

Rancang Bangun Alat Automatic Seeding Untuk Kebun Hidroponik Berbasis Arduino

Riza Aprianur, Abdul Hamid Kurniawan, Sunu Pradana

Perancangan Dan Pembuatan Alat Pengujian Multimeter Pada Bengkel Teknik Elektro Polnes

Susanna, Sugeng, Nazar

Analisis Perbandingan Efisiensi Termal PLTU Berdasarkan Net Plant Heat Rate dengan Metode Uji Statistik Deskriptif dan t-Test: Studi Kasus pada PLTU di Kutai Kartanegara

Wahdiyatun Nisa, Bintang Bhakti Nugraha

Analisa Perbaikan/Menurunkan Nilai Saidi Saifi Terkait Pemasangan Fusesaver Pada Penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru

Nolan Habel Mellambi, Suratno, Verra Aullia

Penerapan Kontroler PID pada Sistem Kendali Level Cairan dengan Metode Ziegler-Nichols Berbasis Arduino

Arief Adhiksana, Prihadi Murdiyat, Abdul Rahman, Anisa Cahyani Fitri, Bayu Prayoga, Andi Jumardi, Eka Megawati, Yuniarti

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT dengan telah terbitnya jurnal PoliGrid volume 6 nomor 2. Terima kasih kepada para *author* yang telah memberikan kepercayaan kepada redaksi PoliGrid dengan mengirim artikel-artikelnya, juga kepada mitra bestari (*reviewer*) yang telah meluangkan waktunya untuk melakukan proses *review* di tengah kesibukan yang luar biasa.

Pada penerbitan kali ini, kepercayaan kepada Poligrid untuk menerbitkan artikel hasil penelitian semakin bertambah. Hal itu dibuktikan dengan jumlah artikel yang masuk, juga asal *author*. Oleh karenanya, artikel-artikel yang belum dapat diterbitkan kali ini, akan diterbitkan pada kesempatan berikutnya. Untuk meningkatkan kepercayaan tersebut, pada awal tahun 2026 akan dilakukan pembenahan signifikan, antara lain dengan memperbaiki alur proses penerbitan, memperbaiki tata aturan yang berlaku. Diharapkan pembenahan yang dilakukan pada 2026, serta modal jumlah sitasi yang terus bertambah, dapat membawa Poligrid pada akreditasi yang lebih tinggi, yang akan diusulkan pada tahun 2027. Untuk dapat melakukan perbaikan tentu diperlukan kerjasama yang baik antara tim editor, mitra bestari, juga dengan *author*.

Selanjutnya, pada terbitan kali ini, jenis bidang artikel cukup beragam, di mana satu artikel membahas tentang aplikasi mikrokontroler untuk mengatur proses seeding pada pertanian hidroponik, satu lainnya membahas tentang alat kalibrasi instrumentasi. Dua buah artikel masing-masing membahas efisiensi pembangkit dan sistem distribusi. Dan artikel terakhir mendiskusikan tentang simulator sebuah plant sistem kontrol. Semoga artikel-artikel tersebut dapat memberikan kontribusi yang signifikan sebagai sumber referensi.

DEWAN REDAKSI

- Pelindung : Direktur Politeknik Negeri Samarinda
- Penasehat : Wakil Direktur I
Wakil Direktur II
Wakil Direktur III
- Penanggung jawab : Kepala P3M
- Pengarah : Ketua Jurusan Teknik Elektro
- Ketua Penyunting : Ir. Prihadi Murdiyat, M.T., Ph. D.
Politeknik Negeri Samarinda
- Anggota Penyunting : Rusda, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Samarinda
Prof. Dr. Hakkun Elmunsyah, S.T., M.T.
Universitas Negeri Malang
Restu Mukti Utomo, S.T., M.T.
Universitas Mulawarman
Marson Ady Putra, S.ST., M.T.
Politeknik Negeri Samarinda
Muhammad Agung Nursyeha, S.T., M.T.
Institut Teknologi Kalimantan

Bella Cahya Ningrum, S.Tr.T., M.Tr.T.
Politeknik Negeri Samarinda
- Mitra Bestari : Prof. Dr. Ir. Era Purwanto, M. Eng.
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Prof. Novie Ayub Windarko, S.T., M.T., Ph. D.
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Herman Yuliandoko, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Banyuwangi
Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.
Universitas Brawijaya Malang
Ir. Nur Alif Mardiyah, M.T.
Universitas Muhammadiyah Malang

Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M. Eng. Sc., Ph.D.
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Dr. Ir. Ermanu Azizul Hakim, M.T.
Universitas Muhammadiyah Malang

Happy Aprillia, S.ST., M.T., M.Eng., Ph.D.
Institut Teknologi Kalimantan

Riza Hadi Saputra, S.T., M.T.
Institut Teknologi Kalimantan

Andhika Giyantara, S.T., M.T.
Institut Teknologi Kalimantan

Sujito, S.T., M.T., Ph.D.
Universitas Negeri Malang

Aji Akbar Firdaus, ST., MT.
Universitas Airlangga

Dr. Ir. Rahman Azis Prasajo, S.ST., MT.
Politeknik Negeri Malang

Ir. Mohammad Noor Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D.
Politeknik Negeri Malang

Pangestuningtyas Diah Larasati, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Semarang

Yanuar Mahfudz Safarudin, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Semarang

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DEWAN REDAKSI

DAFTAR ISI

	Halaman
Rancang Bangun Alat <i>Automatic Seeding</i> Untuk Kebun Hidroponik Berbasis Arduino	63 - 74
Riza aprianur, Abdul Hamid Kurniawan, Sunu Pradana	
Perancangan dan Pembuatan Alat Pengujian Multimeter Pada Bengkel Teknik Elektro Polnes	75 - 81
Sugeng Wahyu Edi, Susanna	
Analisis Perbandingan Efisiensi Termal PLTU Berdasarkan <i>Net Plant Heat Rate</i> dengan Metode Uji Statistik Deskriptif dan t-Test: Studi Kasus pada PLTU di Kutai Kartanegara	82 - 86
Wahdiyatun Nisa, Bintang Bhakti Nugraha	
Analisa Perbaikan/Menurunkan Nilai SAIDI SAIFI Terkait Pemasangan <i>Fusesaver</i> Pada Penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru	87 - 96
Nolan Habel Mellambi, Suratno, Verra Aullia	
Penerapan Kontroler PID Pada Sistem Kendali Level Cairan Dengan Metode Ziegler-Nichols Berbasis Arduino	97 - 102
Arief Adhiksana, Prihadi Murdiyat, Abdul Rahman, Anisa Cahyani Fitri, Bayu Prayoga, Andi Jumardi, Eka Megawati, Yuniarti	

Rancang Bangun Alat *Automatic Seeding* Untuk Kebun Hidroponik Berbasis Arduino

Riza Aprianur¹, Abdul Hamid Kurniawan², Sunu Pradana³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

abdul.hamid.kurniawan@polnes.ac.id

Abstrak- Pertanian hidroponik menjadi solusi alternatif dalam memenuhi kebutuhan pangan di tengah keterbatasan lahan. Namun, penyemaian benih secara manual pada media *rockwool* banyak membutuhkan tenaga kerja dan memakan waktu yang cukup lama. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat *automatic seeding* berbasis Arduino Mega 2560 untuk menempatkan benih secara otomatis dan presisi. Alat ini dilengkapi dengan sistem *conveyor*, *vacuum pump*, dan motor *vibration* sebagai mekanisme *pick and place* benih pada media *rockwool*. Berdasarkan pengujian, alat mampu menempatkan benih pipih dengan rata-rata keberhasilan 84,1%, yaitu 50,5 biji dari 60 lubang *rockwool*, dengan waktu 78 detik per *tray*, setara dengan 2.769 *rockwool* per jam. Konsumsi daya alat sebesar 72,615 Watt, tergolong sedang dan cocok untuk kebun hidroponik skala kecil hingga menengah. Alat ini dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi penyemaian benih serta mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, sehingga mendukung produktivitas dan keberlanjutan pertanian hidroponik.

Kata kunci: *Arduino*, *automatic seeding*, *hidroponik*, *pick and place*, *rockwool*.

I. PENDAHULUAN

Pertanian hidroponik telah berkembang menjadi salah satu pilihan yang dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan pangan Indonesia di tengah penduduk yang meningkat dan jumlah lahan pertanian yang terbatas. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), kebutuhan pangan di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan populasi yang mencapai lebih dari 270 juta jiwa pada tahun 2020 [1]. Hal ini meningkatkan tekanan pada sistem pertanian konvensional, mendorong penggunaan metode pertanian alternatif seperti hidroponik.

Hidroponik adalah metode bertani yang memanfaatkan air tanpa penggunaan tanah dan menekankan pentingnya asupan nutrisi bagi tanaman. Dalam sistem hidroponik, kebutuhan air yang diperlukan jauh lebih sedikit dibandingkan dengan metode pertanian yang menggunakan tanah sebagai media. Penggunaan air pada hidroponik lebih efisien, sehingga sangat direkomendasikan untuk diterapkan di wilayah dengan ketersediaan air yang terbatas. Di Indonesia, sistem hidroponik yang digunakan memiliki instalasi berbeda untuk setiap tahap pertumbuhan, termasuk fase penyemaian, fase pertumbuhan kembali, dan fase matang.

Ketidakstabilan dalam proses penanaman benih adalah salah satu tantangan lain yang dihadapi petani hidroponik. Untuk meningkatkan produktivitas dan memenuhi permintaan pangan yang terus meningkat, pengembangan metode hidroponik yang lebih stabil dan konsisten menjadi sangat penting. Proses penanaman bibit dilakukan dengan cara

menempatkan benih tanaman ke dalam media tanam yang berupa *rockwool* dengan menggunakan metode untuk menempatkan benih satu per satu akan membutuhkan tenaga kerja dan memakan waktu yang cukup lama. Salah satu masalah yang sering terjadi adalah penempatan benih yang tidak konsisten, yang dapat mempengaruhi hasil panen [2]. Namun, proses ini dapat dilakukan dengan kita memanfaatkan alat untuk melaksanakan pembenihan secara otomatis [3].

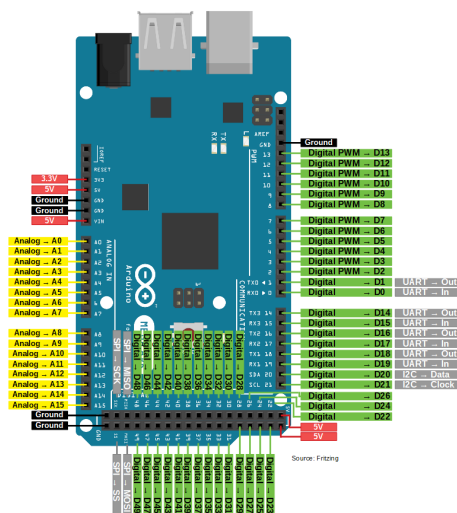
Pada tahap penempatan benih dalam media tanah dan *rockwool* terlihat perbedaan yang jelas. Untuk media tanam *rockwool*, benih perlu ditaruh dengan tepat di dalam lubang-lubang *rockwool* yang telah dibuat sebelumnya. Di sisi lain, untuk media tanah, penataan benih hanya perlu dilakukan di dalam *tray*, tanpa harus menempatkannya tepat di tengah *tray* tersebut. Oleh karena itu, sebuah alat penanaman otomatis diciptakan untuk menempatkan benih ke dalam lubang di media tanam *rockwool*. Selain itu, ada *conveyor* dan *vacuum pump* yang akan menggerakkan media tanam *rockwool* sekaligus menempatkan benih sayuran hidroponik ke dalam lubang-lubang yang telah dibuat sebelumnya dalam *rockwool*. Dengan cara ini, proses penyemaian dapat berlangsung dengan lebih cepat dan dilakukan secara otomatis.

Dengan demikian, pengembangan dan penerapan alat *automatic seeding* di kebun hidroponik tidak hanya berkontribusi pada peningkatan produktivitas pertanian, tetapi juga mendukung keberlanjutan dan ketahanan pangan di masa depan. Harapan ini dapat menjadi pilihan secara luas, memberikan manfaat bagi petani, konsumen, dan lingkungan.

II. LANDASAN TEORI

A. *Arduino Mega 2560*

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler yang memiliki 54 pin digital I/O (15 pin dapat digunakan sebagai PWM output), 16 pin analog input, USB connection, power jack DC (suplai eksternal), ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino Mega 2560 dapat beroperasi dengan menggunakan USB connection atau suplai eksternal. Suplai eksternal dapat berupa baterai atau berasal dari AC-DC adaptor. Board ini dapat beroperasi pada tegangan 6 - 20 V DC, tetapi tegangan rekomendasi berkisar antara 7 - 12 V DC. Jika tegangan kurang dari 7 V, maka suplai tegangan pada pin 5 V kemungkinan akan berkurang dan menyebabkan ketidakstabilan di papan Arduino. Jika tegangan melebihi 12 V, maka regulator tegangan akan mengalami *overheat* dan akan merusak papan Arduino [4].



Gambar 1. Konfigurasi pin Arduino Mega 2560 [4]

Berikut adalah tabel spesifikasi dari Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1
SPESIFIKASI ARDUINO MEGA 2560

Spesifikasi	Detail
Microcontroller	ATmega2560
USB-TTL converter	CH340
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (recommended)	7 - 12 V
Input Voltage (limit)	6 - 20 V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Operating temperature	-40 C°/+85 C°
Length × Width	101,52 × 53,3 mm

B. Motor Stepper

Motor *stepper* merupakan sekumpulan perangkat elektromekanis yang berfungsi mengubah sinyal elektronik menjadi gerakan fisik. Motor *stepper* beroperasi dengan mengikuti urutan sinyal yang diterima oleh motor. Agar dapat memanfaatkan motor *stepper*, diperlukan pengendali atau *driver* yang mengirimkan pulsa-pulsa secara berkala [2].

Pemilihan motor *stepper* sebagai aktuator dilakukan karena kemudahan dalam pengendaliannya serta tingkat akurasi yang sangat baik. Bentuk dari motor *stepper* dapat dilihat pada Gambar 2.

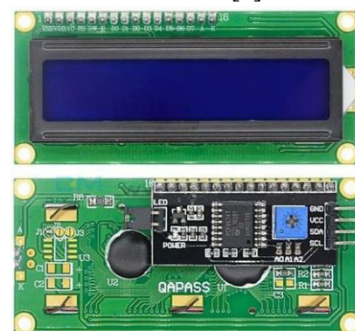
Gambar 2. Motor *stepper*

Besaran sudut rotasi per langkah merupakan aspek paling krusial dalam memilih motor *stepper* karena menentukan ukuran langkah terkecil atau resolusi gerakan. Setiap motor *stepper* memiliki karakteristik spesifik, yang mencakup 0,72° per langkah, 1,8° per langkah, 3,6° per langkah, 7,5° per langkah, 15° per langkah, hingga yang mencapai 90° per langkah. Dalam penggunaannya, kita dapat mengaplikasikan dua metode, yaitu *full step* dan *half step*. Dengan *full step*, motor *stepper* berputar sesuai dengan sudut derajat per langkah yang ditentukan, sedangkan *half step* berarti motor *stepper* bergerak setengah derajat per langkah dari spesifikasi motor yang bersangkutan [2].

C. Liquid Crystal Display (LCD)

LCD menampilkan data pada layar kecil atau panel dengan memanfaatkan satu atau lebih segmen yang mengubah penampilannya sesuai dengan tegangan AC. Tampilan ini bisa meliputi karakter alfanumerik dan/atau simbol, ikon, titik, atau piksel dalam bentuk bitmap [5].

Dapat diperhatikan pada Gambar 3 adalah modul LCD 16×2 yang menggunakan antarmuka I2C. Ini adalah modul berkualitas tinggi yang terdiri dari 2 baris dan mampu menampilkan 16 karakter. Modul ini memiliki pengaturan kontras yang bisa disesuaikan, serta dilengkapi dengan lampu latar dan interface komunikasi I2C [6].



Gambar 3. I2C serial interface 16x2 LCD module

D. Modul Driver Motor Stepper TB6600

TB6600 merupakan penggerak motor *stepper* yang mengandalkan teknologi PWM, yang diciptakan oleh perusahaan Toshiba. Alat ini dirancang untuk mengatur motor *stepper* jenis bipolar dalam berbagai mode mikrostepping hingga 1/32 langkah, memberikan pergerakan yang lebih halus dan tingkat akurasi yang tinggi. *Driver* motor TB6600 dilengkapi dengan satu arah sebagai pengatur posisi pergerakan motor *stepper* dan satu pulsa untuk mengelola reaksi kecepatan motor *stepper*. Frekuensi terendah yang dapat diproses oleh *driver* motor TB6600 adalah 50Hz, sedangkan frekuensi tertinggi yang bisa ditangani oleh *driver* ini mencapai 20 Khz [3]. Dengan rentang tegangan operasi antara 9 V hingga 42 V DC dan arus *output* yang bisa mencapai 4 A, TB6600 dapat mengatasi sejumlah ukuran motor *stepper*, dari yang kecil hingga yang sedang.

Salah satu kelebihan dari TB6600 adalah kemampuannya untuk mendukung berbagai mode mikrostepping, yaitu 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, dan 1/32. Mode-mode ini memungkinkan motor *stepper* bergerak dengan resolusi yang lebih tinggi, mengurangi

getaran, serta meningkatkan kestabilan pergerakan. Dengan adanya pengaturan arus yang dapat disesuaikan, pengguna bisa menyesuaikan kinerja motor agar sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek [7]. Bentuk dari modul *driver motor stepper* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Modul *driver stepper* TB6600

Berikut adalah tabel konfigurasi pin dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2
KONFIGURASI PIN

Nama Pin	Deskripsi
Pin 1: ENA- (ENA)	Pin ini merujuk pada pin pengaktifan negatif modul.
Pin 2: ENA+(+5V)	Pin ini merujuk ke pin pengaktifan positif, yang merupakan pin +5 V modul.
Pin 3: DIR- (DIR)	Pin ini merujuk pada arah negatif motor.
Pin 4: DIR+(+5V)	Pin ini merujuk ke arah positif +5 V.
Pin 5: PUL- (PUL)	Pin ini mengacu pada pulsa negatif. (Untuk mengendalikan langkah putaran motor)
Pin 6: PUL+(+5V)	Pin ini merujuk pada pulsa positif motor.
Pin 7: B-	Pin ini merujuk ke kabel kumparan motor <i>stepper</i> dengan kabel negatif 2.
Pin 8: B+	Pin ini merujuk ke posisi kabel kumparan motor <i>stepper</i> 2.
Pin 9: A-	Pin ini merujuk pada kabel negatif kumparan motor <i>stepper</i> 1.
Pin 10: A+	Pin ini merujuk ke kabel kumparan motor <i>stepper</i> dengan kabel positif 1.
Pin 11: GND	Pin ini merujuk pada koneksi <i>ground</i> umum modul.
Pin 12: VCC	Pin ini merujuk pada tegangan pasokan <i>input</i> untuk modul <i>driver motor stepper</i> , yaitu 9 V - 42 V.

E. Vacuum Pump Diafragma 12 V

Pompa vakum diafragma adalah jenis pompa perpindahan positif (*positive displacement pump*) yang menggunakan membran elastis (diafragma) untuk menciptakan perbedaan tekanan dalam ruang pompa, sehingga memungkinkan cairan atau gas berpindah dari satu sisi ke sisi lain. Pompa ini bekerja dengan menggerakkan diafragma maju mundur, sehingga menghasilkan efek hisap dan dorong tanpa perlu pelumas ataupun kontak langsung antara fluida dengan komponen mekanis. cocok digunakan untuk fluida yang korosif, sensitif, atau memerlukan kebersihan tinggi. Kelebihan lainnya meliputi kemampuan *self-priming*, kemampuan menangani fluida dengan viskositas tinggi, serta keandalan dalam pengoperasian jangka panjang tanpa banyak perawatan [8].



Gambar 5. Vacuum pump diafragma

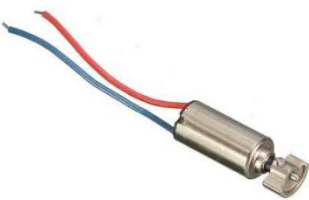
Berikut adalah tabel spesifikasi dari *vacuum pump* dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3
SPESIFIKASI VACUUM PUMP

Spesifikasi	Detail
Working Voltage	DC 12 V
Power	0,05 KW
Ultimate Pressure	-50 KPa
Maximum Vacuum	> 70 KPa
Rate of Flow	180 m3/h
No-load Flow	> 9 LPM
Noise	Less than 75 dB

F. Mini Coreless Vibration Motor

Coreless vibration motor adalah jenis motor getar kecil yang menggunakan rotor tanpa inti besi (*coreless*) untuk menghasilkan getaran mekanis. Desain ini menghilangkan penggunaan inti besi dalam armatur, sehingga menghasilkan komponen rotasi yang ringan dan responsif. Hal ini memungkinkan motor untuk memiliki waktu respons yang cepat selama percepatan, meningkatkan efisiensi operasionalnya [9]. Bentuk fisik dari mini *coreless vibration motor* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Vibration motor

G. Module Relay

Relay berfungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik yang terpisah. Relai memanfaatkan tegangan rendah atau arus rendah untuk mengatur tegangan yang lebih tinggi dan/atau arus yang lebih besar [10].

Kapasitas operasional sebuah *relay* bervariasi berdasarkan merek dan tipe *relay* tersebut. Modul *relay* mampu mengatasi beban arus sekitar 10 A dengan tegangan berkisar antara 125 V AC hingga 250 V AC serta tegangan 28 V DC hingga 30 V DC.



Gambar 7. Module relay

H. Switch Mode Power Supply (SMPS) AC – DC

Switch Mode Power Supply (SMPS) adalah jenis catu daya yang bekerja dengan memanfaatkan teknik *switching* berfrekuensi tinggi untuk mengubah dan menstabilkan tegangan listrik secara efisien. Berbeda dengan catu daya linear yang menurunkan tegangan dengan membuang kelebihan energi dalam bentuk panas, SMPS menawarkan efisiensi yang jauh lebih tinggi. Selain itu, metode ini juga lebih fleksibel dan mampu beradaptasi terhadap perubahan beban maupun tegangan *input*. Pada umumnya, SMPS menggunakan IC atau transistor seperti MOSFET sebagai komponen pengendali utama untuk menjaga agar tegangan *output* tetap stabil.

Salah satu keunggulan utama dari *Switch Mode Power Supply* (SMPS) adalah efisiensinya yang tinggi, dengan kisaran efisiensi antara 70% hingga 95%. Angka ini jauh melampaui efisiensi catu daya linear, yang umumnya tidak melebihi 50%. Efisiensi yang lebih tinggi ini berdampak pada konsumsi daya yang lebih rendah serta produksi panas yang lebih minim. Selain itu, SMPS juga memiliki dimensi yang lebih ringkas dan biaya produksi yang relatif lebih terjangkau dibandingkan catu daya linear. Meskipun demikian, SMPS tidak lepas dari kekurangan, seperti munculnya transien *switching* dan gangguan *noise* yang dihasilkan [11].



Gambar 8. Switch mode power supply (SMPS)

I. Buck Converter

Buck converter merupakan tipe konverter daya DC – DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan masuk ke tingkat yang lebih rendah. Komponen ini sangat krusial dalam sistem elektronika daya, khususnya pada situasi di mana diperlukan pengurangan tegangan secara efisien dari satu tingkatan ke tingkat yang lebih rendah.

Buck converter beroperasi dengan cara mengatur proses hidup dan matinya transistor atau sakelar pada frekuensi tinggi. Saat sakelar dalam kondisi aktif, energi listrik akan disimpan terlebih dahulu di dalam komponen induktor. Sebaliknya, ketika sakelar dinonaktifkan, energi yang telah tersimpan tersebut dialirkan ke beban melalui sebuah *diode*. Tegangan *output* yang dihasilkan dipengaruhi oleh rasio lamanya sakelar antara menyala dengan total periode *switching*, yang dikenal sebagai *duty cycle*.



Gambar 9. Buck converter

J. Belt dan Pulley

Belt dan *pulley* merupakan elemen mekanis yang umum dipakai secara bersamaan dalam berbagai alat serta mesin. *Belt* berfungsi untuk mengalihkan tenaga dari satu poros ke poros yang lain. Disisi lain, *pulley* adalah roda yang memiliki alur dan bekerja bersama *belt* untuk mentransfer daya. *Pulley* berfungsi berputar saat *belt* melingkar di sekitarnya, memindahkan gerakan serta energi mekanis dari satu poros ke poros lainnya.



Gambar 10. Belt dan pulley

K. Push Button

Push button atau tombol tekan adalah komponen saklar mekanik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik ketika ditekan. *Push button* bekerja berdasarkan prinsip mekanis di mana saat tombol ditekan, kontak di dalamnya akan berubah dari kondisi terbuka (*open*) menjadi tertutup (*closed*), atau sebaliknya, tergantung pada jenis tombolnya. *Push button* dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, di antaranya, *normally open* (NO) yaitu kontak akan tertutup saat tombol ditekan dan *normally closed* (NC) yaitu kontak akan terbuka saat tombol ditekan. Berikut pada Gambar 11 adalah tampilan fisik dari sebuah *push button*.



Gambar 11. Push button

L. Daya Listrik

Daya listrik merupakan ukuran yang mengindikasikan kecepatan energi listrik digunakan oleh suatu beban dalam rangkaian. Perangkat yang terhubung dengan energi listrik akan mengonsumsi energi tersebut [12]. Daya listrik dapat ditentukan dengan mengalikan voltase (V) dan intensitas arus (I) yang bergerak dalam sirkuit, dengan persamaan:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1)$$

P = Daya listrik

V = Tegangan listrik

I = Arus listrik

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi yang digunakan dalam melaksanakan rancang bangun alat *automatic seeding* berbasis arduino ini berada di lokasi Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda dan kebun Mahakam Hydro Culture sebagai lokasi

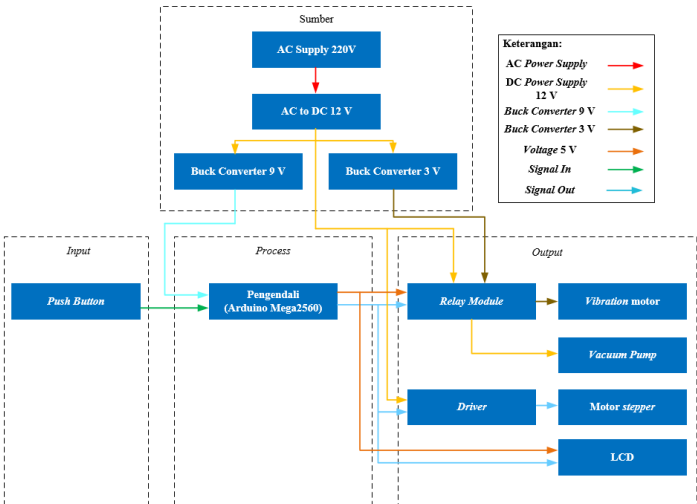
pembuatan alat serta pengujian hasil pembuatan alat yang telah terintegrasi.

B. Jenis Data dan Sumber Data

Pada perancangan ini, peneliti memanfaatkan dua kategori data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah informasi yang diperoleh secara langsung dari sumber melalui cara seperti observasi, survei, atau pengujian. Sementara itu, data sekunder adalah informasi yang telah dikumpulkan sebelumnya oleh individu atau institusi lain untuk maksud yang berbeda, peneliti menggunakan jenis data ini untuk analisis dalam perancangan ini, yang bersumber dari buku, jurnal, makalah, serta situs web.

C. Gambaran Umum

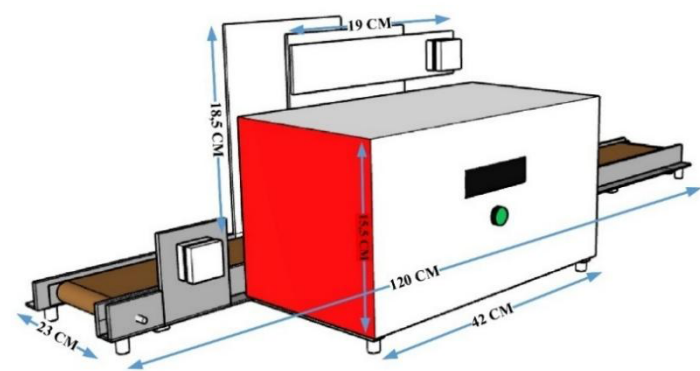
Gambaran umum suatu sistem adalah representasi secara keseluruhan dari sistem yang akan dibuat. Deskripsi umum ini digunakan untuk menggambarkan proses kerja sistem serta mempermudah dalam merancang perangkat. Berikut pada Gambar 12 ini adalah gambaran umum mengenai desain alat *Automatic Seeding* yang akan dirancang ini menggunakan *push button* sebagai *input* yang akan mengaktifkan sistem dan memulai penyemaian melalui pengendali Arduino mega 2560 yang akan mengirimkan sinyal keluar menuju motor *stepper* sebagai penggerak *conveyor* dan jarum *seeder* melalui *driver* TB6600. Serta *relay module* sebagai sakelar untuk mengaktifkan *vacuum pump* dan motor *vibration* dan LCD digunakan untuk menampilkan data jumlah siklus penyemaian yang telah dilakukan oleh alat.



Gambar 12. Gambaran umum sistem

D. Desain Alat

Perancangan perangkat dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan sistem untuk melaksanakan penanaman benih secara otomatis. Dalam desain ini, menampilkan bentuk body dari alat yang akan dirakit. Prototipe dari alat yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Desain alat *Automatic Seeding*

E. Peralatan dan Material

Peralatan dan material yang digunakan untuk merancang sistem *automatic seeding* berbasis Arduino akan diuraikan dalam bentuk tabel. Berikut adalah daftar peralatan dan material pada Tabel 6. dan Daftar perangkat lunak yang digunakan pada Tabel 7.

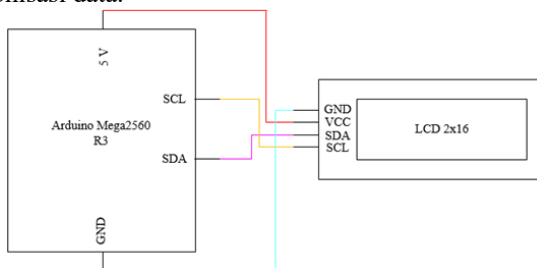
TABEL 7 DAFTAR PERALATAN DAN MATERIAL		
No	Peralatan	material
1	Laptop	Arduino Mega 2560 R3
2	Kunci pas	Motor stepper Nema 17
3	Gergaji Besi	LCD 16x2 I2C
4	Tang	Timing Pulley GT2
5	Solder	Timing Belt GT2
6	Obeng	Belt
7	Bor Listrik	Driver motor stepper TB6600
8	Gerinda	Buck Converter
9	Penyedot Timah	Vacuum pump 12 V
10		Mini coreless vibration motor
11		Jarum suntik
12		Push button
13		SMPS 12 V
14		Terminal blok 2 pin
15		Papan PCB
16		Spacer
17		Akrilik
18		Aluminium Composite Panel (ACP)
19		Pipa ½ inci
20		Besi Siku
21		Male Hose Nipple
22		Bearing 607
23		Bearing 627Z
24		Bearing 608
25		As Drat M10
26		Jarum Suntik
27		Mur/baut
28		Lem akrilik
29		Fluks solder
30		Kabel Jumper
31		Kabel NYAF 1 x 0,75 mm

TABEL 8 DAFTAR PERANGKAT LUNAK	
No	Perangkat Lunak
1	Arduino IDE
2	Visio
3	Microsoft Word
4	Fritzing
5	Cirkit Designer IDE

F. Desain Perancangan Rangkaian

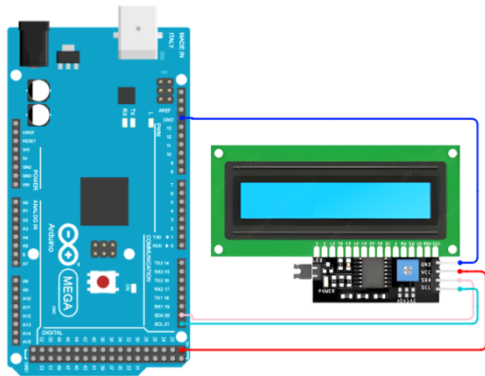
1) Desain Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560 ke LCD 16×2

Layar LCD 2×16 berfungsi untuk menunjukkan informasi secara visual. Layar ini mampu menampilkan total 32 karakter, yang terpisah dalam dua baris, dengan setiap baris menampung 16 karakter. Diagram skema penghubungan layar LCD 2×16 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 14. Keterhubungan antara Arduino Mega2560 R3 dengan LCD 2×16 berbasis modul I2C yang berfungsi untuk menampilkan data pada layar LCD melalui komunikasi I2C. Pada rangkaian tersebut, pin VCC pada LCD dihubungkan ke pin 5 V Arduino untuk memberikan catu daya, sedangkan pin GND pada LCD dihubungkan ke pin GND Arduino sebagai jalur *ground* bersama. Selanjutnya, pin SDA pada LCD dihubungkan ke pin SDA Arduino Mega2560 sebagai jalur pengiriman dan penerimaan data, sedangkan pin SCL pada LCD dihubungkan ke pin SCL Arduino sebagai jalur *clock* yang berfungsi untuk sinkronisasi data.



Gambar 14. Diagram rangkaian Arduino Mega 2560 ke LCD 2×16

Gambar wiring diagram diperlukan untuk memberikan gambaran visual mengenai jalur perkabelan dan hubungan antar komponen dalam rangkaian alat yang dibuat. Wiring diagram layar LCD 2×16 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 15.

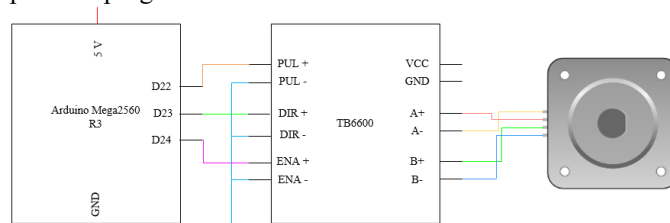


Gambar 15. Wiring diagram Arduino Mega 2560 ke layar LCD 2×16

2) Desain Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560 ke Modul Driver TB6600 Sebagai Conveyor

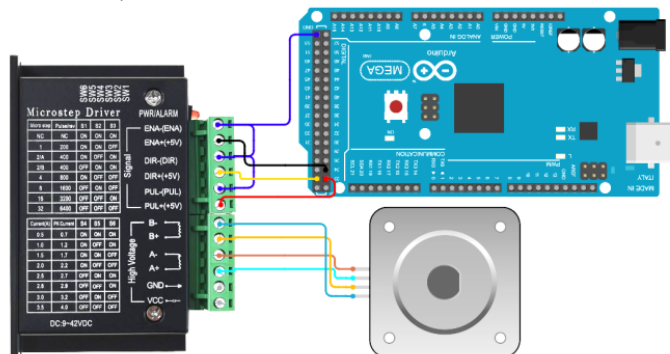
Agar dapat mengendalikan motor *stepper* pada *conveyor*, diperlukan driver TB6600. Diagram skema penghubungan modul driver TB6600 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 16. Keterhubungan antara Arduino Mega2560 R3, driver stepper TB6600, dan motor stepper yang berfungsi agar Arduino dapat mengendalikan arah, kecepatan, serta aktivasi motor melalui driver. Pada rangkaian ini, pin D22 Arduino dihubungkan ke PUL+ pada TB6600 dan PUL- terhubung ke GND Arduino sebagai jalur sinyal pulsa yang menentukan

jumlah langkah motor. Pin D23 Arduino dihubungkan ke DIR+ dan DIR- terhubung ke GND Arduino untuk menentukan arah putaran motor, sedangkan pin D24 dihubungkan ke ENA+ dan ENA- terhubung ke GND Arduino sebagai pengendali enable yang berfungsi mengaktifkan atau menonaktifkan motor. Selanjutnya, terminal A+ dan A- pada TB6600 dihubungkan ke kumparan A motor stepper, sedangkan terminal B+ dan B- dihubungkan ke kumparan B motor stepper sehingga arus dapat mengalir dan menghasilkan rotasi. Sementara itu, VCC dan GND pada TB6600 dihubungkan ke sumber daya eksternal sesuai spesifikasi motor untuk menyediakan catu daya. Dengan konfigurasi ini, Arduino hanya mengirimkan sinyal logika, sedangkan TB6600 berperan mengatur arus yang lebih besar sehingga motor stepper dapat berputar dengan presisi sesuai perintah program.



Gambar 16. Diagram rangkaian Arduino Mega 2560 ke modul driver TB6600

Gambar wiring diagram diperlukan untuk memberikan gambaran visual mengenai jalur perkabelan dan hubungan antar komponen dalam rangkaian alat yang dibuat. Wiring diagram modul driver TB6600 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 17.

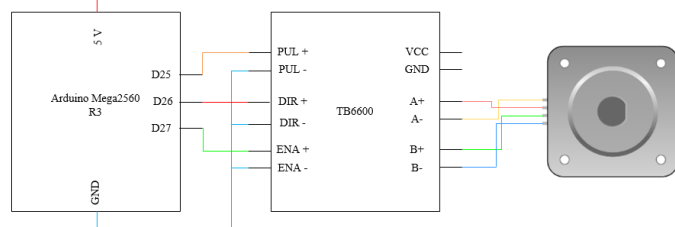


Gambar 17. Wiring diagram Arduino Mega 2560 ke modul driver TB6600

3) Desain Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560 ke Modul Driver TB6600 Sebagai Seeder

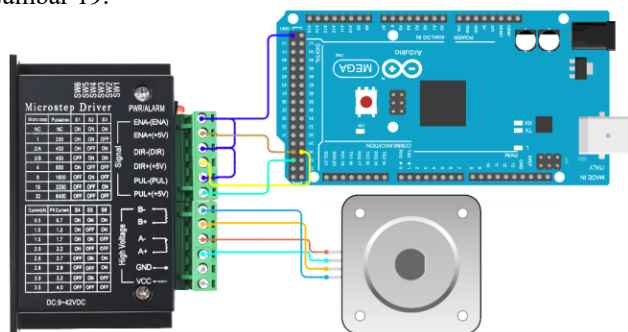
Agar dapat mengendalikan motor stepper pada seeder, diperlukan driver TB6600. Diagram skema penghubungan modul driver TB6600 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 18. Keterhubungan antara Arduino Mega2560 R3, driver stepper TB6600, dan motor stepper yang berfungsi agar Arduino dapat mengendalikan arah, kecepatan, serta aktivasi motor melalui driver. Pada rangkaian ini, pin D25 Arduino dihubungkan ke PUL+ pada TB6600 dan PUL- terhubung ke GND Arduino sebagai jalur sinyal pulsa yang menentukan jumlah langkah motor. Pin D26 Arduino dihubungkan ke DIR+ dan DIR- terhubung ke GND Arduino untuk menentukan arah putaran motor, sedangkan pin D27 dihubungkan ke ENA+ dan ENA- terhubung ke GND Arduino sebagai pengendali enable

yang berfungsi mengaktifkan atau menonaktifkan motor. Selanjutnya, terminal A+ dan A- pada TB6600 dihubungkan ke kumparan A motor stepper, sedangkan terminal B+ dan B- dihubungkan ke kumparan B motor stepper sehingga arus dapat mengalir dan menghasilkan rotasi. Sementara itu, VCC dan GND pada TB6600 dihubungkan ke sumber daya eksternal sesuai spesifikasi motor untuk menyediakan catu daya.



Gambar 18. Diagram rangkaian Arduino Mega 2560 ke modul driver TB6600

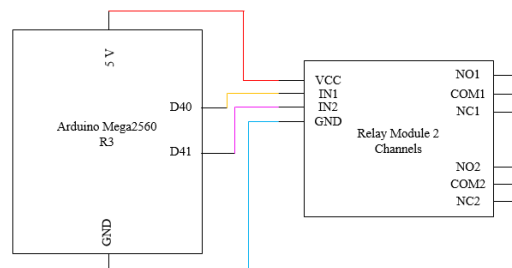
Gambar wiring diagram diperlukan untuk memberikan gambaran visual mengenai jalur perkabelan dan hubungan antar komponen dalam rangkaian alat yang dibuat. Wiring diagram modul driver TB6600 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Wiring diagram Arduino Mega 2560 ke modul driver TB6600

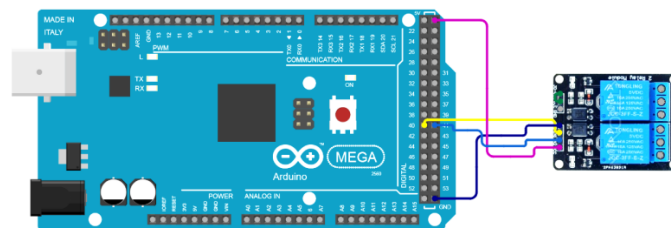
4) Desain Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560 ke Modul Relay

Untuk dapat menyalakan pompa vakum dan motor *vibration*, diperlukan modul *relay* yang berfungsi sebagai sakelar elektronik. Gambar 20 menunjukkan diagram skema penghubungan modul *relay* dengan Arduino Mega 2560. Keterhubungan antara Arduino Mega2560 R3 dengan modul *relay* 2 channel yang berfungsi sebagai sakelar elektronik untuk mengendalikan perangkat listrik atau komponen dengan daya lebih tinggi. Pada rangkaian ini, pin 5 V Arduino dihubungkan ke VCC pada *relay* sebagai catu daya, sedangkan pin GND Arduino dihubungkan ke GND *relay* sebagai *ground* bersama. Pin D40 Arduino dihubungkan ke IN1 pada *relay* untuk mengendalikan motor *vibration*, sementara pin D41 dihubungkan ke IN2 pada *relay* untuk mengendalikan pompa vakum.



Gambar 20. Diagram rangkaian Arduino Mega 2560 ke modul *relay*

Gambar wiring diagram diperlukan untuk memberikan gambaran visual mengenai jalur perkabelan dan hubungan antar komponen dalam rangkaian alat yang dibuat. Wiring diagram modul *relay* dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Wiring diagram Arduino Mega 2560 ke modul *relay*

G. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Perancangan perangkat lunak bertujuan untuk memperoleh pemahaman menyeluruh terhadap alur kerja sistem yang akan dijalankan. Melalui proses ini, penulis dapat lebih mudah mengenali serta mengevaluasi kemungkinan permasalahan yang dapat terjadi selama sistem dioperasikan, khususnya yang berkaitan dengan performa komponen yang digunakan.

1) Diagram Alir Program

Diagram alir program dari sistem alat automatic seeding yang dirancang ini berfungsi sebagai panduan visual yang menggambarkan urutan langkah-langkah logis yang dijalankan oleh mikrokontroler, mulai dari inisialisasi awal hingga proses penyemaian selesai dilakukan secara otomatis. Dengan adanya diagram alir ini, alur kerja program menjadi lebih mudah dipahami dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses pemrograman, *debugging*, maupun perawatan sistem di kemudian hari.

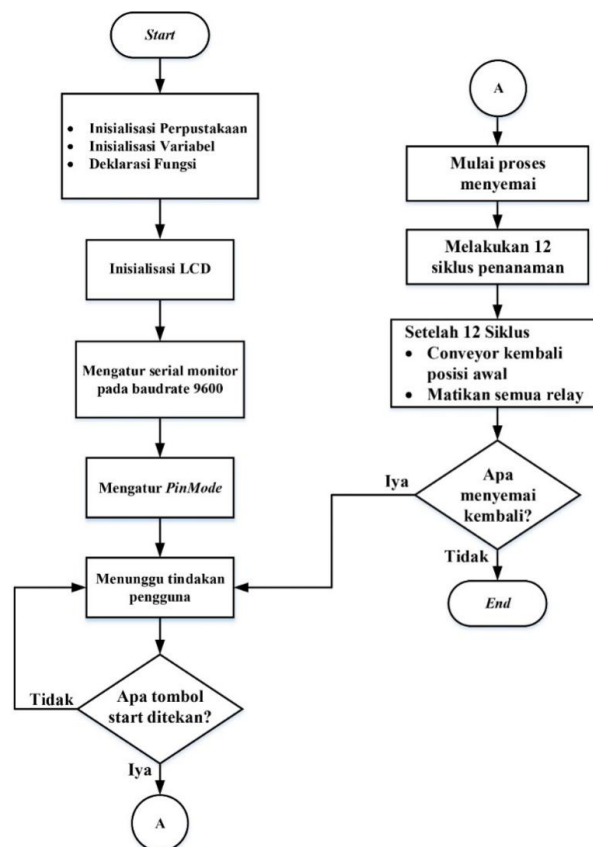
Tahapan awal dimulai dengan simbol *start*, yang menandakan titik permulaan eksekusi program. Pada tahap ini, sistem akan melakukan inisialisasi pustaka atau *library* yang dibutuhkan. Pustaka ini memuat fungsi-fungsi tambahan yang tidak tersedia secara bawaan di dalam Arduino IDE, seperti pengendalian LCD I2C, pengaturan *driver* motor *stepper*, serta pengelolaan *input / output* lainnya. Selanjutnya dilakukan inisialisasi variabel, yaitu proses mendefinisikan dan memberikan nilai awal pada variabel-variabel yang digunakan untuk menyimpan data sementara selama program berjalan. Variabel ini dapat mencakup data status tombol, penghitung jumlah siklus, maupun parameter pengaturan komponen. Selain itu, deklarasi fungsi juga dilakukan di tahap ini. Deklarasi fungsi bertujuan memberi tahu program tentang nama, parameter, dan peran dari setiap fungsi yang akan digunakan.

Setelah semua pustaka, variabel, dan fungsi siap, sistem masuk ke tahap inisialisasi LCD. LCD berperan sebagai antarmuka visual yang memberikan informasi kepada pengguna, seperti status sistem, jumlah siklus yang telah dijalankan, maupun pesan peringatan jika terjadi kesalahan. Kemudian, sistem melakukan pengaturan serial monitor pada *baudrate* 9600. Serial monitor digunakan untuk menampilkan data atau log aktivitas sistem secara langsung di komputer selama proses pengujian dan pemantauan, sehingga memudahkan proses analisis kinerja alat. Tahap berikutnya adalah pengaturan pinmode, di mana setiap pin pada Arduino Mega2560 dikonfigurasi apakah berperan sebagai *input* atau *output*. Pin yang terhubung ke tombol *start* diatur sebagai *input*, sementara pin yang terhubung ke *driver* motor *stepper* atau *relay* diatur sebagai *output*.

Setelah semua inisialisasi selesai, sistem masuk ke tahap menunggu tindakan pengguna. Pada tahap ini, sistem berada dalam keadaan siaga (*idle*) dan hanya memantau status tombol *start*. Jika tombol belum ditekan, program tidak akan melanjutkan ke tahap berikutnya, melainkan tetap berada pada kondisi menunggu. Namun, ketika tombol *start* ditekan, sistem akan beralih ke tahap aktivasi sistem. Aktivasi ini mencakup persiapan seluruh komponen yang akan digunakan,

Selanjutnya, program akan melakukan 12 siklus penanaman secara otomatis. Setiap siklus mencakup serangkaian aksi motor *stepper* pada *conveyor* menggerakkan *tray* menuju posisi yang tepat, motor *stepper* pada mekanisme jarum *seeder* menggerakkan ke arah tempat benih, *vacuum pump* menyedot benih, motor vibrator membantu agar benih tidak menggumpal, dan jarum *seeder* menempatkan benih ke dalam lubang media tanam *rockwool*.

Setelah penghitungan siklus mencapai angka 12, program masuk ke tahap penutupan proses. Pada tahap ini, *conveyor* digerakkan kembali ke posisi awal untuk memudahkan penggantian *tray* atau media tanam baru. Seluruh *relay* yang mengendalikan *vacuum pump* dan *vibration* motor kemudian dimatikan, sehingga tidak ada komponen yang terus beroperasi tanpa perlu. Akhirnya, program mencapai titik *End*, yang menandakan bahwa seluruh proses telah selesai, dan sistem kembali siap untuk menjalankan siklus baru apabila diminta oleh pengguna. Diagram lengkap dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Diagram alir program

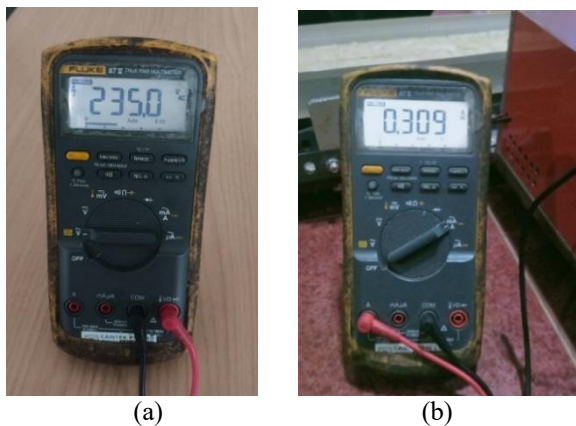
IV. PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang uji coba yang bertujuan untuk memastikan bahwa bagian atau sistem yang dipakai bisa berfungsi dengan baik dan menilai kelemahan yang ditemukan. Ada beberapa uji coba yang dilaksanakan dalam proses pembuatan alat ini, yaitu:

1. Perhitungan konsumsi daya.
2. Pengujian *power supply*.
3. Pengujian *buck converter*.
4. Pengujian modul *driver* TB6600 dan motor *stepper*.
5. Pengujian penempatan benih pada media tanam *rockwool*.

A. Perhitungan Konsumsi Daya

Perhitungan konsumsi daya dilakukan untuk mengetahui besar daya yang digunakan oleh sistem pada saat beroperasi. Dengan mengetahui nilai tegangan dan arus yang mengalir pada beban, maka besar konsumsi daya dapat ditentukan. Informasi ini sangat penting untuk memperkirakan daya yang dibutuhkan oleh alat tersebut. Berdasarkan Gambar 23 yang memperlihatkan data pengukuran diperoleh arus sebesar 0,309 A, maka daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.



Gambar 23. Hasil pengukuran (a) tegangan dan (b) arus

Diketahui:

$$V = 235 \text{ Volt}$$

$$I = 0,309 \text{ Ampere}$$

Dicari $P = \dots?$

Maka:

$$P = V \times I$$

$$P = 235 \times 0,309$$

$$P = 72,615 \text{ Watt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, daya konsumsi alat sebesar 72,615 Watt tergolong dalam kategori sedang, karena nilai tersebut masih berada pada rentang wajar untuk sistem automatic seeding pada pertanian hidropnik skala kecil hingga menengah. Nilai daya ini menunjukkan bahwa alat bekerja secara efisien tanpa memerlukan konsumsi daya yang tinggi.

B. Pengujian Power Supply

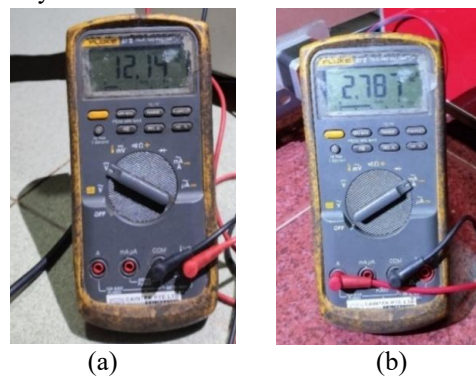
Pada pengujian catu daya ini, akan dilakukan pemberian beban pada power supply. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur tegangan keluaran yang dihasilkan yang ditunjukkan pada Gambar 24. Sesuai dengan spesifikasi yang terdapat pada power supply, arus maksimum yang dapat dihasilkan adalah 10 Ampere dengan tegangan 12 Volt. Dari pengujian ini, diperoleh nilai tegangan keluaran tanpa beban sebesar 12,14 Volt DC.



Gambar 24. Pengujian tanpa beban

Pada saat dilakukan pengujian dengan pemberian beban yang ditunjukkan pada Gambar 25, tegangan keluaran *power supply* tetap berada pada nilai yang sama seperti kondisi tanpa beban yaitu 12,14 Volt dan arus 2,787 Ampere, menunjukkan

kemampuan pengaturan tegangan yang sangat baik dan stabilitas daya keluaran.

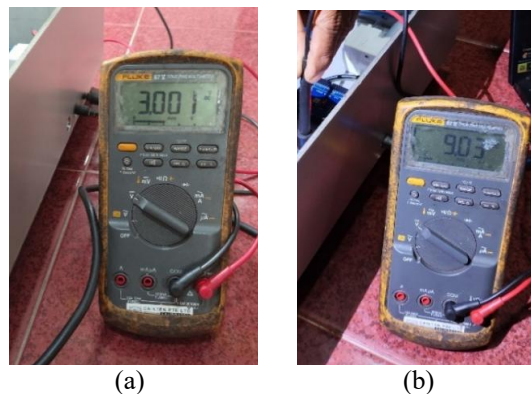


Gambar 25. Pengujian berbeban (a) tegangan dan (b) arus

C. Pengujian Buck Converter

1) Pengujian Tanpa Beban

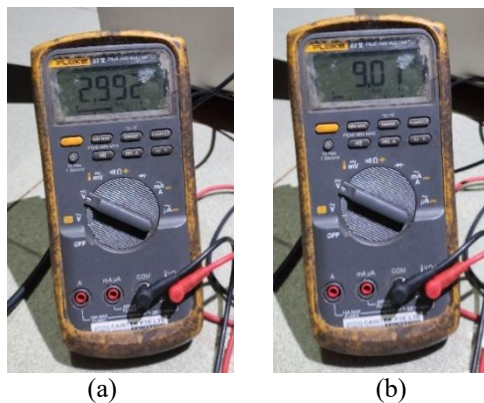
Pengujian *buck converter* tanpa adanya beban dilaksanakan sebagai langkah pertama untuk menilai kinerja dasar dari rangkaian penurun tegangan. Di fase ini, *buck converter* dijalankan tanpa menghubungkan beban luar untuk mengamati stabilitas serta ketepatan tegangan keluaran terkait dengan tegangan input yang diberikan.

Gambar 26. Pengujian *buck converter* tanpa beban (a) 3 Volt dan (b) 9 Volt

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.4 yang telah dilakukan, pembacaan nilai pada multimeter menunjukkan angka 3,001 Volt yang digunakan sebagai sumber vibration motor dan 9,003 Volt yang berfungsi sebagai sumber Arduino Mega 2560. Pengujian ini menunjukkan bahwa tegangan keluaran dari *buck converter* tetap stabil saat tidak ada beban.

2) Pengujian Dengan Beban Sistem Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.5, tegangan keluaran pada *buck converter* menunjukkan penurunan kecil saat dalam kondisi beban. Tegangan awal yang tercatat 3,001 V turun menjadi 2,992 V, sementara tegangan 9,03 V turun menjadi 9,01 V. Penurunan ini masih berada dalam tingkat toleransi yang diperbolehkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa *buck converter* mampu mengatur tegangan dengan baik dan mempertahankan stabilitas keluaran meskipun dalam keadaan berbeban.



Gambar 27. Pengujian buck converter berbeban (a) 3 volt dan (b) 9 volt

D. Pengujian Modul Driver TB6600 dan Motor Stepper

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan modul pengendali TB6600 ke motor *stepper* untuk melakukan kontrol. Dari hasil pengujian ini, diperoleh informasi mengenai arus puncak saat motor *stepper* beroperasi dengan muatan berupa tray semai pada conveyor dan jarum seeder sebesar 0,723 Ampere yang ditampilkan dalam Gambar 4.6, serta dapat disimpulkan bahwa motor *stepper* yang digunakan memiliki kemampuan untuk memutar beban tersebut.

Gambar 28. Arus maksimum motor *stepper* dengan beban tray semai pada conveyor dan jamur seeder

Motor *stepper* dipilih dibandingkan jenis motor lain seperti motor DC atau motor servo karena kemampuannya menghasilkan gerakan yang presisi berdasarkan jumlah langkah (*step*) yang dapat dikontrol langsung melalui sinyal digital. Karakteristik ini sangat sesuai untuk sistem penanaman benih otomatis yang memerlukan posisi dan pergerakan yang konsisten dan berulang.

E. Pengujian Keseluruhan

Dalam uji coba ini, digunakan rockwool yang telah dipotong menjadi bentuk kotak, dan kemudian diletakkan di dalam tray semai. Jumlah potongan rockwool yang ada di tray semai mencapai 60 potong, masing-masing berukuran 2,5 x 2 x 2 cm. Setelah itu, tray yang berisi potongan rockwool ini ditempatkan di area conveyor. Percobaan ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan untuk melihat apakah setiap benih sayuran yang digunakan bisa masuk tepat satu benih ke dalam lubang pada rockwool yang telah tersedia, menggunakan benih yang berbentuk pipih. Berikut ini adalah hasil keseluruhan dari pengujian sistem pada tray yang berisi 60 potongan rockwool.

TABEL 9

Pengujian	Benih Pipih				Waktu (detik)
	Isi 0	Isi 1	Isi 2	Meleset	
1	3	51	5	1	78
2	2	49	6	3	78
3	2	50	6	2	78
4	3	51	5	1	78
5	2	51	7	0	78
6	4	50	3	3	78
7	2	50	6	1	78
8	0	52	7	1	78
9	2	50	7	1	78
10	3	51	5	2	78
Rata-rata	2,3	50,5	5,7	1,5	78

Berdasarkan data yang terdapat dalam tabel diatas, diperoleh bahwa rata-rata jumlah benih yang berhasil ditanam satu biji ke dalam 60 lubang *rockwool* adalah 50,5 biji. Persentase keberhasilan penanaman satu biji benih pada 60 lubang *rockwool* untuk benih pipih tercatat mencapai 84,1%. Untuk meningkatkan peluang dalam pengambilan benih pipih, diperlukan uji coba mengenai ukuran jarum dan modifikasi tekanan *vacuum* agar persentase pengambilan benih pipih dapat lebih baik. Lama waktu yang dibutuhkan untuk proses penyemaian 60 potong *rockwool* dalam tray dari awal hingga selesai adalah 78 detik, yang setara dengan ± 2.769 potong *rockwool* dalam satu jam. Jumlah jarum suntik pada alat ini masih bisa ditambahkan, menunjukkan bahwa alat ini memiliki potensi kapasitas yang lebih tinggi untuk proses penyemaian.

Sebagai Perbandingannya pengujian dilakukan dengan metode manual tanpa menggunakan alat bantu seperti pinset. Berikut pada tabel 10 adalah hasil penyemaian menggunakan metode manual.

TABEL 10
HASIL PENGUJIAN MANUAL

Pengujian	Benih Pipih				Waktu (detik)
	Isi 0	Isi 1	Isi 2	Meleset	
1	0	56	4	0	118
2	0	54	6	0	121
3	1	55	4	0	120
4	0	56	4	0	118
5	1	53	6	0	122
6	0	55	5	0	120
7	0	54	6	0	120
8	1	53	6	0	119
9	1	54	5	0	121
10	1	54	5	0	123
Rata-rata	0,5	54,4	5,1	0,0	120,2

Berdasarkan data yang terdapat dalam tabel di atas, diperoleh bahwa rata-rata jumlah benih yang berhasil ditanam satu biji ke dalam 60 lubang *rockwool* adalah 54,4 biji. Persentase keberhasilan penanaman satu biji benih pada 60 lubang *rockwool* untuk benih pipih tercatat mencapai 90,7%. Lama waktu yang dibutuhkan untuk proses penyemaian 60 potong *rockwool* dalam tray dari awal hingga selesai adalah

120,2 detik, yang setara dengan ± 1.800 potong *rockwool* dalam satu jam.

Metode manual ini menunjukkan ketelitian yang tinggi, namun relatif kurang efisien dari segi waktu dibandingkan dengan penggunaan alat otomatis. Selain itu, jika proses manual dilakukan dalam durasi yang lama, potensi terjadinya *human error* cenderung meningkat akibat faktor kelelahan, penurunan konsentrasi, maupun kejenuhan, sehingga konsistensi hasil penyemaian menjadi lebih sulit dipertahankan.

H. Hasil Setelah Penyemaian

Pengamatan dilakukan secara berkala untuk melihat perkembangan benih dari hari ke hari. Berikut merupakan hasil pengamatan yang diperoleh setelah beberapa hari penyemaian.

1) Hasil Setelah 4 Hari Penyemaian

Pada hari ke-4 setelah penyemaian, sebagian besar benih sudah mulai menunjukkan tanda-tanda perkecambahan. Akar primer mulai muncul dan menembus media *rockwool*, sedangkan batang kecambah tampak masih kecil dan rapuh.



Gambar 29. Hasil setelah 4 hari semai

2) Hasil Setelah 10 Hari Penyemaian

Memasuki hari ke-10, pertumbuhan tanaman terlihat semakin signifikan. Sebagian besar tanaman sudah memiliki daun sejati pertama yang mulai berkembang dengan warna hijau segar. Akar yang tumbuh semakin panjang dan kuat menembus media *rockwool* sehingga memberikan stabilitas pada tanaman muda. Secara umum, pada hari ke-10 hasil penyemaian menunjukkan tingkat keberhasilan yang cukup baik, dimana bibit sudah siap untuk tahap selanjutnya yaitu pemindahan ke sistem hidroponik utama.



Gambar 30. Hasil setelah 10 hari semai

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian alat Automatic Seeding untuk kebun hidroponik berbasis Arduino, dapat disimpulkan beberapa poin penting sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian, alat mampu menempatkan benih pipih dengan tingkat keberhasilan rata-rata 84,1% (sekitar 50,5 biji dari 60 lubang *rockwool*) dan diperlukan uji coba mengenai ukuran jarum dan modifikasi tekanan *vacuum* agar persentase pengambilan benih pipih dapat lebih baik, sedangkan metode manual menunjukkan tingkat keberhasilan lebih tinggi, yaitu 90,7% (sekitar 54,4 biji dari 60 lubang *rockwool*). Namun, pada metode manual terdapat kemungkinan terjadinya *human error* yang lebih besar apabila proses dilakukan dalam waktu lama, akibat faktor kelelahan, penurunan konsentrasi, atau kejenuhan, sehingga konsistensi hasil sulit dipertahankan.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk menyemai 60 potongan *rockwool* dengan alat adalah 78 detik (setara ± 2.769 *rockwool* per jam), sedangkan metode manual membutuhkan rata-rata 120,2 detik (setara ± 1.800 *rockwool* per jam). Dengan demikian, alat lebih unggul dari segi efisiensi waktu, sementara metode manual lebih unggul dari segi ketelitian, meskipun rawan kesalahan akibat faktor manusia.
3. Berdasarkan pada hasil perhitungan konsumsi daya alat sebesar 72,615 Watt, tergolong sedang dan cocok untuk penggunaan pada sistem hidroponik skala kecil hingga menengah.

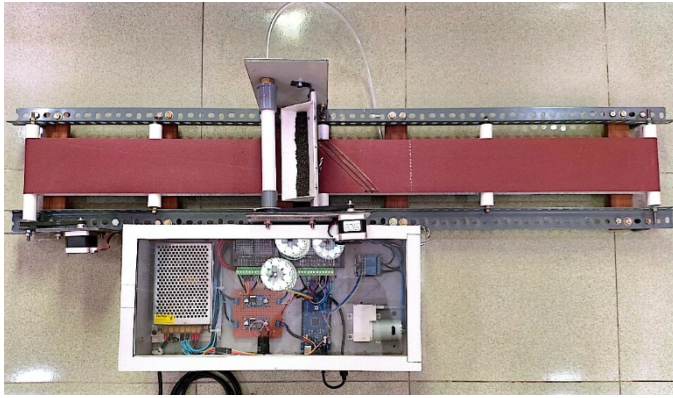
B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan alat kedepannya.

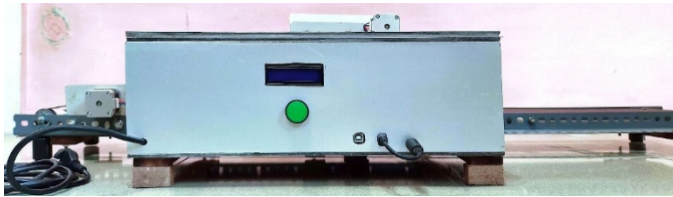
1. Diharapkan kedepannya dapat menambahkan mekanisme pelubang *rockwool* secara otomatis yang ditempatkan sebelum jarum *seeder*.
2. Diharapkan kedepannya dapat menambahkan jarum *seeder* yang berbeda ukurannya agar bisa menyesuaikan dengan benih yang akan disemai.
3. Menambahkan *keypad* sebagai pengaturan siklus yang sesuai dengan jumlah *tray* semai yang diharapkan tanpa memasukan kembali melalui program.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tampilan peragaan alat tampak atas



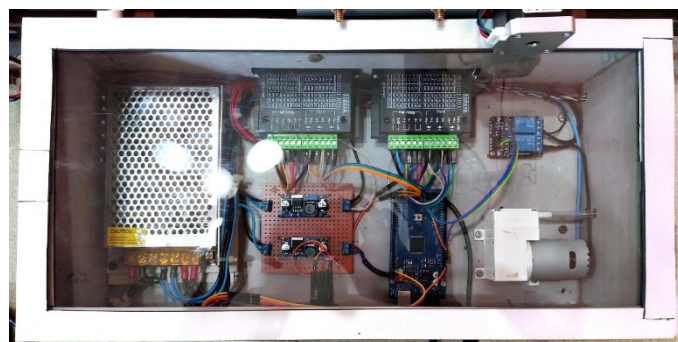
Lampiran 2. Tampilan peragaan alat tampak depan



Lampiran 3. Tampilan mekanisme jarum seeder



Lampiran 4. Tampilan tata letak komponen



REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, "Sensus penduduk 2020," sensus.bps.go.id, 2020. [Online]. Available: <https://sensus.bps.go.id/main/index/sp2020#:~:text=Jumlah%20penduduk%20Indonesia%20pada%20tahun,133.542.018%20untuk%20penduduk%20perempuan>. [Accessed: Apr. 25, 2025].
- [2] A. Risciawan, "Rancang bangun dan implementasi computer numeric control portable pada mesin plotter berbasis mikrokontroler," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.

- [3] C. F. Setiawan, B. Priyadi, dan R. I. Putri, "Rancang bangun sistem pembenihan otomatis pada tanaman sawi hidroponik," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 3, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33795/elkolind.v9i3/409>.
- [4] Arduino, "Arduino Mega 2560 Rev3," Arduino Official Store. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. [Accessed: Mar. 12, 2025].
- [5] C. Platt, F. Jansson, dan C. Platt, *Encyclopedia Of Electronic Components*, vol. 2, 1st ed. Sebastopol, CA: Maker Media, 2014.
- [6] J. S. Wakur, "Alat penyiram tanaman otomatis menggunakan Arduino Uno," Skripsi, Politeknik Negeri Manado, 2015.
- [7] Y. Satriawan, Y. Yulianto, dan S. Sungkono, "Sistem kontrol penggerak motor stepper molding microplastik metode fuzzy logic berbasis MyRIO," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 1, p. 62, 2022.
- [8] Pompa Becker Indonesia, "Definisi pompa diafragma: Prinsip kerja dan keuntungan," [vacuumpump.co.id](https://vacuumpump.co.id/blog/pompa-diafragma). [Online]. Available: <https://vacuumpump.co.id/blog/pompa-diafragma>. [Accessed: Apr. 9, 2025].
- [9] Lin Engineering, "What is a coreless motor?" [linengineering.com](https://www.linengineering.com/what-is-a-coreless-motor). [Online]. Available: <https://www.linengineering.com/what-is-a-coreless-motor>. [Accessed: Apr. 7, 2025].
- [10] C. Platt, *Encyclopedia Of Electronic Components*; vol. 1. Power sources & conversion: Resistors, capacitors, inductors, switches, encoders, relays, transistors, 1st ed., rev. 6th release. Maker Media, 2015.
- [11] L. E. Frenzel Jr., *Contemporary electronics: Fundamentals, devices, circuits, and systems*. New York: McGraw-Hill Education, 2013.
- [12] N. Setiaji, S. Sumpena, dan A. Sugiharto, "Analisis konsumsi daya dan distribusi tenaga listrik," *J. Teknol. Ind.*, vol. 11, no. 1, Oct. 2022, doi: 10.35968/jti.v11i1.884.

Perancangan Dan Pembuatan Alat Pengujian Multimeter Pada Bengkel Teknik Elektro Polnes

Sugeng Wahyu Edi¹, Susanna²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

²Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Samarinda

susanna@polnes.ac.id

Abstrak- Multimeter merupakan alat ukur penting dalam kegiatan praktikum elektronika. Namun, keterbatasan alat kalibrasi menyebabkan akurasi multimeter sering menurun akibat pemakaian terus-menerus tanpa pengujian ulang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat pengujian sekaligus kalibrasi multimeter yang mampu mengukur dan membandingkan fungsi dasar seperti tegangan DC/AC, arus, resistansi, frekuensi, dan kapasitansi. Modul dirancang menggunakan sumber tegangan DC stabil, resistor presisi, pembagi tegangan, dan sumber arus yang dapat diatur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul kalibrasi mampu menghasilkan galat di bawah $\pm 1\%$ pada pengukuran tegangan, arus, dan resistansi, sehingga layak digunakan sebagai alat bantu pembelajaran dan pengujian multimeter di laboratorium

Kata kunci: alat uji, bengkel, multimeter, tegangan, resistansi.

I. PENDAHULUAN

Multimeter merupakan salah satu alat ukur elektronik yang paling umum digunakan teknik elektro maupun elektronika untuk mengukur besaran listrik seperti tegangan, arus, resistansi, frekuensi, dan kapasitansi. Keandalan dan ketepatan pengukuran dari multimeter sangat bergantung pada kondisi dan akurasi internal alat tersebut. Namun seiring waktu dan pemakaian, multimeter dapat mengalami penyimpangan nilai ukur yang menyebabkan kesalahan dalam analisis maupun proses perbaikan.

Pada bengkel Teknik Elektro, terutama pada saat praktikum keberadaan alat bantu untuk mengkalibrasi dan menguji multimeter sangat dibutuhkan. Namun, perangkat kalibrasi profesional memiliki harga yang cukup mahal dan tidak fleksibel untuk digunakan serta tidak praktis. Oleh karena itu, perlu dirancang sebuah modul kalibrasi multimeter yang dapat digunakan untuk menguji berbagai fungsi dasar multimeter dengan akurasi yang memadai, mudah digunakan, dan sesuai dengan kebutuhan pendidikan vokasional.

Modul ini diharapkan dapat digunakan sebagai alat bantu PLP kalibrasi sebelum mahasiswa melakukan praktikum disertai dengan penjelasan cara penggunaannya. Dimana alat ini juga menjadi sarana pembelajaran kalibrasi yang aplikatif bagi praktikan di bidang teknik elektro. Menyediakan alat bantu kalibrasi yang murah dan efisien untuk multimeter pada saat peminjaman alat dan bahan pada storeroom.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Kalibrasi pada multimeter digital dan analog adalah untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang diberikan oleh alat pengukur tersebut akurat dan dapat digunakan. Pada kalibrasi, alat pengukur dibandingkan dengan standar pengukuran yang

terdapat pada spesifikasi alat ukur yang digunakan dan jika terjadi kesalahan dalam pengukuran akan diperbaiki dan disesuaikan untuk menghilangkan atau mengurangi kesalahan pengukuran.

Multimeter digital, kalibrasi dapat membantu memastikan bahwa hasil pengukuran yang ditampilkan pada layar adalah akurat dan sesuai dengan skala pengukuran. Ini penting karena hasil yang tidak akurat dapat menyebabkan kesalahan dalam diagnosa masalah listrik atau elektronik dan mempengaruhi keamanan pengguna.

Sementara itu, pada multimeter analog, kalibrasi digunakan untuk memastikan bahwa jarum penunjuk pada skala, pengukuran menunjukkan nilai yang akurat pada saat melakukan pengukuran. Hal ini juga penting karena kesalahan pada jarum penunjuk dapat menyebabkan kesalahan pengukuran dan mempengaruhi keamanan pengguna.

Dalam kedua jenis multimeter, kalibrasi adalah proses penting untuk menjaga akurasi alat pengukur. Oleh karena itu, kalibrasi harus dilakukan secara teratur untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang diberikan oleh multimeter adalah akurat dan andal [1].

Penelitian dan pengembangan mengenai modul kalibrasi multimeter telah dilakukan dalam berbagai konteks, mulai dari laboratorium profesional hingga skala pendidikan vokasi. Spesifikasi rancangan biasanya khusus seperti pada penelitian mengenai kalibrasi dari sensor pada pembangkit listrik yang bertujuan untuk memberikan data yang akurat [2]. Penggunaan Arduino Mega sebagai alat ukur dengan mendapatkan hasil yang akurat untuk hasil kalibrasinya menampilkan hasil pengukuran resistansi, arus, dan tegangan secara real-time pada LCD dengan akurasi nilai error % (kesalahan) pengukuran sebesar 5,36% hingga 2,27% dan nilai koefisien determinasi $R^2 \geq 0,9997$ pada seluruh hasil kalibrasi [3].

A. Prinsip Kerja Multimeter

Multimeter analog adalah alat ukur elektronik yang digunakan untuk mengukur besaran listrik seperti tegangan (volt), arus (ampere), dan resistansi (ohm). Berbeda dengan multimeter digital yang menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk angka [4], [5] multimeter analog menggunakan jarum penunjuk (*needle pointer*) yang bergerak di atas skala untuk menunjukkan hasil pengukuran. Keunggulan utama multimeter analog adalah respon visual yang cepat terhadap perubahan nilai sinyal dan kemampuannya mendeteksi perubahan yang fluktuatif secara lebih intuitif [4].

B. Multimeter Analog SANWA YX-360TRF

Analog bekerja berdasarkan prinsip gaya elektromagnetik. Arus listrik yang mengalir melalui kumparan dalam galvanometer menghasilkan medan magnet yang berinteraksi dengan medan magnet permanen, sehingga menyebabkan jarum bergerak. Besarnya simpangan jarum sebanding dengan besar arus listrik yang mengalir, dan dengan pengaturan pembagi tegangan dan shunt, alat ini dapat digunakan untuk berbagai jenis pengukuran listrik (Horowitz & Hill, 2015).

Sanwa YX-360TRF adalah multimeter analog buatan Jepang yang dikenal karena keandalannya dalam pengukuran listrik dasar di bidang teknik elektro dan elektronika. Alat ini mendukung pengukuran tegangan AC/DC, arus DC, resistansi, serta pengujian dioda dan transistor (hFE). Salah satu keunggulan dari multimeter ini adalah adanya *input impedance* (resistansi dalam) yang tinggi untuk pengukuran tegangan DC, yang penting agar tidak membebani rangkaian yang sedang diuji.

Tabel 1. Spesifikasi Multimeter Analog

Parameter	Spesifikasi
Tegangan DC	0–0.1 / 0.5 / 2.5 / 10 / 50 / 250 / 1000 V
Tegangan AC (V)	10 / 50 / 250 / 1000 V
Arus DC (A)	0–50 μ A / 2.5 / 25 / 250 mA / 10 A
Resistansi (Ω)	$\times 1$ / $\times 10$ / $\times 1k$ / $\times 10k$
Tes hFE	Ya (untuk transistor NPN/PNP)
Baterai	1.5V (AA) x1 dan 9V (006P) x1

Pada Tabel 1. Dijelaskan tahanan dalam multimeter adalah

- DCV: **20 k Ω /V**
- ACV: **9 k Ω /V**
- Dimensi dan berat 150 x 100 x 35 mm, 300 g
- Resistansi dalam (*input impedance*) penting untuk memastikan akurasi pengukuran, khususnya pada tegangan tinggi dan rangkaian yang sensitif terhadap beban alat ukur.
- Terdapat fitur proteksi overload untuk keamanan pengukuran.
- Alat ini tidak memerlukan sumber daya untuk pengukuran tegangan dan arus, tetapi baterai diperlukan untuk pengukuran resistansi [6].



Gambar 1. Multimeter Analog YX360TRF

C. Multimeter Sanwa DC 800a

Sanwa CD800a merupakan multimeter digital dengan berbagai fungsi pengukuran seperti:

- Tegangan DC dan AC (hingga 600V)
- Arus DC dan AC (hingga 10A)
- Resistansi (hingga 60 M Ω)
- Kapasitansi
- Frekuensi
- Pengujian dioda dan kontinuitas
- Pengujian transistor (hFE)
- Deteksi tegangan tanpa kontak (*non-contact voltage detection*)

Multimeter digital bekerja berdasarkan prinsip konversi sinyal analog ke digital (ADC - *Analog to Digital Converter*). Tegangan listrik dari sinyal masukan diubah menjadi sinyal digital oleh ADC dan kemudian ditampilkan dalam bentuk numerik pada layar LCD. Sanwa CD800a menggunakan sistem auto-ranging, di mana alat secara otomatis memilih skala pengukuran terbaik berdasarkan input sinyal. Tabel 2. berikut adalah spesifikasi teknis utama Sanwa CD800a [1].

Tabel 2. Spesifikasi Multimeter Digital SANWA

Parameter	Spesifikasi
Monitor	LCD dengan maks. pembacaan 6000 count
Rentang Tegangan DC	600 mV – 600 V
Rentang Tegangan AC (True RMS)	6 V – 600 V
Rentang Arus DC/AC	600 μ A – 10 A
hFE Test	Ya (untuk transistor NPN/PNP)
Battery	1.5V (AA) x1 dan 9V (006P) x1
Resistansi	Hingga 60 M Ω
Frekuensi	Hingga 60 MHz
Kapasitansi	Hingga 1000 μ F
Fitur Tambahan	Auto-ranging, NCV (<i>non-contact voltage</i>), Data Hold, Backlight, Auto Power Off
Ukuran	166 mm $\times$ 82 mm $\times$ 41 mm
Berat	$\pm$ 340 g termasuk baterai
Sumber Daya	2 x baterai AAA (1.5 V)
Keamanan	Kategori CAT III 600V

Pada Tabel 2, merupakan data yang terdapat pada buku panduan dari multimeter CD800a, sebagai berikut.

- Akurasi tinggi dan dapat membaca nilai efektif (*True RMS*)
- Fitur auto-ranging, memudahkan pengguna tanpa harus memilih rentang secara manual
- Fitur keselamatan seperti deteksi tegangan tanpa kontak (NCV) dan perlindungan overload
- Desain ergonomis dan tahan terhadap kondisi lapangan [7].



Gambar 2. Multimeter Sanwa CD800a

Gambar 2. Adalah multimeter digital dimana spesifikasinya seperti pada [tabel 2](#).

III. METODOLOGI

Penelitian dilakukan pada bengkel Jurusan Teknik Elektro dengan estimasi waktu selama 3 bulan, Pengujian dan kalibrasi multimeter analog Sanwa YX-360TRF dengan melakukan pengukuran terhadap nilai resistor, tegangan DC, tegangan AC.

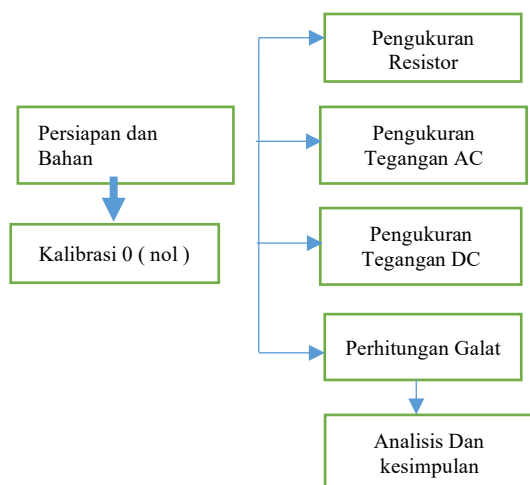
A. Alat dan bahan yang digunakan

- Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut,

1. Multimeter Sanwa YX-360TRF
2. Obeng
3. Multimeter Digital
4. Tang Potong, Gerinda
5. Kabel – kabel penghubung
6. Besi Profil
7. Resistor 10ohm, 100ohm, 10K, 1M
8. Kapasitor
9. Transformator
10. Power Supply
11. Battery
12. Timah dan solder dll

B. Blok perancangan Alat

Penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium dengan melakukan pengujian dan kalibrasi multimeter dengan blok diagram seperti pada [gambar 3](#) berikut,



Gambar 3. Blok diagram hasil pengujian

Gambar 3, adalah blok diagram hasil penelitian dari perancangan dan pembuatan alat kalibrasi multimeter. Pada blok diagram [Gambar 3](#) adalah sebagai berikut:

1. Kalibrasi 0 (nol)

Pada blok diagram kalibrasi 0, multimeter Sanwa YX-360TRF terdapat potensiometer untuk mengatur jangkah pada multimeter untuk mengatur posisi jangkah pada nilai 0 jika multimeter akan melakukan pengukuran resistor sehingga nilai dari multimeter sama dengan nilai resistor sesuai dengan nilainya.

2. Pengukuran Resistor.

Multimeter YX-360 TRF sebelum dilakukan pengukuran resistor posisi saklar rotary di arahkan ke bagian pengukuran resistansi seperti pada [gambar 4](#) berikut.



Gambar 4. Jangkah Pengukuran pada posisi Pengukuran resistor

3. Pengukuran Tegangan AC

Pengukuran tegangan AC jangkah saklar berada dipengukuran AC seperti pada [gambar 5](#). berikut,



Gambar 5. Jangkah Pengukuran pada posisi Pengukuran tegangan AC

Gambar 5, untuk jangkah pengukuran tegangan AC, nilai posisi ada dari pengukuran 0,25 Volt DC sampai dengan 1000 Volt AC.

4. Pengukuran Tegangan DC

Sebelum melakukan pengukuran tegangan DC, atur saklar jangkah ke Pengukuran DC seperti pada [gambar 6](#) berikut ini:



Gambar 6. Jangkah Pengukuran pada posisi Pengukuran tegangan DC

[Gambar 6.](#) untuk jangkah pengukuran tegangan DC, nilai posisi ada dari pengukuran 0,25 Volt DC sampai dengan 1000 Volt DC.

5. Perhitungan Galat

Perhitungan galat (*error*) pada pengukuran adalah untuk mengetahui sejauh mana hasil pengukuran menyimpang dari nilai sebenarnya atau nilai acuan. Dengan kata lain, perhitungan galat berfungsi untuk menilai ketelitian (*accuracy*) dan ketepatan (*precision*) dari alat ukur atau proses pengukuran yang digunakan. Dengan menggunakan rumus pada persamaan 1. galat relatif Berikut

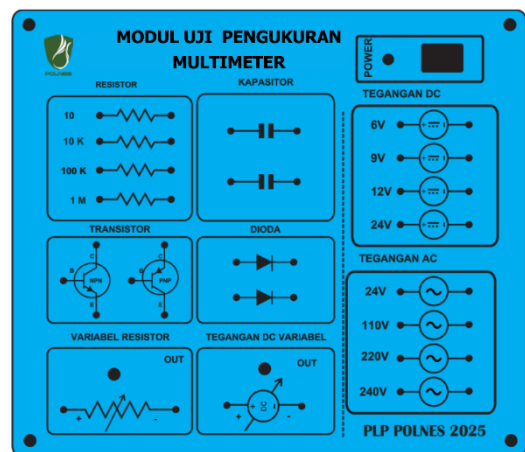
$$\text{Galat Relatif (\%)} = \frac{\text{Nilai Terukur} - \text{Nilai Standar}}{\text{Nilai Standar}} \times 100\% \quad (1)$$

Perhitungan persamaan (1) adalah untuk semua pengukuran resistansi maupun tegangan.

- Membandingkan hasil pengukuran dengan nilai standar untuk mengetahui akurasi multimeter analog Sanwa YX-360TRF.

C. Rancangan Modul Penelitian

Pada [Gambar 7](#) merupakan rancangan modul alat pengujian multimeter analog yang terdiri dari komponen pada tabel merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk mengukur skala yang digunakan pada multimeter

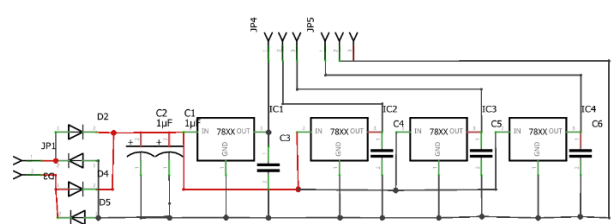


Gambar 7. Rancangan Modul Kalibrasi Multimeter analog dan Digital

Pada [Gambar 7.](#) menunjukkan nilai – nilai resistansi yang terpasang pada modul adalah 10 Ω , ohm, 10 K Ω , 100 K Ω dan 1 M Ω .

D. Pengujian Tegangan DC

Gambar Rangkaian untuk pengujian tegangan DC adalah seperti pada [Gambar 8.](#) berikut



Gambar 8. Rangkaian Tegangan DC untuk alat pengukuran Multimeter

Pada [Gambar 8](#) adalah sumber tegangan DC yang dijadikan acuan untuk alat uji tegangan DC, yang terdiri dari Dioda, kapasitor dan regulator tegangan DC series LM 7806 untuk tegangan DC 6 V, LM 7809 untuk tegangan DC 9 V, LM 7812 untuk tegangan DC 12 V, LM 7824 untuk tegangan DC 24 V.

E. Pengujian Tegangan AC

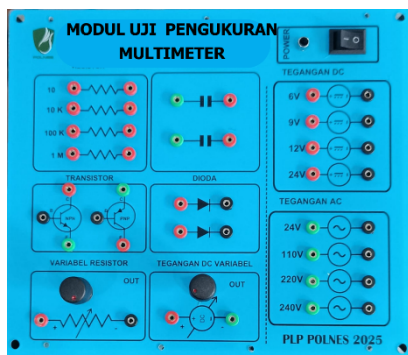
Pengujian tegangan AC menggunakan transformator dipakai untuk menurunkan/menaikkan tegangan sesuai rasionya; pengukuran dilakukan pada output sekunder. Pengukuran menggunakan multimeter AC.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancangan dan pembuatan alat uji multimeter ini adalah seperti pada [Gambar 9.](#)

Kalibrasi multimeter merupakan proses penting untuk memastikan akurasi pengukuran pada berbagai parameter listrik. Multimeter analog Sanwa YX-360TRF digunakan sebagai objek pengujian untuk mengukur resistansi, tegangan

DC, dan tegangan AC. Dalam pengujian ini, digunakan resistor dengan nilai nominal 10 Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , dan 1 M Ω , serta sumber tegangan DC (6V, 12V, 24V) dan AC (24V, 32V, 220V). Sebagai tambahan, digunakan variabel resistor dan potensiometer untuk tegangan variabel DC.



Gambar 9. Hasil perancangan Alat Uji Multimeter

A. Pengujian Pengukuran Resistansi

Pengujian Resistansi dengan menggunakan multimeter adalah seperti pada tabel 3, berikut dengan galat,

Tabel 3. Perhitungan Resistansi

Resistor (Ω)	Nilai Standar (Ω)	Nilai Terukur (Ω)	Galat (%)
R1	10	9.4	0.6
R2	10K	10070	0.7
R3	100K	100800	0.8
R4	1M	1003000	0.3

Berdasarkan hasil pengukuran nilai resistansi pada Tabel 3, diperoleh bahwa setiap resistor memiliki perbedaan antara nilai standar dan nilai terukur dengan besar galat yang relatif kecil. Resistor R1 dengan nilai standar 10 Ω menunjukkan nilai terukur 9,4 Ω dengan galat sebesar 0,6%, yang berarti hasil pengukuran lebih rendah dari nilai sebenarnya. Resistor R2 dengan nilai standar 10 k Ω memiliki nilai terukur 10,07 k Ω dan galat sebesar 0,7%, menunjukkan pengukuran cukup akurat. Untuk R3 bernilai standar 100 k Ω , diperoleh hasil 100,8 k Ω dengan galat 0,8%, sedangkan R4 dengan nilai standar 1 M Ω memiliki hasil 1,003 M Ω dengan galat 0,3%. Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa alat ukur memiliki tingkat akurasi yang baik karena semua galat berada di bawah $\pm 1\%$, kecuali resistor R1 yang menunjukkan sedikit deviasi negatif.

B. Hasil Pengukuran Tegangan DC

Pengukuran tegangan DC (Direct Current) merupakan salah satu dasar dalam kegiatan praktikum dan analisis rangkaian elektronika. Tegangan DC adalah tegangan searah yang memiliki polaritas tetap dan umumnya digunakan pada rangkaian daya rendah, sistem kontrol, serta perangkat elektronik seperti sensor dan mikrokontroler. Tujuan dari pengukuran tegangan DC adalah untuk mengetahui besarnya beda potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian dan

memastikan bahwa sumber tegangan atau rangkaian bekerja sesuai dengan nilai yang diharapkan. Dalam praktiknya, pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur multimeter pada posisi DC voltmeter. Melalui perbandingan antara nilai standar dan nilai terukur, dapat dihitung besar galat pengukuran untuk menilai tingkat akurasi alat ukur. Hasil pengukuran ini penting sebagai dasar dalam mengevaluasi kinerja alat ukur serta memastikan keandalan sistem kelistrikan yang diuji. Pada Pengujian kali ini digunakan Tegangan DC, 6, 9, 12 dan 24 Volt DC dengan hasil seperti pada Tabel 4 Berikut.

Tabel 4. Pengujian Tegangan DC Pada modul Alat Uji Pengukuran

Tegangan (V)	Nilai Standar (V)	Nilai Terukur (V)	Galat (%)
V1	6	5.98	0.3
V2	9	8.95	0.56
V3	12	11.94	0.5
V4	24	24.10	0.4

Pada Tabel 4 Penjelasan perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 contoh perhitungan sebagai berikut.

- Untuk V1 : Tegangan 6 VDC Hasil pengukuran 5,98 VDC

$$\text{Galat Relatif (\%)} = \frac{|5,98 - 6|}{6} 100\% = 0,3 \%$$

- Untuk V2 : Tegangan 9 VDC Hasil pengukuran 8,95 VDC

$$\text{Galat Relatif (\%)} = \frac{|8,95 - 9|}{9} 100\% = 0,56 \%$$

- Untuk V3: Tegangan 12 VDC Hasil pengukuran 11,94 VDC

$$\text{Galat Relatif (\%)} = \frac{|11,94 - 12|}{12} 100\% = 0,5 \%$$

- Untuk V4: Tegangan 24 VDC Hasil pengukuran 24,10 VDC

$$\text{Galat Relatif (\%)} = \frac{|24,10 - 24|}{24} 100\% = 0,4 \%$$

C. Hasil Pengukuran Tegangan AC

Berikut merupakan tabel hasil pengukuran tegangan AC untuk nilai nominal 24 V, 110 V, 120 V, dan 220 V dengan asumsi akurasi alat $\pm 5\%$. Tabel memuat nilai batas akurasi (*lower/upper*), nilai pengukuran estimasi (nilai real terukur), galat absolut, galat relatif (%), beserta keterangan apakah pengukuran berada dalam batas akurasi. Tabel 5 merupakan hasil pengukuran dari tegangan AC:

Tabel 5. Pengukuran tegangan AC

Tegangan (V)	Nilai Standar (V)	Nilai Terukur (V)	Galat (%)
AC1	24	24,3	1,2
AC2	110	31,5	-1,6
AC3	120	223,5	1,6
AC 4	220	216	1,8

Pada Tabel 5. Berdasarkan hasil pengukuran tegangan dengan nilai standar 220 V dan nilai terukur 216 V, diperoleh galat sebesar $\pm 1,82\%$. Nilai ini menunjukkan adanya perbedaan kecil antara tegangan yang diukur oleh alat ukur dengan tegangan sebenarnya. Penyimpangan tersebut masih *rendah*, karena batas toleransi pengukuran untuk alat ukur berada pada kisaran $\pm 2\%$ hingga $\pm 5\%$ tergantung kelas akurasi.

Hasil ini mengindikasikan bahwa alat ukur masih bekerja dengan baik dan memiliki tingkat ketelitian yang cukup tinggi, meskipun terdapat sedikit deviasi negatif, artinya alat cenderung membaca nilai tegangan sedikit lebih rendah dari nilai sebenarnya. Faktor yang dapat memengaruhi perbedaan ini antara lain ketidakstabilan sumber tegangan, kualitas kalibrasi alat ukur, kondisi terminal pengukuran, atau adanya resistansi kontak pada probe pengukuran.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa alat ukur masih layak digunakan untuk kegiatan praktikum dan pengujian karena galatnya berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Namun, untuk meningkatkan akurasi pengukuran, disarankan agar multimeter dikalibrasi secara berkala menggunakan modul kalibrasi standar sehingga hasil pengukuran yang diperoleh semakin mendekati nilai sebenarnya.

D. Hasil Pengujian Resistansi menggunakan Multimeter Digital

Untuk menguji hasil dari alat pengujian multimeter ini kemudian dilakukan pengujian pengukuran dengan menggunakan multimeter digital CD800a seperti Gambar 2. Dengan range yang sama, tabel berikut adalah hasil unruk pengukuran nilai resistansi

Tabel 6. Perhitungan Resistansi

Resistor (Ω)	Nilai Standar (Ω)	Nilai Terukur (Ω)	Galat (%)
R1	10	9,7	1,00
R2	10K	10000	-
R3	100K	99300	0,7
R4	1M	1008000	0,80

Dari hasil pengukuran nilai resistansi pada Tabel 6, setiap resistor memiliki perbedaan antara nilai standar dan nilai terukur dengan besar galat yang relatif kecil. Resistor R1 dengan nilai standar $10\ \Omega$ menunjukkan nilai terukur $9,7\ \Omega$ dengan galat sebesar $1,0\%$, yang berarti hasil pengukuran lebih rendah dari nilai sebenarnya. Resistor R2 dengan nilai standar $10\ k\Omega$ memiliki nilai terukur $10\ k\Omega$ dan galat sebesar 0% , menunjukkan resistansi pengukuran akurat. Untuk R3 bernilai standar $100\ k\Omega$, diperoleh hasil $99,30\ k\Omega$ dengan galat $0,7\%$, sedangkan R4 dengan nilai standar $1\ M\Omega$ memiliki hasil

$1,008\ M\Omega$ dengan galat $0,8\%$. Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa alat ukur memiliki tingkat akurasi yang baik karena semua galat berada di bawah $\pm 1\%$.

E. Hasil Pengujian Tegangan DC menggunakan Multimeter Digital

Pada pengujian dengan menggunakan multimeter digital dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Pengujian Tegangan DC Pada modul Alat Uji Pengukuran

Tegangan (V)	Nilai Standar (V)	Nilai Terukur (V)	Galat (%)
V1	6	6,01	0,17
V2	9	9	0
V3	12	12	0
V4	24	24,03	0,96

Pada Tabel 7. Hasil pengujian didapatkan pengukuran yang relatif akurat, karena dari galat yang didapatkan kurang dari 1% . Tabel 8. Berikut ini adalah hasil dari pengukuran tegangan AC

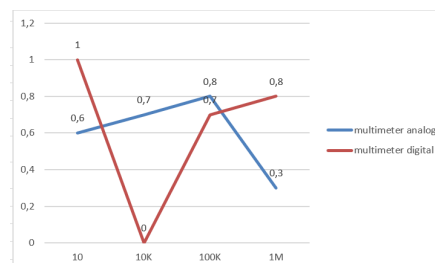
Tabel 8. Pengukuran tegangan AC

Tegangan (V)	Nilai Standar (V)	Nilai Terukur (V)	Galat (%)
AC1	24	24,02	0,08
AC2	110	114	3,64
AC3	120	125	4,17
AC 4	220	240	9,09

Pada Tabel 8. Akurasi pengukuran terlihat Semakin kecil galat, semakin akurat pengukuran tersebut. Pengukuran dengan nilai standar $24\ V$ memiliki galat yang sangat kecil ($0,08\%$), menunjukkan bahwa pengukuran ini sangat akurat Namun, pengukuran dengan nilai standar yang lebih tinggi ($110\ V$, $120\ V$, dan $220\ V$) menunjukkan galat yang lebih besar, terutama pada nilai standar $220\ V$ dengan galat sebesar $9,09\%$. Ini menunjukkan bahwa akurasi pengukuran menurun pada nilai tegangan yang lebih tinggi.

Presisi pengukuran tidak secara langsung dapat dinilai dari data yang diberikan karena presisi berkaitan dengan seberapa konsisten pengukuran ketika dilakukan berulang kali. Namun, kita bisa melihat bahwa meskipun pengukuran dengan nilai standar $24\ V$ sangat akurat, kita tidak memiliki informasi tentang konsistensi pengukuran tersebut jika dilakukan berulang kali.

Gambar 10, berikut merupakan grafik perbandingan pengukuran menggunakan Multimeter analog dan multimeter digital.



Gambar 10. Grafik perbandingan error pada pengukuran multimeter analog dan digital

Gambar 10. Menunjukkan perbandingan galat pada pengukuran menggunakan multimeter analog dan digital.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa modul kalibrasi multimeter yang dirancang mampu berfungsi dengan baik dalam menguji dan mengkalibrasi multimeter analog maupun digital. Pengujian dilakukan untuk Resistansi dengan toleransi 1%, rangkaian tegangan DC dan tegangan AC, dengan hasil pengujian menunjukkan galat yang masih dalam batas toleransi. Ketelitian pengukuran bergantung pada kestabilan sumber tegangan dan kualitas komponen standar yang digunakan, sehingga modul ini efektif memastikan akurasi multimeter sebelum digunakan. Secara keseluruhan, modul kalibrasi ini bersifat sederhana, efisien, dan mudah digunakan, serta layak dimanfaatkan sebagai alat bantu praktikum maupun perawatan alat ukur di laboratorium untuk meningkatkan kualitas dan keandalan hasil pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada P3M politeknik negeri samarinda yang sudah memberikan dana untuk melakukan penelitian untuk skema Penelitian pengembangan Pranata Laboratorium Pendidikan Tahun 2025.

REFERENSI

- [1] “Kalibrasi Multimeter Digital: Panduan Lengkap - News Otomotif.” Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://newsotomotif.com/kalibrasi-multimeter-digital-panduan-lengkap-9241/>
- [2] A. Kusuma Wardhany *et al.*, “Perancangan Panel dan Kalibrasi Sensor pada Sistem Monitoring PLTPh Berbasis IoT,” *prosiding.pnj.ac.id*, vol. 10, 2024, Accessed: Jun. 04, 2025. [Online]. Available: <https://prosiding.pnj.ac.id/SNTE/article/view/2387>
- [3] A. Prastia, A. Harijanto, H. B. Prastowo, J. Kalimantan Nomer, K. Bumi, and T. Jember, “Rancang bangun alat praktikum hukum ohm digital berbasis arduino mega 2560,” *jfu.fmipa.unand.ac.id*, vol. 11, no. 3, pp. 401–407, 2021, doi: 10.25077/jfu.11.3.401-407.2022.
- [4] Y. Wang, Z. Zhan, and L. Yu, “CALIBRATION EQUIPMENT FOR DEFIBRILLATOR ANALYZER DESIGNED WITH DIGITAL MULTIMETER AND OSCILLOSCOPE,” *IET Conference Proceedings*, vol. 2024, no. 9, pp. 482–487, 2024, doi: 10.1049/ICP.2024.2775.
- [5] M. A. Aziz, “DESAIN SIMULATOR ALAT UKUR TEGANGAN DAN ARUS UNTUK MENGETAHUI PEMBEBANAN SUATU TRAFO DISTRIBUSI BERBASIS SMS GATEWAY”.
- [6] “Analog Multitesters | Sanwa Electric Instrument Co., Ltd.” Accessed: Jun. 10, 2025. [Online]. Available: https://overseas.sanwa-meter.co.jp/products/analog_multitester/index.html
- [7] “Digital Multimeters | Sanwa Electric Instrument Co., Ltd.” Accessed: Jun. 10, 2025. [Online]. Available: https://overseas.sanwa-meter.co.jp/products/digital_multimeters/index.html

Analisis Perbandingan Efisiensi Termal PLTU Berdasarkan *Net Plant Heat Rate* dengan Metode Uji Statistik Deskriptif dan *t-Test*: Studi Kasus pada PLTU di Kutai Kartanegara

Wahdiyaton Nisa¹, Bintang Bhakti Nugraha²

¹ Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

² Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN
nisa.wahdiyaton97@gmail.com

Abstrak- *Net Plant Heat Rate* (NPHR) merupakan salah satu parameter penting untuk mengukur efisiensi termal pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Semakin rendah nilai NPHR, semakin efisien pembangkit tersebut. NPHR dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu beban *netto* (kWh yang disuplai), pemakaian batubara, dan nilai kalori batubara. Beban *netto* dan NPHR berhubungan langsung; semakin besar beban yang disuplai, NPHR cenderung lebih rendah, dan sebaliknya. Penelitian ini membandingkan efisiensi dua unit PLTU di Kutai Kartanegara dengan metode uji statistik deskriptif dan uji *t-Test*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata NPHR untuk unit 1 adalah 4492.34 kCal/kWh, sementara unit 2 memiliki NPHR rata-rata 4448.8 kCal/kWh. Ini menunjukkan unit 2 memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi. Selain itu, *varians* NPHR pada unit 1 adalah 8271.28 kCal/kWh, sedangkan unit 2 lebih rendah, yaitu 6127.6 kCal/kWh. Hal ini menunjukkan sebaran data NPHR unit 2 lebih kecil dan lebih konsisten. Uji statistik *t-Test* menunjukkan nilai *t-Stat* sebesar 2.02, yang lebih besar dari *t-Critical one-tail* (1.671) dan *t-Critical two-tail* (2.00). Nilai *P* ($T \leq t$) *one-tail* adalah 0.024 dan *P* ($T \leq t$) *two-tail* adalah 0.04786, yang keduanya lebih kecil dari taraf signifikansi sebesar 0.05. Ini menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara NPHR kedua unit, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hasil ini mengindikasikan bahwa efisiensi termal unit 2 lebih baik daripada unit 1 berdasarkan analisis statistik pada taraf signifikansi 5%.

Kata kunci: NPHR, PLTU, Uji Statistik, deskriptif, *t-Test*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik termal yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas, kemudian menjadi energi mekanik, dan akhirnya menjadi energi listrik [1]. PLTU merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang umum digunakan karena kemampuannya menghasilkan energi listrik secara efisien, sehingga memberikan keuntungan dalam hal ekonomi [2]. PLTU merupakan sumber listrik utama di Indonesia yang memanfaatkan batu bara sebagai bahan bakar utamanya. Efisiensi termal PLTU adalah rasio antara energi listrik yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar yang dipergunakan. Efisiensi termal PLTU menunjukkan seberapa baik PLTU mengubah energi kimia menjadi energi listrik

dengan meminimalkan kerugian-kerugian panas dan mekanik [3].

Salah satu parameter yang mengukur efisiensi termal PLTU adalah *Net Plant Heat Rate* (NPHR), yaitu jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh listrik. NPHR merupakan indikator kinerja yang penting karena menunjukkan seberapa besar konsumsi bahan bakar per satuan listrik yang dihasilkan. Semakin rendah NPHR, semakin tinggi efisiensi termal PLTU dan semakin rendah biaya operasi dan emisi gas rumah kaca [4].

Meningkatkan efisiensi termal PLTU merupakan tantangan yang kompleks dan memerlukan analisis yang teliti terhadap NPHR. Beberapa faktor yang mempengaruhi NPHR antara lain adalah nilai kalori bahan bakar, laju aliran massa uap, tekanan dan temperatur boiler, kerugian-kerugian pada ketel dan turbin, serta beban operasi PLTU. Dengan melakukan analisis NPHR, dapat diketahui faktor-faktor mana yang paling berpengaruh terhadap efisiensi termal PLTU dan bagaimana cara mengoptimalkannya [5]. PLTU yang akan diteliti pada penelitian ini adalah salah satu PLTU yang ada di Kalimantan Timur, Kutai Kartanegara. PLTU ini memiliki 2 pembangkit dengan kapasitas 1x60 MW dan 2x25 MW. Untuk mengetahui tingkat kehandalan pembangkit PLTU ini, khususnya pada bagian NPHR, maka perlu dilakukan analisis NPHR. Untuk membatasi penelitian agar dapat berfokus dan didapatkan hasil analisis yang mendetail, maka penelitian ini berfokus pada unit 2x25 MW saja. Selain itu, dilakukannya penelitian ini bertujuan pula untuk menganalisis efisiensi termal PLTU dengan kapasitas 2x25 MW terhadap pengaruh nilai kalori batu bara dengan menggunakan metode uji statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik data NPHR dari kedua PLTU, sedangkan uji *t-Test* akan digunakan untuk menguji hipotesis apakah ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi praktis bagi pengelola PLTU dalam upaya meningkatkan efisiensi operasi, mengoptimalkan pemakaian bahan bakar batubara, serta menekan biaya produksi listrik. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi teknis dan akademis bagi penelitian lanjutan di masa mendatang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Efisiensi Termal

Efisiensi termal PLTU adalah rasio antara energi listrik yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar yang dipergunakan. Efisiensi termal PLTU menunjukkan seberapa baik PLTU mengubah energi kimia menjadi energi listrik dengan meminimalkan kerugian-kerugian panas dan mekanik. Efisiensi termal PLTU sangat dipengaruhi oleh nilai kalori bahan bakar, yaitu jumlah energi yang dilepaskan saat bahan bakar dibakar. Nilai kalori bahan bakar berbeda-beda tergantung pada jenis dan kualitas bahan bakar yang digunakan. Pada PLTU di Indonesia, salah satu bahan bakar utama yang digunakan adalah batubara.

Beberapa penelitian terkait efisiensi termal PLTU telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Napianus pada tahun 2018 menganalisis tentang bagaimana suatu beban akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), laju kalor, dan efisiensi termal pada PLTU Sintang 3 x 7 MW [6]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar beban yang ada maka semakin kecil nilai SFC dan laju kalor dengan kenaikan efisiensi termalnya, begitupun sebaliknya. Arfiansyah pada tahun 2023 melakukan penelitian tentang analisis bagaimana pengaruh *overhaul* terhadap efisiensi termal PLTU Bengkayang 2 x 50 MW. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan nilai SFC dan laju kalor setelah *overhaul* dengan peningkatan nilai efisiensi termal [2]. Selain itu, Harfani dkk pada tahun 2021 meneliti bagaimana penggunaan metode *direct* untuk mengetahui *Net Plant Heat Rate* (NPHR) pada unit 10 PLTU Rembang ketika unit 20 sedang *overhaul*. Metode *direct* adalah metode pengukuran langsung yang dilakukan pada saat pembangkit listrik sedang beroperasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NPHR unit 10 di PLTU Rembang adalah 2.558,5 kJ/kWh [5].

B. Net Plant Heat Rate (NPHR)

Salah satu parameter yang mengukur efisiensi termal PLTU adalah *Net Plant Heat Rate* (NPHR), yaitu jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh listrik. NPHR merupakan indikator kinerja yang penting karena menunjukkan seberapa besar konsumsi bahan bakar per satuan listrik yang dihasilkan. Semakin rendah NPHR, semakin tinggi efisiensi termal PLTU dan semakin rendah biaya operasi dan emisi gas rumah kaca. Adapun nilai NPHR pada suatu pembangkit didapatkan dari persamaan 1 [7].

$$\text{NPHR} = \frac{\text{Pemakaian BB (Coal Flow) x Kalori}}{\text{Beban netto (kWh netto)}} \quad (1)$$

C. PLTU di Kutai Kartanegara Kapasitas 2X25 MW

PLTU ini merupakan pembangkit yang memanfaatkan energi uap dari pembakaran batubara untuk menghasilkan energi listrik. PLTU yang berlokasi Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur ini merupakan pembangkit listrik yang berada pada sistem khatulistiwa transmisi Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Timur. PLTU ini

menggunakan boiler tipe *pulverize* dengan kapasitas masing masing unit adalah 2x25 MW.

D. Statistik Deskriptif

Tujuan dari statistik deskriptif adalah untuk memberikan deskripsi atau gambaran mengenai obyek yang diteliti berdasarkan data sampel atau populasi secara ringkas untuk memberikan informasi yang lebih mudah dipahami [8]. Beberapa contoh penyajian data dalam statistik deskriptif adalah tabel, diagram, dan grafik [10]. Data yang disajikan di statistik deskriptif umumnya berupa ukuran data terpusat. Salah satu ukuran data terpusat yang sering digunakan adalah rata-rata.

E. Uji t-Test

Hipotesis merupakan pernyataan sementara atau dugaan awal yang dibuat untuk menjelaskan suatu fenomena yang sedang diamati dalam upaya memahaminya. Dalam konteks statistik, hipotesis adalah asumsi atau pernyataan tertentu mengenai satu atau lebih populasi, yang kebenarannya masih perlu dibuktikan. Hipotesis yang disusun dengan tujuan untuk diuji dan kemungkinan ditolak disebut hipotesis nol (H_0). Apabila H_0 ditolak, maka hipotesis alternatif (H_1) akan diterima sebagai gantinya [9].

Uji-t (*t-Test*) termasuk salah satu metode dalam uji statistik. Uji statistik dengan metode ini digunakan untuk mengukur bagaimana pengaruhnya suatu variabel independen terhadap variabel dependen. Pengujian ini dilaksanakan dengan menggunakan tingkat signifikansi sebesar 0,05 ($\alpha = 5\%$) [9]. Penerimaan atau penolakan hipotesis pada pengujian ini ditentukan berdasarkan kriteria pengujian sebagai berikut:

1. Apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0.05, maka hipotesis nol (H_0) diterima dan hipotesis alternatif (H_1) ditolak. Sehingga dapat diartikan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan pada variabel independen terhadap variabel dependen.
2. Apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0.05, maka hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Dengan demikian, dapat diartikan bahwa adanya pengaruh yang signifikan dari variabel independen terhadap variabel dependen.

Adapun rumus yang digunakan dalam uji-t adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (2)$$

Dimana:

$\bar{x}_1$ = rata - rata sampel 1

$\bar{x}_2$ = rata - rata sampel 2

n_1 = jumlah sampel 1

n_2 = jumlah sampel 2

s_1 = simpangan baku sampel 1

s_2 = simpangan baku sampel 2

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis menggunakan pendekatan uji statistik deskriptif dan *t-Test two sample* untuk membandingkan efisiensi termal PLTU berdasarkan NPHR. Uji statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data NPHR dari kedua PLTU, sedangkan uji *t-Test* digunakan untuk menguji hipotesis apakah ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU. Selain itu, ketika telah diketahui hasil perbandingan efisiensi masing-masing PLTU secara pasti maka akan lebih mudah dilakukan rencana perbaikan terhadap unit yang memiliki nilai efisiensi rendah. Adapun teknik pengumpulan data meliputi data jenis kalori, batu bara yang digunakan dan data pembangkit PLTU 2x25 MW. Setelah data didapatkan, maka dilakukan perhitungan terhadap data tersebut untuk mendapatkan nilai NPHR masing-masing unit. Alasan mengapa metode tersebut dipilih karena metode tersebut dapat menghasilkan informasi yang relevan tentang efisiensi termal PLTU berdasarkan NPHR. Dengan menggunakan metode tersebut, dapat diketahui karakteristik data NPHR dari kedua PLTU dan apakah ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU yang dipengaruhi oleh nilai kalori batu bara.

Adapun langkah dan tahapan penelitian yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data utama mengenai operasi PLTU diperoleh dari laporan tahunan PLTU kutai kartanegara pada bulan Mei tahun 2023, yang memuat informasi terperinci mengenai performa operasional pembangkit. Data tersebut mencakup berbagai parameter penting seperti kapasitas pembangkitan, efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, jam operasi unit, serta kondisi lingkungan operasional. Pengambilan data dilakukan secara hati-hati dengan memastikan bahwa seluruh informasi yang digunakan merupakan data valid dan relevan.
2. Pengumpulan data NPHR. Data NPHR adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh listrik. Data NPHR diperoleh dari perhitungan berdasarkan data operasi PLTU, seperti nilai kalori bahan bakar, laju aliran massa uap, tekanan dan temperatur boiler, kerugian-kerugian pada ketel dan turbin, serta beban operasi PLTU.
3. Pendekatan analisis statistik. Analisis statistik dilakukan dengan menggunakan uji statistik deskriptif dan *t-Test*. Uji statistik deskriptif digunakan untuk menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, nilai maksimum, dan rentang data NPHR dari kedua PLTU. Uji *t-Test* digunakan untuk menguji hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan bahwa ada perbedaan signifikan antara NPHR dari kedua PLTU. Uji *t-Test* yang digunakan adalah *t-Test* dua sampel dengan asumsi *varians* tidak sama (*t-Test: two-sample assuming unequal variances*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

TABEL 1
DATA PEMBANGKIT PLTU BULAN MEI 2023

Date	kWh Bruto		kWh Netto		Auxiliary		Coal Flow		Calory	
	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2
01-Mei-2023	23,030	21,020	20,525	18,321	2,506	2,699	23,235	20,694	4,008	3,878
02-Mei-2023	23,366	22,276	20,853	19,567	2,513	2,709	23,580	22,110	4,008	3,878
03-Mei-2023	23,061	22,070	20,648	19,297	2,414	2,773	23,349	21,790	4,008	3,879
04-Mei-2023	23,093	22,144	20,638	19,401	2,456	2,743	23,340	21,914	4,003	3,895
05-Mei-2023	22,376	21,137	19,833	18,503	2,543	2,633	22,431	20,887	4,008	3,895
06-Mei-2023	22,204	20,582	19,633	17,928	2,571	2,654	22,210	20,251	4,008	3,893
07-Mei-2023	22,488	21,671	19,986	19,023	2,501	2,649	22,598	21,473	4,008	3,854
08-Mei-2023	21,669	20,888	19,310	18,189	2,359	2,698	21,844	20,569	4,008	3,854
09-Mei-2023	24,610	24,495	21,893	22,372	2,718	2,124	24,184	25,198	4,008	3,854
10-Mei-2023	25,981	24,031	23,626	21,610	2,355	2,422	26,749	23,848	4,008	3,854
11-Mei-2023	25,210	23,843	22,084	21,792	3,126	2,051	25,005	24,628	4,008	3,854
12-Mei-2023	23,249	21,849	20,368	19,623	2,880	2,226	23,028	22,164	4,012	3,890
13-Mei-2023	24,435	20,467	21,689	18,105	2,746	2,362	24,525	20,433	4,004	3,891
14-Mei-2023	25,501	23,915	22,703	21,421	2,798	2,493	25,666	24,177	3,816	3,923
15-Mei-2023	25,418	24,347	22,499	21,635	2,919	2,713	25,490	24,485	3,816	3,986
16-Mei-2023	24,812	23,723	21,941	21,063	2,872	2,660	24,807	23,758	3,816	3,996
17-Mei-2023	25,157	22,959	22,331	20,392	2,825	2,568	25,137	22,871	3,816	3,996
18-Mei-2023	24,573	22,477	21,568	19,623	3,005	2,854	24,507	22,309	4,001	3,996
19-Mei-2023	24,732	22,994	21,921	20,294	2,812	2,700	24,743	22,891	4,001	3,996
20-Mei-2023	25,056	23,518	22,207	20,782	2,850	2,736	25,170	23,500	4,001	3,996
21-Mei-2023	24,919	24,241	22,058	21,548	2,861	2,692	24,863	24,010	4,001	3,996
22-Mei-2023	24,017	23,254	21,155	20,472	2,862	2,782	25,237	23,131	4,001	3,996
23-Mei-2023	23,895	22,221	21,053	19,462	2,843	2,759	23,801	21,970	4,001	3,996
24-Mei-2023	19,711	23,989	17,514	21,322	2,977	2,667	19,400	24,095	3,993	3,996
25-Mei-2023	24,625	23,732	21,997	21,218	2,628	2,514	24,925	23,867	3,982	3,996
26-Mei-2023	23,890	23,011	21,290	20,452	2,600	2,559	24,079	23,103	3,973	3,999
27-Mei-2023	21,282	20,512	18,770	18,022	2,512	2,490	21,218	20,358	3,960	4,059
28-Mei-2023	21,826	20,544	19,259	18,130	2,567	2,414	21,778	20,473	3,954	3,995
29-Mei-2023	23,131	22,247	20,591	19,671	2,540	2,576	23,278	22,209	3,954	3,995
30-Mei-2023	25,515	23,880	22,761	21,104	2,754	2,776	25,754	23,849	3,954	3,995
31-Mei-2023	22,872	22,137	20,238	19,574	2,633	2,563	22,825	22,059	3,954	3,995

Sumber: Data harian PLTU Kutai Kartanegara

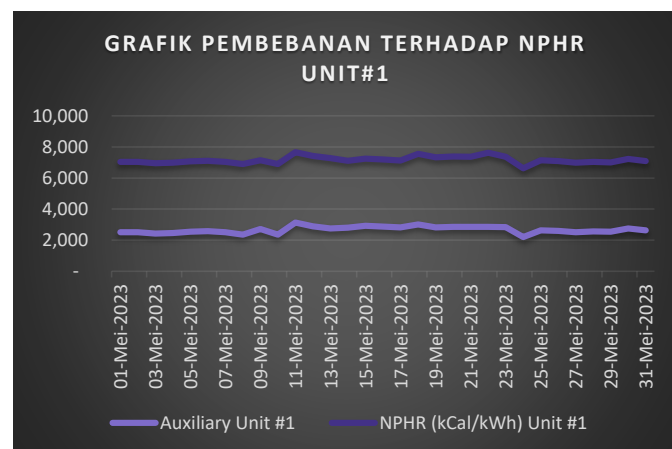
Produksi energi listrik pada PLTU yang ada di Kutai Kartanegara ini secara langsung dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar batubara yang digunakan dalam proses pembakaran untuk menghasilkan energi panas yang selanjutnya diubah menjadi daya listrik dan disalurkan ke jaringan transmisi guna memenuhi kebutuhan listrik pada sistem kelistrikan Kalimantan. Dalam rangka menjaga keandalan operasi pembangkit serta memastikan bahwa setiap unit bekerja pada kondisi optimal, maka diperlukan proses monitoring atau pemantauan kondisi operasi unit secara berkelanjutan. Proses monitoring ini dilakukan dengan memperhatikan sejumlah parameter utama yang menjadi indikator kesiapan pembangkit dalam beroperasi, antara lain kWh *bruto* (*gross power*) yang menunjukkan total daya listrik yang dihasilkan oleh turbin generator sebelum dikurangi beban internal, kWh *netto* (*net power*) yang merupakan daya bersih yang disalurkan ke jaringan setelah memperhitungkan kebutuhan daya sendiri, konsumsi *auxiliary power* yang menggambarkan besarnya energi yang digunakan untuk mengoperasikan peralatan bantu di dalam pembangkit, serta konsumsi batubara, yaitu jumlah bahan bakar (*coal flow*) yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik tertentu. Seluruh parameter tersebut direkapitulasi dan dianalisis secara harian dengan periode pengamatan selama 24 jam penuh, dimulai dari pukul 00.00 WITA hingga 24.00 WITA, sehingga menghasilkan data operasi yang bersifat kumulatif dan representatif terhadap performa unit dalam satu hari. Hasil rekap ini kemudian dimasukkan atau di-input ke dalam laporan produksi harian, yang selanjutnya dijadikan sebagai dasar dalam pemantauan efisiensi energi pembangkit, khususnya untuk menghitung nilai NPHR harian sebagai indikator seberapa efisien bahan bakar dikonversi menjadi energi listrik. Adapun penyajian data hasil monitoring produksi harian unit 1 dan unit 2 PLTU ini yang mencakup parameter-

parameter operasi utama sebagai bahan evaluasi kinerja dan efisiensi pembangkit dapat dilihat pada [tabel 1](#).

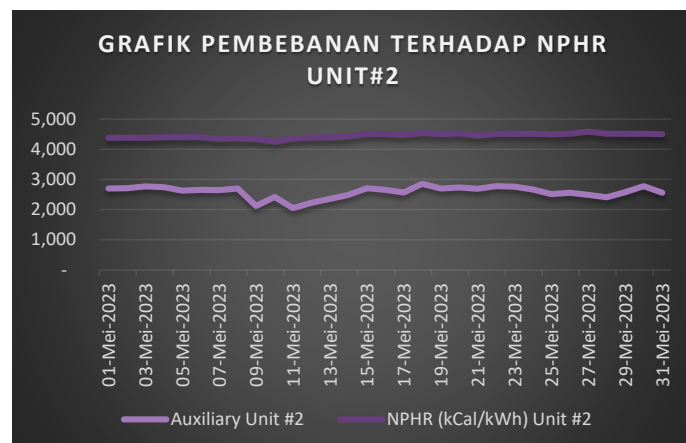
TABEL 2
DATA HASIL PERHITUNGAN NPHR PEMBANGKIT PLTU
BULAN MEI 2023

Date	kWh Netto		Coal Flow		Calory		NPHR (kCal/kWh)	
	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2	Unit #1	Unit #2
01-Mei-2023	20,525	18,321	23,235	20,694	4,008	3,878	4,537.30	4,380.27
02-Mei-2023	20,853	19,567	23,580	22,110	4,008	3,878	4,532.17	4,381.93
03-Mei-2023	20,648	19,297	23,349	21,790	4,008	3,879	4,532.31	4,379.80
04-Mei-2023	20,638	19,401	23,340	21,914	4,003	3,895	4,527.32	4,399.54
05-Mei-2023	19,833	18,503	22,431	20,887	4,008	3,895	4,533.00	4,396.42
06-Mei-2023	19,633	17,928	22,210	20,251	4,008	3,893	4,534.07	4,397.31
07-Mei-2023	19,986	19,023	22,598	21,473	4,008	3,854	4,531.69	4,350.76
08-Mei-2023	19,310	18,189	21,844	20,569	4,008	3,854	4,533.93	4,358.56
09-Mei-2023	21,893	22,372	24,184	25,198	4,008	3,854	4,427.40	4,341.19
10-Mei-2023	23,626	21,610	26,749	23,848	4,008	3,854	4,537.71	4,253.57
11-Mei-2023	22,084	21,792	25,005	24,628	4,008	3,854	4,538.15	4,356.08
12-Mei-2023	20,368	19,623	23,028	22,164	4,012	3,890	4,535.53	4,393.30
13-Mei-2023	21,689	18,105	24,525	20,433	4,004	3,891	4,527.16	4,391.39
14-Mei-2023	22,703	21,421	25,666	24,177	3,816	3,923	4,314.51	4,427.71
15-Mei-2023	22,499	21,635	25,490	24,485	3,816	3,986	4,323.57	4,511.40
16-Mei-2023	21,941	21,063	24,807	23,758	3,816	3,996	4,314.94	4,507.50
17-Mei-2023	22,331	20,392	25,137	22,871	3,816	3,996	4,295.91	4,482.24
18-Mei-2023	21,568	19,623	24,507	22,309	4,001	3,996	4,546.42	4,543.34
19-Mei-2023	21,921	20,294	24,743	22,891	4,001	3,996	4,516.44	4,507.68
20-Mei-2023	22,207	20,782	25,170	23,500	4,001	3,996	4,535.25	4,519.06
21-Mei-2023	22,058	21,548	24,863	24,010	4,001	3,996	4,510.16	4,452.86
22-Mei-2023	21,155	20,472	25,237	23,131	4,001	3,996	4,773.38	4,515.54
23-Mei-2023	21,053	19,462	23,801	21,970	4,001	3,996	4,523.71	4,511.30
24-Mei-2023	17,514	21,322	19,400	24,095	3,993	3,996	4,422.75	4,516.15
25-Mei-2023	21,997	21,218	24,925	23,867	3,982	3,996	4,511.86	4,495.29
26-Mei-2023	21,290	20,452	24,079	23,103	3,973	3,999	4,493.63	4,517.18
27-Mei-2023	18,770	18,022	21,218	20,358	3,960	4,059	4,476.32	4,585.04
28-Mei-2023	19,259	18,130	21,778	20,473	3,954	3,995	4,471.49	4,511.73
29-Mei-2023	20,591	19,671	23,278	22,209	3,954	3,995	4,470.30	4,510.71
30-Mei-2023	22,761	21,104	25,754	23,849	3,954	3,995	4,474.47	4,515.10
31-Mei-2023	20,238	19,574	22,825	22,059	3,954	3,995	4,459.68	4,502.52

Berdasarkan hasil perhitungan harian yang dilakukan terhadap nilai NPHR pada periode Mei 2023 dengan menggunakan [persamaan 1](#), maka didapatlah nilai NPHR sebagaimana yang tertera pada [tabel 2](#) untuk masing-masing unit. Berdasarkan nilai NPHR tersebut, maka dapat dibuat grafik pembebanan terhadap nilai NPHR sebagaimana yang ada pada [gambar 1](#) untuk unit 1 dan pada [gambar 2](#) untuk unit 2. Dari [gambar 1](#) dan [gambar 2](#) terlihat bahwa peningkatan NPHR terjadi ketika adanya peningkatan nilai *auxiliary* pada masing-masing unit.



Gambar 1. Grafik Hubungan Pembebanan terhadap NPHR Unit 1



Gambar 2. Grafik Hubungan Pembebanan terhadap NPHR Unit 2

Untuk menarik kesimpulan dan perbandingan dari data tersebut, perlu dilakukan pengujian statistik deskriptif. Hal ini bertujuan untuk menguji validitas data dan karakteristik dari data yang dihasilkan pada perhitungan NPHR tersebut. Hasil Uji statistik disini dilakukan menggunakan *software Microsoft excel*. Adapun hasil dari uji statistik deskriptif dapat dilihat pada [tabel 3](#). Pada uji statistik deskriptif didapatkan nilai *mean* NPHR dari unit 1 adalah 4492.34 kCal/kWh dan nilai *mean* NPHR pada unit 2 adalah 4448.8 kCal/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa PLTU Unit 2 memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi daripada PLTU unit 1 karena membutuhkan kalor yang lebih rendah untuk menghasilkan satu kWh listrik. Selain itu, *varians* NPHR dari PLTU unit 1 adalah 8271.28 kCal/kWh, sedangkan *varians* NPHR dari PLTU unit 2 adalah 6127.61 kCal/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa sebaran data NPHR dari PLTU unit 2 lebih kecil daripada PLTU unit 1, yang berarti data NPHR dari PLTU unit 2 lebih konsisten dan stabil daripada PLTU unit 1.

TABEL 3
HASIL UJI STATISTIK DESKRIFTIF

Variable	Unit #1	Unit #2
Mean	4492.34	4448.8
Standard Error	16.3345	14.059
Median	4523.71	4482.2
Mode	0	0
Standard Deviation	90.9466	78.279
Sample Variance	8271.28	6127.6
Kurtosis	2.99679	-0.555
Skewness	-0.0441	-0.465
Range	477.473	331.47
Minimum	4295.91	4253.6
Maximum	4773.38	4585
Sum	139263	137912
Count	31	31

TABEL 4
HASIL UJI *t*-TEST

<i>t</i> -Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances		
	Unit #1	Unit #2
Mean	4492.33962	4448.79
Variance	8271.27569	6127.6092
Observations	31	31
Hypothesized Mean Difference	0	
df	59	
<i>t</i> Stat	2.02069391	
$P(T \leq t)$ one-tail	0.02392879	
<i>t</i> Critical one-tail	1.67109303	
$P(T \leq t)$ two-tail	0.04785758	
<i>t</i> Critical two-tail	2.00099538	

Berdasarkan hasil pengujian statistik inferensial menggunakan metode independent sample *t*-test dua sampel dengan asumsi *varians* tidak sama, diperoleh nilai statistik uji *t* Stat sebesar 2,02. Nilai tersebut dihitung berdasarkan persamaan 2 dengan menggunakan nilai rata-rata, simpangan baku, dan jumlah sampel NPHR dari masing-masing unit PLTU. Selanjutnya, nilai *p*-value diperoleh secara komputasional menggunakan perangkat lunak *microsoft excel* melalui fungsi *t*-Test. Hasil perhitungan menunjukkan nilai $P(T \leq t)$ one-tail sebesar 0,024 dan $P(T \leq t)$ two-tail sebesar 0,04786. Kedua nilai tersebut lebih kecil dibandingkan taraf signifikansi ($\alpha = 0,05$), sehingga hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak terdapat perbedaan nilai NPHR antara kedua unit PLTU ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara efisiensi termal Unit 1 dan Unit 2 berdasarkan nilai NPHR.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif dan uji statistik inferensial terhadap nilai NPHR, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara efisiensi termal PLTU unit 1 dan unit 2. Hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa nilai rata-rata NPHR unit 2 (4448,80 kCal/kWh) lebih rendah dibandingkan unit 1 (4492,34 kCal/kWh), yang mengindikasikan bahwa unit 2 memiliki efisiensi termal yang lebih baik. Hasil uji *independent sample t*-Test dengan taraf signifikansi 0,05 menunjukkan bahwa nilai *p*-value lebih kecil dari 0,05, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hal ini membuktikan bahwa perbedaan nilai NPHR antara kedua unit tidak terjadi secara kebetulan, melainkan signifikan secara statistik. Perbedaan efisiensi termal tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor operasional, antara lain nilai kalori bahan bakar, konsumsi daya bantu (*auxiliary power*), serta karakteristik beban operasi masing-masing unit PLTU.

REFERENSI

- [1] A. Apriyanto, "Analisis Efisiensi Termal Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Terhadap Pengaruh Nilai Kalori Batu Bara," *Jurnal Ilmu Teknik*.

- Teknika Sains Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai., vol. 3, no. 1, pp. 41-48, Jun 2018.
- [2] Arfiansyah, M. Yandri dan A. Hiendro, "Analisis Pengaruh *Overhaul* Terhadap Efisiensi Termal PLTU Bengkayang 2×50 MW," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*., vol. 3, no. 1, pp. 1-9, Jan 2023.
- [3] A. H. Prambudi, "Analisis Konversi Energi Batubara Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT Indorama *Synthetics* Tbk," Universitas Pendidikan Indonesia., pp. 1-2, Agt 2015.
- [4] H. Y. Kurniawan, H. Gunawan dan B. Maluegha, "Kajian Efisiensi Termal Dari Boiler Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1," *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*., vol. 4, no. 2, pp. 92-103, Nov 2015.
- [5] H. Satria, M. Haddin dan A. A. Nugroho, "Metode *Direct* Untuk Mengetahui *Net Plant Heat Rate* Unit 10 PLTU Rembang Ketika *Simple Inspection* Unit 20," *Media Elektrika. Jurnal Universitas Muhammadiyah Semarang*., vol. 14, no.1, pp. 42-52, Jun 2021.
- [6] N. Budianto, K. H. Kwee dan A. Hiendro, "Analisa Pengaruh Laju Kalor Terhadap Efisiensi Termal PLTU Sintang (3×7 MW)," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*., vol. 6, no. 1, pp. 1-5, Jul 2018.
- [7] Yolnasdi dan S. A. Nainggolan, "Analisa Peningkatan Nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR) pada Unit 1 PLTU Tenayan 2×110 MW," *Jurnal Surya Teknika. Universitas Muhammadiyah Riau*., vol. 8, no. 1, pp. 259-264, Jul 2021.
- [8] Dewi, T. Trisnawati dan M. Kristina, "*The Drill Method with Realistic Approach to Improve Learning Outcomes of Descriptive Statistics in Higher Education*," *Jurnal Inovasi Pembelajaran. Universitas Muhammadiyah Malang*., vol. 6, no. 2, pp. 215-226, Nov 2020.
- [9] R. Magdalena dan A.K. Maria, "Analisis Penyebab dan Solusi Rekonsiliasi *Finished Goods* Menggunakan Hipotesis Statistik dengan Metode Pengujian *Independent Sample t*-Test di PT. Merck, Tbk," *Jurnal Tekno (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering)*. Universitas Bina Darma., vol. 16, no. 1, pp. 35-48, Apr 2019.
- [10] L. D. Martias, "Statistika Deskriptif Sebagai Kumpulan Informasi," *FIHRIS: Jurnal Ilmu Perpustakaan dan Informasi*., vol. 16, no. 1, Jun 2021.

Analisa Perbaikan/Menurunkan Nilai SAIDI SAIFI Terkait Pemasangan *Fusesaver* Pada Penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru

Nolan Habel Mellambi¹, Suratno², Verra Aullia³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

verraaullia@polnes.ac.id

Abstrak- Sistem distribusi merupakan penyalur energi listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan yang harus dijaga kestabilannya. Penelitian ini bertujuan menganalisa perbaikan/menurunkan nilai *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) terkait pemasangan *fusesaver* pada Penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru. Dalam penelitian ini dinilai berdasarkan dua indeks utama, yaitu *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI). Data yang digunakan yaitu sebelum dan setelah pemasangan *fusesaver*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan *fusesaver* mampu memperbaiki/menurunkan SAIDI dari 2.122 jam/tahun menjadi 1.713 jam/tahun. Sementara nilai SAIFI menurun dari 3.315 kali/tahun menjadi 2.697 kali/tahun, menunjukkan kedua nilai tersebut telah memenuhi standar yang dianjurkan menurut SPLN 68-2:1986, dengan SAIDI di bawah batas maksimal 21 jam/tahun dan SAIFI di bawah 3.2 kali/tahun. Dengan pemasangan *fusesaver* berpengaruh dalam memperbaiki/menurunkan nilai SAIDI SAIFI pada sistem distribusi khususnya pada penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru.

Kata kunci: *Fusesaver*, SAIDI, SAIFI, Sistem distribusi

I. PENDAHULUAN

Energi listrik memiliki peran penting dalam mewujudkan tujuan pembangunan nasional. Setiap pembangunan yang dilakukan memerlukan energi listrik. Kebutuhan energi listrik pada tahun 2016 hingga 2050 diproyeksikan meningkat lebih dari 7 kali lipat. Semula pada nilai 230,14 TWh menjadi 1.611 TWh Peningkatan ini dikarenakan pembangunan yang terus dilakukan. Oleh sebab itu kebutuhan atas energi listrik menjadi meningkat seiring dengan pembangunan nasional [1].

Dengan peningkatan energi listrik tersebut, dalam penyaluran energi listrik tidak menutup kemungkinan terjadinya gangguan-gangguan yang disebabkan oleh faktor internal dan eksternal dari sistem distribusi. Gangguan tersebut akan mempengaruhi keandalan suatu sistem distribusi dalam menyalurkan energi listrik ke pelanggan. Dalam sistem distribusi tenaga listrik dituntut untuk meningkatkan suatu penyaluran energi listrik secara kontinyu, yaitu dengan mengurangi frekuensi dan lamanya pemadaman aliran daya listrik ke pelanggan [2].

Salah satu bidang yang sangat penting dalam jaringan distribusi yaitu turun nya SAIDI SAIFI sistem pada jaringan yang dimana sistem distribusi tenaga listrik merupakan

aspek fundamental dalam menjamin kualitas pelayanan listrik kepada konsumen. Dua indikator utama yang digunakan untuk menilai perbaikan/menurunkan sistem distribusi adalah SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). Semakin rendah nilai SAIDI SAIFI, semakin baik kinerja sistem distribusi karena dampak pemadaman dan frekuensi gangguan terhadap pelanggan dapat diminimalkan. Maka dari itu diperlukan pertimbangan dalam pengoperasian jaringan distribusi terhadap masalah pada saluran distribusi [3].

Dalam menunjang baik nya jaringan distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) saat ini telah melakukan inovasi dengan memasang peralatan pengaman *fusesaver* yang dimana penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru yang melewati jalur poros KM Samarinda- Balikpapan sebagian besar masih menggunakan konduktor terbuka atau kabel A3C (*All Alloy Aluminium Conductor*). Hal ini menyebabkan penyulang masih sering mengalami gangguan akibat hewan dan sentuhan pohon.

Dalam kasus ini dipasang peralatan *fusesaver* di penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru sebagai pengganti *fuse cut out* yang dianggap kurang maksimal dalam meningkatkan sistem jaringan distribusi saat terjadi gangguan. Penggunaan *fusesaver* diharapkan dapat mengurangi jumlah frekuensi pelanggan padam dan durasi pelanggan padam saat terjadi gangguan [3].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian penting dari penyaluran tenaga listrik karena berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik dari sumber utama atau pembangkit ke konsumen akhir. Secara umum, sistem distribusi tenaga listrik melakukan dua tugas: 1) menyalurkan tenaga listrik ke berbagai lokasi konsumen, dan 2) menjadi bagian dari sistem tenaga listrik yang langsung terhubung dengan pelanggan. Distribusi tenaga listrik ke berbagai tempat ini merupakan subsistem yang berinteraksi langsung dengan konsumen, sehingga daya pada pusat-pusat beban dilayani melalui jaringan distribusi [4].

Gardu distribusi mengambil tegangan 20 kV pada saluran distribusi primer untuk diturunkan menggunakan transformator distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 V. Kemudian,

Submitted: 18/09/2025; Revised: 16/10/2025;

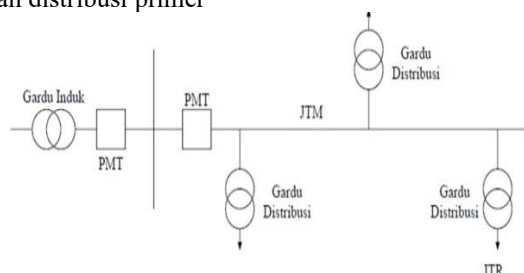
Accepted: 29/12/2025; Online first: 29/12/2025

<https://doi.org/xx.xxxx>

listrik bertegangan rendah ini disalurkan kepada pengguna melalui saluran distribusi sekunder [4].

B. Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi Primer 20 kV

Salah satu bagian dari sistem distribusi listrik adalah jaringan distribusi primer 20 kV, yang menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke gardu distribusi. Jaringan ini menggunakan tegangan menengah 20 kV, yang menjadi standar di Indonesia untuk mendukung efisiensi penyaluran listrik pada jarak menengah. Tergantung pada tingkat yang diperlukan, kondisi dan kondisi lingkungan setempat, sistem distribusi ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, atau kabel tanah [5]. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer. [Gambar 1](#) menunjukkan contoh system jaringan distribusi primer



Gambar 1. Contoh sistem jaringan primer [6].

C. Gangguan Pada Jaringan Sistem Distribusi

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kVA dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Sedangkan gangguan dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan atau kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi [6]. Jenis gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat dibagi menjadi 2, yaitu [6] :

1) Gangguan Temporer

Gangguan yang sifatnya sementara biasanya hanya berlangsung singkat dan dapat segera dinormalisasi. Contoh gangguan temporer termasuk gangguan yang disebabkan oleh pohon yang tumbuh di sekitar jaringan dan gangguan yang disebabkan oleh hewan seperti kelelawar, ular, atau layangan.

2) Gangguan Permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang menyebabkan kerusakan permanen pada sistem, seperti isolator, penghantar, atau peralatan, seperti kapasitor dan transformator. Sampai penyebab gangguan diatasi, gangguan permanen tidak akan hilang. Sebagian besar, masalah ini disebabkan oleh kerusakan peralatan dan hanya dapat diperbaiki setelah perbaikan telah dilakukan.

D. Sistem Proteksi

Pada dasarnya fungsi dari sistem proteksi adalah mendeteksi gangguan dan mengatasinya sesegera mungkin. Memproteksi dari gangguan juga sangat penting bahwa proses tersebut dapat meminimalisir jumlah peralatan yang tidak terkoneksi dengan catu daya, dengan cara memisahkan bagian

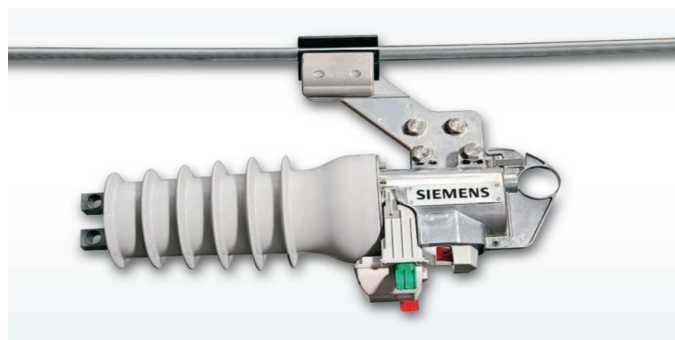
sistem tenaga listrik yang terganggu. Sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja (mengalirkan arus ke beban atau konsumen).

Adapun tujuan utama dari sistem proteksi yaitu [7] :

1. Meminimalisasikan durasi saat gangguan.
2. Meminimalisasikan jumlah pelanggan yang terkena efek dari gangguan.
3. Mengeleminasi bahaya akibat dari gangguan yang terjadi secepat mungkin.
4. Membatasi wilayah atau daerah pemadaman.
5. Melindungi peralatan elektronik konsumen.
6. Memproteksi dari gangguan dan pemutusan tegangan yang tidak dibutuhkan.
7. Dapat mengeleminasi jaringan terganggu, trafo maupun peralatan yang lain.

E. Fusesaver

Fusesaver adalah perangkat pemutus gangguan fase tunggal yang dikontrol secara elektronik dan bertenaga sendiri yang bekerja sama dengan sekring untuk melindungi saluran lateral atau cabang dari gangguan sementara dan permanen [8]. Bentuk *fusesaver* dapat dilihat pada [Gambar 2](#).

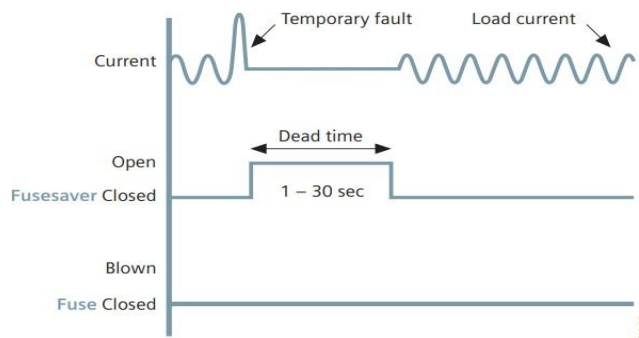


Gambar 2. *Fusesaver* [8].

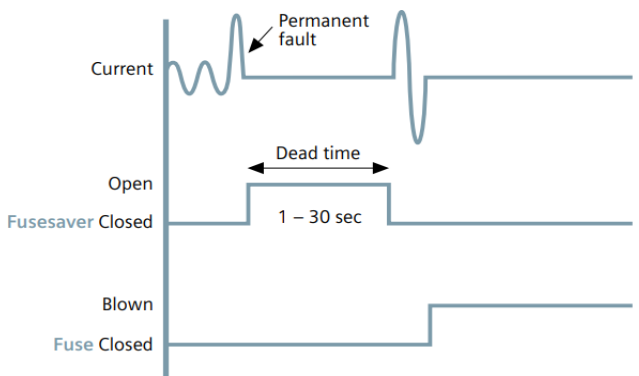
Ada beberapa prinsip kerja dari *fusesaver* dalam pengoperasiannya yaitu sebagai berikut [9] :

1) Prinsip kerja Open – Close (O-C)

Open-Close (O-C), O-C pemasangan *fusesaver* ini diterapkan pada jaringan yang sudah dilengkapi dengan *fuse cut out*. *fusesaver* beroperasi bersama *fuse cut out* untuk meningkatkan perbaikan jaringan dengan mencegah *fuse cut out* melebur akibat gangguan transien. Dalam situasi tersebut, *fuse cut out* berfungsi sebagai alat proteksi utama untuk mengatasi gangguan permanen, sementara *fusesaver* berperan sebagai proteksi sekunder yang melindungi *fuse cut out* dan jaringan dari gangguan sementara. *Dead time* mengacu pada jeda waktu yang dibutuhkan *fusesaver* untuk membuka (menghentikan arus gangguan) sebelum kembali menutup (*close*). Urutan kerja *fusesaver* pada prinsip kerja *Open-Close* (O-C) dapat dilihat pada [Gambar 3](#) dan [Gambar 4](#)



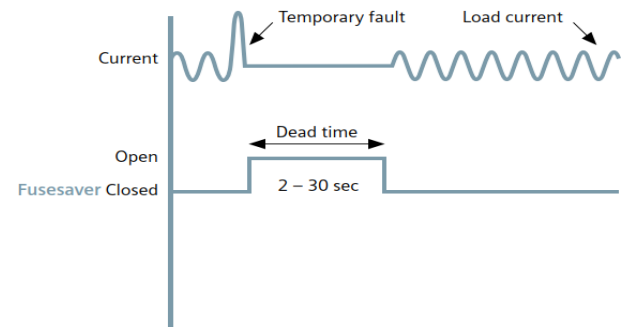
Gambar 3. Urutan prinsip kerja O-C fusesaver gangguan sementara [8].



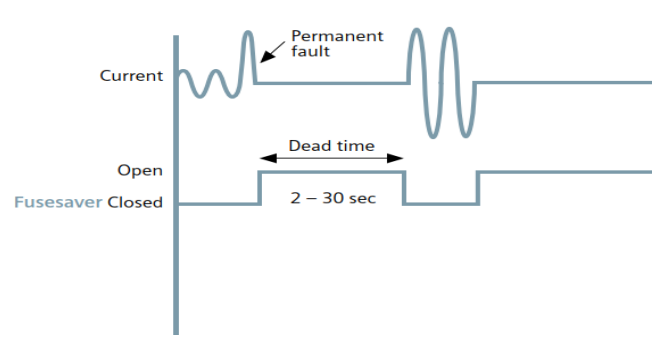
Gambar 4. Urutan prinsip kerja O-C fusesaver gangguan permanen [8].

2) Prinsip Kerja *Open – Close – Open* (O-C-O)

Prinsip kerja fusesaver yang kedua adalah *Open-Close-Open* konfigurasi ini digunakan ketika fusesaver dipasang pada jaringan yang belum dilengkapi *fuse cut out* sebelumnya. Dalam konfigurasi ini, fusesaver berfungsi sebagai alat proteksi utama pada jaringan. Meskipun tidak ada arus pada saluran, fusesaver tetap dapat beroperasi karena dayanya diperoleh dari baterai yang terhubung melalui modul komunikasi. *Dead time* merujuk pada durasi yang diperlukan oleh fusesaver untuk membuka (menghilangkan arus gangguan) sebelum kembali menutup (*close*). Secara umum, semakin lama *dead time*, semakin besar peluang gangguan sementara dapat sepenuhnya diatasi. Urutan kerja fusesaver pada prinsip kerja *Open-Close-Open* (O-C-O) dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6



Gambar 5. Urutan prinsip kerja (O-C-O) fusesaver gangguan sementara [8]



Gambar 6. Urutan prinsip kerja (O-C-O) fusesaver gangguan permanen [8].

- Adapun beberapa komponen fusesaver yaitu [8] :
- a. *Line clamp assembly*
 - b. *Bird guard*
 - c. *Electronic module*
 - d. *Vaccum interrupter*
 - e. *Power current transformer*
 - f. *Magnetic actuator*
 - g. *External lever*
 - h. *Fault detector current transformer*

F. Spesifikasi Fusesaver

Fusesaver pada dasarnya memiliki pengenalan nilai dalam pengoperasiannya yang dapat dilihat pada Tabel 1

TABEL 1
SPESIFIKASI FUSESAYER [10]

Ratings	Low Range	Standar Range	High Range
Operasi minimal jaringan	0.15 A	0.50 A	1.00 A
Rating current	40 A	100 A	200 A
Rated Line Chargin Current	20 A	20 A	20 A
Rated Short Circuit Breaking Current	1.50 kA	4 kA	6.30 kA
Rated Short Circuit Making Current	3.75 kA	10.40 kA	16.40 kA
Rated Short Time Current	1.50 kA	4 kA	6.30 kA

G. Indeks Beorientasi Pada Pelanggan

Dalam penentuan indeks SAIDI SAIFI, untuk sistem secara keseluruhan maka faktor - faktor jumlah pelanggan, frekuensi dan durasi/lama pemadaman dapat dievaluasi dan bisa didapatkan lengkap mengenai kinerja sistem [11]. Indeks yang dipakai pada sistem distribusi dijelaskan dalam uraian berikut.

1) Sistem Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI adalah indeks yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani [11]. Secara matematis dapat dilihat pada persamaan (1) :

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \times N_i}{\sum N_t} \quad (1)$$

Dimana:

U_i : Durasi pamadaman/gangguan

N_i : Jumlah pelanggan padam

N_t : Jumlah total pelanggan

2) System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIFI adalah indeks yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani [11]. Secara matematis dapat dilihat pada persamaan (2) :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \times N_i}{\sum N_t} \quad (2)$$

Dimana :

λ_i : Lama padam/gangguan (kali)

N_i : Jumlah pelanggan yang padam

N_t : Jumlah total pelanggan

H. Standarisasi Indeks SAIDI SAIFI

Standar dimaksudkan untuk menjelaskan dan menetapkan tingkat perbaikan sistem distribusi tenaga listrik. Tujuan nya ialah untuk memberikan pegangan yang terarah dalam menilai penampilan dan menentukan tingkat perbaikan dari sistem distribusi [12]. Adapun standar nilai SAIDI SAIFI yang digunakan yakni standar SPLN 68 – 2 : 1986 dapat dilihat pada [Tabel 2](#)

TABEL 2
STANDARISASI INDEKS SAIDI SAIFI [12].

Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIDI	21	Jam/pelanggan/tahun
SAIFI	3.2	Kali/pelanggan/tahun

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat yang digunakan penulis dalam penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) ULP Samarinda Seberang sebagai pengambilan data sesungguhnya, yaitu pada JL. Bung Tomo, Baqa, Kec. Samarinda Seberang, Kota Samarinda. Untuk waktu penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan pada bulan Maret hingga Agustus 2025.

B. Sumber Data yang Diperlukan

Adapun data – data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

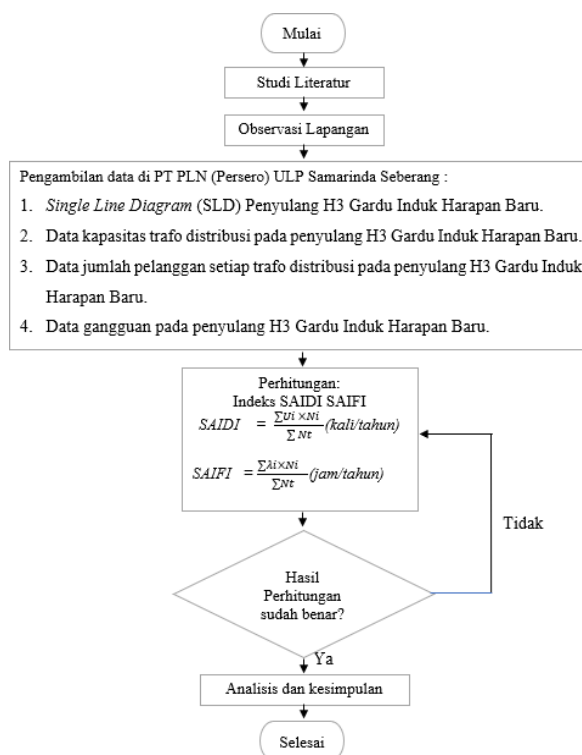
1. Single Line Diagram (SLD) Penyulang H3 Gardu Induk

Harapan Baru.

2. Data kapasitas trafo distribusi pada penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru.
3. Data jumlah pelanggan setiap trafo distribusi pada penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru.
4. Data gangguan pada penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru
 - 4.1 Jumlah durasi padam yang terjadi pada penyulang H3 selama satu tahun dari bulan April 2023-Maret 2024 sebelum pemasangan *fusesaver* dan April 2024-Maret 2025 setelah pemasangan *fusesaver*.
 - 4.2 Jumlah pelanggan yang padam pada penyulang H3 selama satu tahun dari bulan April 2023-Maret 2024 sebelum pemasangan *fusesaver* dan April 2024-Maret 2025 setelah pemasangan *fusesaver*.

C. Prosedur Penelitian

Dibawah ini adalah *flowchart* prosedur penelitian dari awal mulai hingga selesai yang membahas penurunan SAIDI SAIFI setelah pemasangan *fusesaver* yang dapat dilihat pada [Gambar 7](#).



Gambar 7. Flowchart penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

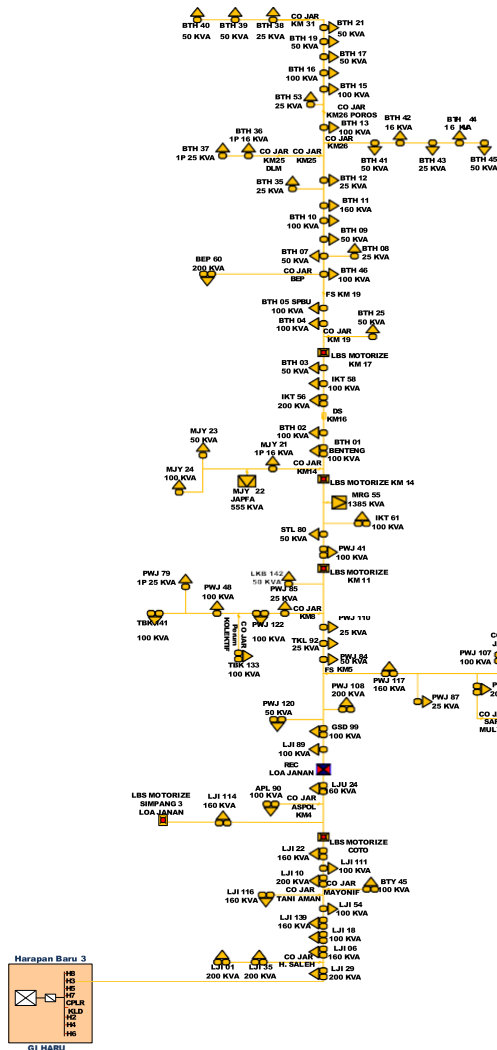
A. Data Lapangan Penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru

Data Penyulang H3 diperoleh dari PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Samarinda Seberang dari data yang diperoleh, dirangkum seperti pada tabel dan gambar berikut. Pada [Gambar 8](#) menunjukkan *Single Line Diagram* penyulang H3 terbagi menjadi 87 *line* dengan panjang total 35,9 kms. Berikut *Single Line Diagram* penyulang H3 dapat dilihat pada [Gambar 8](#).

Submitted: 18/09/2025; Revised: 16/10/2025;

Accepted: 29/12/2025; Online first: 29/12/2025

<https://doi.org/xx.xxxx>



Gambar 8. *Single Line Diagram* penyulang H3

B. Data Pelanggan Penyulang H3

Data pelanggan penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru dengan total 11800 pelanggan dapat dilihat pada [Tabel 3](#).

TABEL 3
DATA PELANGGAN PENYULANG H3

No.	Penyulang	Nama Gardu	Kapasitas (KVA)	Jumlah Pelanggan
1	H3	LJI 29	200	360
2	H3	LJI 35	200	360
3	H3	LJI 01	200	360
4	H3	LJI 06	160	296
5	H3	LJI 18	100	179
6	H3	LJI 139	160	296
7	H3	LJI 54	100	179
8	H3	LJI 116	160	296
9	H3	BTY 45	100	1
10	H3	LJI 10	200	360
11	H3	LJI 111	100	179
12	H3	LJI 22	160	296
13	H3	LJI 114	160	296
14	H3	APL 90	100	179
15	H3	LJU 24	160	296

16	H3	LJI 89	100	179
17	H3	GSD 99	100	179
18	H3	PWJ 120	50	89
19	H3	PWJ 108	200	360
20	H3	PWJ 117	160	296
21	H3	PWJ 87	25	50
22	H3	PWJ 42	200	360
23	H3	PWJ 107	100	179
24	H3	JTH 136	100	179
25	H3	PWJ 43	50	89
26	H3	PWJ 61	100	179
27	H3	PWJ 25	50	89
28	H3	LDR 165	100	179
29	H3	LDR 23	50	89
30	H3	PWJ 84	50	89
31	H3	PWJ 92	25	50
32	H3	PWJ 110	25	50
33	H3	PWJ 85	25	50
34	H3	PWJ 122	100	179
35	H3	TBK 133	100	179
36	H3	PWJ 48	100	179
38	H3	PWJ 141	100	179
39	H3	LKB 142	50	89
40	H3	PWJ 41	100	179
41	H3	STL 80	50	89
42	H3	IKT 61	100	179
43	H3	MRG 55	1385	1
44	H3	MJY 21	16	1
45	H3	MJY 22	555	1
46	H3	MJY 23	50	89
47	H3	MJY 24	100	179
48	H3	BTH 01	100	179
49	H3	BTH 02	100	179
50	H3	IKT 56	200	360
51	H3	IKT 58	100	179
52	H3	BTH 03	50	89
53	H3	BTH 25	50	89
54	H3	BTH 04	100	179
55	H3	BTH 05	100	1
56	H3	BTH 46	100	179
57	H3	BEP 60	200	1
58	H3	BTH 07	50	89
59	H3	BTH 08	25	50
60	H3	BTH 09	50	89
61	H3	BTH 10	100	179
63	H3	BTH 35	25	50
64	H3	BTH 12	25	50
65	H3	BTH 36	16	1
66	H3	BTH 37	25	1
67	H3	BTH 41	50	89
68	H3	BTH 42	16	29
69	H3	BTH 43	25	50
70	H3	BTH 44	16	29
71	H3	BTH 45	50	89
72	H3	BTH 13	100	179
73	H3	BTH 53	25	50
74	H3	BTH 15	100	179
75	H3	BTH 16	100	179
76	H3	BTH 17	50	89
77	H3	BTH 19	50	89
78	H3	BTH 21	50	89
79	H3	BTH 38	25	50
80	H3	BTH 39	50	89
81	H3	BTH 40	50	89
Total			8.993	11800

C. Data Rekap Gangguan Penyulang H3 Sebelum dan Setelah Pemasangan Fusesaver

Adapun data gangguan penyulang H3 sebelum dan setelah dipasang perangkat *fusesaver* dapat dilihat pada [Tabel 4](#) dan [Tabel 5](#).

TABEL 4
DATA REKAP GANGGUAN SEBELUM PEMASANGAN *FUSESaver*

Bulan	Jumlah Gangguan (kali)	Durasi Gangguan (jam)	Jumlah Pelanggan Padam	Total Pelanggan
April 2023	0	0	0	11800
Mei	8	2.021	7956	11800
Juni	7	7.213	7956	11800
Juli	1	0.133	7956	11800
Agustus	4	0.105	7956	11800
September	7	1.174	7956	11800
Oktober	6	19.16	7956	11800
November	6	0.087	7956	11800
Desember	7	6.532	7956	11800
Januari 2024	2	0.907	7956	11800
Februari 2024	2	0.035	7956	11800
Maret 2024	6	1.525	7956	11800

TABEL 5
DATA REKAP GANGGUAN SETELAH PEMASANGAN *FUSESaver*

Bulan	Jumlah Gangguan (kali)	Durasi Gangguan (jam)	Jumlah Pelanggan Padam	Total Pelanggan
April 2024	3	0.012	7956	11800
Mei	8	0.841	7956	11800
Juni	2	0.087	7956	11800
Juli	2	0.020	7956	11800
Agustus	3	0.034	7956	11800
September	5	0.040	7956	11800
Oktober	7	0.261	7956	11800
November	1	0.004	7956	11800
Desember	5	0.983	7956	11800
Januari 2025	1	0.217	7956	11800
Februari 2025	4	0.021	7956	11800
Maret 2025	7	0.021	7956	11800

D. Penghitungan Nilai SAIDI Sebelum Pemasangan *Fusesaver*
Hasil Penghitungan nilai SAIDI sebelum pemasangan *fusesaver* dapat dilihat pada [Tabel 6](#).

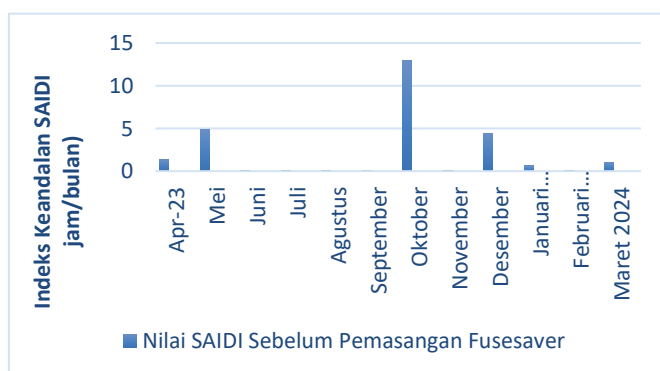
TABEL 6
NILAI SAIDI SEBELUM PEMASANGAN *FUSESaver*

BULAN	Nilai SAIDI Sebelum Pemasangan <i>Fusesaver</i> (jam/bulan)
April 2023	0
Mei	1.362633559 (jam/bulan)
Juni	4.863273559 (jam/bulan)
Juli	0.008967355 (jam/bulan)
Agustus	0.070794915 (jam/bulan)
September	0.117317288 (jam/bulan)
Oktober	12.918386440 (jam/bulan)
November	0.058658644 (jam/bulan)

Submitted: 18/09/2025; Revised: 16/10/2025;
Accepted: 29/12/2025; Online first: 29/12/2025
<https://doi.org/xx.xxxx>

Desember	4.404117966 (jam/bulan)
Januari 2024	0.611533220 (jam/bulan)
Februari 2024	0.023598305 (jam/bulan)
Maret 2024	1.028211864 (jam/bulan)
Total 1 Tahun	2.122291093 (jam/bulan)

Berdasarkan [Tabel 6](#) nilai *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) pada penyulang H3 sebelum pemasangan *fusesaver* menunjukkan durasi gangguan yang bervariasi setiap bulannya. Nilai tertinggi tercatat pada bulan Oktober 2023 sebesar 12.918 jam/bulan. Ini menunjukkan bahwa pada bulan tersebut, pelanggan rata-rata mengalami pemadaman listrik selama 13 jam/bulan yang mengindikasikan adanya gangguan besar atau durasi pemulihan yang sangat lama. Selain Oktober, nilai SAIDI yang tergolong tinggi juga tercatat pada bulan Juni 2023 sebesar 4.863 jam/bulan dan Desember 2023 sebesar 4.404 jam/bulan. Sebaliknya, pada bulan April 2023 tidak terdapat gangguan dengan durasi 0, yang ditunjukkan dengan nilai SAIDI sebesar 0. Beberapa bulan lainnya juga menunjukkan durasi gangguan yang sangat rendah, seperti Juli 2023 (0.009 jam/bulan), Februari 2024 (0.024 jam/bulan), dan Agustus 2023 (0.071 jam/bulan), yang menandakan bahwa kondisi jaringan yang relatif stabil dan gangguan yang cepat dipulihkan. Secara keseluruhan, rata-rata SAIDI selama satu tahun ditotalkan sebesar 2.122 jam/bulan, yang berarti pelanggan rata-rata mengalami pemadaman lebih dari 2 jam setiap bulan. Grafik nilai SAIDI sebelum pemasangan *fusesaver* dapat dilihat pada [Gambar 9](#).



Gambar 9. Grafik nilai SAIDI sebelum pemasangan *fusesaver*

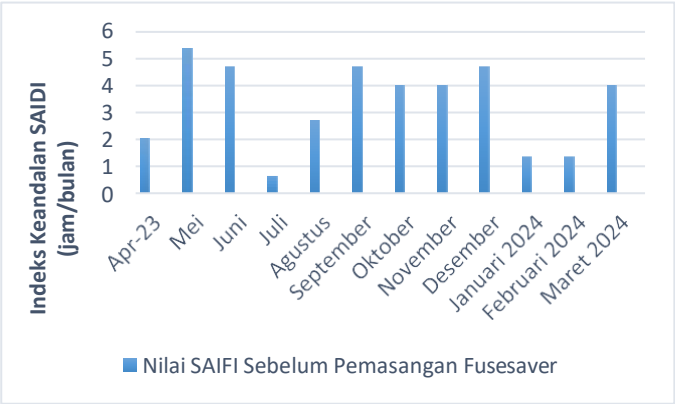
F. Penghitungan Nilai SAIFI Sebelum Pemasangan *Fusesaver*
Hasil Penghitungan nilai SAIFI sebelum pemasangan *fusesaver* dapat dilihat dalam bentuk pada [Tabel 7](#).

TABEL 7
NILAI SAIFI SEBELUM PEMASANGAN *FUSESaver*

Bulan	Nilai SAIFI Sebelum Pemasangan <i>Fusesaver</i> (kali/bulan)
April 2023	0
Mei	5.393898305 (kali/bulan)
Juni	4.719661016 (kali/bulan)
Juli	0.674237288 (kali/bulan)
Agustus	2.696949152 (kali/bulan)

September	4.719661016 (kali/bulan)
Oktober	4.045423728 (kali/bulan)
November	4.045423728 (kali/bulan)
Desember	4.719661016 (kali/bulan)
Januari 2024	1.348474576 (kali/bulan)
Februari 2024	1.348474576 (kali/bulan)
Maret 2024	4.045423728 (kali/bulan)
Total 1 Tahun	3.1464406779 (kali/bulan)

Berdasarkan [Tabel 7](#) nilai *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) pada penyulang H3 sebelum pemasangan *fusesaver* menunjukkan hasil yang cukup signifikan dari bulan ke bulan selama periode April 2023 hingga Maret 2024. Nilai SAIFI tertinggi tercatat pada bulan Mei 2023 sebesar 5.3939 kali/bulan, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan Juli 2023 sebesar 0.6742 kali/bulan. Secara umum, terdapat beberapa bulan dengan tingkat gangguan yang tergolong tinggi, seperti Mei, Juni, September, Oktober, November, dan Desember 2023, dengan nilai SAIFI di atas 4 kali/bulan. Sebaliknya, bulan Juli 2023, Januari dan Februari 2024 menunjukkan nilai yang relatif rendah, yakni di bawah 2 kali/bulan. Dari data tersebut, dapat dihitung rata-rata nilai SAIFI selama satu tahun yaitu sebesar 3.146 kali/bulan. Nilai ini mengindikasikan bahwa rata-rata pelanggan pada penyulang H3 mengalami lebih dari tiga kali gangguan dalam setiap bulan sebelum dilakukan pemasangan *fusesaver*. Grafik nilai SAIFI sebelum pemasangan *fusesaver* dapat dilihat pada [Gambar 10](#).



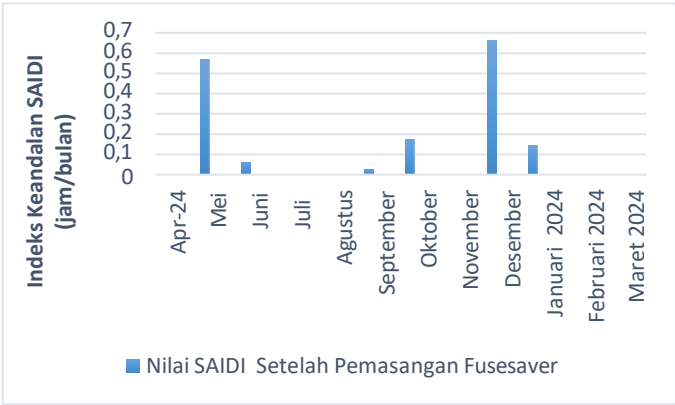
Gambar 10. Grafik nilai SAIFI sebelum pemasangan *fusesaver*

F. Penghitungan Nilai SAIDI Setelah Pemasangan Fusesaver
Hasil Penghitungan nilai SAIDI setelah pemasangan *fusesaver* dapat dilihat dalam bentuk tabel pada [Tabel 8](#).

TABEL 8 NILAI SAIDI SETELAH PEMASANGAN FUSESAYER	
Bulan	Nilai SAIDI Setelah Pemasangan Fusesaver (jam/bulan)
April 2024	0.008090847 (jam/bulan)
Mei 2024	0.567033559 (jam/bulan)
Juni 2024	0.058658644 (jam/bulan)

Juli 2024	0.013484745 (jam/bulan)
Agustus 2024	0.022924067 (jam/bulan)
September 2024	0.026969491 (jam/bulan)
Oktober 2024	0.175975932 (jam/bulan)
November 2024	0.002696949 (jam/bulan)
Desember 2024	0.662775254 (jam/bulan)
Januari 2025	0.146309491 (jam/bulan)
Februari 2025	0.014158983 (jam/bulan)
Maret 2025	0.014158983 (jam/bulan)
Total 1 Tahun	1.713236945 (jam/bulan)

Berdasarkan data pada [Tabel 8](#) terlihat bahwa setelah pemasangan *fusesaver*, nilai *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) pada penyulang H3 mengalami penurunan yang cukup signifikan dibandingkan dengan kondisi sebelum pemasangan. Selama periode satu tahun setelah pemasangan, nilai SAIDI rata-rata tercatat sebesar 1.713236945 (jam/bulan), lebih rendah dibandingkan rata-rata sebelumnya yang mencapai 2.122291093 (jam/bulan). Nilai tertinggi tercatat pada bulan Desember sebesar 0.663 jam/bulan dan bulan Mei sebesar 0.567 jam/bulan. Meskipun demikian, angka ini tetap jauh lebih rendah dibandingkan dengan nilai tertinggi sebelum pemasangan, yaitu 12.918 jam/bulan pada bulan Oktober. Sementara itu, beberapa bulan menunjukkan durasi gangguan yang sangat kecil, bahkan mendekati nol, seperti bulan November (0.0027 jam/bulan), April (0.0081 jam/bulan), dan Februari–Maret (masing-masing hanya 0.0142 jam/bulan). Grafik nilai SAIDI setelah pemasangan *fusesaver* dapat dilihat pada [Gambar 11](#).



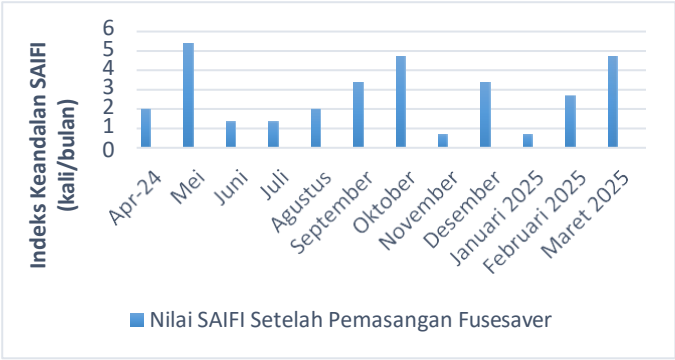
Gambar 11. Grafik nilai SAIDI setelah pemasangan *fusesaver*

G. Penghitungan Nilai SAIFI Setelah Pemasangan Fusesaver
Hasil Penghitungan nilai SAIFI setelah pemasangan *fusesaver* dapat dilihat dalam bentuk pada [Tabel 9](#).

TABEL 9 NILAI SAIFI SETELAH PEMASANGAN FUSESAYER	
Bulan	Nilai SAIFI Setelah Pemasangan Fusesaver (kali/bulan)
April 2024	2.022711864 (kali/bulan)
Mei 2024	5.393898305 (kali/bulan)
Juni 2024	1.348474576 (kali/bulan)

Juli 2024	1.348474576 (kali/bulan)
Agustus 2024	2.022711864 (kali/bulan)
September 2024	3.371186440 (kali/bulan)
Oktober 2024	4.719661016 (kali/bulan)
November 2024	0.674237288 (kali/bulan)
Desember 2024	3.371186440 (kali/bulan)
Januari 2025	0.674237288 (kali/bulan)
Februari 2025	2.696949152 (kali/bulan)
Maret 2025	4.719661016 (kali/bulan)
Total 1 Tahun	2.696949152 (kali/bulan)

Berdasarkan [Tabel 9](#) dan nilai *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) setelah pemasangan *fusesaver* pada penyulang H3 masih menunjukkan adanya fluktuasi, Nilai rata-rata SAIFI selama satu tahun setelah pemasangan tercatat sebesar 2.696949152 (kali/bulan), lebih rendah dibandingkan nilai rata-rata sebelum pemasangan yaitu 3.1464406779 (kali/bulan). Artinya, rata-rata pelanggan mengalami sekitar 2 hingga 3 kali gangguan per bulan setelah pemasangan *fusesaver*, dibandingkan lebih dari 3 kali sebelumnya. Pada bulan-bulan tertentu, nilai SAIFI masih cukup tinggi, seperti bulan Mei 5.393898305 (kali/bulan), Oktober 4.719661016 (kali/bulan) dan Maret 2025 4.719661016 (kali/bulan). Namun, pada bulan-bulan lainnya, seperti November dan Januari 2025, nilai SAIFI turun drastis hingga 0,674 kali/bulan, yang mengindikasikan peningkatan perbaikan jaringan dalam hal mengurangi jumlah gangguan yang dirasakan pelanggan. Grafik nilai SAIFI sebelum pemasangan *fusesaver* dapat dilihat pada [Gambar 12](#).



Gambar 12. Grafik nilai SAIFI sebelum pemasangan *fusesaver*

H. Perbandingan Nilai SAIDI dan SAIFI dengan Standar SPLN 68-2: 1986

Untuk menilai tingkat perbaikan SAIDI SAIFI sebelum dan sesudah dipasang nya *fusesaver* pada penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru setelah didapatkan nilai SAIDI dan SAIFI langkah penting berikutnya adalah membandingkan nilai SAIDI dan SAIFI yang diperoleh dengan acuan standar nasional, yakni SPLN 68-2:1986. Perbandingan SAIDI SAIFI nilai SAIDI dan dengan SPLN 68-2 : 1986 dapat dilihat dalam [Tabel 10](#).

TABEL 10
PERBANDINGAN NILAI SAIDI DAN NILAI SAIFI DENGAN SPLN 68-2 :1986

Waktu	Nilai SAIDI Sebelum Pemasangan <i>Fusesaver</i> (jam/bulan)	Nilai SAIDI Setelah Pemasangan <i>Fusesaver</i> (jam/bulan)	SPLN 68-2 : 1986
1 Tahun	2.122291093	1.713236945	21 (jam/tahun)
Waktu	Nilai SAIFI Sebelum Pemasangan <i>Fusesaver</i> (kali/bulan)	Nilai SAIFI Setelah Pemasangan <i>Fusesaver</i> (kali/bulan)	SPLN 68-2 : 1986
1 Tahun	3.1464406779	2.696949152	3.2 (kali/tahun)

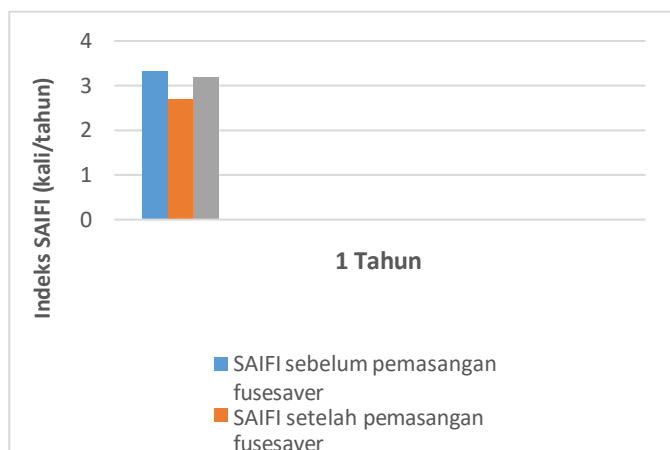
Berdasarkan data yang ditampilkan pada [Tabel 9](#) dapat dilihat bahwa pemasangan *fusesaver* memberikan pengaruh terhadap perbaikan indeks SAIDI penyulang H3 di Gardu Induk Harapan Baru. Sebelum *fusesaver* dipasang, nilai SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) tercatat sebesar 2,122 jam/tahun. Setelah dilakukan pemasangan *fusesaver*, nilai SAIDI turun menjadi 1,713 jam/tahun. Penurunan ini menunjukkan adanya perbaikan sebesar 19,3%, yang mengindikasikan bahwa *fusesaver* berhasil mengurangi waktu padam yang dialami pelanggan. Jika dibandingkan dengan standar nasional berdasarkan SPLN 68-2:1986 yang menetapkan batas maksimum SAIDI sebesar 21 jam per tahun, maka nilai SAIDI setelah pemasangan *fusesaver* sudah masuk dalam batas standar, bahkan sedikit lebih baik. Bila dikonversikan ke satuan tahunan, nilai SAIDI setelah pemasangan *fusesaver* menjadi 20,556 jam/tahun, yang masih di bawah batas maksimal standar tersebut. Grafik perbandingan nilai SAIDI dengan standar SPLN 68-2 : 1986 dapat dilihat pada [Gambar 13](#).



Gambar 13. Grafik perbandingan nilai SAIDI dengan standar SPLN 68-2 : 1986

Sementara itu, untuk SAIFI, sebelum pemasangan *fusesaver*, nilai tercatat sebesar 3.146 kali/tahun, yang mengindikasikan frekuensi pemadaman yang cukup tinggi diatas standar SPLN 68-2:1986. Setelah pemasangan *fusesaver*,

nilai SAIFI menurun menjadi 2.697 kali/tahun, sehingga telah berada di bawah batas standar SPLN 68-2 : 1986, penurunan ini menunjukkan adanya perbaikan sistem distribusi pada penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru karena pelanggan mengalami gangguan listrik lebih jarang terjadi. Secara persentase, terjadi penurunan nilai SAIFI sebesar 18,63% hal ini membuktikan bahwa pemasangan *fusesaver* efektif dalam mengurangi frekuensi gangguan dan meningkatkan kualitas pelayanan listrik sesuai dengan standar yang berlaku. Grafik perbandingan nilai SAIFI dengan standar SPLN 68-2 : 1986 dapat dilihat pada [Gambar 14](#).



Gambar 14. Grafik perbandingan nilai SAIFI dengan standar SPLN 68-2 : 1986

I. Analisis Hasil Penghitungan

Hasil penghitungan nilai SAIDI dan SAIFI sebelum dan setelah pemasangan *fusesaver* pada penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru. Untuk nilai SAIDI penyulang H3 sebelum pemasangan *fusesaver* pada [Tabel 6](#) didapatkan nilai SAIDI tinggi pada bulan Oktober sebesar 12.918386440 (jam/bulan), sedangkan untuk nilai SAIDI setelah pemasangan *fusesaver* didapatkan nilai yang lebih rendah pada bulan Oktober yaitu sebesar 0.175975932 (jam/bulan). Untuk nilai SAIFI pada penyulang H3 pada [Tabel 7](#) sebelum pemasangan *fusesaver* didapatkan nilai yang tertinggi pada bulan September dan Desember yang memiliki nilai SAIFI yang sama tinggi nya yaitu sebesar 4.719661016 (kali/bulan), sedangkan untuk nilai SAIFI setelah pemasangan *fusesaver* didapatkan nilai yang sama lebih rendah bulan September dan Desember yaitu sebesar 3.371186440 (jam/bulan).

Setelah pemasangan alat *fusesaver* terjadi penurunan nilai SAIDI dan SAIFI yang lebih rendah karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi dari nilai indeks perbaikan SAIDI dan SAIFI yaitu:

1. Penurunan frekuensi gangguan.

Setelah *fusesaver* dipasang, jumlah kejadian gangguan yang menyebabkan padamnya aliran listrik mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan *fusesaver* bekerja secara cepat dalam memutuskan dan menyambung kembali aliran listrik pada saat terjadi gangguan sementara. Dengan berkurangnya jumlah gangguan, maka secara otomatis nilai SAIFI yang merupakan ukuran frekuensi gangguan juga menurun.

2. Pemulihan gangguan yang lebih cepat.
Fusesaver dirancang untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan dalam waktu yang sangat singkat. Waktu pemutusan dan penyambungan kembali aliran listrik hanya dalam hitungan milidetik hingga beberapa detik, Hal inilah yang menyebabkan nilai SAIDI menurun, karena total waktu gangguan per pelanggan menjadi lebih kecil.
3. Kemampuan mendeteksi gangguan sementara
Fusesaver memiliki kemampuan untuk membedakan antara gangguan sementara dan permanen. Jika gangguan bersifat sementara, *fusesaver* akan menutup kembali sirkuit secara otomatis tanpa perlu *fuse* utama meleleh. Ini mencegah gangguan menjadi lebih luas dan lama, sehingga berdampak langsung pada penurunan SAIDI dan SAIFI.
4. Pengurangan area terdampak gangguan.
Dengan adanya *fusesaver*, hanya sebagian kecil dari jaringan yang akan terdampak ketika terjadi gangguan. *Fusesaver* hanya memutus bagian lateral (cabang) yang bermasalah, sementara bagian utama jaringan tetap dapat menyuplai listrik ke pelanggan lain. Ini membuat jumlah pelanggan padam (Ni) menjadi lebih sedikit, yang secara langsung menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI.
5. Kinerja proteksi yang lebih selektif dan cepat.
Fusesaver menggunakan sistem elektronik yang lebih presisi dibandingkan *fuse* konvensional biasa. Hal ini membuat proteksi terhadap gangguan menjadi lebih selektif, cepat, dan efisien. Kecepatan reaksi sistem proteksi sangat penting untuk menjaga kestabilan distribusi listrik dan menghindari pemadaman yang tidak perlu.

Sehingga dengan pemasangan alat pengaman *fusesaver* dapat mengurangi nilai SAIDI dari sebelum pemasangan *fusesaver* sebesar 2.122291093 (jam/tahun) menjadi 1.713236945 (jam/tahun) setelah pemasangan *fusesaver* dan mengurangi nilai SAIFI dari sebelum pemasangan *fusesaver* sebesar 3.1464406779 (kali/tahun) menjadi 2.696949152 (kali/tahun). Dengan itu pemasangan *fusesaver* dapat meningkatkan presentase perbaikan nilai SAIDI sebesar 53.76% dan meningkatkan presentase perbaikan nilai SAIFI sebesar 18,63 % pada penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru. Dengan itu setelah dilakukan pemasangan *fusesaver*, dengan melakukan perbandingan nilai SAIDI dan nilai SAIFI dengan SPLN 68-2:1986, didapatkan nilai yang lebih rendah sehingga dapat dikatakan lebih baik dan dapat mengurangi dari nilai SAIDI dan nilai SAIFI dari penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disampaikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemasangan *fusesaver* pada Penyulang

H3 Gardu Induk Harapan Baru memberikan dampak yang positif terhadap perbaikan nilai SAIDI SAIFI. Hal ini terlihat dari adanya penurunan nilai SAIDI dari 2,122 jam/pelanggan/tahun menjadi 1,713 jam/pelanggan/tahun, penurunan nilai SAIFI dari 3,146 kali/pelanggan/tahun menjadi 2,697 kali/pelanggan/tahun setelah dilakukan pemasangan fusesaver. Penurunan kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa durasi dan frekuensi pemadaman listrik yang dialami pelanggan menjadi lebih rendah, sehingga sistem distribusi menjadi lebih baik. Selain itu, nilai SAIDI dan SAIFI setelah pemasangan fusesaver telah memenuhi standar keandalan SPLN 68-2:1986. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pemasangan fusesaver merupakan salah satu solusi yang efektif dalam upaya perbaikan dan penurunan nilai SAIDI dan SAIFI, serta dapat meningkatkan kualitas pelayanan distribusi listrik kepada pelanggan, khususnya pada Penyulang H3 Gardu Induk Harapan Baru.

2. *Fusesaver* terbukti bekerja secara efektif dalam mendeteksi dan merespon gangguan, baik gangguan sementara maupun permanen. Dengan kemampuan untuk membuka dan menutup kembali arus secara otomatis dalam waktu yang sangat singkat, *fusesaver* dapat mencegah pelelehan *fuse cut out* (FCO) pada gangguan sementara dan hanya akan melepaskan sambungan secara permanen saat gangguan benar-benar bersifat permanen

REFERENSI

- [1] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), *Indonesia Energy Outlook 2018: Sustainable Energy for Land Transportation*, Jakarta, Indonesia, 2018.
- [2] A. Mulianda, S. Syahrizal, dan M. Gapy, “Analisis keandalan sistem jaringan distribusi PT. PLN (Persero) Banda Aceh menggunakan metode section technique,” *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, vol. 2, no. 4, 2021.
- [3] T. A. Kristian, “Analisa pengaruh pemasangan FuseSaver di penyulang Karang Joang 13 PT PLN (Persero) UP3 Balikpapan,” *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 7, no. 1, pp. 290–295, 2022.
- [4] T. Wrahatnolo dan Suhadi, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*, 1st ed. Jakarta, Indonesia: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [5] I. Widiastuti dan D. Nugroho, “Analisa drop tegangan pada feeder K3 Gardu Induk Kota Kabupaten,” *TRANSISTOR Elektro dan Informatika*, vol. 4, no. 3, pp. 208–217, 2022.
- [6] N. Aryanto dan M. Balkis, “Tinjauan gangguan jaringan distribusi 20 kV penyulang Muara Aman PT PLN (Persero) ULP Rayon Muara Aman,” *Jurnal Teknik Elektro Raflesia*, vol. 1, no. 1, pp. 16–22, 2021.
- [7] I. Nurmalasari *et al.*, “Analisa pemilihan relai proteksi pada panel listrik untuk studi kasus tegangan menengah 20 kV,” *Jurnal Teknologi Industri*, vol. 7, 2021.
- [8] Siemens, *Fusesaver Medium Voltage Circuit Breaker Instruction Manual*, Arkansas, USA, 2020.
- [9] Siemens, *Fusesaver e Unidade de Controle Remoto 3AD8*, Siemens HG 11.43, 2017.
- [10] Arhadi Fajar Perkasa, *Fusesaver*, 2023.
- [11] D. C. Goro, S. Similang, dan H. Tumaliang, “Evaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan mutu pelayanan PT. PLN (Persero) Jailolo,” Kabupaten Halmahera Barat, 2022.
- [12] K. G. Manopo, H. Tumaliang, dan S. Similang, “Analisis indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan SAIFI dan SAIDI pada PT PLN (Persero) Area Minahasa Utara,” 2022.

Submitted: 18/09/2025; Revised: 16/10/2025;

Accepted: 29/12/2025; Online first: 29/12/2025

<https://doi.org/xx.xxxx>

Penerapan Kontroler PID pada Sistem Kendali Level Cairan dengan Metode Ziegler-Nichols Berbasis Arduino

Arief Adhiksana¹, Prihadi Murdiyat², Abdul Rahman³, Anisa Cahyani Fitri⁴, Bayu Prayoga⁵, Andi Jumardi⁶, Eka Megawati⁷, Yuniarti⁸

^{1,4,5}Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda

^{2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

^{6,7,8}Jurusan Teknik Pengolahan Migas, SST Migas Balikpapan
adhiksana@polnes.ac.id

Abstrak— Air merupakan elemen esensial dalam sektor industri dan rumah tangga. Untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas produksi dalam suatu industri, diperlukan sistem otomasi yang tepat dan andal. Salah satu sistem instrumen yang dapat diterapkan adalah sistem pengatur ketinggian air pada tangki. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat simulasi pengendalian ketinggian air dalam tangki menggunakan sensor ultrasonik berbasis Arduino Uno R3 serta menerapkan tipenya. Kontrol proporsional (P), integral proporsional (PI), dan turunan integral proporsional (PID) serta pemahaman mengenai respons terhadap jenis kontrol ini. Langkah-langkah penelitian mencakup proses pembuatan dan pengujian alat. Penyetelan parameter kontrol dilakukan dengan menggunakan metode Ziegler Nichols-1. Pengujian alat dilakukan pada posisi tetap 10 cm dengan bukaan katup 100% aliran tangki, serta variasi parameter Kp (266 dan 285) pada pengontrol tipe P, Kp (18.1 dan 19.1) dan Ki (1.9) pada kontroler tipe PI, serta Kp (24.8), Ki (2.4), dan Kd (0.6 dan 1.2) pada kontroler tipe PID. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi optimal untuk kontroler tipe P adalah Kp = 285, untuk kontroler tipe PI adalah Kp = 19.1 dan Ki = 1.9, dan untuk kontroler tipe PID adalah Kp = 24.8, Ki = 2.4, dan Kd = 1.2. Respon dari hasil pengujian ini dapat mencapai kondisi ideal, yaitu respon teredam kritis.

0

Kata kunci: Kendali PID, Ziegler-Nichols, Sensor Ultrasonik.

I. PENDAHULUAN

Pengendali PID telah banyak diterapkan dalam industri selama beberapa tahun terakhir, memberikan respons yang cepat meskipun sering kali mengalami overshoot yang signifikan. Hal ini juga berlaku ketika menerapkan kendali PID klasik pada pengaturan ketinggian cairan [1]. Parameter kendali PID umumnya tetap selama operasi, yang mengakibatkan ketidakefektifan dalam mengendalikan sistem saat menghadapi gangguan yang tidak terduga atau perubahan lingkungan. Akibatnya, kendali PID menjadi kurang adaptif, dan penentuan parameter PID pun sering kali sulit dipahami dan diterapkan. Salah satu metode untuk memperoleh nilai parameter PID adalah dengan menggunakan pendekatan Ziegler-Nichols tipe-1 dalam kondisi *open loop*.

Penelitian ini membahas sistem kendali cairan dengan menggunakan Kontroler PID. Kendali PID merupakan salah

satu metode yang umum diterapkan di industri karena memiliki tingkat presisi yang tinggi, mudah diaplikasikan, dan andal [2]. Pengendalian dilakukan dengan mengurangi sinyal kesalahan selama operasi sistem, serta mampu menghasilkan keluaran sinyal yang memiliki respons cepat, kesalahan minimal, dan meminimalkan terjadinya overshoot [3]. Semakin kecil nilai kesalahan (*error*) yang terjadi, maka semakin optimal kinerja sistem kendali yang digunakan [4].

Kontroler ini memiliki nilai parameter proporsional yang berfungsi sebagai pengali *error* untuk perbaikan nilai. Selain itu, nilai parameter integral berperan dalam mengoreksi kesalahan steady state hingga mencapai nol [5]. Nilai standar diferensial berfungsi sebagai perbaikan terhadap respons transien dan untuk meredam osilasi [2]. Untuk menentukan nilai parameter PID, beberapa metode dapat digunakan, salah satunya adalah metode Ziegler-Nichols tipe 1.

Kendali PID memiliki respons yang cepat dan mampu mencapai respon *steady state* dengan *error* minimum. Keluaran sinyal kendali PID dirumuskan pada [6]:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int t e(t) + K_d \cdot de(t)/dt \quad (1)$$

Dalam area waktu diskritik maka keluaran sinyal kendali dirumuskan :

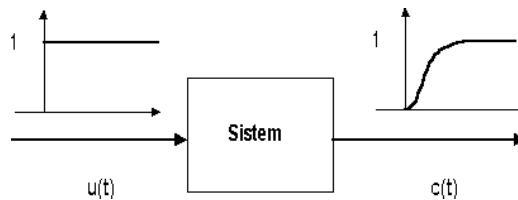
$$u(k) = K_p \cdot (e(k)) + K_i \cdot T_s [e(k-1) + e(k)] + K_d \cdot (e(k) - e(k-1))/T \quad (2)$$

Keterangan :

u(k)= Sinyal Keluaran
Kp= Konstanta Proporsional
Ki= Konstanta Integral
Kd= Konstanta Derivatif
Ts = Time Sampling
e(k)= Error

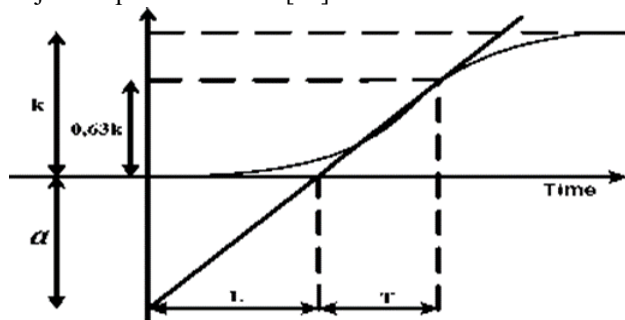
Menyelesaikan parameter kendali PID untuk *plant* yang tidak diketahui model matematikanya dapat menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols [7]. Untuk mengatur level ketinggian cairan pada *plant*, digunakan sebuah motor pompa DC yang berfungsi memindahkan cairan dari tangki 1 ke tangki

2, dengan metode Ziegler-Nichols sebagai panduan[8]. Metode ini merupakan metode pertama dari Ziegler-Nichols untuk penalaan kendali PID. Dengan melakukan percobaan secara eksperimental, penerimaan plant terhadap masukan unit-step akan menghasilkan kurva S seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Tanggapan Unit-Step .

Kurva berbentuk S memiliki karakteristik yang ditentukan oleh dua parameter, yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T [9]. Parameter-parameter tersebut diperoleh dengan menggambar garis singgung pada titik infleksi kurva S, yang menghasilkan perpotongan antara garis singgung tersebut dengan sumbu waktu dan garis $c(t) = K$, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.[10].



Gambar 2. Tanggapan Kurva S

Bersumber pada kurva S dapat menetapkan parameter dari K_p , K_i dan K_d dengan aturan pada tabel 1.

TABEL 1
UKURAN HURUF PADA PAPER

Tipe Kontroller	K_p	T_i	T_d	K_i	K_d
P	T/L	∞	0	K_p/T_i	$K_p.T_d$
PI	0,9 T/L	$L/0,3$	0	K_p/T_i	$K_p.T_d$
PID	1,2 T/L	2L	0,5L	K_p/T_i	$K_p.T_d$

II. METODE

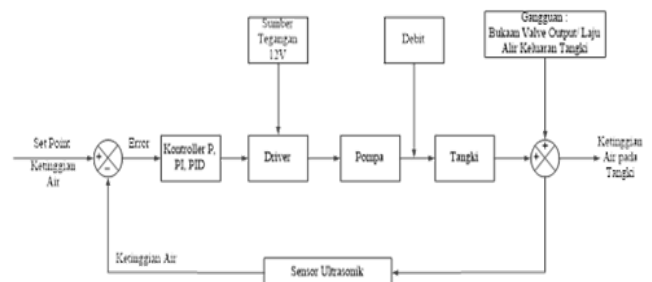
Metode ini melibatkan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Dalam perancangan perangkat keras, Arduino Uno digunakan sebagai pengendali terpusat, Potensiometer (bola plastik sebagai pelampung) berfungsi sebagai sensor level, dan Water Pump DC 12v digunakan sebagai plant untuk memindahkan cairan dari tangki 1 ke tangki 2. Komponen-

komponen ini dirancang menjadi sistem kendali PID (*Proportional Integral Derivative*). Perancangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C.

Miniatur atau prototipe untuk mengukur ketinggian cairan ini menggunakan pompa air DC 12 volt sebagai penggerak untuk memasukkan air ke dalam tangki kedua. Perangkat lunak yang digunakan untuk memproses data dan menampilkan grafik adalah Arduino Uno. Tangki yang digunakan untuk mengukur ketinggian cairan berbentuk persegi dengan kapasitas 2 liter, dilengkapi dengan kran yang diatur secara manual untuk mensimulasikan keluaran. Desain dan konstruksi sistem pengukuran ketinggian cairan ini dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 6.

A. Blok Diagram

Diagram blok sistem merupakan salah satu elemen terpenting dalam perancangan dan pembuatan alat, sebab dari diagram bisa mengetahui prinsip kerja keseluruhan alat. Selain itu tujuannya yaitu menyederhanakan prosedur perancangan dan pembuatan pada masing-masing rangkaian, kemudian akan membentuk suatu sistem yang sesuai dengan perancangan. Secara garis besar prinsip kerja dari sistem yang dibuat ini seperti gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram.

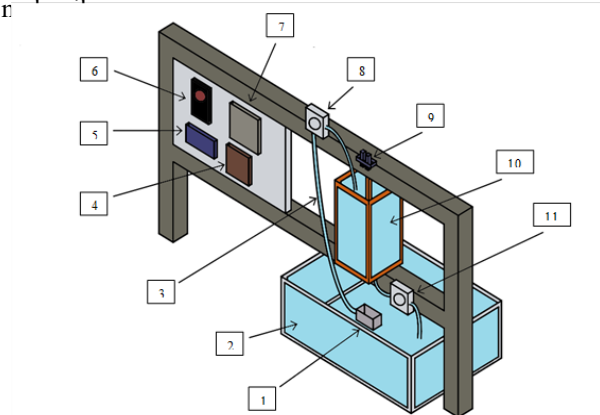
Penjelasan gambar 3 pada blok diagram diatas:

1. *Setpoint* merupakan input dari sistem yang akan dikendalikan. Setpoint yang diberikan yaitu nilai ketinggian level cairan yang diinginkan.
2. Kontroler merupakan pusat kendali dari sistem dengan menggunakan mikrokontroler *Arduino Uno*.
3. *Driver* Motor digunakan untuk penghubung antara *water pump* DC dengan *Arduino Uno*.
4. *Water pump* Dc digunakan sebagai aktuatur atau penggerak masuknya cairan kedalam tangka.
5. Sensor yang digunakan sebagai sensor pendeteksi ketinggian level cairan dalam tangki yaitu sensor ultrasonik.
6. Antarmuka pada software Arduino Uno digunakan untuk mengontrol dan memonitoring sistem yang ditampilkan pada PC.

B. Perancangan Mekanik

Tiap Perancangan ini bertujuan menyederhanakan juga mengurangi tingkat kesalahan dalam membuat *Hardware* dengan hasil yang optimal. Pembuatan mekanik alat ini menggunakan bahan akrilik dengan ketebalan 2 mm digunakan sebagai kerangka dari komponen yang digunakan. Pada perancangan terdapat dua buah tangki dalam bentuk dan ukuran

yang berbeda. Tangki 10 digunakan sebagai wadah kendali level ketinggian cairan yang dapat digunakan karena dilengkapi dengan satu buah kran. Selanjutnya tangki 2 berguna sebagai bak penampung air yang dikeluarkan dan yang akan diambil dari *water pump* dc yang digunakan. Berikut adalah rancangan



Gambar 4. Perancangan Mekanik .

Keterangan gambar:

1. *Water pump* DC 12V
2. Bak Penampungan Air
3. Selang kecil
4. *Driver board*
5. *Arduino Uno*
6. *Power switch* ON/OFF
7. *Power supply* 12V
8. *Water flow sensor* masukan
9. Sensor Ultrasonik
10. Tangki
11. *Water flow sensor* keluaran

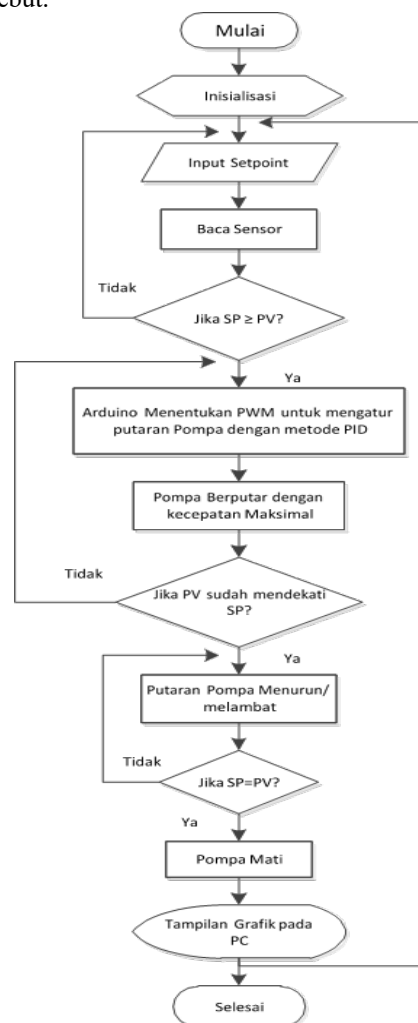
C. Perancangan Software

Perancangan ini menggunakan software arduino IDE 1.8.16 dengan bahasa pemrograman C. Perancangan media untuk mengontrol dan memonitoring dilakukan dengan menggunakan software Visual Basic dengan menggunakan bahasa pemrograman IDE visual. Untuk menjalankan alat dimulai dengan mendesain flowchart sistem dari program yang akan dibuat. Perancangan sistem ini memanfaatkan Arduino IDE versi 1.8.16 sebagai platform utama pengembangan perangkat lunak, dengan bahasa pemrograman C yang digunakan untuk mengontrol fungsi-fungsi perangkat keras secara langsung.

Penggunaan Arduino IDE memungkinkan pemrogram untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode ke mikrokontroler dengan efisien, sehingga proses pengembangan menjadi lebih terstruktur dan mudah dioperasikan. Selain itu, media pengontrolan dan monitoring sistem dirancang menggunakan software Visual Basic, yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman berbasis IDE Visual. Pendekatan ini memberikan antarmuka pengguna yang interaktif dan mudah digunakan untuk memonitor serta mengendalikan alat secara real-time.

Proses pengoperasian alat dimulai dengan perancangan diagram alir sistem yang menggambarkan alur logika program secara keseluruhan. Diagram alir ini berfungsi sebagai panduan visual untuk memastikan setiap langkah pengendalian dan pemantauan berjalan sesuai dengan desain yang diharapkan. Dengan adanya diagram alir, pengembangan program dapat dilakukan secara sistematis dan terorganisir, memudahkan identifikasi potensi kesalahan serta penyempurnaan fungsi sebelum implementasi akhir. Pendekatan ini mengintegrasikan aspek perangkat lunak dan antarmuka pengguna secara harmonis, sehingga menghasilkan sistem yang andal dan mudah dikendalikan.

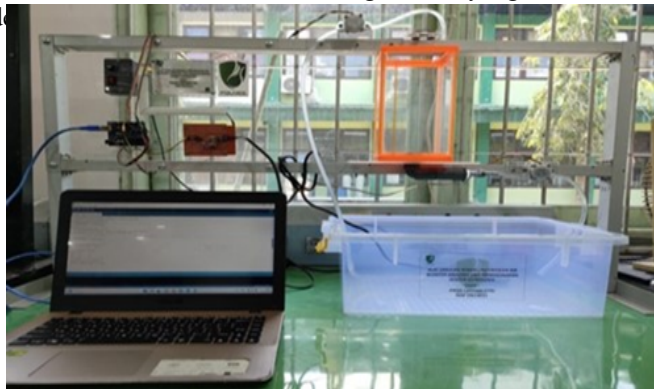
Perancangan flowchart adalah proses pengembangan logika atau urutan instruksi pemrograman. Diagram alur dari suatu perancangan disajikan secara jelas dalam bentuk algoritma, yang menggambarkan rencana aktualisasi tindakan. Perancangan flowchart sistem dilakukan untuk mempermudah pengembangan perangkat lunak yang akan dibuat dengan meninjau logika yang akan digunakan sebagai penjelasan dari urutan program yang diterapkan dalam perancangan alat tersebut.



Gambar 5. Perancangan Software.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati efektivitas rancangan pengendalian level air, baik ketika terjadi perubahan set point maupun saat mengalami gangguan (disturbance). Pengujian alat ini dilakukan dengan menggunakan catu daya yang telah dipasang pada alat, mikrokontroler Arduino Uno, sensor ultrasonik, pompa air 12 V, dan komputer yang digunakan untuk menampilkan grafik keluaran dari proses yang dilakukan. Berikut adalah rancangan alat yang telah dibuat



Gambar 6. *Prototype Sistem Kendali Level Cairan.*

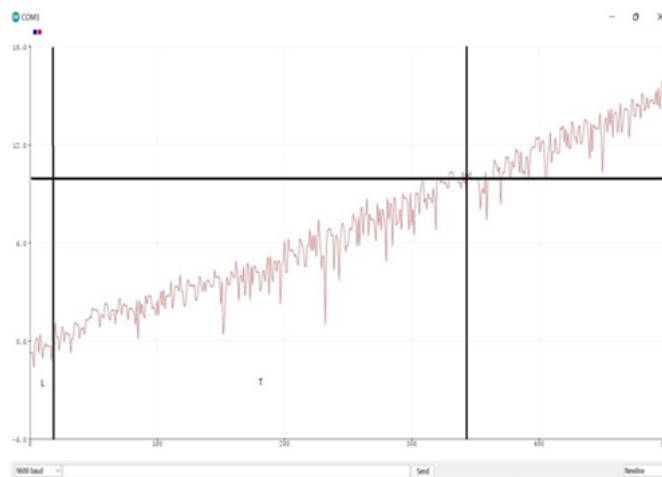
Langkah pertama yang harus dilakukan untuk mengaktifkan rancangan ini adalah menghubungkan alat pada sumber 220 Volt. Selanjutnya, hidupan alat dengan menekan saklar on/off. Setelah alat menyala, lakukan pengujian alat yang diinginkan pada tampilan PC. Terdapat beberapa pengujian yang dilakukan, yaitu: pengujian pertama adalah tuning parameter PID, pengujian nilai setpoint yang ditetapkan tanpa gangguan, dan pengujian nilai setpoint dengan gangguan berupa pembukaan kran.

1. Pengujian Tuning Parameter PID

Pengujian tuning respons PID ini dilaksanakan untuk menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d agar perubahan laju alir yang berasal dari pompa dapat diminimalkan ketika diberikan nilai setpoint. Setpoint ini berupa nilai level tinggi cairan yang diatur melalui perangkat lunak Arduino, yang juga dapat ditentukan melalui antarmuka pada PC menggunakan Aplikasi Arduino Uno.

Penentuan parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols tipe-1 dilakukan dengan mengikuti aturan dan rumus yang tercantum pada tabel 1, yang berfungsi sebagai panduan dalam penalaan kontroler. Metode ini menekankan pada pengujian sistem secara eksperimental untuk memperoleh nilai parameter yang optimal, dengan fokus pada kestabilan dan respons sistem terhadap sinyal masukan. Proses penalaan dilakukan melalui dua kali percobaan, di mana setiap percobaan bertujuan untuk menyesuaikan nilai parameter PID agar sistem dapat beroperasi dengan stabil dan menghasilkan kinerja pengendalian yang diinginkan.

Dalam pelaksanaannya, percobaan pertama digunakan untuk menentukan nilai awal parameter berdasarkan respons sistem, sedangkan percobaan kedua berfungsi untuk memverifikasi dan menyempurnakan penalaan tersebut. Dengan pendekatan ini, metode Ziegler-Nichols tipe-1 memberikan kerangka kerja praktis yang memungkinkan penyesuaian parameter PID secara sistematis dan terukur, sehingga meminimalkan overshoot dan osilasi yang tidak diinginkan. Pendekatan ini sangat efektif dalam mengendalikan sistem dinamis yang memerlukan respon cepat dan akurat.

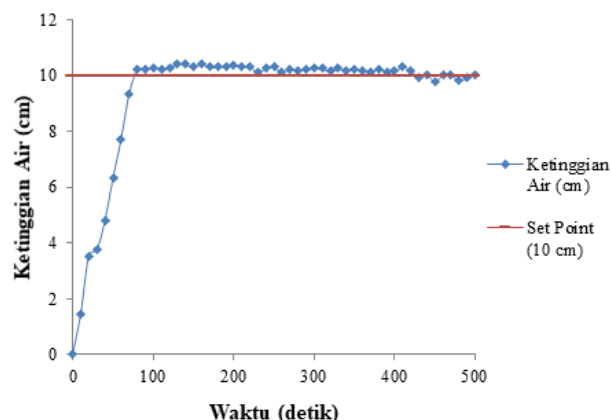


Gambar 7. Grafik Penelaan Tuning PID

$$\begin{aligned}
 L &= 0.7 ; T = 13.3 \\
 K_p &= 1.2 \times T/L = 1.2 \times 13.3/0.7 = 22.8 \\
 T_i &= 2 \times L = 2 \times 0.7 = 1.4 \\
 T_d &= 0.5 \times L = 0.5 \times 0.7 = 0.35 \\
 K_i &= K_p / T_i = 22.8 / 1.4 = 16.3 \\
 K_d &= K_p \times T_d = 22.8 \times 0.35 = 7.98
 \end{aligned}$$

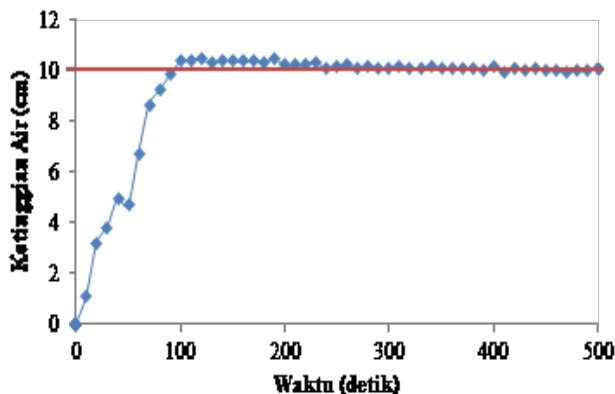
2. Percobaan Respon Sistem Tipe Pengendalian PID

Respon sistem terhadap tipe pengendali PID dengan parameter nilai K_p , K_i dan K_d yang divariasikan pada set point tetap yaitu 10 cm. Grafik optimum pada pengujian respon pengendalian PID ini adalah pada nilai $K_p = 24,8$; $K_i = 2,4$ dan $K_d = 1,2$ yang ditunjukkan pada Gambar 8



Gambar 8. Grafik Respon Sistem PID

Gambar 8 mengilustrasikan bahwa sistem mampu mencapai kondisi respons ideal berupa respons teredam kritis, yang menunjukkan kestabilan optimal tanpa osilasi berlebih. Dengan waktu pemulihan sebesar 80 detik, sistem menunjukkan kemampuan untuk kembali ke keadaan setimbang dalam waktu yang relatif singkat setelah

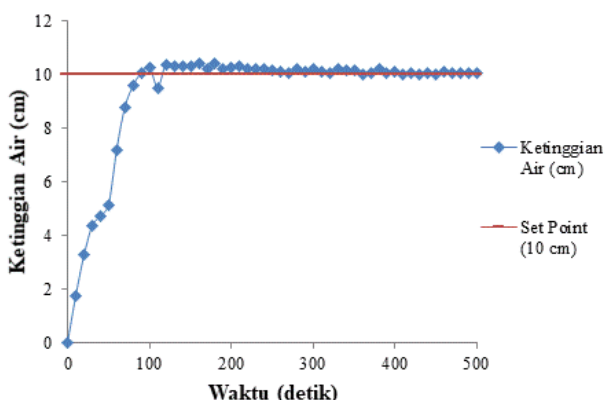


gangguan. Overshoot sebesar 0,42 cm mengindikasikan bahwa deviasi awal dari posisi setpoint sangat minimal, sehingga mengurangi risiko terjadinya fluktuasi yang merugikan dalam sistem.

Selain itu, offset sebesar 0,018 cm menunjukkan bahwa kesalahan steady-state hampir tidak signifikan, menandakan presisi tinggi dalam menjaga posisi akhir. Laju alir keluaran tangki sebesar 7,0 mL/s berperan penting dalam mencapai respons ini, karena aliran yang tepat memungkinkan sistem mengatur perubahan dengan efisien dan stabil. Kombinasi parameter-parameter tersebut mencerminkan desain kontrol yang efektif dan optimal dalam menjaga performa sistem sesuai dengan target yang diinginkan.

3. Percobaan Respon Sistem Tipe Pengendalian PI

Respon sistem terhadap tipe pengendali PI dengan parameter nilai K_d tetap yaitu 0 dengan K_p , K_i yang divariasikan pada set point tetap yaitu 10 cm. Grafik optimum pada pengujian respon pengendalian PI ini adalah pada nilai $K_p = 19,1$ dan $K_i = 1,9$ yang ditunjukkan pada **Gambar 9**



Gambar 9. Grafik Respon Sistem PI

Gambar 9 menunjukkan bahwa respons sistem dapat mencapai kondisi ideal (critically damped response) dengan waktu pemulihan sebesar 50 detik, overshoot sebesar 0,636 cm, dan offset sebesar 0,002 cm, dengan laju alir keluaran tangki sebesar 7,2 mL/s.

4. Pengujian Respon Sistem Parameter P

Respon sistem terhadap tipe pengendali P dengan parameter nilai K_d dan K_i tetap yaitu 0 dengan K_p yang divariasikan pada set point tetap yaitu 10 cm. Grafik optimum pada pengujian respon pengendalian P ini adalah pada nilai $K_p = 285$. Respon pengujian parameter P ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

Gambar 10. Grafik Respon Sistem Tunning P

Dari **Gambar 10**, terlihat bahwa sistem berhasil mencapai kondisi respon yang ideal dengan karakteristik critically damped response. Hal ini ditandai dengan settling time sebesar 50 detik, yang menunjukkan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi stabil setelah terjadi gangguan atau perubahan input. Overshoot yang terjadi sebesar 0,636 cm menunjukkan bahwa sistem hanya melewati nilai setpoint secara minimal sebelum akhirnya stabil, sehingga mengindikasikan kestabilan yang baik dan respons yang terkontrol.

Selain itu, offset yang sangat kecil sebesar 0,002 cm mengindikasikan bahwa perbedaan antara nilai keluaran akhir dengan nilai referensi hampir tidak ada, yang berarti sistem mampu mempertahankan output yang sangat akurat. Dengan laju alir keluaran tangki sebesar 7,2 mL/s, sistem ini menunjukkan efisiensi dalam pengaturan aliran yang konsisten dan presisi.

IV. PENUTUP

Alat kendali ketinggian air yang memanfaatkan sensor ultrasonik dengan mikrokontroler Arduino Uno R3 dapat berfungsi sebagai simulasi pengendalian proses, khususnya dalam pengendalian ketinggian air (level control). Respon hasil pengujian dari aplikasi tipe pengendalian (P, PI, dan PID) menunjukkan kemampuan mencapai kondisi ideal (critically damped response) yang diharapkan dari sebuah alat pengendalian proses, bahkan ketika sistem mengalami gangguan. Untuk tipe pengendali P, parameter terbaik diperoleh pada nilai $K_p = 285$. Sementara itu, untuk tipe pengendali PI, parameter optimal ditemukan pada nilai $K_p = 19,1$ dan $K_i = 1,9$. Sedangkan untuk tipe pengendali PID, parameter terbaik adalah $K_p = 24,8$, $K_i = 2,4$, dan $K_d = 1,2$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda atas dukungan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Z. Jamal, "Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-Nichols," *J. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–88, 2015.

- [2] L. A. Pratita, S. Nurcahyo, and H. K. Safitri, “Sistem Monitoring dan Kontrol Level Air pada Pengelolaan Sumber Daya Air Menggunakan Kontrol PID,” *Metrotech (Journal Mech. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 132–141, Sep. 2024, doi: 10.70609/metrotech.v3i3.5262.
- [3] A. S. Aviv, A. Wardayanti, E. Budiningsih, A. K. Fimani, and B. Suhardi, “Water Level Control Sistem Otomatis Sederhana pada Tandon Air di Kawasan Perumahan,” *PERFORMA Media Ilm. Tek. Ind.*, vol. 15, no. 2, Sep. 2016, doi: 10.20961/performa.15.2.9864.
- [4] A. Prasetyawan, “Pengendalian Level Air Pada Model Plant Yokogawa Tipe S4 Menggunakan PID Prediktif,” p. 144, 2015, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/60115/>
- [5] J. Prasetyo, Purwanto, and Rahmadwati, “Uji Performansi Pada Sistem Kontrol Level Air Dengan Variasi Beban MENGGUNAKAN KONTROLER PID,” *J. Mhs. TEUB*, vol. 3, no. 17, 2015.
- [6] U. Edi, J. Saputra, and M. Anif, “Aplikasi Monitoring Pengisian Tangki Minyak Kelapa Sawit Dengan Sensor Ultrasonik Seedstudio Sen136b5b,” vol. 9, no. 2, pp. 18–26, 2012.
- [7] Saumi Syahreza, “Rancang Bangun Pengendali Otomatik Ketinggian Fluida dan Temperatur Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC),” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 9, no. 1, pp. 36–42, 2010.
- [8] H. Suryantoro, “Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis Labview dan Arduino Sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali,” *Indones. J. Lab.*, vol. 1, no. 3, p. 20, Aug. 2019, doi: 10.22146/ijl.v1i3.48718.
- [9] A. Tahir, “Otomatisasi Pengisian Tangki Air dengan Visualisasi Menggunakan Pemrograman Visual Basic,” *J. Ilm. Media Process.*, vol. 10, no. 1, pp. 330–338, 2015.
- [10] A. S. Nugroho and K. Suryopratomo, “Rancang Bangun Sensor Pengukur Level Interface Air dan Minyak pada Mini Plant Separator,” *Teknofisika*, vol. 2, no. 2, pp. 42–54, 2014.