelayanan kesehatan, instansi-instansi pemerintah. Walaupun awalnya hanya cukup untuk kebutuhan penerangan namun PLTS cukup membantu elektrifikasi di tempat yang membutuhkan [2].

Letak geografis Indonesia yang dilewati garis khatulistiwa memiliki potensi sumber energi cahaya matahari langsung yang sangat melimpah sepanjang tahun, hal ini dapat dioptimalkan dengan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya.

Kelemahan utama dari panel surya adalah efisiensinya yang rendah dan biaya yang tinggi. Dalam konteks ini

penggunaan sistem pelacak matahari (*solar tracker*) menjadi solusi untuk memaksimalkan penerimaan energi dari cahaya matahari terhadap panel surya, sistem pelacak matahari digunakan agar panel surya dapat mengikuti pergerakan matahari secara otomatis sepanjang hari, dengan cara mengatur posisi panel surya agar selalu mengikuti pergerakan atau arah matahari, sehingga didapatkan daya maksimum dari panel surya.

Saat ini sistem pembangkit listrik tenaga surya yang mayoritas masih menggunakan sistem konvensional dalam kendali ATS dan monitoring daya listriknya tentunya pengoperasiannya juga terbatas, untuk itu perlu adanya perangkat yang dapat melakukan monitoring daya sekaligus mengendalikan ATS dalam perpindahan antara sumber listrik PLN ke PLTS dari jarak jauh dengan memanfaatkan koneksi internet. Perangkat utama yang dapat digunakan untuk PLTS adalah *board* Sonoff Pow R2 di mana telah dilengkapi dengan modul ESP8266 agar dapat melakukan komunikasi Wi-Fi.

Pada penelitian ini membuat rancang bangun sistem monitoring PLTS menggunakan *board* Sonoff Pow R2 yang dapat dipantau melalui aplikasi *smartphone android*, agar memudahkan pengguna PLTS mengetahui konsumsi daya listrik yang digunakan selama PLTS beroperasi, selain itu akan ditampilkan nilai tegangan, arus dan daya serta KWh secara *real time*, harian, maupun bulanan.

Untuk merancang pembangkit PLTS dibutuhkan beberapa modul atau komponen pendukung diantaranya adalah panel surya, *solar charger controller*, baterai, *inverter*, dan *automatic transfer switch*. Untuk meningkatkan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebaiknya dibuat panel surya sebagai *solar tracker*.

Panel surya atau *photovoltaic panel* merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik. Pada dasarnya sel tersebut berjenis diode yang tersusun atas P-N *junction*. *Photovoltaic* dibuat dari bahan semi konduktor yang diproses sedemikian rupa, yang dapat menghasilkan listrik arus searah. Dalam penggunaannya, sel-sel surya itu dihubungkan satu sama lain, sejajar atau seri, tergantung dari penggunaannya, guna menghasilkan daya dengan kombinasi tegangan dan arus yang dikehendaki [3].

Solar charger controller (SCC) merupakan perangkat elektronik yang berguna mengatur arus dan tegangan listrik yang masuk ke dalam baterai atau mengatur keseluruhan sistem *charger* baterai dari sel surya. Alat ini dipasang setelah panel surya dan sebelum baterai. SCC

Baterai merupakan komponen penting pada pembangkit listrik tenaga surya, yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada saat siang hari, sehingga listrik tetap dapat digunakan pada malam hari. Baterai yang biasa digunakan dalam aplikasi PLTS adalah baterai yang bebas pemeliharaan. Selama waktu ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan daya listrik, saat tidak ada sinar matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai. Baterai yang paling sering digunakan untuk

aplikasi tenaga surya adalah baterai yang bebas dari pemeliharaan bertimbang asam, sejenis baterai *valve regulated lead acid* (VRLA) [4].

Inverter adalah perangkat elektronik yang berguna untuk mengubah arus listrik DC menjadi arus listrik AC. *Inverter* mengubah sumber listrik searah seperti baterai, panel surya, menjadi listrik bolak-balik [5]. Penggunaan *inverter* dalam pembangkit listrik tenaga surya adalah untuk menyuplai beban atau perangkat elektronik yang menggunakan *input* tegangan AC, seperti lampu penerangan, televisi, dan perangkat elektronik yang lainnya.

Automatic transfer switch (ATS) merupakan rangkaian saklar perpindahan antara sumber PLN dan PLTS yang menuju beban. Sistem ATS yang akan digunakan dapat bekerja secara otomatis maupun manual, yaitu ketika tersedia sumber listrik PLN beban akan otomatis terhubung ke PLN begitupun sebaliknya jika tidak tersedia sumber listrik PLN beban akan terhubung ke sumber listrik dari *inverter* PLTS. Selain bekerja secara otomatis sistem ATS yang digunakan juga dapat dioperasikan secara manual melalui tombol fisik pada Sonoff Pow R2 maupun lewat *smartphone* dari jarak jauh melalui koneksi internet.

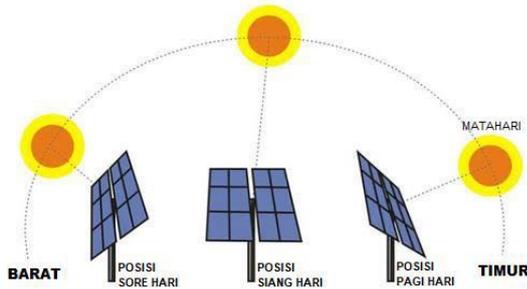
Perangkat Sonoff Pow R2 merupakan perangkat modul mikrokontroler yang dapat terintegrasi dengan *internet of things* yaitu dapat menggunakan koneksi internet sebagai komunikasinya [6]. Sonoff Pow R2 dilengkapi dengan modul komunikasi secara Wi-Fi. Perangkat ini difungsikan sebagai saklar perpindahan antara PLN-PLTS pada mode manual, sekaligus menampilkan nilai daya, arus dan tegangan serta kalkulasi nilai kWh meter yang digunakan. Modul Sonoff terintegrasi dengan aplikasi eWeLink, aplikasi dengan sistem operasi *android*. Bentuk fisik dari modul Sonoff Pow R2 seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Modul Sonoff Pow R2

Solar Tracker adalah perangkat yang mengarahkan panel surya mengikuti pergerakan/posisi matahari. Penggunaan sistem pelacak matahari (*solar tracker*) dimaksudkan untuk memaksimalkan penerimaan energi dari cahaya matahari terhadap panel surya, tujuannya agar posisi panel surya selalu tegak lurus terhadap matahari, sehingga didapatkan daya maksimum sepanjang hari dari panel surya. Gambar 2

merupakan ilustrasi pergerakan *solar tracker* pada pagi hari sampai sore hari.



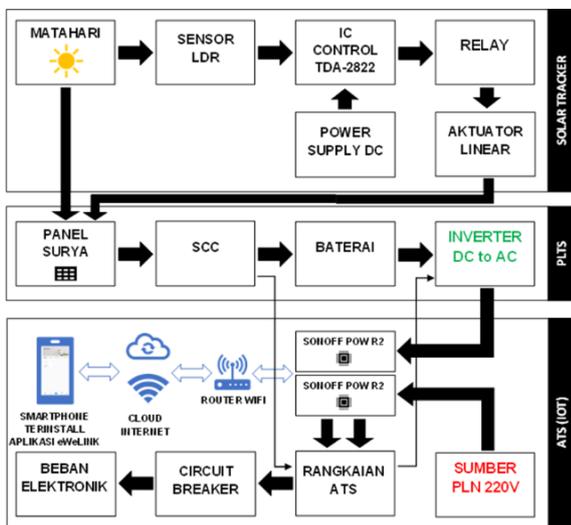
Gambar 2. Ilustrasi pergerakan *solar tracker* [7]

II. METODOLOGI

Pada penelitian rancang bangun sistem monitoring PLTS yang dapat dikendalikan melalui aplikasi *smartphone* dengan sistem operasi *android* maka perlu dirancang perangkat keras dan perangkat lunak yang dapat terintegrasi antara satu dengan yang lainnya. Pada perancangan perangkat keras harus terintegrasi antara perangkat mekanik dan perangkat elektronik, sedangkan pada bagian perangkat lunak harus terintegrasi antara program yang ditanamkan pada modul elektronik dan aplikasi pada *smartphone android*.

A. Perancangan Perangkat Keras

Pada sistem monitoring PLTS ini diagram blok dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian *Solar Tracker*, bagian PLTS & bagian ATS. Gambar 3 menunjukkan diagram blok dari perangkat keras untuk sistem monitoring PLTS.

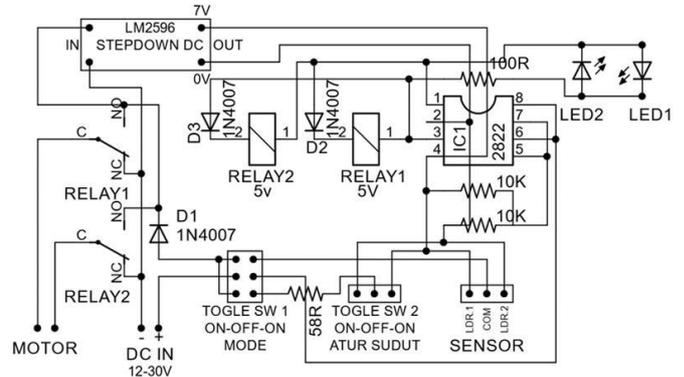


Gambar 3. Diagram blok sistem monitoring PLTS

Dari diagram blok di atas maka dapat diketahui prinsip kerja dari rancang bangun sistem monitoring PLTS yang akan dibuat. Prinsip kerja alat yang dibuat dibagi menjadi 3 bagian utama.

1) *Bagian Solar Tracker*: Sensor LDR berfungsi sebagai sensor yang menangkap cahaya matahari, perbandingan nilai hambatannya akan dijadikan parameter yang nantinya

diproses oleh IC TDA 2822, IC tersebut bertugas sebagai kontrol utama, *output* dari IC memberikan logika keluaran *low/high* kepada *relay*, dua buah *relay* masing-masing memiliki fungsi berbeda dalam mengatur putaran motor DC *linear* yaitu mengatur putaran maju-mundur (*forward/reverse*). Skematik rangkaian untuk *solar tracker* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian *solar tracker*

Selanjutnya motor DC dalam bentuk aktuator linear yang dijadikan *output* utama akan bekerja maju mundur dan menggerakkan kedudukan panel surya menyesuaikan posisi matahari [8]. Rangkaian ini dapat beroperasi dengan sumber catu daya 12-30VDC.



Gambar 5. Implementasi *solar tracker*

Gambar 5 di atas menunjukkan implementasi elektromekanik dari *solar tracker* yang menggerakkan solar panel untuk mengikuti arah gerakan matahari.

2) *Bagian PLTS*: Panel surya berfungsi menangkap cahaya matahari, energi dari cahaya matahari dikonversi menjadi energi listrik DC yang dialirkan ke SCC dan SCC mengatur keluaran arus dan tegangan untuk mengisi baterai agar baterai

tidak *overcharge*, baterai berfungsi menyimpan energi listrik yang nantinya bisa digunakan saat panel surya tidak memberikan tegangan, *inverter* berfungsi mengubah tegangan listrik DC dari baterai menjadi tegangan listrik AC agar dapat digunakan pada perangkat-perangkat elektronik yang menggunakan listrik AC.

3) *Bagian ATS*: ATS adalah bagian saklar pemindah antara sumber PLN atau PLTS, ATS menggunakan *relay* sebagai saklar pemindahannya. Saat ada tegangan PLN, beban akan menggunakan listrik dari PLN dan tegangan PLTS digunakan sebagai cadangan, saklar pemindah tersebut berupa *relay* dengan *coil* AC 220V, sebelum masuk ATS tegangan dari PLN maupun PLTS melewati perangkat Sonoff Pow R2 sehingga dapat dimonitoring nilai tegangan, arus, daya dan kWh, perangkat ini juga dapat dikendalikan hidup dan matinya melalui *smartphone* dari jarak jauh sehingga ATS dapat bekerja pula secara manual, sistem monitoring ini harus terkoneksi internet, dalam ATS terdapat pula TDR. Terdapat dua TDR dalam alat ini, yaitu TDR-1 sebagai *delay on* PLN (jeda hidup PLN) dan TDR-2 sebagai *delay on* beban (jeda hidup beban) saat *inverter* hidup. Kemudian setelah melewati rangkaian ATS, listrik dapat didistribusikan ke beban melewati MCB agar terproteksi dari arus/beban lebih.

Seluruh perangkat pada bagian PLTS dan bagian ATS dirakit pada satu panel listrik seperti yang terlihat pada Gambar 6.

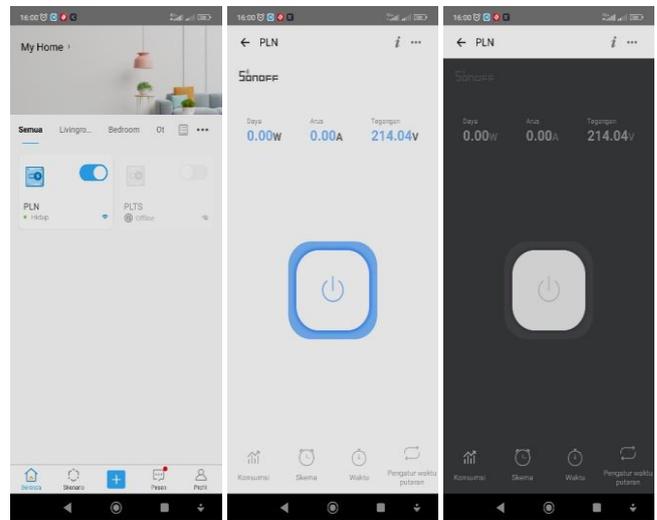


Gambar 6. Implementasi panel kelistrikan

B. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dikembangkan dari aplikasi eWeLink. Aplikasi eWeLink merupakan ekosistem dari berbagai macam perangkat *smart home* salah satu pengembangnya adalah perangkat dari pabrikan Sonoff. Aplikasi eWeLink adalah aplikasi dengan sistem operasi *android* yang tersedia dan dapat dipasang serta bisa diintegrasikan dengan aplikasi Google Assistant dan Google Home sebagai kendalanya.

Aplikasi antarmuka yang digunakan yaitu eWeLink, Gambar 7 merupakan tampilan aplikasi dengan tombol kendali jarak jauh.



Gambar 7. Tampilan aplikasi kendali jarak jauh PLTS

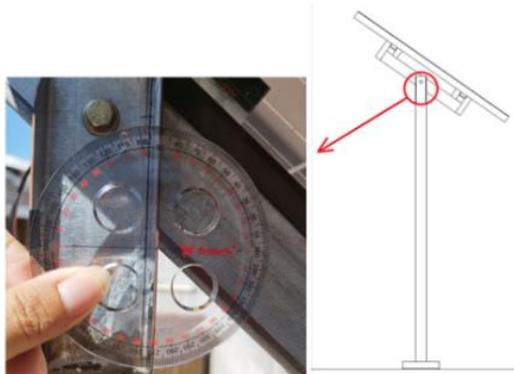
Tampilan pada Gambar 7 di atas merupakan tampilan kendali, layar pertama adalah tampilan menu utama, dalam tampilan menu tersebut terdapat notifikasi yang menandakan perangkat *offline* atau *online* tanda terkoneksi perangkat Sonoff ke internet, pada layar kedua adalah tampilan saat masuk ke perangkat, terdapat kendali tombol dengan latar yang berwarna terang yang menandakan tombol diaktifkan, dan layar ketiga adalah tampilan saat tombol dinonaktifkan, latar akan berwarna gelap. Selain itu saat kondisi darurat perangkat Sonoff ini dapat dioperasikan manual melalui tombol fisik, ketika tidak ada koneksi internet.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan sistem monitoring pembangkit listrik tenaga surya ini, perlu melakukan pengujian terhadap perangkat-perangkat yang akan digunakan untuk mengetahui bahwa sistem akan berjalan dengan baik seperti yang telah direncanakan, terutama pada perangkat-perangkat elektronik yang digunakan dalam perancangan sistem ini. Pengujian yang dilakukan meliputi *solar tracker*, panel surya, SCC, *inverter*, ATS dan perangkat lunak.

A. Pengujian Solar Tracker

Pengujian *solar tracker* bertujuan untuk mengetahui bahwa *solar tracker* berfungsi dengan baik dalam mengarahkan panel surya mengikuti pergerakan matahari secara otomatis sepanjang hari [9]. Pada pengujian ini juga menggunakan alat ukur berupa busur derajat untuk mengukur kemiringan sudut panel surya, busur derajat yang digunakan adalah busur 360°. Pada pengukuran sudut dengan busur posisi dari sudut 90° ditempatkan di sisi atas, posisi arah sudut panel surya dapat diketahui dari sisi kemiringan sudut bagian samping kanan atau kiri. Gambar 8 menunjukkan pengukuran sudut dengan menggunakan busur derajat.



Gambar 8. Pengujian sudut solar tracker dengan busur derajat

Prinsip kerja solar tracker adalah dengan membaca posisi sinar matahari melalui 2 sensor cahaya LDR, jika salah satu sensor tertutup bayangan sekat maka resistansi kedua LDR akan berbeda yang nantinya menjadi nilai parameter yang akan diproses IC untuk memberikan logika low/high kepada 2 unit relay, masing-masing relay berfungsi mengatur putaran aktuator forward dan reverse sehingga aktuator linear dapat bergerak maju atau mundur. Pada perangkat solar tracker juga dilengkapi dengan mode manual dalam mengatur sudut panel surya, sehingga mode manual juga akan diuji untuk mengetahui kinerjanya.



Gambar 9. Pengujian solar tracker

Gambar 9 menunjukkan perpindahan arah solar panel dari pagi hari sampai sore hari. Solar tracker pada mode otomatis dapat mengarahkan panel surya mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari, di mana pada pagi hari solar tracker dapat mengarahkan panel surya ke arah timur kemudian bergerak secara otomatis mengikuti pergerakan matahari ke arah barat, proses pelacakan posisi matahari tersebut menggunakan sensor cahaya LDR sedangkan untuk kendali gerakannya menggunakan linear aktuator yang berupa motor DC. Kemudian pada mode manual pengaturan sudut dapat melalui toggle switch, switch-1 mengubah mode manual/otomatis switch-2 untuk mengatur sudut panel surya pada mode manual, mode manual dimaksudkan untuk membantu dan memudahkan saat panel surya ingin dipasang tetap (statis) ataupun untuk keperluan perawatan panel surya secara berkala seperti pembersihan panel dari debu sehingga lebih memudahkan dalam memosisikan sudut panel surya. Tabel 1 merupakan hasil pengukuran dari pergerakan solar tracker single axis [10].

Tabel 1. Pengukuran sudut solar tracker

Jam	Kondisi Cuaca	Sudut Panel	Arah Kemiringan
08:00	Cerah	32°	Timur
09:00	Cerah	26°	Timur
10:00	Cerah	19°	Timur
11:00	Cerah	10°	Timur
12:00	Cerah	3°	Barat
13:00	Cerah	16°	Barat
14:00	Cerah	29°	Barat
15:00	Cerah	38°	Barat
16:00	Cerah	40°	Barat

Dari hasil pengujian pengukuran sudut diketahui bahwa solar tracker dapat bergerak dengan maksimal sudut sebesar 80° dengan pergerakan 40° ke arah timur dan 40° ke arah barat. Pada pengujian mode manual solar tracker dapat bergerak dengan sudut penuh yaitu 80°. Sedangkan pada mode otomatis posisi sudut panel surya dilakukan saat cuaca cerah sepanjang hari, kemudian arah sudut panel dihitung berdasarkan posisi busur, yaitu posisi busur sudut 90° diposisikan di atas yang artinya pada saat siang hari arah sudut panel dalam kondisi sejajar atau rata menunjukkan sudut 0°. Dari hasil pengujian pada posisi otomatis solar tracker dapat bergerak 32° ke arah timur dan 40° ke arah barat artinya pergerakan total pada mode otomatis hanya sebesar 72° dari total sudut 80°, pada pukul 16:00 solar tracker sudah mencapai posisi sudut yang maksimal yaitu 40°.

B. Pengujian Panel Surya

Pengujian panel surya dimaksudkan untuk mengetahui bahwa panel surya dapat berfungsi dengan baik dalam menerima cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik, tegangan keluaran dari panel surya merupakan tegangan listrik searah. Pada tahap pengujian ini panel surya diarahkan langsung ke matahari, kemudian kabel output panel surya diukur dengan multimeter, atur selektor multimeter pada DC voltage, probe positif multimeter dihubungkan dengan kabel positif panel surya, lalu probe negatif multimeter dihubungkan juga ke kabel negatif panel surya kemudian lihat besar tegangan keluaran yang terukur pada layar multimeter.

Pada Gambar 10 memperlihatkan pengukuran intensitas cahaya matahari menggunakan luxmeter, nilai intensitas cahaya yang terukur nantinya dapat dijadikan gambaran adanya korelasi antara intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh sel surya. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan dengan meletakkan luxmeter sejajar dengan permukaan panel surya.

Pengujian dilakukan secara keseluruhan untuk perangkat panel surya dilakukan selama tiga hari dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan hasil pada hari yang berbeda. Untuk hasil pengukuran hari pertama diperlihatkan pada Tabel 2.

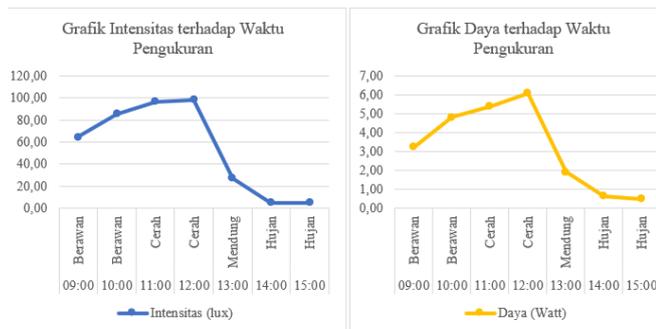


Gambar 10. Pengujian panel surya

Tabel 2. Pengukuran hari pertama

Jam	Kondisi Cuaca	Intensitas (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
09:00	Berawan	64,37	12,43	0,26	3,23
10:00	Berawan	85,63	12,67	0,38	4,81
11:00	Cerah	96,62	12,80	0,42	5,38
12:00	Cerah	98,21	12,94	0,47	6,08
13:00	Mendung	27,23	12,80	0,15	1,92
14:00	Hujan	5,02	12,61	0,05	0,63
15:00	Hujan	5,00	12,52	0,04	0,50
Total Daya (Watt)					22,56

Dari hasil pengujian pada hari pertama dapat dilihat pada grafik bahwa semakin tinggi intensitas cahaya maka akan semakin tinggi juga daya yang dihasilkan. Grafik hasil pengujian hari pertama diperlihatkan pada Gambar 11, pada gambar tersebut menampilkan grafik daya terhadap intensitas cahaya.



Gambar 11. Grafik daya terhadap intensitas cahaya pengujian pertama

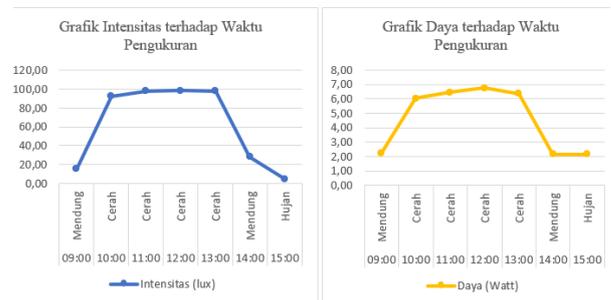
Hasil pengukuran hari kedua diperlihatkan pada tabel 3. Dari hasil pengujian pada hari kedua dapat dilihat pada grafik bahwa semakin tinggi intensitas cahaya maka akan semakin tinggi juga daya yang dihasilkan. Intensitas cahaya bergantung dengan kondisi cuaca, semakin cerah cuaca maka semakin tinggi juga intensitas cahayanya. Grafik hasil pengujian hari kedua diperlihatkan pada Gambar 12.

Untuk hasil pengukuran hari ketiga dilakukan pengujian selama 24 jam, dan hasil pengujiannya diperlihatkan pada tabel 4. Berdasarkan hasil pengujian, solar panel dapat menghasilkan sumber listrik mulai dari jam 06 sampai 18 WIB dengan total daya yang dihasilkan sebesar 44,29 W dan semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima maka semakin

tinggi daya yang dihasilkan. Gambar 13 memperlihatkan grafik daya terhadap intensitas cahaya berdasarkan pengujian pada hari ketiga.

Tabel 3. Pengukuran hari kedua

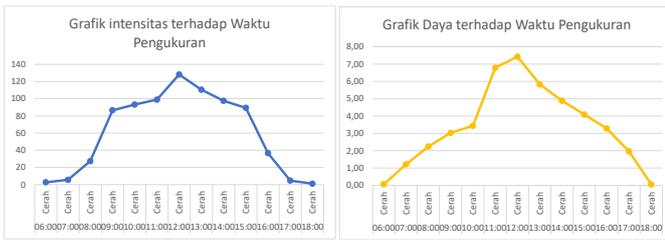
Jam	Kondisi Cuaca	Intensitas (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
09:00	Mendung	15,35	12,50	0,18	2,25
10:00	Cerah	92,16	13,10	0,46	6,03
11:00	Cerah	97,85	13,18	0,49	6,46
12:00	Cerah	98,32	13,21	0,51	6,74
13:00	Cerah	97,51	13,23	0,48	6,35
14:00	Mendung	28,49	12,76	0,17	2,17
15:00	Hujan	5,00	12,74	0,17	2,17
Total daya (Watt)					32,17



Gambar 12. Grafik daya terhadap intensitas cahaya pengujian kedua

Tabel 4. Pengukuran hari ketiga selama 24 jam

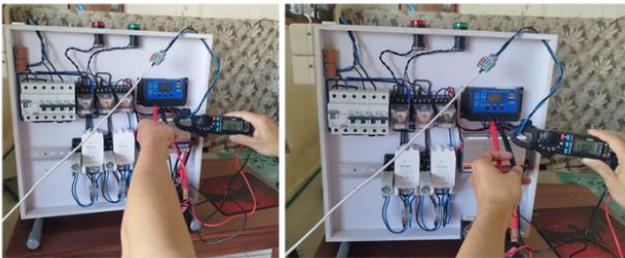
Jam	Kondisi Cuaca	Intensitas (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
00:00	Gelap	0	0	0	0,00
01:00	Gelap	0	0	0	0,00
02:00	Gelap	0	0	0	0,00
03:00	Gelap	0	0	0	0,00
04:00	Gelap	0	0	0	0,00
05:00	Gelap	0	0	0	0,00
06:00	Cerah	2,650	6,49	0,01	0,06
07:00	Cerah	5,576	12,15	0,10	1,22
08:00	Cerah	27,290	13,17	0,17	2,24
09:00	Cerah	86,450	13,19	0,23	3,03
10:00	Cerah	93,140	13,20	0,26	3,43
11:00	Cerah	98,870	13,30	0,51	6,78
12:00	Cerah	128,100	13,50	0,55	7,43
13:00	Cerah	110,450	13,24	0,44	5,83
14:00	Cerah	97,520	13,20	0,37	4,88
15:00	Cerah	89,310	13,18	0,31	4,09
16:00	Cerah	36,540	13,15	0,25	3,29
17:00	Cerah	4,560	13,10	0,15	1,97
18:00	Cerah	1,05	5,23	0,01	0,05
19:00	Gelap	0	0	0	0,00
20:00	Gelap	0	0	0	0,00
21:00	Gelap	0	0	0	0,00
22:00	Gelap	0	0	0	0,00
23:00	Gelap	0	0	0	0,00
Total Daya (Watt)					44,29



Gambar 13. Grafik daya terhadap intensitas cahaya pengujian ketiga

C. Pengujian SCC

Pengujian SCC bertujuan untuk mengetahui apakah SCC dapat bekerja dengan baik dalam menyesuaikan arus dan tegangan yang masuk ke baterai hal ini guna melindungi baterai dari kerusakan karena *overcharging*. Pengujian SCC dilakukan menggunakan multimeter digital pada skala DC Volt pada terminal *input* panel surya dan terminal *output* yang menuju baterai. Gambar 14 memperlihatkan pengukuran SCC dengan menggunakan multimeter digital.



Gambar 14. Pengujian SCC dengan multimeter digital

Hasil pengukuran terminal *input* SCC dan terminal *output* SCC yaitu pada terminal *input* besar tegangannya adalah 13,11VDC dan pada terminal *output* sebesar 13,02 VDC, yang artinya SCC berhasil menurunkan tegangan dari panel surya agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan dalam proses *charging* baterai.

D. Pengujian Inverter

Pengujian *inverter* bertujuan untuk mengetahui apakah *inverter* dapat bekerja dengan baik dalam mengubah arus listrik searah menjadi arus listrik bolak-balik dari tegangan 12VDC menjadi tegangan 220VAC. Dari hasil pengujian *inverter* 500W pada sistem yang dibuat dilakukan pengukuran tegangan pada *input* dan *output inverter* menggunakan multimeter, pada *input inverter* tegangan terukur 11,58V dengan arus yang mengalir 0,438 Ampere, sedangkan pada tegangan *output* menunjukkan nilai tegangan 223,4 VAC pada posisi *inverter* tidak dihubungkan ke beban seperti yang terlihat pada Gambar 15. Hal ini artinya *inverter* berhasil mengubah tegangan dari DC menjadi AC.

Kemudian perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui daya yang digunakan *inverter* pada saat proses mengubah tegangan, perhitungannya sebagai berikut:

$$P = V \times I$$

$$P = 11,58V \times 0,438A$$

P = 5,07 W



Gambar 15. Pengujian inverter

Dari hasil perhitungan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa untuk mengubah tegangan dari DC ke AC *inverter* 500W yang digunakan pada PLTS ini menggunakan daya sebesar 5,07 W.

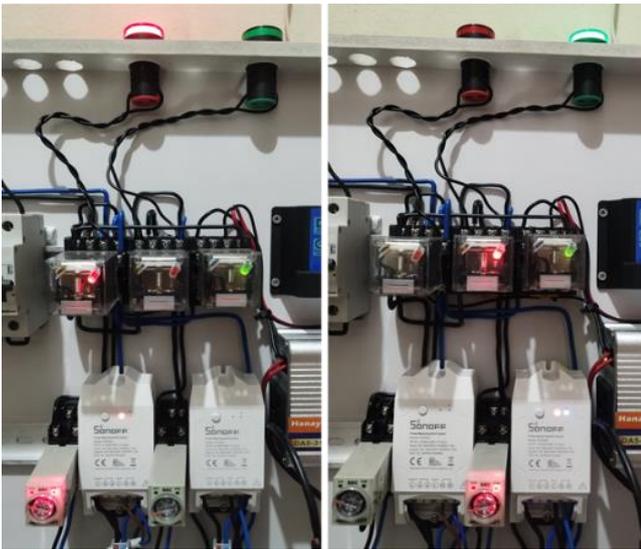
E. Pengujian ATS

Pengujian ATS bertujuan untuk mengetahui apakah ATS dapat bekerja dengan baik dalam memindahkan sumber listrik dari PLN ke sumber listrik dari *inverter* PLTS. Serta mengetahui daya yang digunakan pada rangkaian ATS yang didalamnya terdapat *relay* dan *timer*. Berikut langkah-langkah dalam pengujian ATS:

1. Periksa komponen pada rangkaian ATS (perangkat Sonoff, *relay*, *timer*, dan MCB berfungsi secara normal.
2. Setelah dipastikan semua perangkat normal maka selanjutnya hubungkan ke sumber listrik PLN lalu periksa apakah *relay* 1 hidup dan beban tersambung ke jalur listrik PLN.
3. Jika bekerja dengan baik maka Sonoff 1 hidup lalu *timer* bekerja kemudian *pilot lamp* yang warna merah menyala, sebagai tanda bahwa beban terhubung ke PLN.
4. Kemudian ukur dengan multimeter apakah terminal *output* untuk beban mengeluarkan listrik 220VAC.
5. Selanjutnya pengujian dari sumber PLTS, langkah pertama putuskan sumber listrik dari PLN dengan menekan tombol fisik pada perangkat Sonoff ke 1 kemudian *relay* 1 off, *inverter* hidup, Sonoff ke 2 hidup, *timer* 2 bekerja menghidupkan *relay* 2, *output inverter* terhubung ke beban.
6. Kemudian lihat dan pastikan *pilot lamp* merah mati dan *pilot lamp* hijau menyala sebagai tanda beban terhubung ke sumber PLTS.
7. Ukur dengan multimeter apakah terminal *output* untuk beban mengeluarkan listrik 220VAC.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, ATS dapat berfungsi dengan baik dalam melakukan perpindahan sumber listrik dari PLN ke PLTS maupun sebaliknya secara otomatis ditandai dengan *pilot lamp* menyala, di mana merah sebagai tanda sumber dari PLN sedangkan hijau adalah tanda sumber dari PLTS, perpindahan ATS dapat secara langsung maupun

jeda melalui *timer*, prinsip kerjanya ketika ada tegangan listrik dari PLN maka beban terhubung ke sumber PLN, pada saat tidak ada tegangan listrik dari PLN otomatis berpindah ke PLTS dengan menghidupkan *inverter*, perangkat utama sebagai saklar pemindah adalah *relay* dengan *rating* arus 10 A sehingga mampu mendistribusikan daya hingga 2200 VA, untuk itu penulis menambahkan juga MCB 10A agar beban tidak melebihi daya tersebut. Gambar 16 menunjukkan implementasi ATS pada sistem solar panel yang telah dibuat.



Gambar 16. Implementasi ATS

Selain dapat berpindah secara otomatis ATS yang dibuat juga dapat dioperasikan secara manual dari jarak jauh melalui internet hal ini dapat dilakukan karena adanya dua buah perangkat Sonoff Pow R2 dengan satu perangkat terhubung ke PLN satu perangkat lagi dihubungkan ke *inverter* di mana memungkinkan untuk dioperasikan manual yaitu dengan cara mematikan perangkat Sonoff yang terhubung ke sumber PLN hal ini dapat secara otomatis mengaktifkan fungsi ATS untuk memindahkan beban ke sumber PLTS.

F. Pengujian Perangkat Lunak

Pada pengujian perangkat lunak meliputi pengujian aplikasi yang menjadi antarmuka monitoring dan *controlling* serta pengujian koneksi antara perangkat Sonoff dengan aplikasi monitoring yaitu aplikasi eWeLink. Pada pengujian ini menggunakan perangkat *smartphone android* yang nantinya digunakan untuk memasang aplikasi eWeLink. Namun sebelum ke tahapan pengujian perlu adanya konfigurasi antara aplikasi dengan perangkat Sonoff.

Dari pengujian perangkat lunak dapat disimpulkan bahwa aplikasi eWeLink yang terinstal pada *smartphone android* dapat terkoneksi dengan baik ke perangkat Sonoff. Tombol kendali dapat dioperasikan dari jarak jauh, dengan cara menghubungkan perangkat Sonoff ke Wi-Fi *router* di rumah, sedangkan *smartphone* menggunakan data seluler sehingga koneksinya bisa dua arah, artinya kendali maupun monitoring dapat dilakukan dari jarak jauh. Selain itu perangkat Sonoff

juga dapat melakukan monitoring nilai daya, arus dan tegangan yang ditampilkan pada aplikasi eWeLink.

G. Pengujian Beban PLTS dan Monitoring Daya

Sebelum melakukan analisis pada sistem monitoring daya dengan aplikasi eWeLink terlebih dahulu dilakukan analisis beban yang digunakan sebelum melewati perangkat Sonoff. Dari hasil analisis pada *inverter* 500 W didapatkan daya sebesar 5,07 W untuk mengubah tegangan dari DC ke AC, lalu keluaran dari *inverter* terhubung ke perangkat Sonoff yang membutuhkan daya 6,75 W, sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_{inverter} + P_{sonoff} \\ P_{total} &= 5,07 \text{ W} + 6,75 \text{ W} \\ P_{total} &= 11,82 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga konsumsi daya pada sistem di luar beban, dibutuhkan daya sebesar 11,82 W.

Baterai yang digunakan pada PLTS ini berkapasitas 12 V 6Ah sehingga diperoleh daya sebesar 72 W, agar baterai lebih tahan lama maka perlu diperhitungkan *Depth of Discharge* (DoD) sekitar 70% sehingga kapasitas aktif baterai hanya 50,4 Wh. DoD 30% sisanya disimpan dalam baterai untuk membantu membangkitkan sel-sel baterai pada saat proses *charging*.

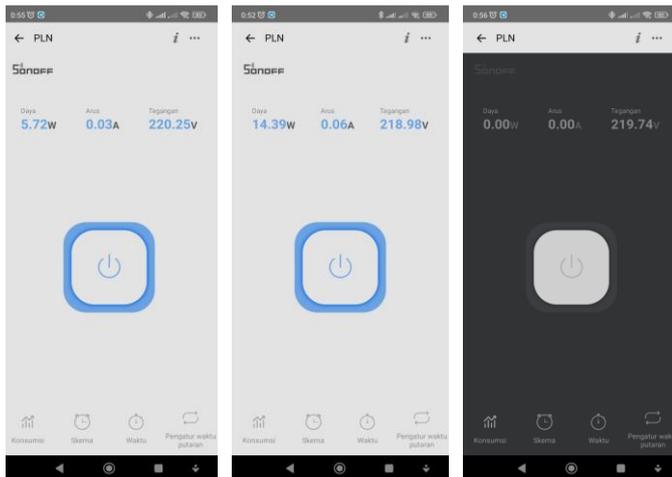
Berdasarkan data dari produk panel surya 10WP yang digunakan, nilai arus maksimum (I_{max}) sebesar 0,571 A dan tegangan maksimum (V_{max}) yang dihasilkan sebesar 17,5 V, sehingga daya maksimum yang dihasilkan adalah 9,9925 Wp atau ± 10 Wp, dengan toleransi daya maksimum yang diperbolehkan sekitar 3%. Berdasarkan data produk waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga penuh paling cepat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h &= (\text{Kapasitas } 70\%) / (V_{max} \times I_{max}) \times 20\% \\ &\text{rugi-rugi daya} \\ h &= (50,4 \text{ Wh} / 10 \text{ W}) \times 20\% \\ h &= 5,4 \text{ h} + 1,08 \\ h &= 6,8 \text{ jam} \end{aligned}$$

Selain fungsi perangkat Sonoff Pow R2 sebagai saklar dan kendali ATS, fitur lain yang dapat dimanfaatkan dari perangkat ini pada sistem PLTS yaitu fitur monitoring yang terdiri dari monitoring daya, arus, tegangan serta kalkulasi kWh yang digunakan. Hal ini sangat membantu pengguna dalam memonitor PLTS kapan pun dan dari mana pun karena akses yang mudah dan bisa dilakukan jarak jauh melalui koneksi internet. Juga dapat mengetahui biaya yang dikeluarkan dari penggunaan listrik masing-masing sumber (PLN maupun PLTS) dalam periode yang telah ditentukan. Berikut merupakan gambar tampilan aplikasi eWeLink saat memonitoring daya.

Gambar 17 menunjukkan data monitoring pada sumber PLN karena pada dasarnya hasil pembacaan Sonoff dari PLN dan PLTS yang menuju beban relatif sama. Analisis dilakukan dengan menambahkan beban satu lampu 9 W. Pada

layar pertama beban lampu tidak ditambahkan dan terbaca daya sebesar 5,72 W dengan arus 0,03 A dan tegangan 220,25 VAC. Daya tersebut merupakan daya dari rangkaian ATS yang berupa *relay* dan *timer*. Pada layar kedua menampilkan daya setelah ditambahkan beban lampu LED 9 W menjadi 14,39 W yang artinya beban lampu 9 W yang terbaca adalah 14,39 W - 5,72 W = 8,67 W dengan arus 0,06 A dan tegangan 218,98 VAC. Kemudian layar ke tiga adalah tampilan saat saklar dimatikan, sehingga hanya tegangan *input* yang terbaca pada aplikasi.



Gambar 17. Monitoring daya pada aplikasi eWeLink

Pada layar kedua menampilkan daya setelah ditambahkan beban lampu LED 9W menjadi 14,39 W yang artinya beban lampu 9 W yang terbaca adalah 14,39 W - 5,72 W = 8,67 W dengan arus 0,06 A dan tegangan 218,98VAC. Kemudian layar ke tiga adalah tampilan saat saklar dimatikan, sehingga hanya tegangan *input* yang terbaca pada aplikasi.

Dari hasil analisis monitoring daya semua perangkat, maka didapatkan beban total = 11,82 W + 14,39 W = 26,21 W. Untuk mengetahui seberapa lama PLTS dapat bekerja dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Kapasitas daya baterai}}{\text{Daya dalam PLTS}} \times \text{Rugi} - \text{rugi daya}$$

$$P = \frac{50,4Wh}{26,21W} \times 20\%$$

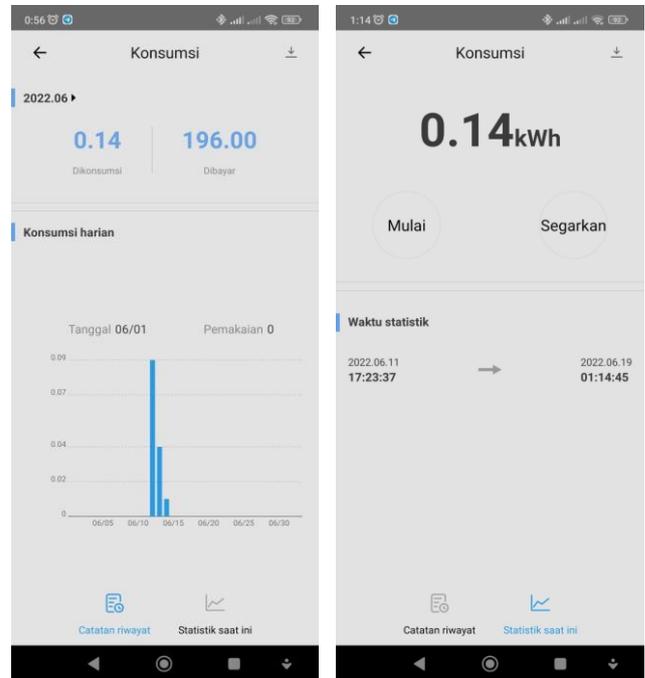
$$P = 1,92 - 0,38$$

$$P = 1,54 \text{ Jam atau } 92 \text{ menit}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa PLTS dapat bekerja selama 1,54 jam atau 92 menit dengan beban satu unit lampu 9W, beban ATS dan beban daya dalam PLTS.

Selain monitoring daya, perangkat Sonoff juga mampu menyimpan data daya yang kemudian dikalkulasikan ke dalam penggunaan kWh. Gambar 18 menunjukkan tampilan penggunaan kWh pada aplikasi eWeLink. Dari data pada Gambar 18 aplikasi eWeLink mampu menyimpan data kalkulasi penggunaan listrik dalam satuan kWh dari beban elektronik dan dapat ditampilkan per hari, per bulan maupun per periode yang diinginkan sehingga dapat diketahui juga penggunaan listrik tertinggi pada tanggal berapa, serta biaya

dalam satuan rupiah yang harus dibayar, sebaliknya apabila monitoring tersebut pada bagian sumber PLTS pengguna juga dapat mengetahui biaya listrik yang telah dihemat dengan penggunaan PLTS.



Gambar 18. Kalkulasi kWh pada aplikasi eWeLink

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan adanya korelasi antara intensitas cahaya matahari dengan daya yang dihasilkan panel surya berbanding lurus yaitu semakin besar intensitas cahaya matahari maka semakin besar juga daya yang dihasilkan panel surya. Dari data pengukuran rata-rata puncak perolehan daya tertinggi adalah antara jam 11:00-13:00, daya tertinggi yang dihasilkan panel surya 10 Wp pada proses pengambilan data sebesar 7,43 W dengan intensitas cahaya 128.10 lx pada jam 12:00 di hari ketiga. Penggunaan *solar tracker* sangat membantu dalam sistem PLTS karena dapat membantu mengarahkan panel surya untuk mendapatkan intensitas cahaya matahari yang maksimum sepanjang hari secara otomatis, sehingga dapat memaksimalkan perolehan daya terhadap waktu. Perangkat Sonoff Pow R2 yang dihubungkan ke sumber PLN dan PLTS dapat dikonfigurasi dengan aplikasi eWeLink menggunakan *smartphone android*, koneksinya melalui jaringan Wi-Fi, proses monitoring dan kendali dapat dilakukan dari dua arah, yaitu *smartphone* dapat terhubung internet menggunakan data seluler dan Sonoff menggunakan *router Wi-Fi* sehingga tidak ada batasan jarak dalam pengoperasiannya.

Dengan baterai 12 V 6 Ah memiliki kapasitas total sebesar 72 Wh apabila menggunakan perhitungan DoD sebesar 70% kapasitas aktifnya menjadi 50,4Wh, jika dilakukan proses *charging* dengan perhitungan rugi-rugi daya sebesar 20%

waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga penuh 100% yaitu selama 6,8 jam dengan panel surya 10Wp pada kondisi puncak. Berdasarkan kapasitas baterai dan total daya beban yang diujikan, PLTS dapat dioperasikan selama 1,54 jam atau 92 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi," *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*, vol. 10, no. 2, 2012.
- [2] R. A. Diantari, S. Rahayu, and R. Okvasari, "Analisis Instalasi Listrik Menggunakan Pembangkit Listrik Surya Skala Rumah Tangga", *Jurnal Ilmiah Sutet*, vol. 8, no. 2, pp. 122-128, 2018.
- [3] F. Hindarti and E. Ayuningtyas, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 150 WP Sebagai Suplai Energi pada Fotobioreaktor Mikroalga." *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, vol. 20, no.1, pp. 58-68, 2020.
- [4] D. Liestyowati, I. Rachman, E. Firmasyah, and Mujiburohman, "Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berkapasitas 100 WP dengan Inverter 1000 Watt," *Insologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 5, pp. 623-634, 2022.
- [5] M. Roal, "Peningkatan Efisiensi Energi Menggunakan Baterai Dengan Kendali Otomatis Penerangan Ruang Kelas Berbasis PLTS," *Jurnal Elkha*, vol. 7, no. 2, pp. 12-20, 2015.
- [6] Y. Apriani, M. R. Bagaskara, I. M. Sofian, and W. A. Oktavian, "The Automatic *Monitoring* System for WPP, SPP, and PLN base on The Internet of Things (IoT) Using Sonoff Pow R2," *Elinvo*, vol. 6, no. 2, pp. 174-182, 2021.
- [7] P. Siagian and R. Manurung, "Pengembangan Panel Surya 120 WP dengan Solar Tracker Double Axis Sebagai Bahan Pembelajaran Mahasiswa di Program Studi Teknik Mesin UHN," *SjoME*, vol. 3, no. 2, pp. 115-128, 2022.
- [8] E. R. A. Larico and A. C. Gutierrez, "Solar Tracking System Photovoltaic Cell: Experimental Analysys at High Alitute", *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 3, pp. 630-639, 2022.
- [9] D. N. Sadewo, T. Arifianto, L.S. Moonlight and B. Wasito, "Penggunaan Solar Tracker Untuk Analisis Pencarian Daya Maksimal pada Panel Surya," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 7., no. 2, pp. 43-47, 2022.
- [10] A. B. Pulungan, Q. Fajri, and I. Yelfianhar, "Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker pada Daerah Khatulistiwa," *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, vol. 7, no. 2, pp. 261-270, 2021.

Analisis Kinerja Sistem *Photovoltaic Management Platform* pada Implementasi Sistem PLTS *Hybrid* Berbasis *Internet of Things* Area R&D Syngenta Cikampek

Kurniawan Aprilianto¹, Unan Yusmaniar^{1,*}

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada;

kurniawanapriliantowawan@mail.ugm.ac.id,

*Korespondensi: unan_yusmaniar@ugm.ac.id

Abstract – Hybrid solar power plants that combine solar energy with other power sources are becoming popular for reliable and sustainable energy availability. To ensure the efficient management of these plants, the performance of the photovoltaic management platform is crucial. This research focuses on evaluating the performance of photovoltaic management platforms in an internet of things (IoT)-based hybrid solar power plant. The study measures the quality of service (QoS) of data transmission and conducts usability testing on the Solarman Smart photovoltaic management platform. The results demonstrate that the tested solar PV system performs optimally, with high network service quality. The PV plant management platform also shows a good level of usability performance, including advantages in system comprehension, efficiency, memorability, error rate, and user satisfaction. These findings contribute to the overall quality, reliability, and satisfaction of monitoring PV plant performance. The study highlights the importance of network quality and usability in enhancing the performance of hybrid solar power plants.

Keywords – internet of things (IoT), quality of service, Nielsen Attributes of Usability, photovoltaic management platform, , solar system

Intisari – Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *hybrid* yang menggabungkan energi surya dengan sumber daya lain seperti baterai atau *grid* listrik konvensional menjadi pilihan yang relevan untuk memastikan ketersediaan energi yang dapat diandalkan, stabil, dan berkelanjutan. Kinerja *photovoltaic management platform* yang mengelola proses produksi, distribusi, dan konsumsi energi surya, menjadi kritis dalam menghadapi kompleksitas sistem ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi kinerja *photovoltaic management platform* dalam konteks penerapan PLTS *hybrid* berbasis *internet of things* (IoT). Metode analisis data melibatkan pengukuran kualitas pengiriman data (*quality of service/QoS*) menggunakan standar ITU-T G.1010 pada sistem IoT pemantauan PLTS, serta pengujian *Nielsen Attributes of Usability (NAU)* pada penggunaan platform manajemen *photovoltaic Solarman Smart*. Hasil utama penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS yang diuji berkinerja optimal, dengan kualitas layanan jaringan yang tinggi. Platform manajemen PLTS menunjukkan tingkat kinerja *usability* yang baik, dengan keunggulan *usability* seperti pemahaman sistem, efisiensi, kemudahan diingat, tingkat *error*, dan kepuasan pengguna dalam memanfaatkan *PV plant Management Platform*. Hasil ini memberikan kontribusi positif terhadap kualitas, keandalan, serta kepuasan pemantauan kinerja PLTS secara keseluruhan. Terdapat hubungan yang berbanding lurus antara kualitas jaringan, tingkat kinerja, dan kepentingan *usability*.

Kata kunci – *internet of things* (IoT), kualitas layanan, *Nielsen Attributes of Usability* , *photovoltaic management platform*, PLTS

I. PENDAHULUAN

Energi memegang peran yang sangat vital dalam mendukung pembangunan, baik di tingkat nasional maupun internasional. Khususnya, energi listrik memiliki dampak langsung maupun tidak langsung dalam menggerakkan roda perekonomian dan menciptakan kesejahteraan bagi berbagai lapisan masyarakat. Regulasi terkait pasokan energi listrik di Indonesia diatur dalam Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang energi, dengan prinsip pengelolaan energi berdasarkan asas kemanfaatan, efisiensi berkeadilan, peningkatan nilai tambah, keberlanjutan, kesejahteraan masyarakat, pelestarian fungsi lingkungan hidup, ketahanan nasional, dan keterpaduan, dengan mengutamakan kemampuan nasional [1].

Pasokan energi listrik saat ini masih didominasi oleh sumber energi tidak terbarukan, terutama dari fosil, yang tercermin dalam penggunaan pembangkit listrik tenaga diesel, gas, dan batu bara. Ketergantungan pada sumber daya ini menciptakan tantangan terkait keberlanjutan dan memicu

upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan.

Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Perusahaan Listrik Negara mencatat proyeksi penambahan kapasitas pembangkit listrik hingga tahun 2030. Dari total penambahan kapasitas, lebih dari setengahnya (51,6%) diharapkan berasal dari energi baru terbarukan (EBT), menunjukkan komitmen Indonesia dalam meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energi. Sebagai bagian dari EBT, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mendapat perhatian khusus dengan proyeksi kapasitas signifikan [2].

PLTS sebagai sistem pembangkit listrik yang mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik, menjadi pilihan menjanjikan untuk menyediakan energi bersih dan ramah lingkungan. Namun, untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya, diperlukan sistem manajemen yang efektif dan terintegrasi. *Internet of things* (IoT) telah

muncul sebagai solusi yang mampu meningkatkan efisiensi dan menghubungkan komponen-komponen dalam PLTS [3].

Dalam konteks ini, PLTS *hybrid* yang menggabungkan energi surya dengan sumber daya lain seperti baterai atau *grid* listrik konvensional, menjadi pilihan yang relevan untuk memastikan ketersediaan energi yang stabil, dapat diandalkan, dan berkelanjutan. Kinerja *photovoltaic* (PV) *management platform* yang mengelola produksi, distribusi, dan konsumsi energi surya, menjadi kritis dalam menghadapi kompleksitas sistem ini.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki lebih lanjut tentang kinerja platform manajemen *photovoltaic* dalam konteks PLTS *hybrid* berbasis IoT. Fokus penelitian melibatkan bagaimana platform dapat mengelola berbagai sumber energi dengan cerdas dan efisien, serta bagaimana integrasi dengan teknologi IoT dapat meningkatkan *monitoring*, kontrol, dan pengambilan keputusan dalam sistem. Dengan harapan bahwa penelitian ini akan memberikan wawasan yang lebih baik tentang potensi dan tantangannya, juga menjadi panduan praktis untuk perbaikan dan peningkatan kinerja platform manajemen PV. Kontribusi penelitian diharapkan dapat mendukung pengembangan sistem energi terbarukan yang lebih efisien dan berkelanjutan serta meningkatkan pemahaman tentang peran IoT dalam mendukung keberlanjutan energi dan mitigasi perubahan iklim.

II. TINJAUAN ANALISIS

A. Lingkup Tinjauan

Penelitian ini mengeksplorasi kinerja sistem platform manajemen PV pada implementasi Sistem PLTS *Hybrid* berbasis IoT. Sejumlah penelitian sebelumnya telah fokus pada evaluasi performa PLTS dengan sistem *on-grid*. Namun, penelitian ini memperdalam aspek-aspek kinerja dan tingkat kepentingan terhadap platform manajemen PV dalam konteks sistem *hybrid*. Meskipun terbatasnya referensi dalam sistem *hybrid*, penelitian ini menghadapi tantangan menyusun konsep dan metodologi berdasarkan informasi yang terbatas.

Analisis yang menggabungkan *Quality of Service* (QoS), kinerja sistem, dan tingkat kepentingan terhadap platform manajemen PV membawa terobosan baru. Integrasi elemen-elemen ini diharapkan memberikan wawasan mendalam dan solusi inovatif terkait performa platform manajemen PV dalam implementasi sistem PLTS *hybrid* berbasis IoT.

Penelitian pada [1] melakukan analisis komparatif antara perhitungan kinerja optimal dari PLTS dengan perhitungan perangkat lunak Pvsyst, SAM, HelioScope. Faktor-faktor seperti radiasi matahari, temperatur, kapasitas, dan daya PLTS dipertimbangkan dalam analisis penelitian tersebut. Studi yang dilakukan pada [4] melakukan analisis kuantitatif terhadap sistem jaringan berbasis QoS pada *hotspot* di Institut Shanti Bhuana. Parameter QoS seperti *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* diukur dan dibandingkan dengan standar TIPHON.

Penelitian [5] mengadopsi metode studi literatur yang mencakup bahan-bahan mengenai *user interface*, *usability testing*, dan *Nielsen's Attribute of Usability* (NAU) *Model*. Untuk pengujian, penelitian ini menggunakan SEM dan *Smart PLS* sebagai alat statistik. Penelitian ini dilakukan untuk menguji tingkat pembelajaran, efisiensi, daya ingat, tingkat kesalahan, dan kepuasan dari permainan kosakata menggunakan metode NAU. Hasilnya menunjukkan tingkat pembelajaran permainan kosakata sebesar 74,4%, tingkat efisiensi 82,3%, tingkat daya ingat 84,1%, tingkat kesalahan 49,5%, dan tingkat kepuasan 80,2%.

Penelitian yang dilakukan pada [6] melakukan analisis deskriptif melalui parameter QoS meliputi *delay/latency*, *jitter*, *packet loss*, *throughput*, dan MOS (*mean opinion score*) pada jaringan internet di UPT Loka Uji Teknik Penambangan Jampang Kulon - LIPI. Temuan penelitian memberikan rekomendasi tindakan perbaikan untuk meningkatkan kualitas jaringan internet di UPT tersebut.

Studi pada [7] menggunakan kuesioner NAU untuk menilai kegunaan platform web manajemen penelitian Universitas Maroko yang disebut SIMARECH. Temuan studi ini menunjukkan bahwa platform ini memiliki tingkat kegunaan yang tinggi namun juga mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan. Penelitian pada [8] melakukan analisis komparatif antara data perangkat lunak HOMER dan data historis sistem untuk menyimulasikan PLTH Baron Techno Park dengan dua kondisi yang berbeda, yaitu *off-grid* dan *on-grid*.

Penelitian pada [7] mengadopsi metode Kuesioner NAU digunakan untuk menilai kegunaan platform SIMARECH. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kegunaan platform web manajemen penelitian Universitas Maroko yang disebut SIMARECH. Hasilnya menunjukkan bahwa platform ini memiliki tingkat kegunaan yang tinggi namun juga mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan.

Studi pada [9] melakukan analisis QoS pada sistem monitoring status kesehatan untuk menguji parameter sistem seperti *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki potensi sebagai alat pemantauan kesehatan yang cermat.

Penelitian pada [10] menggunakan metode penelitian pengukuran *usability* dengan menghitung data kuesioner. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi penilaian konsumen terhadap *website* bisnis Pikapp Indonesia. Hasilnya menunjukkan bahwa *website* sudah dapat dianggap *usable* dengan nilai rata-rata keseluruhan 0,877 dari skala Likert 1-5. *Learnability*, *memorability*, *efficiency*, *errors*, dan *satisfaction* semuanya mendapat penilaian positif, namun *variabel efficiency* perlu perbaikan karena memiliki nilai paling rendah.

Penelitian [11] menganalisis kinerja jaringan Telkomsel 4G di Soreang, Indonesia dengan memanfaatkan alat *Wireshark* dan memperhatikan parameter QoS seperti unggah, unduh, *streaming video*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Temuan dari penelitian menunjukkan bahwa kinerja jaringan

Telkomsel di wilayah Soreang pada malam hari sangat baik, tanpa adanya kehilangan paket dan dengan kecepatan mencapai 375 Kbps hingga 1,2 Mbps.

B. Nielsen's Attributes of Usability (NAU)

Usability testing adalah pengujian yang mempertimbangkan kemudahan dipelajari, efisiensi, dan kemampuan mengingat alur interaksi, dengan tujuan meminimalkan kesalahan atau kesulitan pengguna [12]. Metode kuantitatif untuk menguji *usability* halaman *website* menggunakan kuesioner adalah metode NAU yang terdiri dari 5 kategori aspek kegunaan [13]:

1. *Learnability*: seberapa mudah pengguna memahami cara penggunaan dan fungsi halaman.
2. *Efficiency*: seberapa cepat pengguna dapat menyelesaikan tugas atau mencapai tujuan pada halaman.
3. *Memorability*: sejauh mana pengguna dapat mengingat langkah-langkah atau proses untuk mencapai tujuan.
4. *Errors*: frekuensi kesalahan yang mungkin terjadi dan kemudahan pengguna memperbaikinya.
5. *Satisfaction*: tingkat kepuasan pengguna dan tanggapan emosional terhadap keseluruhan aplikasi.

C. Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS) adalah metode pengukuran kinerja jaringan untuk memastikan layanan yang diinginkan. QoS meningkatkan produktivitas pengguna dengan memastikan aplikasi jaringan memberikan kinerja yang handal. Fokus QoS adalah meningkatkan layanan untuk jenis lalu lintas tertentu dalam berbagai teknologi jaringan. Menjaga kualitas layanan adalah tantangan utama dalam jaringan IP dan Internet, dengan sasaran memenuhi beragam kebutuhan layanan menggunakan infrastruktur yang sama. QoS memungkinkan penentuan karakteristik layanan dalam hal kualitas dan kuantitas [14], [15].

Dalam pengukuran QoS menurut standar ITU-T G.1010, sejumlah parameter perlu dipertimbangkan untuk mengevaluasi kualitas layanan jaringan, yang sangat mempengaruhi pengalaman pengguna dan ketersediaan layanan [16].

1) *Throughput*: Jumlah total kedatangan paket sukses pada tujuan selama periode waktu tertentu, dibagi durasi interval waktu. Kecepatan transfer data efektif dalam satuan bps (*bit per second*). Berkaitan dengan *bandwidth* dan dinamis sesuai dengan keadaan jalur trafik [6]. Tabel 1 merupakan kategori nilai *throughput*.

Tabel 1. Kategori *throughput*

Kategori	Throughput (bps)	Indeks
Sangat Bagus	100	4
Bagus	75	3
Sedang	50	2
Buruk	< 25	1

2) *Packet loss*: Parameter yang mencerminkan hilangnya sejumlah paket selama pengiriman data. Faktor-faktor penyebab meliputi *overload* jaringan, tabrakan antar paket, malafungsi perangkat *hardware*, dan kegagalan pada sisi penerima seperti *router buffer overflow* atau kemacetan pengiriman data [17]. Tabel 2 merupakan kategori nilai *packet loss*.

Tabel 2. Kategori *packet loss*

Kategori	Packet loss (%)	Indeks
Sangat Bagus	0-2	4
Bagus	3-14	3
Sedang	15-24	2
Buruk	> 25	1

3) *Delay (Latency)*: Interval waktu tunda dalam pengiriman data dari pengirim ke penerima. Faktor-faktor yang mempengaruhi meliputi jarak antar perangkat, media fisik, performansi perangkat, dan kongesti atau waktu proses yang lama [6]. Tabel 3 merupakan kategori nilai *delay* atau *latency*.

Tabel 3. Kategori *delay* atau *latency*

Kategori	Delay/Latency (ms)	Indeks
Sangat Bagus	<150	4
Bagus	150-300	3
Sedang	300-450	2
Buruk	>450	1

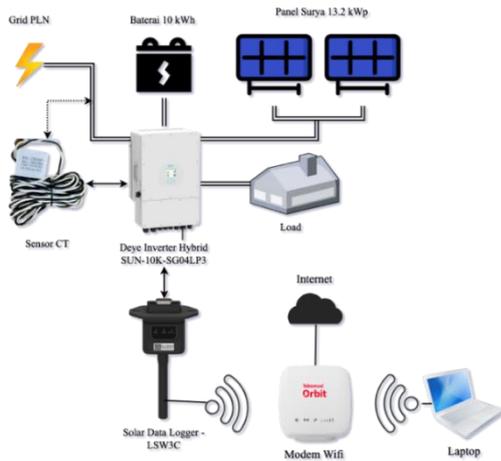
4) *Jitter atau Variasi Kedatangan Packet*: Variasi tunda antara satu *packet* dengan yang lain dalam panjang antrian, pengolahan data, dan penghimpunan ulang *packet* pada jaringan. Secara umum disebut variasi *delay* dan berkaitan dengan *latency*, menunjukkan intensitas variasi *delay* pada transmisi data di jaringan. Bergantung pada jumlah lalu lintas; peningkatan lalu lintas menyebabkan peningkatan kemacetan dan *jitter*. Untuk menjaga optimalisasi QoS dan keamanan jaringan, idealnya nilai *jitter* harus diminimalkan [4]. Tabel 4 merupakan kategori nilai *jitter*.

Tabel 4. Kategori *jitter*

Kategori	Peak Jitter (ms)	Indeks
Sangat Bagus	0	4
Bagus	0-75	3
Sedang	75-125	2
Buruk	125-225	1

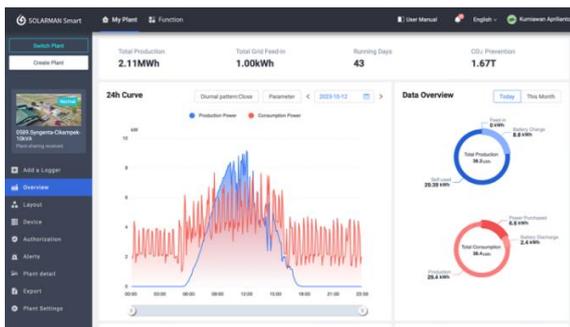
III. METODOLOGI

Lokasi penelitian berada di Area R&D Syngenta Indonesia Station Cikampek, Gedung Syngenta Public Health Laboratory Cikampek, Pangulah Baru, Kecamatan Kota Baru, Karawang, Jawa Barat, dengan kode pos 41373. Proyek bernama "Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya-13.2KWP/10KVA" dengan kapasitas 13.2kWP/10kVA. Menggunakan spesifikasi tipe *rooftop hybrid system*, proyek ini menggabungkan sumber energi dari produksi PLTS dan pasokan listrik PLN. Gambar 1 merupakan konfigurasi pengujian sistem yang dilakukan.



Gambar 1. Konfigurasi pengujian sistem

Pada penelitian ini digunakan metode pengujian QoS jaringan dan pengujian *usability* dengan metode NAU untuk mengevaluasi *usability* sistem. Pada pengujian QoS jaringan, evaluasi performa jaringan dengan mengumpulkan sampel data mentah menggunakan *Wireshark*. Fokus pada parameter QoS seperti *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan *jitter*.



Gambar 2. Tampilan dashboard PV management plant

Pada pengujian *usability* dengan metode NAU data dikumpulkan melalui pengisian kuesioner secara langsung. Kuesioner ditargetkan pada pengguna PLTS, teknisi instalasi PLTS, dan tokoh akademik di bidang energi terbarukan, khususnya tenaga surya. Metode penilaian menggunakan skala *Likert* untuk mendapatkan tanggapan tentang sikap, pendapat, serta kesimpulan responden terkait dengan isu tertentu [5]. Fokus penelitian terutama pada halaman beranda dan menu-menu yang disesuaikan dengan parameter-parameter yang relevan untuk subjek penelitian. Tampilan dashboard PV management platform dapat dicermati pada Gambar 2.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas secara rinci pengujian dan analisis dalam penelitian ini. Tujuan pengukuran dan analisis ini adalah mendapatkan pemahaman mendalam tentang tingkat QoS dan mengevaluasi kegunaan PV management platform.

Pengukuran dan analisis mencakup aspek performa dan kegunaan PV management platform. Data yang diperoleh

akan memberikan gambaran komprehensif tentang kinerja sistem dalam memberikan layanan berkualitas QoS dan tingkat kegunaan platform untuk pengelolaan PLTS.

Pemahaman mendalam hasil pengukuran dan analisis ini akan menjadi dasar untuk merumuskan rekomendasi perbaikan guna meningkatkan performa dan kegunaan PV management platform. Bab ini menjadi kunci untuk memahami sejauh mana sistem dapat memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna serta efektivitasnya dalam mendukung operasional PLTS secara keseluruhan.

A. Pengujian Quality of Service (QoS)

Pengujian bertujuan menguji parameter kritis seperti *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Menggunakan *Wireshark* sebagai network analyzer, laptop merekam data dari interaksi antara perangkat Inverter dan laptop, juga memantau dashboard PV management platform. Data yang direkam menjadi data set awal untuk analisis QoS melibatkan *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Analisis ini krusial untuk mengevaluasi performa jaringan dan memastikan memenuhi standar kualitas.

Penelitian ini merancang skenario pengambilan data untuk mencerminkan berbagai situasi operasional. Hasil rata-rata dari skenario ini digunakan sebagai acuan untuk perbandingan, dievaluasi sesuai standar ITU-T G.1010 dan pedoman ETSI. Pengujian dijalankan empat kali pada jam optimal dengan durasi selama satu hari, terutama saat PV Management Platform memantau produksi PLTS puncak dengan cuaca yang terik. Sesi pengujian berlangsung pada pukul 10.00, 12.00, 14.00, dan 16.00 WIB di Area R&D Syngenta Indonesia Station Cikampek. Pendekatan ini memberikan gambaran holistik kinerja sistem selama proses pengujian.

1) *Throughput*: Tabel 5 menampilkan hasil pengukuran *throughput*. Dari data tersebut, disimpulkan bahwa *throughput* tergolong sangat baik sesuai kategori standar ITU-T G.1010.

Tabel 5. Hasil pengukuran *throughput*

No.	Waktu (WIB)	Throughput (bits/s)	Keterangan	
			Indeks	Kategori
1	10.00	82,5213082K	4	Sangat Bagus
2	12.00	327,435768K	4	Sangat Bagus
3	14.00	303,449067K	4	Sangat Bagus
4	16.00	4,15161448K	1	Buruk
Rata-rata		179,38943942K	4	Sangat Bagus

Rata-rata *throughput* mencapai 179Kbps, menunjukkan performa optimal sistem selama pengujian, memenuhi standar yang ditetapkan.

2) *Packet loss*: Tabel 6 menunjukkan hasil pengukuran tingkat *packet loss*. Analisis data tersebut menunjukkan nilai *packet loss* sangat bagus, dengan rata-rata mencapai 0%, selama pemantauan PV management platform pada puncak produksi PLTS pada jam 10.00, 12.00, 14.00, dan 16.00 WIB.

Tabel 6. Hasil pengukuran *packet loss*

No	Waktu (WIB)	Packet loss (%)	Keterangan	
			Indeks	Kategori
1	10.00	0	4	Sangat Bagus
2	12.00	0	4	Sangat Bagus
3	14.00	0	4	Sangat Bagus
4	16.00	0	4	Sangat Bagus
Rata-rata		0	4	Sangat Bagus

Rendahnya atau nolnya *packet loss* menjadi indikator kinerja jaringan yang stabil dan dapat diandalkan, sesuai standar ITU-T G.1010.

3) *Delay*: Tabel 7 menyajikan hasil pengukuran tingkat *delay*. Data tersebut memberikan gambaran terperinci tentang hasil pengukuran *delay*, yang dibandingkan dengan standar ITU-T G.1010. Dengan nilai rata-rata *delay* sebesar 0,029877014 ms, hasil tersebut tergolong sangat bagus, mencerminkan performa optimal jaringan pada platform pengelolaan PLTS, terutama dalam kondisi operasi optimal.

Tabel 7. Hasil pengukuran *delay*

No.	Waktu (WIB)	Delay (ms)	Keterangan	
			Indeks	Kategori
1	10.00	0,005454155	4	Sangat Bagus
2	12.00	0,001371905	4	Sangat Bagus
3	14.00	0,001480679	4	Sangat Bagus
4	16.00	0,111201316	3	Bagus
Rata-rata		0,029877014	4	Sangat Bagus

4) *Jitter*: Tabel 8 menunjukkan hasil pengukuran *jitter* di lapangan tempat penelitian. Dibandingkan dengan standar ITU-T G.1010, nilai rata-rata *jitter* 0,0000050707380 ms tergolong sangat bagus. *Jitter* yang sangat rendah menunjukkan variasi waktu pengiriman paket yang minimal, mengindikasikan kualitas layanan tinggi di lokasi proyek. Hal ini bermanfaat, terutama untuk mendukung aplikasi atau layanan yang memerlukan stabilitas dan ketepatan waktu, seperti layanan suara atau video berbasis IP.

Tabel 8. Hasil pengukuran *jitter*

No.	Waktu (WIB)	Jitter (ms)	Keterangan	
			Indeks	Kategori
1	10.00	0,0000000527027	4	Sangat Bagus
2	12.00	0,0000000863558	4	Sangat Bagus
3	14.00	0,0000108747346	4	Sangat Bagus
4	16.00	0,0000092691589	4	Sangat Bagus
Rata-rata		0,0000050707380	4	Sangat Bagus

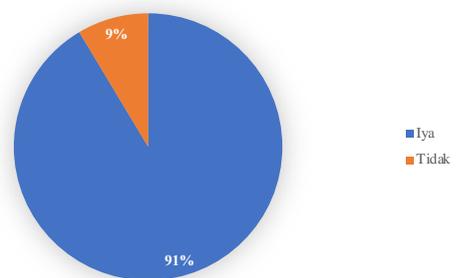
B. Pengujian Aspek Kegunaan

Uji kegunaan (*usability testing*) terhadap *website PV plant management platform SOLARMAN Smart* melibatkan 35 responden. Responden memberikan tanggapan dan penilaian terhadap berbagai aspek *website*, memberikan hasil evaluasi yang mencerminkan beragam perspektif pengguna.

1) *Ruang Lingkup Pengujian*: Penelitian ini berfokus pada eksplorasi dan evaluasi platform pengelolaan PLTS pada *website PV plant management platform SOLARMAN Smart*, diakses melalui <https://home.solarmanpv.com>. Fokus penelitian terutama pada halaman beranda dan menu-menu yang disesuaikan dengan parameter-parameter yang relevan untuk subjek penelitian.

2) *Demografi Responden*: Penelitian melibatkan 35 responden dengan berbagai latar belakang profesi. Dengan melibatkan responden dari berbagai kelompok pengguna, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perspektif yang beragam dan representatif terkait kegunaan serta respons terhadap *PV plant management platform SOLARMAN Smart*.

Persebaran Jumlah Pengguna PLTS



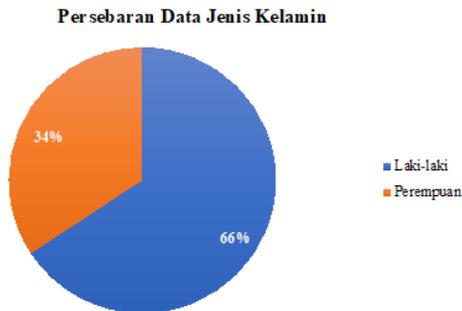
Gambar 3. Persebaran data jumlah pengguna PLTS

Gambar 3 menunjukkan bahwa 91% dari total 35 responden adalah pengguna aktif PLTS, yaitu 32 orang. Sementara itu, 9% atau 3 responden tidak menggunakan PLTS, di mana kelompok responden yang tidak menggunakan PLTS tersebut merupakan para teknisi yang melakukan instalasi pemasangan PLTS. Hal ini secara tidak langsung, responden teknisi tersebut juga memiliki pengalaman dalam menggunakan *PV plant management platform SOLARMAN Smart*, terutama dalam tahap *installation* serta *maintenance*. Analisis demografi ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang keterlibatan dan pengalaman pengguna PLTS dalam evaluasi *usability PV plant management platform SOLARMAN Smart*. Melibatkan sebagian besar pengguna yang berpengalaman langsung dengan PLTS, hasil penelitian dapat memberikan wawasan yang relevan dan bermanfaat dalam meningkatkan kegunaan platform tersebut.

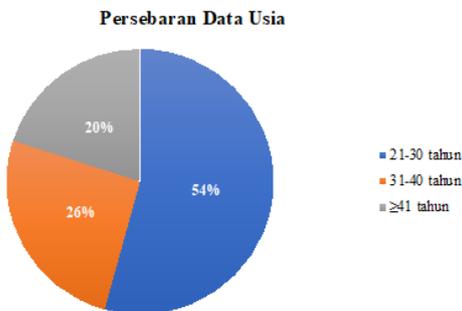
Gambar 4 menunjukkan bahwa 66% dari total 35 responden adalah laki-laki (23 orang), sedangkan perempuan menyumbang 34% (12 orang). Analisis demografi ini memberikan gambaran rinci tentang distribusi jenis kelamin responden dalam pengujian *usability website PV plant management platform SOLARMAN Smart*, memberikan *insight* yang berguna dalam memahami keragaman respons pengguna terhadap platform tersebut.

Gambar 5 menunjukkan mayoritas responden (54%) berada dalam rentang umur 21-30 tahun (19 orang). Responden dengan rentang umur 31-40 tahun menyumbang 26% (9 orang), sementara responden dengan rentang umur

≥41 tahun mencapai 20% (7 orang) dari total 35 responden. Analisis ini memberikan informasi penting mengenai distribusi umur responden, memberikan wawasan lebih dalam terkait preferensi dan persepsi dari kelompok umur yang berbeda terhadap *website PV plant management platform SOLARMAN Smart*.

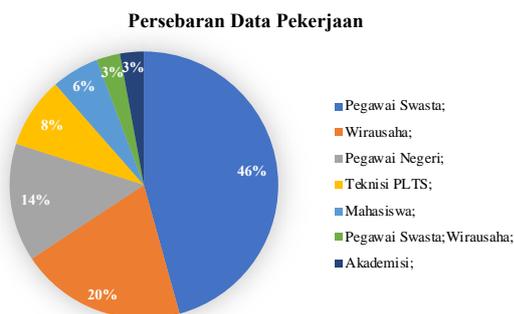


Gambar 4. Persebaran data jenis kelamin responden



Gambar 5. Persebaran data usia responden

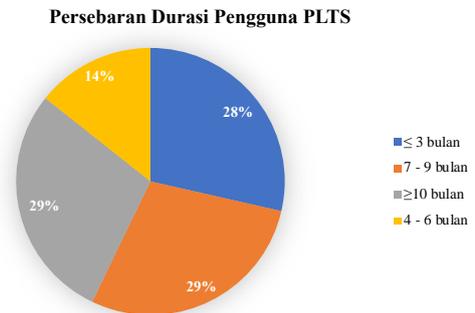
Gambar 6 menunjukkan pola demografi responden berdasarkan jenis pekerjaan. Mayoritas responden (46%) merupakan Pegawai Swasta (16 orang), sementara wirausaha menyumbang 20% (7 orang), Pegawai Negeri 14% (5 orang), dan Teknisi PLTS 8% (3 orang).



Gambar 6. Persebaran data pekerjaan responden

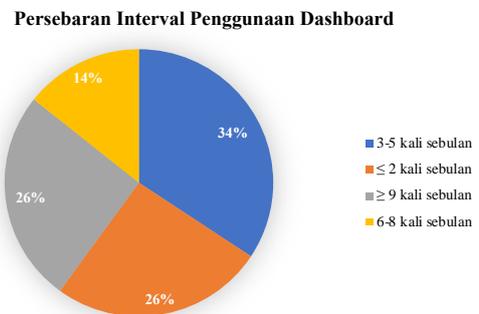
Kategori lainnya, seperti mahasiswa, menyumbang 6% (2 orang). Responden yang memiliki pekerjaan ganda sebagai pegawai swasta dan wirausaha serta akademisi masing-masing memiliki persentase 3% (1 orang). Analisis demografi ini memberikan gambaran lebih lengkap tentang diversitas pekerjaan responden serta karakteristik mereka dalam

pengujian *usability website PV plant management platform SOLARMAN Smart*.



Gambar 7. Persebaran data durasi pengguna PLTS

Dari Gambar 7 yang membahas demografi responden berdasarkan durasi penggunaan PLTS, dapat ditemukan temuan menarik. Sebanyak 28% atau 10 responden memiliki pengalaman menggunakan PLTS selama kurang lebih tiga bulan, sementara 14% atau 5 responden memiliki pengalaman 4-6 bulan. Selanjutnya, 29% atau 10 responden telah menggunakan PLTS selama 7-9 bulan, dan persentase 29% atau 10 responden juga tercatat untuk yang menggunakan PLTS selama lebih dari 10 bulan. Analisis demografi ini memberikan pemahaman mendalam tentang tingkat pengalaman responden terhadap PLTS, yang dapat mempengaruhi evaluasi *usability platform SOLARMAN Smart* mengingat variasi durasi penggunaan yang signifikan.



Gambar 8. Persebaran data interval penggunaan dashboard

Dari Gambar 8 yang membahas demografi responden berdasarkan interval penggunaan *dashboard* PLTS, dapat diperoleh pemahaman yang rinci tentang kebiasaan dan intensitas penggunaan. Sebanyak 26% atau 9 responden menggunakan *dashboard* PLTS kurang dari 2 kali per bulan, 34% atau 12 responden menggunakan *dashboard* PLTS 3-5 kali per bulan. Selanjutnya, 14% atau 5 responden menggunakan *dashboard* PLTS 6-8 kali per bulan, dan 26% atau 9 responden menggunakan *dashboard* PLTS lebih dari 9 kali per bulan. Analisis ini memberikan wawasan tentang seberapa sering responden mengakses dan menggunakan *dashboard* PLTS, memungkinkan identifikasi pola dan tendensi yang berkaitan dengan frekuensi interaksi pengguna dengan platform SOLARMAN Smart. Penting untuk mengukur tingkat keterlibatan pengguna dan memastikan

bahwa kebutuhan dan harapan pengguna terpenuhi sesuai dengan tingkat intensitas penggunaan *dashboard* PLTS.

3) *Hasil Pengujian Kegunaan (Usability)*: Dalam pengujian menggunakan metode kuesioner, baik melalui pendekatan luring atau kuesioner cetak, langkah-langkah pengolahan data harus dijalani untuk menyiapkan data mentah agar siap untuk analisis. Setelah pengolahan data selesai, langkah berikutnya adalah membuat rekapitulasi hasil pengujian. Data tersebut mencakup jawaban setiap responden dan menjadi dasar untuk menyusun kesimpulan yang dapat diandalkan. Berdasarkan rekapitulasi yang disusun, langkah selanjutnya adalah membuat data set dengan label kode pada setiap dimensi pertanyaan kuesioner.

Hal ini terlihat dalam Tabel 9, yang memberikan gambaran tentang identifikasi dan penandaan sistematis setiap dimensi pertanyaan kuesioner dengan label kode tertentu. Proses ini bertujuan memudahkan pemahaman dan interpretasi data selama analisis lebih lanjut terhadap setiap aspek pertanyaan kuesioner yang diajukan kepada responden selama pengujian.

4) *Pengukuran Tingkat Kinerja*: Dalam metode evaluasi ini, kinerja dashboard aplikasi PV *management platform* dinilai menggunakan kuesioner berbasis skala Likert. Pengukuran kinerja mengacu pada dimensi yang diadaptasi dari metode NAU, melibatkan lima dimensi utama: *learnability*, *efficiency*, *memorability*, *errors*, dan *satisfaction*. Skala Likert digunakan untuk mengukur tingkat kepuasan responden, dengan rentang nilai dari 1 (sangat tidak baik) hingga 5 (sangat baik).

Tabel 9. Dimensi pertanyaan kuesioner penelitian *usability*

No.	Kode	Pertanyaan
Learnability		
1	L1	Penggunaan <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS mudah dipelajari.
2	L2	Informasi dalam <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS mudah dipahami.
3	L3	<i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS mudah dioperasikan.
4	L4	<i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS mudah diajarkan kepada orang lain.
Efficiency		
5	EF5	Fitur-fitur dalam <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS dapat diakses dengan cepat.
6	EF6	Informasi dalam <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS dapat diperoleh dengan cepat.
7	EF7	<i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS berjalan sesuai dengan fungsi yang ada di dalamnya.
Memorability		
8	M8	<i>User Navigation</i> dalam <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS mudah untuk diingat.
9	M9	Menu dan fitur dalam <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS mudah diingat.
10	M10	<i>Framework</i> pada <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS mudah untuk diingat.
Error		
11	ER11	Konsistensi kinerja <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS.
12	ER12	Mudah diperbaiki apabila pengguna melakukan kesalahan.
Satisfaction		
13	S13	Penggunaan <i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS memberikan kesan yang baik dan nyaman saat digunakan.

No.	Kode	Pertanyaan
14	S14	<i>Dashboard</i> Pengamatan PLTS direkomendasikan untuk digunakan rekan atau kerabat.

Tabel 10 yang terlampir memperlihatkan interval penilaian pada skala Likert sebagai pedoman dalam menilai setiap aspek kinerja *dashboard* aplikasi PV *management platform*. Penggunaan skala Likert sebagai metode pengukuran memberikan kerangka yang jelas untuk mengevaluasi kinerja *dashboard* secara komprehensif, sehingga hasil evaluasi dapat diinterpretasikan dengan lebih rinci dan akurat.

Tabel 10. Interval penilaian kegunaan tingkat kinerja

Interpretasi	Kode	Persentase
Sangat Tidak Baik	STB	0% ≤ p ≤ 19,99%
Tidak Baik	TB	20% ≤ p ≤ 39,99%
Cukup Baik	CB	40% ≤ p ≤ 59,99%
Baik	B	60% ≤ p ≤ 79,99%
Sangat Baik	SB	80% ≤ p ≤ 100%

Setelah perhitungan cermat, hasil evaluasi tingkat kinerja *dashboard* aplikasi PV *management platform* direkap dalam tabel 11. Proses penilaian menggunakan skala Likert sebagai instrumen utama untuk mengevaluasi berbagai aspek kinerja aplikasi, memberikan representasi visual dan terstruktur dari data hasil perhitungan.

Pada variabel *learnability*, tingkat kinerja mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 80%, menunjukkan persepsi positif terhadap fitur *dashboard* pengamatan PLTS, termasuk kemudahan pelajaran, pemahaman, operasi, dan keberlanjutan pengajaran kepada orang lain.

Tabel 11. Hasil perhitungan jawaban responden (Tingkat Kinerja)

Kode	Jumlah Responden					Persentase Rata-rata	Interpretasi
	STB	TB	CB	B	SB		
L1	0	2	9	15	9	78%	Baik
L2	0	0	5	18	12	84%	Sangat Baik
L3	0	2	10	14	9	77%	Baik
L4	0	0	9	16	10	81%	Sangat Baik
EF5	0	1	6	15	13	83%	Sangat Baik
EF6	0	0	12	11	12	80%	Sangat Baik
EF7	0	0	5	18	12	84%	Sangat Baik
M8	0	3	8	20	4	74%	Baik
M9	1	3	6	21	4	74%	Baik
M10	1	4	9	15	6	72%	Baik
ER11	0	0	11	15	9	79%	Baik
ER12	0	0	11	18	6	77%	Baik
S13	0	1	6	16	12	82%	Sangat Baik
S14	0	0	7	17	11	82%	Sangat Baik

Pada variabel *efficiency*, tingkat kinerja mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 82,3%, menunjukkan persepsi positif terhadap kecepatan akses fitur dan informasi pada *dashboard* pengamatan PLTS. Pada variabel *memorability*, tingkat kinerja mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 73,3%, menunjukkan persepsi yang cukup baik terhadap pemahaman menu dan fitur *dashboard* pengamatan PLTS. Pada variabel *errors*, tingkat kinerja mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 78%, menunjukkan persepsi yang cukup baik terhadap konsistensi kinerja *dashboard* pengamatan PLTS. Pada variabel *satisfaction*, tingkat kinerja mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 82%, menunjukkan

persepsi positif terhadap kesan puas dan menyenangkan saat menggunakan *dashboard* pengamatan PLTS.

5) *Pengukuran Tingkat Kepentingan*: Dalam penilaian tingkat kepentingan *dashboard* aplikasi PV *management platform*, digunakan kuesioner dengan model skala Likert yang diadaptasi dari metode NAU. Metode ini terdiri dari lima dimensi utama: *learnability*, *efficiency*, *memorability*, *errors*, dan *satisfaction*. Skala Likert dengan rentang 1 (sangat tidak setuju) hingga 5 (sangat setuju) digunakan untuk mengukur kepuasan pengguna. Tabel 12 memberikan panduan interval penilaian skala Likert untuk mengartikan nilai-nilai responden, memberikan kerangka terstruktur dan terukur dalam menggambarkan tingkat kepentingan terhadap aplikasi tersebut.

Tabel 12. Interval penilaian kegunaan tingkat kepentingan

Interpretasi	Kode	Persentase
Sangat Tidak Setuju	STS	$0\% \leq p \leq 19,99\%$
Tidak Setuju	TS	$20\% \leq p \leq 39,99\%$
Cukup Setuju	CS	$40\% \leq p \leq 59,99\%$
Setuju	S	$60\% \leq p \leq 79,99\%$
Sangat Setuju	SS	$80\% \leq p \leq 100\%$

Setelah proses perhitungan yang cermat, hasil rekapitulasi mencerminkan jumlah perhitungan jawaban responden terhadap penilaian tingkat kepentingan *dashboard* aplikasi PV *management platform*. Penilaian ini menggunakan skala Likert sebagai instrumen utama untuk mengukur sejauh mana responden menganggap tingkat kepentingan dari berbagai aspek aplikasi. Informasi evaluasi disusun dalam tabel 13 sebagai representasi visual yang terstruktur untuk menyajikan data hasil perhitungan secara jelas dan rinci.

Pada variabel *learnability*, tingkat kepentingan mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 84,25%, menunjukkan bahwa narasumber sangat setuju bahwa *dashboard* pengamatan PLTS harus mudah dipelajari, dipahami, dioperasikan, dan dapat diajarkan kepada orang lain. Pada variabel *efficiency*, tingkat kepentingan mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 86,3%, menunjukkan bahwa narasumber sangat setuju bahwa *dashboard* pengamatan PLTS harus dapat diakses dengan cepat. Pada variabel *memorability*, tingkat kepentingan mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 84,6%, menunjukkan bahwa narasumber sangat setuju bahwa operasional *dashboard* pengamatan PLTS harus mudah diingat. Pada variabel *errors*, tingkat kepentingan mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 85%, menunjukkan bahwa narasumber sangat setuju bahwa konsistensi kinerja *dashboard* pengamatan PLTS harus stabil. Pada variabel *satisfaction*, tingkat kepentingan mendapatkan rata-rata penilaian sebesar 86,5%, menunjukkan bahwa narasumber sangat setuju bahwa kinerja *dashboard* pengamatan PLTS harus memberikan kesan yang baik dan nyaman saat digunakan.

Tabel 13. Hasil perhitungan jawaban responden (Tingkat Kepentingan)

Kode	Jumlah Responden					Persentase Rata-rata	Interpretasi
	STS	TS	CS	S	SS		
L1	0	0	5	18	12	84%	Sangat Setuju
L2	0	0	5	17	13	85%	Sangat Setuju
L3	0	0	4	16	15	86%	Sangat Setuju
L4	0	0	5	22	8	82%	Sangat Setuju
EF5	0	0	6	16	13	84%	Sangat Setuju
EF6	0	0	4	17	14	86%	Sangat Setuju
EF7	0	0	3	13	19	89%	Sangat Setuju
M8	0	1	5	18	11	82%	Sangat Setuju
M9	0	0	4	18	13	85%	Sangat Setuju
M10	0	0	7	9	19	87%	Sangat Setuju
ER11	0	0	5	13	17	87%	Sangat Setuju
ER12	0	1	2	22	10	83%	Sangat Setuju
S13	0	0	3	17	15	87%	Sangat Setuju
S14	0	0	5	14	16	86%	Sangat Setuju

6) *Korelasi Pengujian Quality of Service (QoS) jaringan dengan Pengujian Aspek Kegunaan (Usability)*: Pengkajian korelasi antara Pengujian QoS pada jaringan dan Pengujian Aspek Kegunaan (*usability*) menggunakan metode NAU merupakan langkah penting dalam mengevaluasi performa dan pengalaman pengguna. Evaluasi ini mengukur sejauh mana jaringan menyediakan layanan berkualitas dalam hal kecepatan, ketersediaan, dan keandalan.

Pengujian QoS menunjukkan bahwa kualitas pengiriman data pada sistem pemantauan PLTS di Area R&D Syngenta Indonesia Station Cikampek dikategorikan baik. Rata-rata *throughput* sebesar 179Kbps mencerminkan performa optimal, dan nilai *packet loss* 0% menunjukkan kinerja jaringan yang stabil. Nilai rata-rata *delay* sebesar 0,029877014 ms dan *jitter* 0,0000050707380 ms menandakan responsivitas dan kualitas layanan yang tinggi.

Metode Nielsen's digunakan untuk menguji aspek kegunaan dari *dashboard* aplikasi PV *management platform* pada PLTS. Pada variabel *learnability*, tingkat kinerja dan kepentingan mendapatkan penilaian positif sebesar 80% dan 84,25%. Variabel *efficiency* menunjukkan performa baik sebesar 82,3%, dan kepentingan mencapai 86,3%. Variabel *memorability* mendapatkan penilaian 73,3%, namun kepentingan mencapai 84,6%. Variabel *errors* mendapatkan penilaian 78%, dan kepentingan sebesar 85%. Variabel *satisfaction* mendapatkan penilaian 82%, dan kepentingan sebesar 86,5%.

Korelasi antara QoS jaringan dan aspek kegunaan menunjukkan bahwa kualitas jaringan yang baik berkontribusi pada efisiensi dan kepuasan pengguna. Integrasi hasil pengujian ini memberikan wawasan mendalam untuk

perbaikan atau peningkatan yang sesuai, meningkatkan keseluruhan kualitas layanan dan pengalaman pengguna.

V. SIMPULAN

Hasil penelitian "Analisis Kinerja Sistem PV *Management Platform* pada Implementasi Sistem PLTS *Hybrid* Berbasis IoT Area R&D Syngenta Cikampek" menyimpulkan hal berikut:

1. *Quality of service* (QoS) menunjukkan performa sistem optimal selama pengujian, dengan *throughput* rata-rata mencapai 179 Kbps, *packet loss* 0%, *delay* sekitar 0,03 ms, dan *jitter* sangat minimal. Keseluruhan, jaringan di lokasi penelitian memiliki kualitas layanan tinggi.
2. Platform manajemen PLTS berbasis PV menunjukkan tingkat kinerja *usability* yang baik, dengan penilaian variabel *learnability*, *efficiency*, *memorability*, *errors*, dan *satisfaction* mencapai rata-rata di atas 73%. Keunggulan *usability* ini memberikan kontribusi positif pada pemantauan kinerja PLTS secara keseluruhan.
3. Aspek *usability* pada PV *plant management platform* mendapat tingkat kepentingan tinggi dari pengguna, dengan penilaian variabel di atas 84%. Ini menunjukkan bahwa platform dianggap penting dan sangat membantu dalam pemantauan PLTS, terutama dalam menyajikan informasi, navigasi, dan antarmuka yang ramah pengguna.
4. Hubungan kualitas jaringan memiliki korelasi positif dengan tingkat kinerja dan kepentingan *usability*. Kualitas jaringan yang optimal meningkatkan kinerja umum dan berdampak positif pada tingkat kepuasan dan kepentingan pengguna terhadap penggunaan sistem. Kesenambungan antara kualitas jaringan, kinerja, dan kepentingan *usability* berkontribusi pada tingkat QoS secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zulkifli, W. Wilopo, and M. K. Ridwan, "Analisis Kinerja PLTS Rooftop On Grid Pada Gedung Pemerintah dalam Skema Ekspor Impor Energi Studi Kasus : Gedung Kantor Setjen KESDM - Jakarta," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2020.
- [2] PT PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021-2030," Jakarta, 2021.
- [3] B. Kencana *et al.*, *Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat*. Jakarta: Indonesia Clean Energy Development II, 2018.
- [4] A. Mikola and M. Sari, 'Analisis Sistem Jaringan Berbasis QoS untuk Hot-Spot Di Institut Shanti Bhuana', *Journal of Information Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 31–35, 2022, doi: 10.46229/jifotech.v2i1.398.
- [5] E. Halim, N. K. Soeprapto Putri, N. Anisa, A. A. Arif, and M. Hebrard, "Usability Testing of Vocabulary Game Prototype Using the Nielsen's Attributes of Usability (NAU) Method," in *2021 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, Aug. 2021, pp. 590–594. doi: 10.1109/ICIMTech53080.2021.9534970.
- [6] R. Wulandari, 'Analisis QoS (Quality of Service) Pada Jaringan Internet (STUDI KASUS: UPT LOKA UJI TEKNIK PENAMBANGAN JAMPANG KULON – LIPI)', *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 2, no. 2, pp. 162–172, 2016.
- [7] K. Benmoussa, M. Laaziri, S. Khouliji, M. L. Kerkeb, and A. El Yamami, 'Evaluating the Usability of a Moroccan University Research Management Web Platform', *Procedia Manufacturing*, vol. 32, pp. 1008–1016, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.315.
- [8] M. G. Pae, 'Analisis Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) Di Baron Techno Park Gunungkidul Yogyakarta', 2018.
- [9] A. Syukraini and U. Y. Oktiawati, "Analisis Quality of Service (QoS) pada Sistem Pemantauan Status Kesehatan Berbasis Aplikasi Telegram," Universitas Gadjah Mada, 2020.
- [10] S. Hidayatuloh and N. Zalfayana, 'Usability Testing Pada Website Bisnis Pikapp Indonesia Dengan Kuesioner Nielsen Attributes Of Usability (NAU)', *TEKINFO*, vol. 24, 2023, doi: https://doi.org/10.37817/tekinfo.v24i1.2790.
- [11] A. Charisma, A. D. Setiawan, G. Megiyanto Rahmatullah, and M. R. Hidayat, 'Analysis Quality of Service (QoS) on 4G Telkomsel Networks in Soreang', *TSSA 2019 - 13th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications, Proceedings*, pp. 145–148, 2019, doi: 10.1109/TSSA48701.2019.8985489.
- [12] K. Aelani and Falahah, "Pengukuran Usability Sistem Menggunakan Use Questionnaire (Studi Kasus Aplikasi Perwalian Online STMIK 'Amikbandung')," presented at the Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2012 (SNATI 2012), Yogyakarta, Jun. 2012. [Online]. Available: https://journal.uui.ac.id/Snati/article/view/2913/2676.
- [13] J. Nielsen, *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1994.
- [14] H. Fahmi, 'Analisis Qos (Quality of Service) Pengukuran Delay, Jitter, Packet Lost Dan Throughput Untuk Mendapatkan Kualitas Kerja Radio Streaming Yang Baik', *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 7, no. 2, pp. 98–105, 2018.
- [15] P. R. Utami, 'Analisis Perbandingan Quality of Service Jaringan Internet Berbasis Wireless Pada Layanan Internet Service Provider (Isp) Indihome Dan First Media', *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 25, no. 2, pp. 125–137, 2020, doi: 10.35760/tr.2020.v25i2.2723.
- [16] ITU-T, 'G.1010: End-user multimedia QoS categories', *International Telecommunications Union*, vol. 1010, 2002.
- [17] Apriadi, A. Zainuddin, and L. A. S. Irfan, 'Analisis QoS (Quality of Service) Jaringan Internet Kampus', *Nucl. Phys.*, vol. 13, no. 1, pp. 104–116, 2017.

Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Wirobrajan 07 (WBN07) sebagai Pemecah Beban Lebih (*Overload*) Penyulang Wirobrajan 01 (WBN01) di PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta

Astri Sumartopo¹, Yuris Mulya Saputra^{1*}

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada;

*Korespondensi: ym.saputra@ugm.ac.id

Abstract – Increased electrical energy consumption can result in an increase in the load current value of a feeder. In January 2023, the WBN01 feeder has a maximum load current value of 345 A which exceeds the standard recommended by PT PLN (Persero) namely 250 A. The standard aims to maintain of the power system quality, is needed to maneuvering operations, voltage drop, power losses, transformer lifetime, and conductor damage. The solution to overcome the WBN01 feeder overload introduced in this research is to plan the new construction of WBN07 feeder to break the load of the WBN01 feeder with a simulation method using ETAP 12.6 software and mathematical calculations. Furthermore, it analyzes maneuvering operations, voltage drop, power losses, energy losses, and economic losses of the WBN01 feeder. This research shows that the WBN01 feeder can accept load transfer from other feeders from ± 63 A to ± 139 A after load splitting. In addition, the simulation reach out WBN01 feeder experienced a decrease in the fall value voltage is 0.056 kV, power loss is 37.5 kW, and energy loss is 24,558.12 kWh and based on the results of mathematical calculations, the value of the WBN01 feeder voltage drop is 0.019 kV, power loss is 22.345 kW, and energy loss is 15,068.306 kWh. This decrease increases the amount of rupiah that can be saved, namely Rp41,737,261.683/month based on simulation results or Rp25,609,038.096/month based on mathematical calculation results.

Keywords – load current, network maneuver, voltage drop, power loss, energy loss

Intisari – Peningkatan konsumsi energi listrik dapat mengakibatkan peningkatan nilai arus beban sebuah penyulang. Pada bulan Januari 2023, penyulang WBN01 memiliki nilai arus beban maksimal sebesar 345 A di mana telah melebihi standar yang disarankan PT PLN (Persero) yaitu 250 A. Standar tersebut bertujuan untuk menjaga kualitas sistem tenaga listrik, yaitu operasi manuver jaringan, jatuh tegangan, susut daya, *lifetime* transformator, dan kerusakan konduktor. Solusi untuk mengatasi *overload* penyulang WBN01 yang diperkenalkan dalam penelitian ini yaitu merencanakan pembangunan penyulang baru WBN07 untuk memecah beban penyulang WBN01 dengan metode simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6 dan perhitungan matematis. Selanjutnya, dilakukan analisis operasi manuver jaringan, jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis penyulang WBN01. Penelitian ini menunjukkan bahwa penyulang WBN01 dapat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain yang semula sebesar ± 63 A menjadi ± 139 A setelah pemecahan beban. Selain itu, berdasarkan hasil simulasi penyulang WBN01 mengalami penurunan nilai jatuh tegangan sebesar 0,056 kV, susut daya sebesar 37,5 kW, serta susut energi sebesar 24.558,12 kWh dan berdasarkan hasil perhitungan matematis nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 turun sebesar 0,019 kV, susut daya sebesar 22,345 kW, dan susut energi sebesar 15.068,306 kWh. Penurunan tersebut meningkatkan besarnya rupiah yang dapat disimpan yaitu Rp41.737.261,683/bulan berdasarkan hasil simulasi atau Rp25.609.038,096/bulan berdasarkan hasil perhitungan matematis.

Kata kunci – arus beban, jatuh tegangan, manuver jaringan, susut daya, susut energi

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yaitu generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban listrik sehingga membentuk sebuah sistem untuk menghasilkan energi listrik [1]. Laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan industri di Indonesia yang semakin pesat berpengaruh terhadap kebutuhan energi listrik yang ikut meningkat [2][3][4]. Fenomena tersebut telah terjadi di Kota Yogyakarta. Menurut PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta, peningkatan konsumsi energi listrik ini dapat menyebabkan nilai arus beban pada sebuah penyulang juga meningkat dan mempengaruhi keandalan distribusi energi listrik di Kota Yogyakarta.

Penyulang Wirobrajan 01 (WBN01) merupakan salah satu penyulang yang menyuplai energi listrik di wilayah Kota Yogyakarta di mana telah termasuk dalam kategori *overload*. Penyulang ini memiliki jumlah pelanggan sebanyak 16.315 pelanggan. Adapun nilai arus beban terukur penyulang WBN01 pada siang hari sebesar 342 A, pada malam hari

sebesar 251 A, dan arus beban maksimal sebesar 345 A serta pengukuran arus beban tiap *section* secara langsung sebesar 337 A. Nilai tersebut telah melebihi standar yang disarankan oleh PT PLN (Persero) menurut SPLN D3.016-1: 2010 yaitu sebesar 250 A. Atau dengan kata lain arus beban penyulang WBN01 telah $\pm 34,8$ % lebih besar dibandingkan kapasitas arus beban yang diizinkan menurut SPLN D3.016-1: 2010. Kondisi ini dapat mempengaruhi operasi manuver jaringan penyulang WBN01 dalam menerima pelimpahan beban dari penyulang lain di mana nilai arus bebannya tidak boleh melebihi nilai *setting* arus pengenal pemutus (PMT) yaitu sebesar 400 A. Apabila hal tersebut terjadi, maka dapat menyebabkan PMT *trip* sehingga terjadi pemadaman pada pelanggan. Selain itu, kondisi tersebut dapat memperpendek *lifetime* dari transformator daya dan menyebabkan kerusakan pada konduktor.

Upaya pemecahan beban penyulang WBN01 terhadap penyulang baru WBN07 bertujuan untuk menghindari terjadinya *overload* saat dilakukan operasi manuver jaringan. Manuver jaringan merupakan kegiatan modifikasi terhadap

operasi normal jaringan akibat adanya gangguan atau pekerjaan untuk mencapai kondisi penyaluran listrik yang maksimal [5],[6]. Selain itu, upaya ini juga bertujuan untuk meningkatkan kualitas jaringan distribusi penyalang WBN01 dengan menekan nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomisnya. Pada sebuah sistem tenaga listrik, jatuh tegangan adalah kondisi di mana jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima oleh beban [7]. Sementara itu, daya merupakan energi yang digunakan untuk melakukan sebuah usaha [8]. Menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, keandalan sistem distribusi ditentukan oleh besarnya nilai jatuh tegangan yaitu kurang dari 5% dan susut daya kurang dari 2,3% untuk jaringan dengan konfigurasi *open loop*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan simulasi pemecahan sebagian beban penyalang WBN01 pada penyalang WBN07 untuk mengetahui bagaimana operasi manuver jaringan, nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis yang dialami penyalang WBN01 sebelum dan setelah dilakukan pemecahan beban. Selain itu, pada penelitian ini juga akan dibahas mengenai pemilihan konstruksi dan material untuk pembangunan penyalang baru WBN07.

Terdapat beberapa tinjauan pustaka yang dijadikan sebagai bahan referensi dalam pelaksanaan penelitian. Menurut penelitian [9] nilai *drop* tegangan dan susut daya pada sebuah penyalang dapat turun pasca dilakukan perencanaan pembangunan penyalang baru sehingga nilainya memenuhi standar yang ditetapkan PT PLN (Persero). Sementara itu, pada penelitian [10] menyebutkan bahwa perencanaan pembangunan penyalang baru dapat menekan nilai susut tegangan secara optimal pada sebuah penyalang yang telah mengalami *overload*. Selanjutnya, pada penelitian [11] disebutkan bahwa nilai *drop* tegangan dan susut teknis sebuah penyalang dapat mengalami penurunan pasca dilakukan pembangunan penyalang baru. Pada penelitian [12] diperoleh hasil bahwa nilai jatuh tegangan dan *losses* sebuah penyalang dapat mengalami penurunan pasca dilakukannya pemecahan beban menuju penyalang baru.

Pada penelitian ini, pembangunan penyalang baru WBN07 bertujuan untuk membagi sebagian arus beban penyalang WBN01 yang telah mengalami *overload* sehingga dapat mempermudah upaya manuver jaringan saat terjadi gangguan maupun saat dilakukan pemeliharaan jaringan. Penelitian dilakukan dengan metode simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6. Dari hasil simulasi tersebut, diharapkan

dapat mengetahui besarnya nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis jaringan distribusi penyalang WBN01 sebelum dan sesudah dilakukan pemecahan beban. Selain dengan metode simulasi, penulis juga akan melakukan analisis perhitungan nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis penyalang WBN01 menggunakan rumus matematis untuk membuktikan hasil yang diperoleh dari metode simulasi.

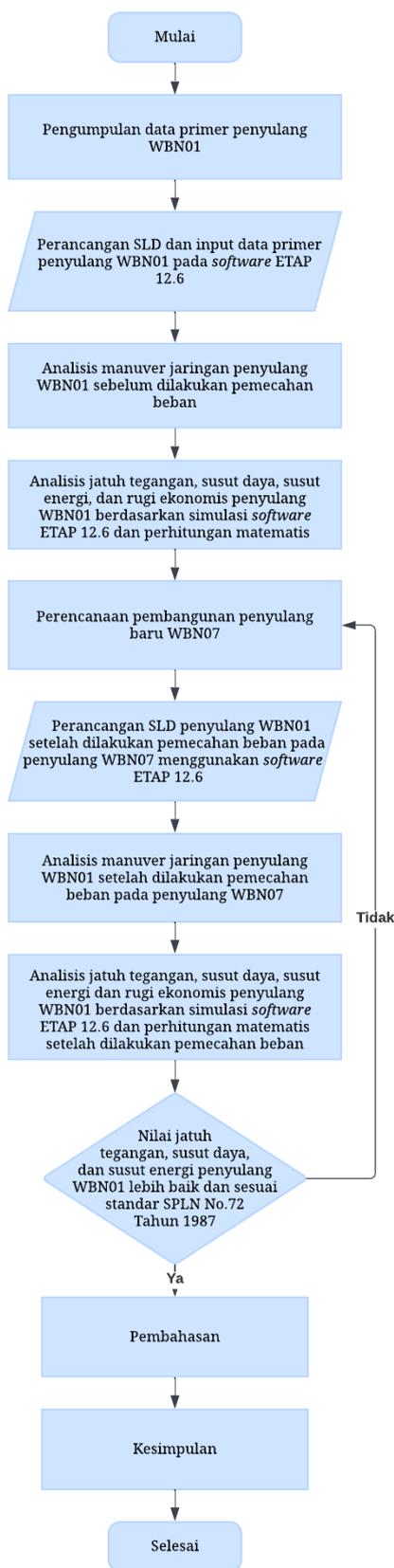
II. METODOLOGI

Pada penelitian berjudul “Perencanaan Pembangunan Penyalang Baru Wirobrajan 07 (WBN07) sebagai Pemecah Beban Lebih (*overload*) Penyalang Wirobrajan 01 (WBN01) di PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta” ini dibutuhkan beberapa data dan peralatan pendukung. Adapun data yang diperlukan berupa data primer penyalang WBN01 yang meliputi profil gardu induk (GI) Wirobrajan, spesifikasi transformator daya, *single line diagram* (SLD), total panjang jaringan, pola jaringan, spesifikasi penghantar, data pengukuran beban penyalang WBN01 siang dan malam, data pengukuran beban penyalang WBN01 setiap *section*. Dalam mencari informasi terkait data-data di atas, penulis menggunakan 2 jenis metode pengambilan data yaitu studi literatur dan wawancara secara langsung dengan salah satu staf PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta.

Tabel 1 menunjukkan data pengukuran arus beban penyalang WBN01 pada siang dan malam hari. Sementara itu, untuk peralatan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian meliputi komputer PC Lenovo 80E1 dan *software* ETAP 12.6. Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang dapat digambarkan pada sebuah diagram alir. Gambar 1 menunjukkan diagram alir dalam pelaksanaan penelitian ini. Berdasarkan tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 1, tahapan penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data primer penyalang WBN01 yang dilakukan dengan 2 metode, yaitu wawancara dan studi literatur. Selanjutnya, dilakukan perancangan SLD sekaligus *input* data primer penyalang WBN01 pada *software* ETAP 12.6 untuk melakukan simulasi *load flow analysis*. Dari hasil simulasi yang diperoleh, dilakukan analisis terkait operasi manuver jaringan, nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis penyalang WBN01 untuk mengetahui kondisi penyalang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban. Selain menggunakan data yang diperoleh dari simulasi, analisis juga dilakukan dengan metode perhitungan menggunakan rumus matematis.

Tabel 1. Data hasil pengukuran arus beban penyalang WBN01 siang dan malam

Feeder	Arus Beban Penyalang (A)										Beban Max
	Jam 10.00					Jam 19.00					
	R	S	T	AVE	MVA	R	S	T	AVE	MVA	
WBN01	341	341	342	342	12,47	342	12,47	342	251	9,13	345



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Kemudian dilakukan perencanaan pemecahan sebagian beban penyulang WBN01 terhadap penyulang WBN07 dengan menentukan titik pemecahan arus beban penyulang WBN01 serta besarnya arus beban yang akan dipecah. Dari perencanaan tersebut, berikutnya dilakukan pemodelan SLD penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban dilanjutkan simulasi *load flow analysis* pada *software* ETAP 12.6. Berikutnya dilakukan analisis terkait operasi manuver jaringan, nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis penyulang WBN01 setelah pemecahan beban berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis* dan perhitungan menggunakan rumus matematis. Apabila hasil yang diperoleh telah memenuhi standar SPLN No. 72 Tahun 1987, maka penelitian selesai. Apabila hasilnya masih belum sesuai dengan standar, maka penelitian kembali ke tahapan perencanaan pemecahan beban penyulang WBN01.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

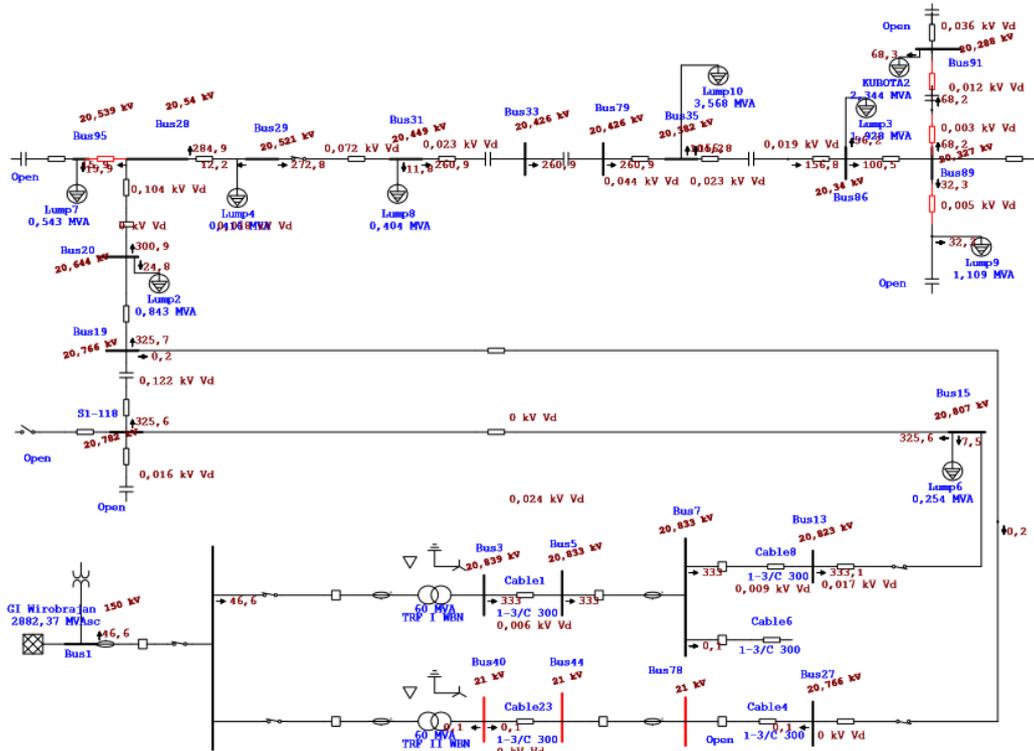
A. Kondisi Penyulang WBN01 Sebelum Pemecahan Beban

Untuk mengetahui kondisi penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban, perlu dilakukan pemodelan SLD penyulang WBN01 pada *software* ETAP 12.6 untuk melakukan simulasi *load flow analysis*. Gambar 2 menampilkan desain SLD penyulang WBN01 pada *software* ETAP 12.6 sebelum dilakukan pemecahan beban.

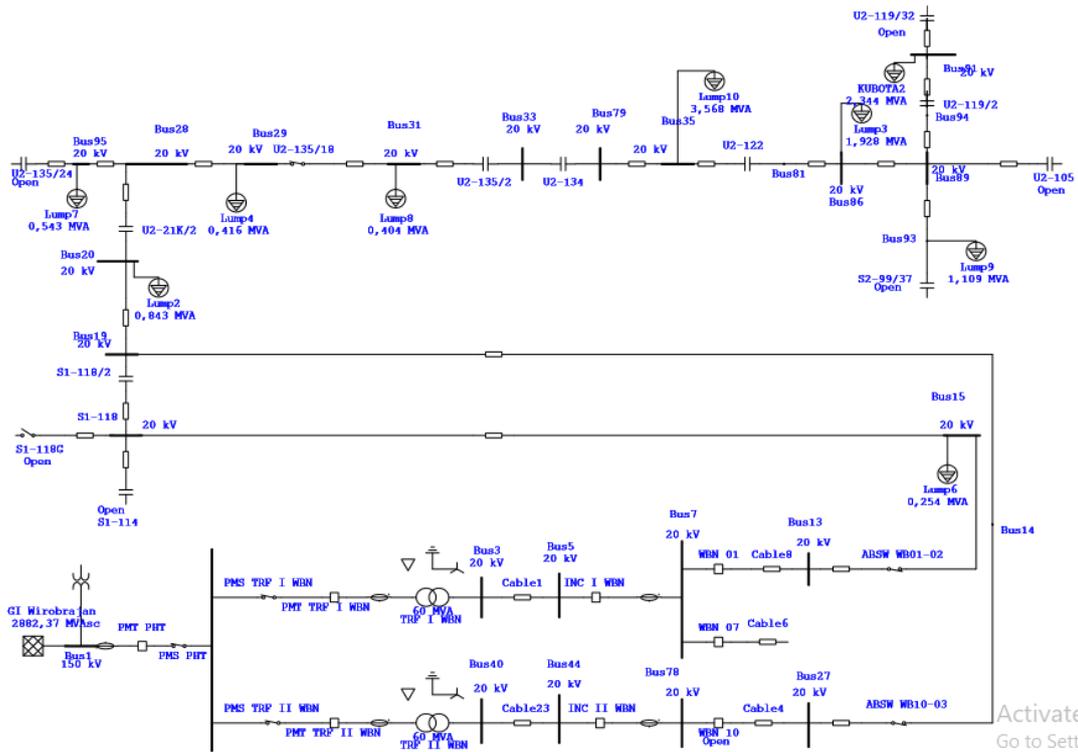
1) *Analisis Operasi Manuver Jaringan Penyulang WBN01 Sebelum Dilakukan Pemecahan Beban*: Perencanaan pemecahan beban penyulang WBN01 bertujuan agar operasi manuver jaringan penyulang ini dapat berjalan dengan optimal di mana nilai arus bebannya tidak melebihi nilai *setting* arus pengenal PMT, yaitu sebesar 400 A saat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain. Tabel 2 menampilkan prediksi nilai arus beban penyulang WBN01 saat dilakukan operasi manuver jaringan sebelum pemecahan beban. Tabel 2 menunjukkan bahwa penyulang WBN01 memiliki nilai arus beban yang melebihi batas maksimum sebesar 400 A saat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain, yaitu berkisar antara 499 A hingga 628 A.

Tabel 2. Prediksi arus beban penyulang WBN01 saat operasi manuver jaringan sebelum pemecahan beban

Nama Penyulang	WBN01 (337 A)	Memenuhi/ Tidak Memenuhi (≤ 400 A)
KTN05 (291 A)	628 A	Tidak Memenuhi
GDN01 (205 A)	542 A	Tidak Memenuhi
WBN06 (162 A)	499 A	Tidak Memenuhi
BNL01 (242 A)	579 A	Tidak Memenuhi
BNL02 (227 A)	564 A	Tidak Memenuhi
GJN16 (204 A)	541 A	Tidak Memenuhi
WBN08 (215 A)	552 A	Tidak Memenuhi



Gambar 2. Desain *single line diagram* penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban



Gambar 3. Simulasi *load flow analysis* penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban

2) Analisis Nilai Jatuh Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, dan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Sebelum Dilakukan Pemecahan Beban Berdasarkan Hasil Simulasi dengan Software ETAP 12.6: Berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis* menggunakan software ETAP 12.6, diperoleh nilai jatuh tegangan dan susut daya penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai jatuh tegangan dan susut daya penyulang WBN01

Parameter	Nilai
Tegangan pangkal fase-fase (V_{FF}) - kV	20,839
Tegangan di ujung beban - kV	20,288
Jatuh tegangan - kV	0,551
Susut daya - kW	162
Susut daya - kVAr	559,8

Dari data yang ditampilkan pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa dengan metode simulasi *load flow analysis* menggunakan software ETAP 12.6, diperoleh nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban sebesar 0,551 kV dan nilai susut daya sebesar 162 kW. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai susut energi dan kerugian ekonomis menggunakan (1) yaitu perhitungan susut energi.

$$\begin{aligned}
 \text{Load factor} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \\
 \text{Load factor} &= \frac{329,3 \text{ A}}{337 \text{ A}} \\
 \text{Load factor} &= 0,98 \\
 LF &= (0,3 \times \text{load factor}) + (0,7 \times (\text{load factor}^2)) \\
 LF &= (0,3 \times 0,98) + (0,7 \times (0,98^2)) \\
 LF &= 0,294 + 0,672 \\
 LF &= 0,966
 \end{aligned} \quad (1)$$

Sehingga dapat diperoleh nilai susut energi penyulang WBN01 seperti pada (2).

$$\begin{aligned}
 E_{LOSS} &= H \times 24 \times kW_{LOSS} \times LF \\
 E_{LOSS} &= 30 \times 24 \times 162 \text{ kW} \times 0,966 \\
 E_{LOSS} &= 112.674,24 \text{ kWh}
 \end{aligned} \quad (2)$$

Dari perhitungan pada (1) dan (2), diketahui besarnya nilai susut energi penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban berdasarkan simulasi *load flow analysis* yaitu sebesar 112.674,24 kWh. Kemudian perhitungan kerugian ekonomis ditunjukkan pada (3).

$$\begin{aligned}
 \text{Rupiah Lost} &= E_{LOSS} \times \text{harga listrik per kWh} \\
 &= 112.674,24 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.699,53/\text{kWh} \\
 &= \text{Rp}191.493.251,107.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Berdasarkan perhitungan pada persamaan 3 diperoleh hasil kerugian ekonomis penyulang WBN01 dalam 1 bulan sebelum dilakukan pemecahan beban berdasarkan simulasi *load flow analysis* yaitu sebesar Rp191.493.251,107 dengan jenis pelanggan rumah tangga daya 3.500 VA s/d 5.500 VA.

3) Perhitungan Nilai Jatuh Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, dan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Sebelum Dilakukan Pemecahan Beban Berdasarkan Data Primer Penyulang : yang pertama ialah Perhitungan Jatuh Tegangan Penyulang WBN01 Sebelum Pemecahan Beban Untuk melakukan perhitungan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01, digunakan data pengukuran arus beban penyulang tiap *section* untuk fase T karena nilai arus pada fase ini relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai arus pada fase R dan fase S. Selain itu, pada perhitungan ini nilai arus pada fase T dianggap seimbang terhadap 2 fase yang lain. Adapun besarnya tegangan pangkal fase-netral (V_{FN}) dari penyulang WBN01, didapat dengan (4) dan (5).

$$V_{FF} = 21 \text{ kV} \quad (4)$$

$$V_{FN} = \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{FN} = \frac{21}{\sqrt{3}} \text{ kV} \quad (5)$$

$$V_{FN} = 12,12 \text{ kV}$$

Pada SPLN No. 72 Tahun 1987 diatur besarnya batas toleransi jatuh tegangan sebuah penyulang dengan sistem konfigurasi jaringan *open loop* yaitu kurang dari 5%. Sehingga nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, seperti pada persamaan 6.

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{SPLN} &= \frac{5}{100} \times V_{FN} \\
 \Delta V_{SPLN} &= \frac{5}{100} \times 12,12 \text{ kV} \\
 \Delta V_{SPLN} &= 0,61 \text{ kV}
 \end{aligned} \quad (6)$$

Sehingga besarnya tegangan fase-netral (V_{FN}) penyulang WBN01 menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, seperti pada persamaan 7.

$$\begin{aligned}
 V_{FNSPLN} &= V_{FN} - \Delta V_{SPLN} \\
 V_{FNSPLN} &= 12,12 \text{ kV} - 0,61 \text{ kV} \\
 V_{FNSPLN} &= 11,51 \text{ kV}
 \end{aligned} \quad (7)$$

Sementara itu, untuk nilai jatuh tegangan fase-fase (V_{FF}) penyulang WBN01 menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, dapat dilihat pada persamaan 8.

$$\begin{aligned}
 V_{FFSPLN} &= \sqrt{3} \times V_{FNSPLN} \\
 V_{FFSPLN} &= \sqrt{3} \times 11,51 \text{ kV} \\
 V_{FFSPLN} &= 19,93 \text{ kV}
 \end{aligned} \quad (8)$$

Dari perhitungan pada (8), dapat diketahui batas minimum nilai tegangan penyulang WBN01 yang diperbolehkan menurut SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu sebesar 19,93 kV.

Analisis nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 setiap *section* sebelum dilakukan pemecahan beban, dapat dihitung menggunakan (9).

$$\Delta V = I \times (R \cos\theta + X \sin\theta) \times \ell_{sal} \quad (9)$$

dengan,

- ΔV : jatuh tegangan (kV)
- I : arus yang mengalir (A)
- R : resistansi saluran (Ω)
- X : reaktansi saluran (Ω)
- θ : sudut faktor daya beban ($^\circ$)
- ℓ_{sal} : panjang saluran (KM)

Tabel 4 menunjukkan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 pada setiap *section* berdasarkan data primer penyulang.

Tabel 4. Nilai jatuh tegangan setiap section penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban

No.	Section	Jatuh Tegangan (V)
1.	PMT s/d LBS S1-118/2	0,879
2.	LBS S1-118/2 s/d REC U2-21K/2	4,299
3.	REC U2-21K/2 s/d LBS U2-135/24	3,095
4.	LBS U2-135/24 s/d ABSW U2-135/18	0,823
5.	ABSW U2-135/18 s/d LBS U2-135/2	2,117
6.	LBS U2-135/2 s/d LBS U2-122	15,443
7.	LBS U2-122 s/d LBS U2-105/2	9,693
8.	LBS U2-119 s/d LBS U2-119/2	0
9.	LBS U2-119/2 s/d LBS U2-119/32	20,591
10.	LBS U2-119 s/d LBS S1-99/37	2,375
Total Beban		59,315

Dari Tabel 4, dapat diketahui besarnya nilai tegangan beban paling ujung dari penyulang WBN01, seperti pada (10) dan (11).

$$V_{FN(WBN01)} = V_{FN} - \sum \Delta V_{(WBN01)} = 12,12 \text{ kV} - 0,059 \text{ kV} = 12,061 \text{ kV} \quad (10)$$

$$V_{FF(WBN0)} = V_{FN(WBN01)} \times \sqrt{3} = 12,061 \text{ kV} \times \sqrt{3} = 20,89 \text{ kV} \quad (11)$$

Dari perhitungan menggunakan (10) dan (11), dapat diketahui besarnya nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban yaitu sebesar 59,315 V atau 0,059 kV (ΔV_{FN}) atau 0,102 kV (ΔV_{FF}), sehingga nilai tegangan pada beban paling ujung yaitu sebesar 20,89 kV. Perhitungan Susut Daya Penyulang WBN01 Sebelum Pemecahan Beban dapat dilihat pada (12) menghasilkan nilai susut daya penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban sebesar 60,996 kW.

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{\text{sumber}} - P_{\text{beban}} \\ &= (\sqrt{3} \times V_s \times I \times \cos \phi) - (\sqrt{3} \times V_L \times I \times \cos \phi) \\ &= (\sqrt{3} \times 21.000 \text{ V} \times 337 \text{ A} \times 0,95) - (\sqrt{3} \times 20.890 \text{ V} \times 337 \text{ A} \times 0,95) \\ &= 11.644.837,386 \text{ Watt} - 11.583.840,619 \text{ Watt} \\ &= 60.996,77 \text{ Watt} \\ &= 60,996 \text{ kW} \end{aligned} \quad (12)$$

Perhitungan Susut Energi Penyulang WBN01 Sebelum Pemecahan Beban dilakukan dengan (13) dan (14) diperoleh nilai susut energi penyulang WBN01 setiap bulan sebelum dilakukan pemecahan beban sebesar 42.423,937 kWh.

$$\begin{aligned} \text{Load factor} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \\ \text{Load factor} &= \frac{329,3 \text{ A}}{337 \text{ A}} \\ \text{Load factor} &= 0,98 \\ LF &= (0,3 \times \text{load factor}) + (0,7 \times (\text{load factor}^2)) \\ LF &= (0,3 \times 0,98) + (0,7 \times (0,98^2)) \\ LF &= 0,294 + 0,672 \\ LF &= 0,966 \\ E_{LOSS} &= H \times 24 \times \text{kW}_{LOSS} \times LF \\ E_{LOSS} &= 30 \times 24 \times 60,996 \text{ kW} \times 0,966 \end{aligned} \quad (13)$$

$$E_{LOSS} = 42.423,937 \text{ kWh}$$

Perhitungan (15) menunjukkan besarnya kerugian ekonomis penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban dalam 1 bulan yaitu sebesar Rp72.100.753,649 dengan jenis pelanggan rumah tangga daya 3.500 VA s/d 5.500 VA.

$$\begin{aligned} \text{Rupiah Lost} &= E_{LOSS} \times \text{harga listrik per kWh} \\ &= 42.423,937 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.699,53/\text{kWh} \\ &= \text{Rp}72.100.753,649 \end{aligned} \quad (15)$$

B. Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru WBN07 untuk Memecah Beban Penyulang WBN01

Pada perencanaan pemecahan beban penyulang WBN01, besarnya arus beban penyulang yang akan dibagi menuju penyulang WBN07 yaitu sebesar 76 A. Tabel 5 menampilkan data arus beban penyulang WBN01 setiap *section* sebelum dan sesudah pemecahan beban.

Tabel 5. Rencana pemecahan arus beban penyulang WBN01

No.	Section	Beban Penyulang sebelum Pemecahan Beban (A)	Beban Penyulang setelah Pemecahan Beban (A)
1.	PMT s/d LBS S1-118/2	9	0
2.	LBS S1-118/2 s/d REC U2-21K/2	25	0
3.	REC U2-21K/2 s/d LBS U2-135/24	16	0
4.	LBS U2-135/24 s/d ABSW U2-135/18	13	0
5.	ABSW U2-135/18 s/d LBS U2-135/2	13	0
6.	LBS U2-135/2 s/d LBS U2-122	105	105
7.	LBS U2-122 s/d LBS U2-105/2	56	56
8.	LBS U2-119/2 s/d LBS U2-119/32	65	65
9.	LBS U2-119 s/d LBS S1-99/37	35	35
Total Beban		337	261

Dari Tabel 5, diketahui perencanaan pemecahan sebagian arus beban penyulang WBN01 dilakukan pada titik LBS U2-135/2. Sehingga penyulang WBN01 yang semula menyuplai seluruh beban dari LBS S1-118/2 hingga LBS U2-105/2, kini hanya menyuplai beban dari LBS U2-135/2 hingga LBS U2-105/2 dengan total nilai arus beban yang semula 337 A berkurang menjadi 261 A.

C. Kondisi Penyulang WBN01 Setelah Pemecahan Beban

Setelah dilakukan perencanaan pemecahan beban penyulang WBN01 terhadap penyulang WBN07, selanjutnya dilakukan pemodelan SLD penyulang WBN01 setelah pemecahan beban pada *software* ETAP 12.6. Gambar 4 menunjukkan desain SLD penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban. Setelah dilakukan pemodelan SLD penyulang WBN01 setelah pemecahan beban pada *software* ETAP 12.6, selanjutnya dapat dilakukan simulasi *load flow analysis* dari desain SLD yang telah dibuat. Gambar 5 menampilkan hasil simulasi *load flow analysis* penyulang WBN01 setelah pemecahan beban.

1) Analisis Operasi Manuver Jaringan Penyulang WBN01 Setelah Dilakukan Pemecahan Beban: Adapun besarnya arus beban penyulang WBN01 yang akan dipecah menuju penyulang WBN07 yaitu sebesar 76 A. Sehingga penyulang WBN01 memiliki arus beban sebesar 261 A setelah pemecahan beban. Dengan nilai tersebut menyebabkan penyulang ini dapat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain dengan nilai yang lebih besar dibandingkan sebelum dilakukan pemecahan beban. Tabel 6 menampilkan prediksi dari besarnya arus beban penyulang WBN01 saat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain setelah dilakukan pemecahan beban.

Tabel 6. Prediksi arus beban penyulang WBN01 saat operasi manuver jaringan setelah pemecahan beban

Nama Penyulang	WBN01 (261 A)	Memenuhi/ Tidak Memenuhi (≤ 400 A)
KTN05 (291 A)	552 A	Tidak Memenuhi
GDN01 (205 A)	466 A	Tidak Memenuhi
WBN06 (162 A)	423 A	Tidak Memenuhi
BNL01 (242 A)	503 A	Tidak Memenuhi
BNL02 (227 A)	488 A	Tidak Memenuhi
GJN16 (204 A)	465 A	Tidak Memenuhi
WBN08 (215 A)	476 A	Tidak Memenuhi

Dari data yang ditampilkan pada Tabel 6, dapat diketahui nilai arus beban penyulang WBN01 saat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain berkisar antara 423 A hingga 552 A setelah dilakukan pemecahan beban. Nilai tersebut masih melebihi batas maksimum yaitu 400 A.

Namun, pada operasi manuver jaringan biasanya hanya melimpahkan sebagian kecil dari total arus beban yang dimiliki sebuah penyulang, umumnya hanya yang terdapat pada *section-section* tertentu baik yang sedang mengalami gangguan maupun sedang dilakukan pemeliharaan. Oleh sebab itu, saat nilai arus beban penyulang WBN01 sebesar 261 A dapat dilakukan operasi manuver jaringan yang lebih optimal dibandingkan saat nilai arus beban penyulang ini sebesar 337 A.

2) Analisis Nilai Jatuh Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, dan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Setelah Dilakukan Pemecahan Beban Berdasarkan Hasil Simulasi dengan Software ETAP 12.6: Berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis* menggunakan software ETAP 12.6, diperoleh nilai jatuh tegangan dan susut daya penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai jatuh tegangan dan susut daya penyulang WBN01

Parameter	Nilai
Tegangan pangkal fase-fase (V_{FF}) - kV	20,874
Tegangan di ujung beban - kV	20,379
Jatuh tegangan - kV	0,495
Susut daya - kW	124,5
Susut daya - kVAr	394,9

Dari data yang ditampilkan pada Tabel 7, dapat diketahui bahwa dengan metode simulasi *load flow analysis* menggunakan software ETAP 12.6, diperoleh nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban sebesar 0,495 kV dan susut daya sebesar 124,5 kW. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai susut energi dan kerugian ekonomis. Susut energi dihitung dengan menggunakan (16) dan (17).

$$\begin{aligned}
 \text{Load factor} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \\
 \text{Load factor} &= \frac{258,3 \text{ A}}{261 \text{ A}} \\
 \text{Load factor} &= 0,99 \\
 \text{LF} &= (0,3 \times \text{load factor}) + (0,7 \times (\text{load factor}^2)) \\
 \text{LF} &= (0,3 \times 0,99) + (0,7 \times (0,99^2)) \\
 \text{LF} &= 0,297 + 0,686 \\
 \text{LF} &= 0,983 \\
 E_{LOSS} &= H \times 24 \times kW_{LOSS} \times \text{LF} \\
 E_{LOSS} &= 30 \times 24 \times 124,5 \text{ kW} \times 0,983 \\
 E_{LOSS} &= 88.116,12 \text{ kWh}
 \end{aligned} \tag{17}$$

Dari perhitungan pada (17), diketahui besarnya nilai susut energi penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban dalam 1 bulan berdasarkan data *report* susut daya yaitu sebesar 88.116,12 kWh. Nilai ini menunjukkan penurunan susut energi setiap bulan penyulang WBN01 sebesar 24.558,12 kWh dari kondisi sebelum dilakukan pemecahan beban berdasarkan simulasi *load flow analysis*. Selanjutnya menghitung hasil rugi ekonomis dengan (18).

$$\begin{aligned}
 \text{Rupiah Lost} &= E_{LOSS} \times \text{harga listrik per kWh} \\
 &= 88.116,12 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.699,53/\text{kWh} \\
 &= \text{Rp}149.755.989,424
 \end{aligned} \tag{18}$$

Dari perhitungan (18), diperoleh hasil rugi ekonomis penyulang WBN01 setiap bulan setelah dilakukan pemecahan beban yaitu sebesar Rp149.755.989,424 dengan jenis pelanggan rumah tangga daya 3.500 VA s/d 5.500 VA. Sehingga dapat dihitung besarnya rupiah yang dapat diselamatkan pasca dilakukan pemecahan sebagian beban penyulang WBN01 setiap bulan yaitu sebesar Rp41.737.261,683 berdasarkan simulasi *load flow analysis*.

3) Perhitungan Nilai Jatuh Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, dan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Setelah Dilakukan Pemecahan Beban Berdasarkan Data Primer Penyulang: Sebelum melakukan perhitungan jatuh tegangan penyulang WBN01 setelah pemecahan beban, perlu diketahui besarnya tegangan pangkal fase-netral (V_{FN}) dari penyulang WBN01, yaitu seperti pada (19) dan (20).

$$\begin{aligned}
 V_{FF} &= 21 \text{ kV} \\
 V_{FN} &= \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}} \\
 V_{FN} &= \frac{21}{\sqrt{3}} \text{ kV} \\
 V_{FN} &= 12,12 \text{ kV}
 \end{aligned} \tag{19}$$

Menurut standar SPLN No. 72 Tahun 1987, batas maksimum jatuh tegangan sebuah penyulang dengan sistem konfigurasi jaringan *open loop* yaitu kurang dari 5%. Oleh sebab itu, batas maksimum nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 seperti pada (21).

$$\begin{aligned}\Delta V_{SPLN} &= \frac{5}{100} \times V_{FN} \\ \Delta V_{SPLN} &= \frac{5}{100} \times 12,12 \text{ kV} \\ \Delta V_{SPLN} &= 0,61 \text{ kV}\end{aligned}\quad (21)$$

Dari standar nilai jatuh tegangan menurut SPLN No. 72 Tahun 1987 tersebut, dapat diperoleh nilai tegangan fase-netral (V_{FN}) penyulang WBN01 menggunakan (22).

$$\begin{aligned}V_{FNSPLN} &= V_{FN} - \Delta V_{SPLN} \\ V_{FNSPLN} &= 12,12 \text{ kV} - 0,61 \text{ kV} \\ V_{FNSPLN} &= 11,51 \text{ kV}\end{aligned}\quad (22)$$

Dan tegangan fase-fase (V_{FF}) penyulang WBN01 menggunakan (23).

$$\begin{aligned}V_{FFSPLN} &= \sqrt{3} \times V_{FNSPLN} \\ V_{FFSPLN} &= \sqrt{3} \times 11,51 \text{ kV} \\ V_{FFSPLN} &= 19,93 \text{ kV}\end{aligned}\quad (23)$$

Dari perhitungan (22) dan (23), dapat diketahui batas minimum nilai tegangan penyulang WBN01 yang diperbolehkan menurut SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu sebesar 19,93 kV. Untuk mengetahui nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 setiap *section* setelah dilakukan pemecahan beban, dapat menggunakan rumusan matematis seperti pada (24).

$$\Delta V = I \times (R \cos\theta + X \sin\theta) \times \ell_{sal} \quad (24)$$

dengan,

- ΔV : jatuh tegangan (kV)
- I : arus yang mengalir (A)
- R : resistansi saluran (Ω)
- X : reaktansi saluran (Ω)
- θ : sudut faktor daya beban ($^\circ$)
- ℓ_{sal} : panjang saluran (KM)

Tabel 8 menunjukkan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 pada setiap *section* berdasarkan data primer penyulang setelah dilakukan pemecahan beban.

Tabel 8. Nilai jatuh tegangan setiap *section* penyulang WBN01 setelah pemecahan beban

No.	Section	Jatuh Tegangan (V)
1.	LBS U2-135/2 s/d LBS U2-122	15,443
2.	LBS U2-122 s/d LBS U2-105/2	9,693
3.	LBS U2-119 s/d LBS U2-119/2	0
4.	LBS U2-119/2 s/d LBS U2-119/32	20,591
5.	LBS U2-119 s/d LBS S1-99/37	2,375
Total Beban		48,102

Sehingga besarnya nilai tegangan beban paling ujung dari penyulang WBN01, dapat dihitung seperti pada (25) dan (26).

$$\begin{aligned}V_{FN(WBN01)} &= V_{FN} - \sum \Delta V_{(WBN01)} \\ &= 12,12 \text{ kV} - 0,048 \text{ kV} \\ &= 12,072 \text{ kV}\end{aligned}\quad (25)$$

$$\begin{aligned}V_{FF(WBN01)} &= V_{FN(WBN01)} \times \sqrt{3} \\ &= 12,072 \text{ kV} \times \sqrt{3} \\ &= 20,91 \text{ kV}\end{aligned}\quad (26)$$

Dari perhitungan pada (25) dan (26), dapat diketahui besarnya nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban yaitu sebesar 48,102 V atau 0,048 kV (ΔV_{FN}) atau 0,083 kV (ΔV_{FF}), sehingga nilai tegangan pada beban paling ujung yaitu 20,91 kV. Jika dibandingkan dengan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban menggunakan rumus matematis, maka nilai jatuh tegangan setelah pemecahan beban ini mengalami penurunan sebesar 0,02 kV. Perhitungan Susut Daya Penyulang WBN01 Setelah Pemecahan Beban dihitung menggunakan (27).

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{sumber} - P_{beban} \\ &= (\sqrt{3} \times V_s \times I \times \cos\phi) - (\sqrt{3} \times V_L \times I \times \cos\phi) \\ &= (\sqrt{3} \times 21.000 \text{ V} \times 261 \text{ A} \times 0,95) - (\sqrt{3} \times 20.910 \text{ V} \times 261 \text{ A} \\ &\quad \times 0,95) \\ &= 9.018.701,952 \text{ Watt} - 8.980.050,372 \text{ Watt} \\ &= 38.651,58 \text{ Watt} \\ &= 38,651 \text{ kW}\end{aligned}\quad (27)$$

Dari perhitungan (27), diperoleh nilai susut daya penyulang WBN01 setelah pemecahan beban sebesar 38,651 kW. Nilai ini menunjukkan penurunan susut daya penyulang WBN01 sebesar 22,345 kW pasca pemecahan beban. Perhitungan Susut Energi Penyulang WBN01 Setelah Pemecahan Beban ditunjukkan pada (28) dan (29).

$$\begin{aligned}\text{Load factor} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \\ \text{Load factor} &= \frac{258,3 \text{ A}}{261 \text{ A}} \\ \text{Load factor} &= 0,99 \\ \text{LF} &= (0,3 \times \text{load factor}) + (0,7 \times (\text{load factor}^2)) \\ \text{LF} &= (0,3 \times 0,99) + (0,7 \times (0,99^2)) \\ \text{LF} &= 0,297 + 0,686 \\ \text{LF} &= 0,983 \\ E_{LOSS} &= H \times 24 \times kW_{LOSS} \times \text{LF} \\ E_{LOSS} &= 30 \times 24 \times 38,651 \text{ kW} \times 0,983 \\ E_{LOSS} &= 27.355,631 \text{ kWh}\end{aligned}\quad (28)$$

Dari perhitungan (29), diperoleh nilai susut energi penyulang WBN01 setiap bulan setelah dilakukan pemecahan beban sebesar 27.355,631 kWh. Nilai ini menunjukkan penurunan susut energi penyulang WBN01 sebesar 15.068,306 kWh setiap bulan pasca pemecahan beban. Perhitungan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Setelah Pemecahan Beban ditunjukkan pada (30).

$$\begin{aligned}\text{Rupiah Lost} &= E_{LOSS} \times \text{harga listrik per kWh} \\ &= 27.355,631 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.699,53/\text{kWh} \\ &= \text{Rp}46.491.715,553\end{aligned}\quad (30)$$

Dari perhitungan (30), diketahui besarnya kerugian ekonomis penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban setiap bulan yaitu sebesar Rp46.491.715,553 dengan jenis pelanggan rumah tangga daya 3.500 VA s/d 5.500 VA. Sehingga dapat diketahui besarnya rupiah yang dapat diselamatkan pasca pemecahan beban penyulang WBN01 berdasarkan metode perhitungan menggunakan rumus matematis yaitu sebesar Rp25.609.038,096.

D. Analisis Pemilihan Jenis Konstruksi dan Material pada Pembangunan Penyulang Baru WBN07

Adapun jenis konstruksi yang digunakan pada pembangunan penyulang baru WBN07 berupa konstruksi penghantar udara yang ditandai dengan penggunaan penghantar berjenis saluran udara tegangan menengah (SUTM). Sementara itu, untuk jenis material yang dibutuhkan terdiri dari 2 jenis material, yaitu material distribusi utama (MDU) dan material *hardware*. Tabel 9 menampilkan data material untuk pembangunan penyulang baru WBN07 yang diperoleh melalui metode wawancara secara langsung dengan staf Divisi Perencanaan PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta.

Tabel 9. Rincian data material pembangunan penyulang WBN07

Uraian	Volume	Satuan
Tiang beton 12M-350 daN+E	4	batang
Tiang beton 14M-350 daN+E	58	batang
Kabel NA2XSEYBY 20 kV 3x300 mm ²	250	meter
Penghantar AAAC 240 mm ²	24.132	meter
Recloser	1	unit
LBS	2	unit

Dari data material pada Tabel 9, selanjutnya dapat dilakukan akumulasi total rencana anggaran belanja (RAB) pembangunan penyulang WBN07 yang digunakan sebagai perkiraan investasi yaitu ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perkiraan RAB pembangunan penyulang WBN07

No.	Jenis Pengeluaran	Rencana Anggaran Biaya (Rupiah)
1.	Material Distribusi Utama (MDU)	1.530.326.930
2.	Material <i>Hardware</i>	396.128.590
3.	Jasa	386.102.530
Total Rencana Anggaran Biaya		2.312.558.050

Dari Tabel 10 diketahui perkiraan total biaya yang digunakan untuk membangun penyulang baru WBN07 yaitu sebesar Rp2.312.558.050,00 atau berkisar 2,3 miliar rupiah dengan estimasi waktu investasi bagi PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta yaitu ± 4,6 tahun berdasarkan hasil simulasi atau ± 7,5 tahun berdasarkan hasil perhitungan matematis. Nilai Estimasi waktu berdasarkan hasil simulasi diperoleh melalui perhitungan pada (31) dan nilai estimasi waktu berdasarkan perhitungan matematis pada (32).

$$\begin{aligned}
 \text{Estimasi waktu} &= \frac{\text{Perkiraan RAB pembangunan penyulang WBN07}}{\text{Biaya tersimpan tiap bulan} \times 12 \text{ bulan}} \\
 &= \frac{\text{Rp}2.312.558.050,00}{\text{Rp}41.737.261,6836 \times 12} \quad (31) \\
 &= \frac{\text{Rp}2.312.558.050,00}{\text{Rp}500.847.140,2032} \\
 &= \pm 4,6 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Estimasi waktu} &= \frac{\text{Perkiraan RAB pembangunan penyulang WBN07}}{\text{Biaya tersimpan tiap bulan} \times 12 \text{ bulan}} \\
 &= \frac{\text{Rp}2.312.558.050,00}{\text{Rp}25.609.250,0275 \times 12} \quad (32) \\
 &= \frac{\text{Rp}2.312.558.050,00}{\text{Rp}307.311.000,33} \\
 &= \pm 7,5 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Dari analisis nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis yang dialami penyulang WBN01 sebelum dan sesudah dilakukan pemecahan beban diatas, dapat dibandingkan nilai yang diperoleh berdasarkan metode simulasi *load flow analysis* menggunakan *software* ETAP 12.6 dan metode perhitungan menggunakan rumus matematis pada Tabel 11, Tabel 12, dan Tabel 13.

Tabel 11. Perbandingan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01

Parameter (V pangkal = 21 kV)	Kondisi				
	SPLN No. 72 1987	Sebelum pemecahan beban		Setelah pemecahan beban	
		Simulasi	Perhitungan Matematis	Simulasi	Perhitungan Matematis
Jatuh tegangan (kV)	1,07	0,551	0,102	0,495	0,083
Tegangan -an di beban ujung (kV)	19,93	20,288	20,89	20,379	20,91

Tabel 12. Perbandingan nilai susut daya, susut energi, dan rugi ekonomis penyulang WBN01

Parameter	Kondisi			
	Sebelum pemecahan beban		Setelah pemecahan beban	
	Simulasi	Perhitungan Matematis	Simulasi	Perhitungan Matematis
Susut daya (kW)	162	60,996	124,5	38,651
Susut energi (kWh)	112.674,24	42.423,937	88.116,12	27.355,631
Kerugian ekonomis (Rupiah)	191.493.251,107	72.100.753,649	149.755.989,424	46.491.715,553

Tabel 13. Perbandingan rupiah yang dapat disimpan dari pemecahan arus beban penyulang WBN01

Parameter	Kondisi	
	Simulasi	Perhitungan Matematis
Rupiah yang dapat diselamatkan	41.737.261,683	25.609.038,096

IV. SIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Upaya pemecahan beban penyulang WBN01 terhadap penyulang WBN07 dapat mengoptimalkan operasi manuver jaringan penyulang WBN01. Penyulang WBN01 yang semula hanya mampu menerima pelimpahan beban sebesar ± 63 A, setelah pemecahan beban mampu menerima pelimpahan beban sebesar ± 139 A.
2. Nilai jatuh tegangan, susut daya, dan susut energi penyulang WBN01 mengalami penurunan pasca dilakukan pemecahan sebagian beban penyulang. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6, nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 turun sebesar 0,056 kV (10,16%), susut daya turun sebesar 37,5 kW (23,14%), dan susut energi turun sebesar 24.558,12 kWh dalam 1 bulan (21,79%). Sementara itu, berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus matematis, nilai jatuh tegangan turun sebesar 0,019 kV (18,62%), susut

daya turun sebesar 22,345 kW (36,63%), dan susut energi turun sebesar 15.068,306 kWh dalam 1 bulan (35,51%).

3. Penurunan nilai jatuh tegangan, susut daya, dan susut energi penyulang WBN01 menyebabkan terdapat rupiah yang dapat disimpan yaitu sebesar Rp41.737.261,683 berdasarkan hasil simulasi atau Rp25.609.038,096 berdasarkan hasil perhitungan matematis.
4. Pembangunan penyulang baru WBN07 merupakan solusi yang paling sesuai untuk mengatasi beban *overload* penyulang WBN01 dengan pertimbangan sebagai investasi PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta dan telah terpasangnya peralatan proteksi berupa PMT penyulang WBN07 di gardu induk.
5. Jenis konstruksi penghantar udara dipilih dalam pembangunan penyulang WBN07 dengan beberapa jenis material yang terdiri dari penghantar SKTM NA2XSEYBY 20 kV 3x300 mm², penghantar SUTM AAAC 240 mm², *recloser*, dan *load break switch* (LBS) serta material *hardware* yang terdiri dari tiang beton dengan tinggi 12 meter dan 14 meter.
6. Perkiraan rancangan anggaran biaya (RAB) dari pembangunan penyulang WBN07 yaitu sebesar Rp2.312.558.050,00 atau berkisar 2,3 miliar rupiah dengan estimasi waktu investasi selama ± 4,6 tahun berdasarkan hasil simulasi atau ± 7,5 tahun berdasarkan hasil perhitungan matematis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. R. Syahputra, *Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: LP3M UMY Yogyakarta, 2017. doi: 10.1016/0024-6301(95)94318-s.
- [2] F. D. Safitri and H. Ananta, "Simulasi Penempatan Transformator Pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan Etap Power Station 12.6.0," *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 12–24, 2020, doi: 10.21831/jee.v4i1.29315.
- [3] M. A. Sobikin and H. Ananta, "Analisis Drop Tegangan dan Manuver Jaringan pada Penyulang SGN11 dan Penyulang SGN14 Menggunakan Software ETAP 16.0.0," *Cyclotron*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.30651/cl.v5i1.10638.
- [4] B. Winardi, H. Winarno, and K. R. Aditama, "Perbaikan Losses Dan Drop Tegangan Pwi 9 Dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru Pwi 11 Di Pt Pln (Persero) Area Semarang," *Transmisi*, vol. 18, no. 2, pp. 1–5, 2016.
- [5] A. Jamaah, "Analisa Beban Section untuk Menentukan Alternatif Manuver Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang BRG-3 PT PLN (Persero) Unit Layanan Salatiga," *JTET (Jurnal Tek. Elektro Ter.)*, vol. 2, no. 3, pp. 159–173, 2013, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/jtet/article/view/46%0Ahttps://jurnal.polines.ac.id/index.php/jtet/article/download/46/46>
- [6] N. Hidayah and A. Budi Muljono, "Analisis Manuver Jaringan Terhadap Keandalan Kontinuitas Penyaluran Tenaga Listrik Penyulang di Area Ampenan [Analysis of Network Maneuvers Toward Continuity Reliability of Feeders Electric Power Transmission in Ampenan Area]," vol. 3, no. 1, pp. 109–115, 2014.
- [7] F. Hermanto and T. Sukmadi, "Analisis Jatuh Tegangan Dan Arus Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah Pt Rum," *Transient*, vol. 2, no. 2302–9927, p. 8, 2013, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/4300>
- [8] D. A. Putra and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," vol. 8, no. 2, p. 9, 2020.
- [9] A. Saadah, M. I. Arsyad, and Junaidi, "Studi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Untuk Pembagian Beban Penyulang SAHANG 1 Dan RAYA 17 PT PLN (Persero) ULP Siantan," vol. 2, no. No 1, p. 14, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/43319>
- [10] W. B. E. P. Daya, Asmar, and T. Hendrawan, "Analisa Pecah Beban Penyulang KB5 di PLN Rayon Koba untuk Perbaikan Tegangan dan Susut," *Pros. Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Pada Masy.*, vol. 3, p. 5, 2017.
- [11] H. Eko, "Reduksi Drop Voltage Penyulang JPR05 dan JPR10 dengan Pembangunan Penyulang Baru," 2020, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/18833>
- [12] F. D. Prasetyo, "Analisa Perbaikan Losses dan Jatuh Tegangan Penyulang PTI 12 dengan Pelimpahan Beban ke Penyulang Baru PTI 17 menggunakan ETAP 12.6 di Rayon Juwana," 2019, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/16215>

Rancang Bangun *Smart Belt* Berbasis ATmega8 untuk Peningkatan Keselamatan dan Keamanan Berkendara

Darmawan Sidik^{1*}, Faris Humami¹, Ramadhan Dwi Pasetyo¹

¹Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan; sidikdarmawan27@gmail.com, farishumami@pktj.ac.id, ramadhan@pktj.ac.id

*Korespondensi: sidikdarmawan27@gmail.com

Abstract – *The high number of vehicles in Indonesia has resulted in a large number of violations. Safety equipment is the primary tool for minimizing fatality in traffic accidents. The use of seat belts that are frequently stabbed by the public can be fatal when ignored. The Smart belt is designed to respond to driving safety challenges by creating an innovative system based on the ATmega8 microcontroller. This system integrates the DHT11 temperature sensor, MC-38 magnetic sensor, and HC-SR04 ultrasonic sensor, to detect the seat belt status in vehicles. The development process follows the ADDIE method, consisting of five stages: 1) analysis, 2) design, 3) development, 4) implementation, and 5) evaluation. Results from the sensor responsive test showed 0.24 s for the HC-SR04 ultrasonic sensor response to object reception, 14.58 s for temperature sensor accuracy of DHT11, and the device performance test shows a 100% conclusive figure that the device works consistently and accurately. The Smart belt is feasible to be installed on every vehicle in order to increase the implementation of the Permenhub 74 Regulations of 2021. The government's pledge to lower the number of collisions and fatalities on roadways is supported by the development of the smart belt.*

Keywords – *seat belt, electronic sensors, microcontroller ATmega8, vehicle safety system*

Intisari – Tingginya jumlah kendaraan di Indonesia mengakibatkan banyaknya jumlah kasus pelanggaran. Perlengkapan keselamatan merupakan alat utama untuk meminimalkan *fatality* saat terjadinya kecelakaan lalu lintas. Penggunaan *seat belt* sering kali diabaikan oleh masyarakat sehingga berakibat fatal. *Smart belt* dirancang untuk merespons tantangan keselamatan berkendara dengan menghadirkan sistem inovatif berbasis mikrokontroler ATmega8. Sistem ini mengintegrasikan sensor suhu DHT11, sensor magnetik MC-38, dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi status *seat belt* dalam kendaraan. Proses pengembangan menggunakan metode ADDIE dengan lima tahapan: 1) analisis, 2) perancangan, 3) pengembangan, 4) implementasi, dan 5) evaluasi. Hasil dari Uji responsif sensor menunjukkan 0,24s untuk respons sensor ultrasonik HC-SR04 terhadap penerimaan objek, 14,58s untuk akurasi sensor suhu DHT11, dan pada uji kinerja alat menunjukkan angka 100% yang dapat disimpulkan bahwa alat ini berhasil konsisten dan akurat. *Smart belt* layak dipasang pada setiap kendaraan guna meningkatkan penerapan regulasi Permenhub 74 Tahun 2021. Komitmen pemerintah untuk menekan angka kecelakaan dan kematian di jalan raya didukung dengan pengembangan *smart belt*.

Kata kunci – *sabuk keselamatan, sensor elektronik, mikrokontroler ATmega8, sistem keselamatan berkendara*

I. PENDAHULUAN

Keselamatan berkendara merupakan salah satu pilar dalam RUNK LLAJ yang sangat penting dalam kehidupan modern. Di Indonesia, jumlah kendaraan bermotor terus mengalami peningkatan hingga mencapai 141.992.573 kendaraan dan 21.950.275 di antaranya meliputi bus, mobil penumpang, dan mobil barang [1]. Peningkatan jumlah kendaraan memiliki dampak terhadap semakin banyaknya jumlah pelanggaran lalu lintas. Pada tahun 2023, dalam lima bulan pertama telah tercatat 961.449 pelanggaran lalu lintas. Data dari ETLE Korlantas Polri menunjukkan adanya 501.568 pelanggaran tidak menggunakan sabuk pengaman, pelanggaran marka jalan, dan melampaui batas kecepatan kendaraan [2].

Pada tahun 2017, sebanyak 26.325 penumpang kendaraan meninggal dunia di Amerika Serikat dengan sekitar 50% di antaranya tidak memakai sabuk pengaman. Penggunaan sabuk pengaman telah menyelamatkan sekitar 14.955 nyawa dan diperkirakan 2.549 nyawa tambahan dapat diselamatkan jika masyarakat lebih disiplin dalam menggunakan sabuk pengaman [3]. Pada periode 2020-2022, Komite Nasional Keselamatan Transportasi melakukan investigasi pada 32 kasus kecelakaan dan 11 kasus di antaranya menegaskan akan pentingnya penggunaan sabuk pengaman sebagai hasil

rekomendasi untuk peningkatan keselamatan berkendara. Sebuah kasus kecelakaan tunggal pada tanggal 27 Mei 2021 yang melibatkan Kendaraan Bus terguling di Jalan Raya Palembang-Jambi, Kabupaten Musi Banyuasin. Insiden kecelakaan tersebut menimbulkan korban sebanyak 37 orang dengan tingkat keparahan yaitu: 4 orang meninggal dunia, 4 orang mengalami luka berat dan 29 orang luka ringan. Fatalitas korban sebagian besar terjadi karena penumpang bus tidak mengenakan sabuk pengaman [4].

Untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas, pemerintah telah menetapkan regulasi dalam Permenhub No. 74 Tahun 2021 dan UU 22 Tahun 2009 yang mengharuskan penggunaan *seat belt* untuk pengemudi dan penumpang kendaraan roda empat atau lebih. Upaya ini bertujuan untuk meminimalkan risiko cedera dan kematian akibat kecelakaan. *Seat belt* telah terbukti efektif dalam mengurangi dampak kecelakaan, dan penegakan hukum serta edukasi kepada masyarakat diharapkan dapat meningkatkan kesadaran dan kepatuhan terhadap peraturan keselamatan berkendara.

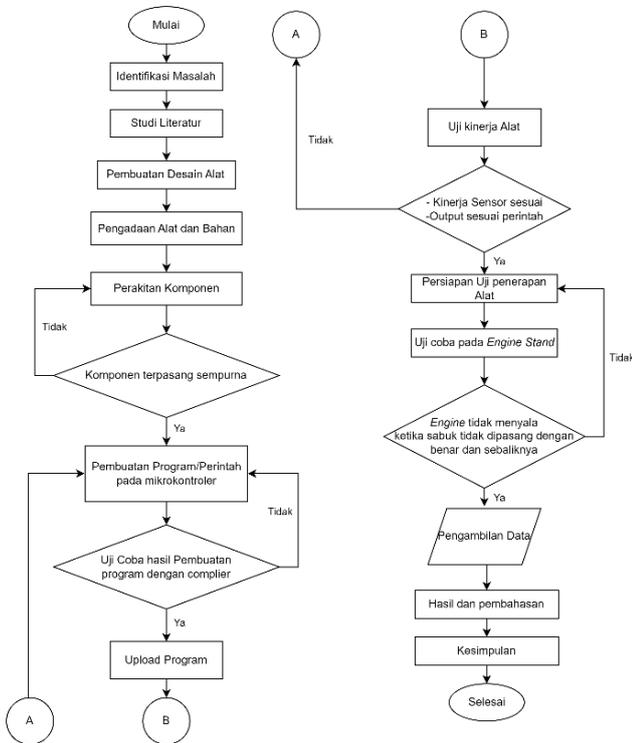
II. METODOLOGI

Metode ADDIE digunakan dalam pembuatan alat ini, terdapat lima tahapan yaitu 1) analisis, 2) perancangan, 3) pengembangan, 4) implementasi dan 5) evaluasi [5].

Pembuatan alat dilakukan di Laboratorium TRO Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal. Perhatian khusus dilakukan dalam perencanaan sistem yaitu pada perencanaan *hardware* maupun *software system*.

A. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar1.

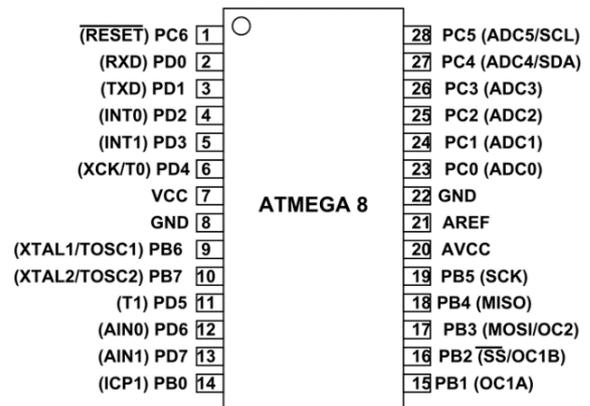


Gambar 1. Diagram alir penelitian

B. Alat dan bahan

1) Sabuk Pengaman

2) *ATMega8*: *ATMega8* merupakan mikrokontroler terbaru dari *ATMEL* yang berperan sebagai otak atau pengendali dalam berbagai perangkat elektronik, menonjolkan keunggulan arsitektur RISC 8 bit yang memungkinkan eksekusi instruksi secara cepat dan efisien. Beberapa fitur bawaannya meliputi kemampuan berkomunikasi melalui koneksi serial (*UART*), pengaturan daya keluaran analog (*PWM*), pembacaan data dari dunia analog (*ADC*), perbandingan sinyal analog (*analog comparator*), antarmuka serial (*SPI*), resistor *pull-up*, *oscillators*, dan *watch-dog timers*. Dengan kemampuan khusus seperti *ADC* dan *EEPROM* berkapasitas 128-512 byte, dapat mengonsumsi daya rendah dengan kecepatan maksimum 16MIPS pada frekuensi 16MHz, serta dapat beroperasi pada tegangan 4,5-5,5V. Konfigurasi *pin ATMega8* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi pin ATMega8

3) *Ultrasonik HC-SR04*: Sensor Ultrasonik berfungsi sebagai pengubah gelombang suara tinggi, yang tidak dapat terdengar oleh manusia menjadi sinyal listrik dan sebaliknya. Prinsip kerja sensor ultrasonik bergantung pada pemantulan gelombang suara untuk mengukur jarak objek menggunakan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik ini memiliki frekuensi yang sangat tinggi, yaitu 20 kHz. Gelombang tersebut dihasilkan oleh perangkat yang disebut piezoelektrik, yang mampu menghasilkan frekuensi sekitar 40 kHz ketika osilator diaplikasikan pada alat tersebut. Gelombang ini akan dipancarkan kepada objek, dan ketika objek berhasil memantulkannya, sensor akan mengukur antara pengiriman gelombang dan penerimaan pantulan. Dengan menggunakan informasi ini, sensor dapat menghitung jarak objek [6]. Berdasarkan cara kerja di atas maka rumus untuk mencari jarak berdasarkan ultrasonik menggunakan (1).

$$S = \frac{vt}{2} \tag{1}$$

Keterangan :

- S : Jarak (m)
- v : Kecepatan suara (340 m/s)
- t : Waktu tempuh (s)

HC-SR04 dapat mengukur jarak benda sekitar 2 cm - 4 m dengan akurasi 3 mm. sensor ini berfungsi sebagai pengirim, penerima serta pengontrol gelombang ultrasonik. Mikrokontroler dapat bekerja dengan order mikrosekond (1 s=1.000.000 μs) dan satuan jarak bias kita ubah ke satuan cm (1m= 100cm). Oleh karena itu rumus dapat menjadi:

$$S = \frac{(340 (\frac{100}{1.000.000}) \times t)}{2} \tag{2}$$

$$S = \frac{0,034t}{2} \tag{3}$$

Sensor ini memiliki empat *pin* yaitu, *Vcc*, *GND*, *Trigger*, dan *Echo*.

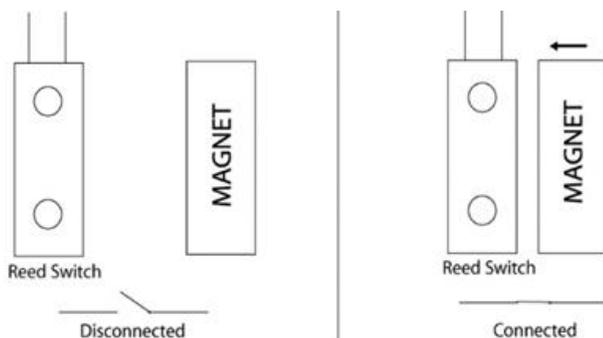
4) *DHT11*: Sensor DHT11 dilengkapi dengan kalibrasi sinyal digital, memungkinkan penyampaian informasi suhu dan kelembaban secara tepat. Sensor ini juga memiliki kecepatan respons dalam pembacaan data yang tinggi serta kemampuan untuk menanggulangi gangguan. DHT11 dikenal karena stabilitasnya yang tinggi, terutama jika digunakan Bersama mikrokontroler ATmega8. Sensor ini memiliki 4 (empat) pin dalam satu baris, dengan dimensi yang cukup kecil serta tidak menggunakan banyak daya. Jangkauan transmisi sinyal mencapai 20 meter. Salah satu keunggulan utama modul DHT11 dibandingkan model lain adalah kualitas pembacaan data yang responsif [7].

5) *MC-38*: Sensor MC-38 merupakan suatu jenis komponen elektronika yang berfungsi sebagai pendeteksi medan magnet di sekitarnya dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1. Sensor ini biasa digunakan sebagai sistem keamanan, gerbang otomatis, pemantauan pergerakan dan lain-lain. Secara struktural, sensor MC-38 terdiri atas komponen utama yang berisi magnet permanen dan *reed switch*. Magnet permanen berfungsi sebagai sumber medan magnet yang dideteksi oleh sensor, dan *reed switch* berfungsi sebagai komponen elektromagnetik yang merespons medan magnet dan *reed switch* berperan sebagai sensor [8].

Tabel 1. Spesifikasi MC-38

Spesifikasi MC-38	
a. <i>Rated Voltage</i>	200 VDC
b. <i>Rated Current</i>	100 mA
c. <i>Resistance</i>	$\pm 4\Omega$
d. <i>Dimension</i>	28x15x0.9cm
e. <i>Operating Distance</i>	15mm-25mm

Prinsip kerja pada sensor MC-38 adalah ketika perubahan keadaan kontak *reed switch* mendekati medan magnet dan mencapai ambang batas magnetik yang telah ditentukan, maka *reed switch* akan tertutup (*closed*) dengan hambatan $\pm 4\Omega$, dan menghubungkan dua terminal pada sensor. Sebaliknya, ketika *reed switch* meninggalkan medan magnet maka akan memutus koneksi dan *reed switch* akan terbuka (*open*) sebagaimana ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Cara kerja MC-38

6) *Relay 5 V*: *Relay* merupakan sebuah komponen elektronika yang berfungsi seperti saklar atau tombol yang dikontrol secara elektrik. *Relay* bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetisme untuk mengoperasikan kontak sakelar. Dengan cara ini, *relay* dapat menyalurkan arus tegangan tinggi meskipun hanya menggunakan arus yang rendah untuk pengendaliannya. Dengan kata lain, *relay* memungkinkan kita mengendalikan arus kuat menggunakan sinyal listrik yang lemah [9].

7) *LED*: Light emitting diode (LED) adalah komponen elektronik yang dapat memancarkan cahaya monokromatik saat diberi tegangan maju. Lampu LED memanfaatkan material semikonduktor dari kelompok dioda. Warna cahaya LED berbeda-beda tergantung jenis bahan semikonduktor yang digunakan. LED yang digunakan berwarna hijau dan merah [10].

8) *Buzzer*: *Buzzer* merupakan suatu komponen elektronik yang mampu menghasilkan suara. Spesifikasi *Buzzer* ditunjukkan pada Tabel 2. Alat ini bekerja dengan prinsip dasar yaitu menggerakkan membran yang terdapat di dalamnya. Membran ini biasanya berhubungan dengan kumparan yang bergetar ketika diberi tegangan. Ketika arus listrik melewati kumparan, ia membuat medan magnet yang mempengaruhi membran dengan getaran yang cepat. Sehingga getaran inilah yang kemudian menghasilkan gelombang suara [11]. Berikut merupakan spesifikasi *buzzer*:

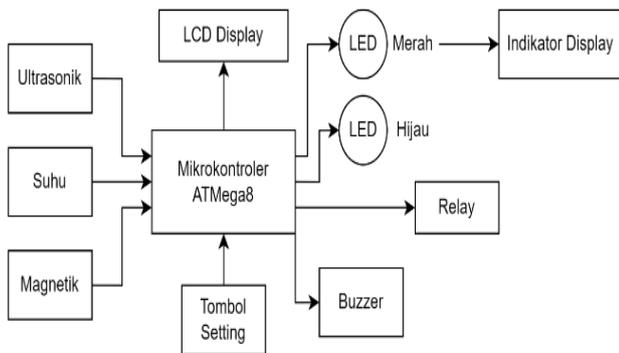
Tabel 2. Spesifikasi *buzzer* [12]

Spesifikasi <i>Buzzer</i>	
1. <i>Voltage</i>	12VDC
2. <i>Operating Current</i>	15mA max
3. <i>Frekuensi</i>	3.7kHz
4. <i>Sound</i>	<i>Single Sound</i>
5. <i>Sound Output</i>	85db above
6. <i>Type Panel Mounting</i>	

9) *LCD 2x16*: *Liquid crystal display* (LCD) merupakan media tampil dengan penampil utamanya menggunakan kristal cair. Sehingga gambar atau teks dapat ditampilkan dengan puluhan ribu hingga jutaan titik cahaya (*pixel*). Kristal cair tidak menciptakan cahaya sendiri, namun sebagai gantinya, layer LCD menggunakan lampu neon putih di bagian belakang sebagai sumber cahaya. Arus listrik mengubah polaritas kristal cair, sehingga hanya memungkinkan warna tertentu yang melewatinya sementara warna lain disaring, sehingga menghasilkan gambar atau teks yang ditampilkan [13].

C. Perancangan Sistem

1) *Blok diagram alat:* Sistem perancangan alat ditunjukkan pada Gambar 4. Ketika semua sensor indikator yaitu Sensor suhu DHT11 untuk mendeteksi tubuh pengguna kendaraan, Sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi pengguna kendaraan di posisi yang tepat dan Magnetik MC-38 memastikan sabuk keselamatan terpasang dengan benar maka mikrokontroler ATmega8 mengirim sinyal lanjutan sehingga LED Hijau menyala, LED merah mati (*display mati*), *buzzer* bunyi, dan *relay on* sehingga *Engine stand* dapat aktif dan mesin menyala.

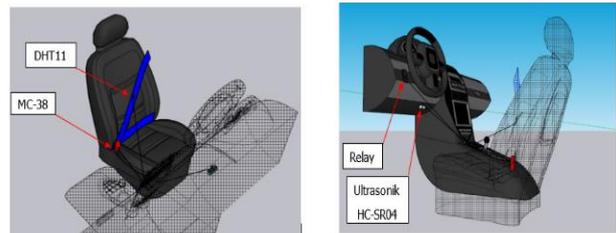


Gambar 4. Blok diagram alat

Namun jikalau sensor tidak mendeteksi, maka LED Merah akan hidup (*display hidup*). Sensor Suhu dan Jarak dapat disesuaikan yang dibutuhkan menggunakan tombol *setting*, dan LCD akan menampilkan nilai jarak dan suhu yang disesuaikan. Serta seluruh indikator akan ditampilkan pada LCD.

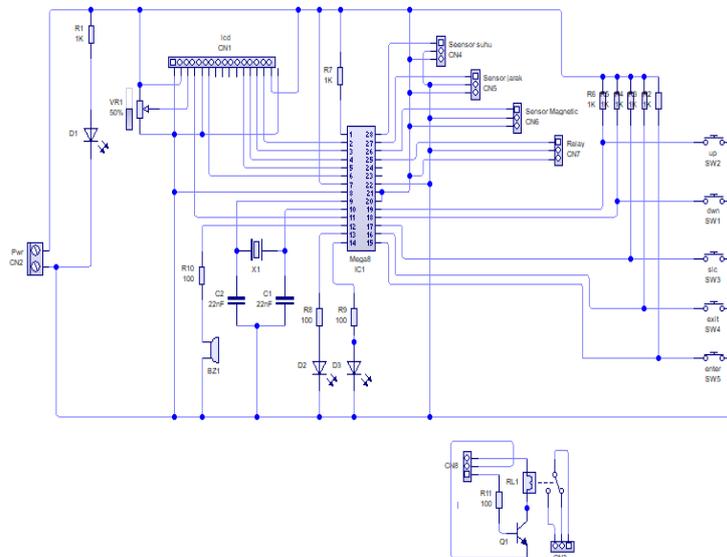
2) *Skema Rangkaian:* Rangkaian pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 5 dibuat dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak Livewire Pro 1.11. Aplikasi Livewire merupakan sebuah *software* yang digunakan sebagai perangkat yang merancang dan menganalisis rangkaian elektronika. Perangkat ini mempunyai kemampuan menampilkan rangkaian dalam bentuk animasi dan bahkan dapat mengeluarkan bunyi untuk mengaplikasikan fungsi dari rangkaian yang dibuat [14]

3) *Desain Peletakan Alat:* Pada Penerapan Alat ini masih berupa prototipe di mana dalam uji coba alat menggunakan *engine stand* sebagai indikator, Berikut peneliti tampilkan desain yang digunakan untuk penerapan pada kendaraan langsung.



Gambar 5. Desain peletakan alat

Berdasarkan Gambar 6, desain prototipe alat pada kursi dilengkapi dengan 3 sensor : sensor DHT11 pada bagian pita sabuk (*webbing*) untuk mendeteksi suhu tubuh pengguna saat menggunakan *seat belt*, dan sensor MC-38 pada pengunci sabuk (*buckle*) untuk memastikan *seat belt* terkunci dengan baik dan sensor ultrasonik HC-SR04 dipasang di bagian bawah *dashboard* untuk mendeteksi posisi duduk pengguna kendaraan, serta terdapat *relay* atau *output* yang terhubung ke kunci kontak kendaraan untuk memutus atau menghubungkan arus listrik.



Gambar 6. Skema rangkaian sistem

4) *Pemrograman Mikrokontroler*: Perangkat lunak Basic Compiler AVR atau dapat dikenal juga dengan BASCOM-AVR digunakan dalam Penelitian ini. Basic Compiler AVR merupakan *assembler* berbasis Windows yang dirancang untuk mikrokontroler seri AVR. BASCOM-AVR adalah alat pemrograman yang menggunakan bahasa pemrograman tingkat tinggi "basic" dan dikembangkan oleh MSC Elektronika. Penggunaan aplikasi ini, pemrograman mikrokontroler AVR menjadi lebih mudah dipahami dan diterjemahkan [15]. Peneliti melakukan *download/upload* program menggunakan aplikasi PROGISP Ver 1.72. Aplikasi PROGISP merupakan suatu perangkat lunak yang berfungsi sebagai penghubung dua perangkat antara komputer dengan perangkat melalui USB. Namun sebelum melakukan *upload* program peneliti melakukan *compiler* yang bertujuan untuk melakukan cek IC dan *download/upload* program yang telah dibuat dengan BASCOM-AVR [16].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perakitan Alat

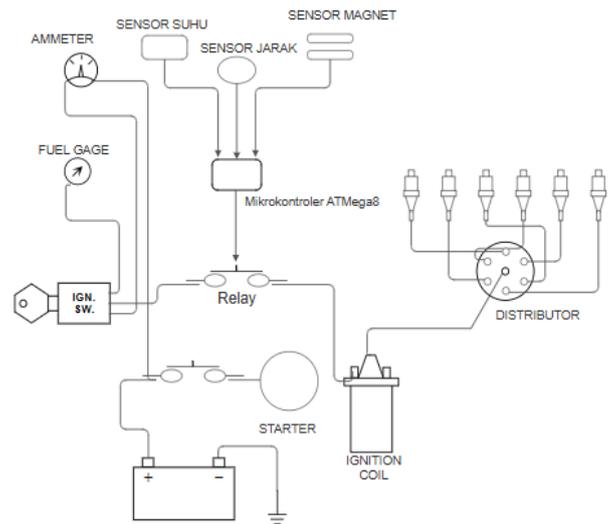
Perakitan komponen ditunjukkan pada Gambar 7, elektronik dipasang secara teliti dan cermat sesuai dengan *pin* yang telah ditentukan pada masing-masing komponen, mengikuti *layout* PCB yang sebelumnya telah dirancang. Proses ini menghubungkan antar komponen sehingga alat dapat berfungsi sesuai dengan desain.



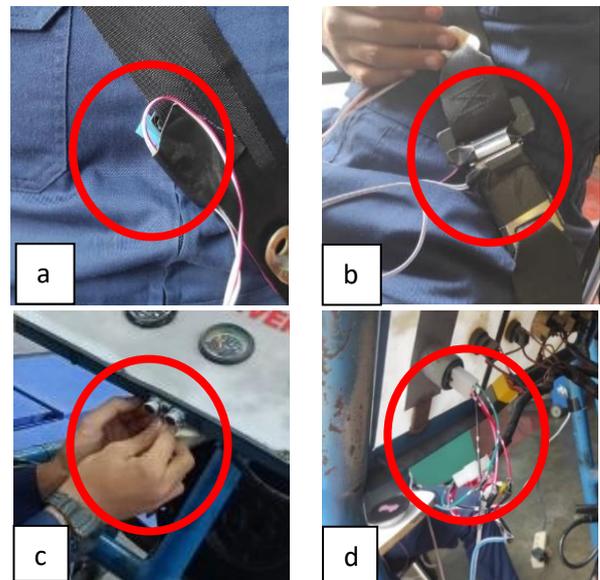
Gambar 7. Perakitan alat

B. Penempatan Prototipe Pada Engine Stand

Pada Penempatan alat, peneliti mengimplementasikan alat pada *engine stand* sesuai dengan urutan pada Gambar 8. Peneliti memilih untuk mengimplementasikan purwarupa alat pada sebuah *engine stand* (Gambar 9). Sumber arus pada engine tersebut masih menggunakan baterai, sementara mikrokontroler diberi daya langsung dari listrik AC. Peneliti menggunakan *relay* sebagai pengontrol arus pada kunci kontak di *ignition switch*.



Gambar 8. Skema pengaplikasian pada *engine stand*



Gambar 9. Peletakan sensor dan *relay*

Keterangan :

- a. Sensor suhu DHT11
- b. Sensor Magnet MC-38
- c. Sensor Ultrasonik HC-SR04
- d. *Relay*

Sensor yang berfungsi sebagai pendeteksi dipasang sesuai dengan desain yang telah dirancang sebelumnya mencakup pemasangan sensor jarak, suhu dan magnet. Penyusunan komponen ini dalam *stand engine* memungkinkan pengujian yang lebih terstruktur dan aman.

C. Hasil Pengujian alat

1) *Uji Waktu Respons Sensor*: Pengujian untuk waktu respons sensor dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat sensor merespons dalam mendeteksi objek yang telah ditentukan. Pengujian ini menggunakan satuan waktu detik/sekon (s) untuk mengukur waktu yang dibutuhkan sensor dalam mendeteksi objek. Untuk mendapatkan nilai rata-rata respons, menggunakan (4).

$$\text{Waktu respon} = \frac{\text{Jumlah total waktu pengujian}}{\text{Jumlah pengujian}} \quad (4)$$

Dari Tabel 3, hasil rata-rata respons dari sensor HC-SR04 diperoleh dan dihitung. Sensor jarak HC-SR04 pada alat yang diteliti memiliki waktu respons sebesar 0,24 s, menunjukkan bahwa sensor ini mampu memberikan kinerja yang cepat dan konsisten dalam mendeteksi jarak.

Tabel 3. Uji waktu respons sensor HC-SR04

Pengujian Ke-	Waktu Respons Sensor
1	0,3 s
2	0,28 s
3	0,16
4	0,29 s
5	0,22 s
6	0,2 s
7	0,17 s
8	0,16 s
9	0,33 s
10	0,16 s
11	0,16 s
12	0,42 s
13	0,27 s
14	0,2 s
15	0,2 s
16	0,38 s
17	0,21 s
18	0,3 s
19	0,2 s
20	0,24 s
Total respons waktu	4,56 s
Rata-rata respons waktu	0,24 s

Berdasarkan Tabel 4, sensor membutuhkan waktu 14,58 sekon untuk mendeteksi perubahan suhu dan mengirimkan respons. Kurangnya responsi sensor suhu DHT11 terhadap perubahan suhu secara *real-time*, yang akhirnya mempengaruhi sistem dalam beberapa kondisi. *Delay* pada sensor suhu DHT11 disebabkan oleh spesifikasinya yang memiliki akurasi $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dan resolusi 1°C , serta waktu pengiriman data maksimal 30 sekon. Dengan akurasi dan resolusi ini, sensor DHT11 dapat mengalami keterlambatan atau kurang responsif terhadap perubahan suhu yang cepat. Meskipun demikian, sensor DHT11 tetap dapat memberikan performa yang baik dalam mengukur suhu dalam kondisi operasional yang sesuai dengan karakteristiknya.

Tabel 4. Uji waktu respons DHT11

Pengujian Ke-	Waktu Respons Sensor
1	13,24 s
2	15,02 s
3	16,11 s
4	16,23 s
5	15,3 s
6	13 s
7	16,05 s
8	10,18 s
9	12,58 s
10	16,31 s
11	14,12 s
12	14,5 s
13	16,19 s
14	15,19 s
15	12,14 s
16	16,1 s
17	13,17 s
18	14,03 s
19	15 s
20	17,01 s
Total respons waktu	291,43 s
Rata-rata respons waktu	14,58 s

D. Uji Indikator alat

Pada kondisi semua sensor mati atau tidak mendeteksi, diharapkan bahwa LED merah menyala, LED hijau mati, *display* dan LCD menyala, *buzzer* tidak berbunyi, dan *relay* dalam keadaan *off*.

Tabel 5. Seluruh sensor OFF

No.	Indikator	Kondisi Indikator	Tingkat Keberhasilan	Error
1	LED Merah	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
2	LED Hijau	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
3	<i>Display</i>	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
4	LCD	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
5	<i>Buzzer</i>	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
6	<i>Relay</i>	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
Rata-rata persentase			100%	0%

Hasil yang diperoleh dari Tabel 5, menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan alat tersebut mencapai rata-rata keberhasilan 100% berdasarkan 20 kali pengujian. Berdasarkan Tabel 6, dari ketiga sensor jika salah satu yang mendeteksi pengguna maka mencapai rata-rata keberhasilan 100% dari 20 kali pengujian.

Berdasarkan Tabel 7, ketika hanya dua sensor yang mendeteksi baik jarak dengan suhu, jarak dengan magnet

maupun suhu dengan magnet mencapai rata-rata keberhasilan 100% dari 20 kali uji.

Tabel 8 menunjukkan bahwa pada kondisi ideal ketika seluruh sensor berfungsi dengan baik, diharapkan LED mati, ketika semua sensor mendeteksi, LED hijau justru menyala sebagai indikasi bahwa sistem sedang beroperasi.

Tabel 6. Satu sensor mendeteksi

No.	Indikator	Kondisi Indikator	Tingkat Keberhasilan	Error
1	LED Merah	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
2	LED Hijau	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
3	Display	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
4	LCD	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
5	Buzzer	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
6	Relay	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
Rata-rata persentase			100%	0%

Tabel 7. Dua sensor mendeteksi

No.	Indikator	Kondisi Indikator	Tingkat Keberhasilan	Error
1	LED Merah	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
2	LED Hijau	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
3	Display	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
4	LCD	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
5	Buzzer	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
6	Relay	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
Rata-rata persentase			100%	0%

Tabel 8. Seluruh sensor mendeteksi

No	Indikator	Kondisi Indikator	Tingkat Keberhasilan	Error
1	LED Merah	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
2	LED Hijau	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
3	Display	Tidak Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
4	LCD	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
5	Buzzer	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
6	Relay	Bekerja	20/20 (100%)	0/20 (0%)
Rata-rata persentase			100%	0%

Selain itu, lampu *display* akan mati dan LCD akan membaca kondisi sistem secara real-time. Pada saat yang bersamaan, *buzzer* akan berbunyi untuk memberi tanda, *relay* akan berada dalam kondisi on, dan setelah *relay* on waktu toleransi akan aktif bekerja. Waktu toleransi ini diatur bekerja

secara berulang selama 60 sekon. Dalam kondisi ini, mesin pada *engine stand* dapat dihidupkan, menunjukkan bahwa seluruh komponen keamanan dan monitoring bekerja sesuai dengan yang diharapkan untuk mendukung operasional mesin dengan aman. Dan rata-rata keberhasilan untuk indikator pada kondisi seluruh sensor mendeteksi adalah 100% dari 20 kali uji.

E. Uji Kinerja alat

Dari uji seluruh kondisi pada kinerja alat, alat ini berfungsi sebagaimana mestinya. Sensor jarak HC-SR04 telah menunjukkan kemampuan yang maksimal dalam mendeteksi objek manusia yang berada di kursi kendaraan. Pengujian menunjukkan bahwa sensor ini mampu mengukur jarak dengan presisi, baik ketika kursi berada pada posisi terdekat maupun terjauh dari *dashboard*. Konsistensi dan akurasi pengukuran yang ditunjukkan oleh HC-SR04 membuktikan keandalannya sebagai alat deteksi keberadaan manusia pada kursi kendaraan.

Sensor suhu DHT11 juga telah terbukti efektif dalam mendeteksi suhu tubuh manusia secara akurat. Ketika *seat belt* terpasang, sensor ini mampu mendeteksi suhu tubuh manusia yang berada di atas 36°C, sedangkan jika sabuk tidak terpasang, sensor hanya mendeteksi suhu ruangan. Hasil pengujian ini menegaskan bahwa DHT11 dapat mengukur suhu dalam rentang yang sesuai dengan parameter suhu tubuh normal, yakni antara 36,1°C hingga 37,8°C[17].

Sensor magnetik MC-38 menunjukkan performa yang sangat baik dalam mendeteksi status penguncian *seat belt*. Sensor ini mampu membedakan dengan tepat antara kondisi sabuk yang telah diklik dengan benar dan yang belum terkunci. Respons yang diberikan oleh MC-38 sangat akurat dan sesuai dengan status penguncian *seat belt*. Sensitivitas yang tinggi dari sensor ini memastikan bahwa setiap perubahan status *seat belt* dapat terdeteksi dengan baik.

IV. SIMPULAN

Sistem dirancang untuk membantu pemerintah dan penegak hukum dalam mengatasi jumlah pelanggaran sabuk keselamatan dan meminimalisasi keparahan kecelakaan yang terjadi di jalan raya. *Smart belt* yang dirancang menggunakan mikrokontroler ATmega8, serta dilengkapi dengan sensor suhu DHT11, sensor ultrasonik HC-SR04, dan sensor magnetik MC-38, mampu menunjukkan kinerja yang akurat dan stabil dalam mendeteksi status *seat belt* di kendaraan. Alat ini tidak hanya mampu memastikan pengemudi menggunakan *seat belt* dengan benar, tetapi juga memiliki sistem otomatis yang dapat mematikan mesin kendaraan jika *seat belt* tidak terpasang dengan baik dalam 60 sekon setelah mesin dihidupkan. Dengan persentase keberhasilan mencapai 100%. Hasil uji waktu respons pada sensor jarak HC-SR04 memiliki respons yang cepat dengan waktu 0,24 sekon, sementara sensor magnetik MC-38 juga memberikan respons secara *real-time* dengan frekuensi pengambilan data sebesar 1/0. Sedangkan, sensor suhu DHT11 membutuhkan waktu 14,58 sekon untuk merespons perubahan suhu. Hal ini dikarenakan

keterbatasan sensor DHT11 yang memiliki akurasi ± 2 °C, resolusi 1 °C, dan batas waktu pengiriman data maksimum 30 sekon, sehingga kurang cepat dalam mendeteksi perubahan suhu yang mendadak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Badan Pusat Statistik." Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTcjMg==/number-of-motor-vehicle-by-type.html>
- [2] Pusiknas Bareskrim Polri, "Pursiknas Polri." Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: https://pusiknas.polri.go.id/detail_artikel/bukan_hanya_sat_u_pelanggar_lalu_lintas_dijerat_banyak_pasal
- [3] National Highway Traffic Safety Administration, "National Highway Traffic Safety Administration." Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.nhtsa.gov/vehicle-safety/seat-belts>
- [4] KNKT, "Komite Nasional Keselamatan Transportasi Republik Indonesia," 2021.
- [5] N. Sugihartini and K. Yudiana, "ADDIE Sebagai Model Pengembangan Media Instruksional Edukatif (MIE) Mata Kuliah Kurikulum Dan Pengajaran," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 15, no. 2, p. 277, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JPTK/issue/view/851>
- [6] A. D. Limantara, Y. C. S. Purnomo, and S. W. Mudjanarko, "Pemodelan Sistem Pelacakan LOT Parking Kosong Berbasis Sensor Ultrasonic dan Internet Of Things (IoT) Pada Lahan Parkir Diluar Jalan.," *Prosiding Semnastek*, no. 0, Dec. 2017, Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/1810>
- [7] I. Aditia, R. Ilham, and J. P. Sembiring, "Penetas Telur Otomatis Berbasos Arduino Dengan Menggunakan Sensor DHT11," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali dan Listrik*, vol. 3, no. 1, 2022, doi: 10.33365/jimel.v1i1.
- [8] Virgiawan, S. Amini, and Purwanto "Perancangan Keamanan Ruangan Dengan Sensor Pir Dan Magnetic Door Switch Berbasis WEB," *Skatika: Jurnal Teknik Infomatika*, vol. 4, no. 2, pp. 126–132, 2021, Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/370d/d9a607ba055b381294505cb9753a77634a43.pdf>
- [9] V. Razaqta, S. Sumaryo, and P. Pangaribuan, "Perancangan Sistem Elektronik Kunci Kontak Keyless Pada Sepeda Motor Design Of Electronic Keyless Ignition Key Switch On Motorcycle," *eProceedings of Engineering*, vol. 5, no. 3, 2018.
- [10] M. N. D. Satria, F. Saputra, and D. Pasha, "MIT APP Invertor Pada Aplikasi Score Board Untuk Pertandingan Olahraga Berbasis Android," *Jurnal Teknoinfo*, vol. 14, no. 2, pp. 81–88, Jul. 2020, doi: 10.33365/jti.v14i2.665.
- [11] O. P. Adha, A. Muid, Y. Brianorman, "Prototipe Sistem Buka Tutup Atap Jemuran Pakaian Menggunakan Mikrokontroler Atmega8," *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 3, no. 1, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.26418/coding.v3i1.9381>.
- [12] S. Siswanto, G. P. Utama, W. Gata, "Pengamanan Ruangan Dengan Dfrduino Uno R3, Sensor Mc-38, Pir, Notifikasi SMS, Twitter," *Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi*, vol. 2, no. 3, pp. 697–707, 2018, doi: <https://doi.org/10.29207/resti.v2i3.592>.
- [13] F. Supegina and D. Sukindar, "Perancangan Robot Pencapit untuk Penyotir Barang Berdasarkan Warna LED RGB dengan Display LCD Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 5, no. 1, Jan. 2014, doi: <https://doi.org/10.22441/jte.v5i1.758>.
- [14] P. F. Damid and T. Sriwahyuni, "Pengaruh Penerapan Model PJBL Berbantu Program Aplikasi Livewire Terhadap Hasil Belajar," *Vocational Teknik Elektronika dan Informasi*, vol. 9, no. 1, pp. 58–66, 2021, doi: <https://doi.org/10.24036/voteteknika.v9i1.110477>.
- [15] D. I. S. Saputra, "Rancang Bangun Alat Penghitung Jumlah Pengunjung di Toko Adhelina Berbasis Mikrokontroler Atmega 16," *Sistem Informasi dan Komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 16–21, 2015, doi: <https://doi.org/10.32736/sisfokom.v4i1.131>.
- [16] H. Saiyar and M. Noviansyah, "Sistem Informasi Keamanan Brankas Dengan Mikrokontroler Atmega16," *Akrab Juara: Jurnal Ilmu-ilmu Sosial*, vol. 4, no. 1, pp. 16–25, 2019.
- [17] J. Kuht and A. D. Farmery, "Body temperature and its regulation," *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, vol. 22, no. 10, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2021.07.004>.