

**Perencanaan Instalasi Penerangan Jalan Umum (PJU) Jalan Tani Subur
Kec. Loa Janan Iilir Samarinda**

Muhammad Dzul kifli, Verra Aullia, Abdurrahim

**Variable Frequency Drive (VFD) Berbasis Arduino Mega 2560 Sebagai
Pengendali Motor Induksi 3 Fase**

Deni Irawan, Prihadi Murdiyat, Rusdiansyah

**Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Air Danau Perumahan Pinang
Bahari**

Rizky Wahyudi, Marson Ady Putra, Lucianus Handri Gunanto

**Evaluasi Pengendalian Kecepatan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa
Menggunakan Variable Speed Drive ATV61 Terhadap Penghematan
Energi Pada PLTGU Tanjung Batu**

Gilang Arrachman, Rusdiansyah, Bustani

**Analisis Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Wilayah
Tenggarong Sistem Mahakam**

Riza Wahyu Hidayat, Muhammad Syahrir Djalil, Ipniansyah

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT karena jurnal PoliGrid volume 4 nomor 2 dapat terbit tepat waktu. Selalu, ucapan terima kasih pertama diberikan para author yang telah mengirimkan artikelnya ke PoliGrid. Ucapan yang sama juga pantas disampaikan pada para mitra bestari (*reviewer*), yang telah bersusah payah meluangkan waktu untuk melakukan proses *review* di sela kesibukannya, serta tim editor atas komitmennya untuk bekerja keras menyelesaikan terbitan ini.

Sebagaimana volume 4 no 1, terbitan volume 4 no 1 ini juga menggunakan format OJS versi 3 yang disimpan dalam server milik pengelola jurnal agar proses penerbitan dapat sepenuhnya diatur oleh tim editor agar kapasitas dan kualitas penerbitan Poligrid dapat meningkat.

Untuk terbitan kali ini, semua artikel masih berasal dari author Politeknik Negeri Samarinda, karena belum ada artikel eksternal yang diterima. Karena itu, diharapkan sumbangan artikel ilmiah dari pihak-pihak lain untuk memperkaya khasanah pengetahuan pembaca.

Seperti biasa, semoga terbitan kali ini semakin membawa banyak manfaat bagi masyarakat yang menekuni teknologi khususnya bidang kelistrikan. Aamiin.

Redaksi

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, ST., MT.
Politeknik Negeri Samarinda
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
- Mitra Bestari : Dr. Ir. Era Purwanto, M. Eng.
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
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 Yudaningsy, M.T.
Universitas Brawijaya Malang
Ir. Nur Alif Mardiyah, M.T.
Universitas Muhammadiyah Malang
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

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DEWAN REDAKSI

DAFTAR ISI

	Halaman
Perancangan Instalasi Penerangan Jalan Umum (PJU) Jalan Tani Subur Kec. Loa Janan Ilir Samarinda Muhammad Dzulkifli, Verra Aullia, Abdurahim	41-51
<i>Variabel Frequency Drive (VFD)</i> berbasis Arduino Mega 2560 Sebagai Pengendali Moyo Induksi 3 Fase Deni Irawan, Prihadi Murdiyat, Rusdiansyah	51-61
Rancang Bangun Alat Monitoring Kualitas Air Danau Perumahan Pinang Bahari Rizky Wahyudi, Marson Ady Putra, Lucianus Handri Gunanto	62-67
Evaluasi Pengendalian kecepatan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan <i>Variable Speed Drive</i> ATV61 Terhadap Penghematan Energi pada PLTGU Tanjung Batu Gilang Arrachman, Rusdiansyah, Bustani	68-74
Analisis Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Wilayah Tenggara Sistem Mahakam Riza Wahyu Hidayat, Muhammad Syahrir Djalil, Ipniansyah	75-81

Perencanaan Instalasi Penerangan Jalan Umum (PJU) Jalan Tani Subur Kec. Loa Janan Iilir Samarinda

Muhammad Dzulkifli¹, Verra Aullia², Abdurrahim³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
verraaulia@polnes.ac.id

Abstrak- Perencanaan sangat penting untuk memudahkan mencapai tujuan instalasi penerangan jalan umum. Instalasi lampu penerangan jalan umum berfungsi sebagai penerangan jalan pada malam hari, sehingga pejalan kaki dan pengendara bisa melihat lebih jelas jalan yang akan dilewati pada saat malam hari. Penerangan jalan umum juga dapat meningkatkan keselamatan, kenyamanan para pengguna jalan. Jalan Tani Subur merupakan jalan yang minim penerangan, sehingga dibutuhkan perencanaan instalasi penerangan jalan. Jalan Tani Subur mempunyai panjang jalan 1.358 meter dan lebar jalan 5 meter. Jenis tiang lampu yang digunakan adalah tiang lampu jenis oktagonallengan tunggal dengan tinggi 11 meter dan dipasang di kiri jalan secara sejajar dengan jarak 40 meter dengan jumlah tiang sebanyak 35 tiang. Pengaman yang digunakan ialah *miniature circuit breaker* (MCB) yang memiliki kapasitas 6 A pengaman utama dengan penghantar NYY 4 x 10 mm², kapasitas 4 A pengaman tiap grup dengan penghantar NYY 2 x 6 mm², dan kapasitas 2 A pengaman tiap tiang lampu dengan penghantar NYM 2 x 1,5 mm². Lampu yang digunakan adalah lampu Light Emitting Diode (LED). Lampu *light emitting diode* (LED) yang digunakan memiliki daya 55 Watt dengan sistem kontrol otomatis dengan menggunakan timer dan *light dependent resistor* (LDR) namun dapat dioperasikan secara manual dengan tujuan sebagai alternatif jika keadaan otomatis terjadi kerusakan atau dalam melakukan perawatan.

Kata kunci : Instalasi penerangan jalan umum, Light Emitting Diode (LED), otomatis, pengaman, penghantar.

I. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari, perencanaan sangat penting untuk memudahkan kita dalam mencapai tujuan atau target tertentu. Pengertian perencanaan sendiri adalah suatu proses yang sudah terkoordinir dalam menentukan langkah, menganalisa ketidakpastian, dan menentukan tujuan yang ingin dicapai kedepannya. Perencanaan selalu menjadi hal yang penting dalam setiap bidang kehidupan manusia, dan salah satunya adalah dibidang kelistrikan.

Seiring berjalannya waktu, listrik menjadi salah satu sumber yang sangat penting dan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia di jaman sekarang ini. Kebutuhan energi listrik terus meningkat sesuai dengan laju pertumbuhan penduduk. Salah satu pemakaian listrik yang paling banyak digunakan masyarakat saat ini adalah sumber penerangan. Penerangan sangat dibutuhkan dikalangan masyarakat, khususnya penerangan jalan umum.

Penerangan jalan umum adalah penerangan yang biasanya dipasang di ruas jalan maupun di tempat tertentu seperti jalan raya, jembatan, taman dan tempat umum lainnya. Penerangan jalan umum diperlukan guna meningkatkan keamanan lalu lintas dan lingkungan, sebagai alat bantu navigasi jalan, memberikan keindahan lingkungan jalan, meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan khususnya pada malam hari.

Bila ada kegiatan di malam hari maka perlu adanya penerangan pada suatu jalan, sehingga mengurangi resiko terjadinya suatu hal yang tidak diinginkan seperti kecelakaan lalu lintas. Sistem penerangan jalan harus direncanakan dengan baik supaya sistem tersebut mampu bekerja dengan efektif dan efisien serta memberi rasa aman dan keselamatan kepada pengguna jalan yang melintas pada Jalan Tani Subur di malam hari.

Jalan Tani Subur termasuk dalam klasifikasi jenis jalan lokal, karena sebagai jalan alternatif untuk penghubung dari jalan utama ke jalan utama yang lainnya. Intensitas jalan tersebut pun cukup ramai dan sering digunakan masyarakat umum dalam berkendara sehari – hari namun pada malam hari jalan tersebut tidak memiliki pencahayaan sehingga mengganggu nyaman dan keamanan dalam berkendara pada jalan tersebut di malam hari.

Berkenaan pentingnya sistem penerangan jalan umum, maka penyusun akan merencanakan instalasi penerangan jalan umum di Jalan Tani Subur. Oleh karena itu diambil judul penelitian “Perencanaan Instalasi Penerangan Jalan Umum (PJU) Jalan Tani Subur Kec. Loa Janan Iilir Samarinda”.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Lampu Penerangan Jalan

Lampu Penerangan jalan adalah lampu yang digunakan untuk penerangan jalan dimalam hari sehingga mempermudah pejalan kaki, pesepeda dan pengendara kendaraan dapat melihat dengan lebih jelas jalan/medan yang akan dilalui pada malam hari, sehingga dapat meningkatkan keselamatan lalu lintas dan keamanan dari para pengguna jalan dari kegiatan aksi kriminal. Atau bagian dari bangunan pelengkap jalan yang dapat diletakkan dipasang dikiri dan dikanan jalan atau ditengah (di bagian median jalan) yang digunakan untuk menerangi jalan maupun lingkungan sekitar jalan yang diperlukan [1]

B. Fungsi Penerangan Jalan Umum

Penerangan jalan umum mempunyai fungsi antara lain [2]:

1. Menciptakan kontras antara subjek dan permukaan jalan.
2. Sebagai alat bantu pengguna jalan.
3. Meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, khususnya pada malam hari.
4. Mendukung keamanan lingkungan.
5. Memberikan keindahan lingkungan jalan.

C. Dasar perencanaan Penerangan Jalan Umum

Dasar-dasar perencanaan penerangan jalan umum adalah [2]:

1. Volume lalu-lintas baik kendaraan maupun lingkungan yang bersinggungan seperti pejalan kaki, pengendara sepeda dan lain-lain.
2. Pemilihan dari jenis dan sebuah kualitas sumber cahaya atau lampu, data fotometrik lampu dan juga lokasi sumber energi listrik.
3. Tingkat permintaan, biaya operasi, biaya perawatan, sehingga desain sistem pencahayaan efisien dan ekonomis.
4. Rencana pembangunan jalan jangka panjang dan pengembangan kawasan sekitarnya.
5. Data kecelakaan dan kerawanan di lokasi.

Beberapa tempat yang akan memerlukan perhatian dalam desain instalasi lampu penerangan jalan umum ialah sebagai berikut [2]:

1. Lebar ruang jalan yang bervariasi dalam suatu ruas jalan.
2. Tempat-tempat di mana kondisi lengkung horizontal (tikungan) tajam.
3. Tempat yang luas seperti persimpangan, interchange, tempat parkir, dll.
4. Jalan-jalan berpohon. Jalur tengah (median) yang sempit, terutama untuk instalasi penerangan lampu di median jalan.
5. Jembatan sempit/panjang, jalan layang dan underpass (terowongan).
6. Tempat-tempat lain di mana lingkungan jalan yang banyak dengan persimpangan jalannya.

D. Klasifikasi Jenis Jalan

Jenis dan jumlah penerangan yang digunakan sebagai penerangan jalan dapat dibagi menjadi beberapa kategori [3]:

1. Jalan Arteri

Merupakan jalan umum untuk perjalanan jarak jauh dan kecepatan rata-rata tinggi. Jalan ini menghubungkan menghubungkan kota jenjang kesatu dengan dengan kota jenjang kedua. Jalan arteri dibagi menjadi jalan arteri primer dan sekunder.

2. Jalan Kolektor

Merupakan jalan umum untuk perjalanan jarak sedang dan kecepatan rata-rata sedang. Jalan ini menghubungkan kota jenjang kedua dengan kota jenjang kedua atau menghubungkan kota jenjang kedua dengan

kota jenjang ketiga. Jalan kolektor dibagi menjadi jalan kolektor primer dan sekunder.

3. Jalan Lokal

Merupakan jalan umum untuk jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah. Jalan lokal dibagi menjadi jalan lokal primer dan sekunder.

4. Jalan Lingkungan

Merupakan jalan umum untuk perjalanan jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah. Jalan lingkungan dibagi menjadi jalan lingkungan primer dan sekunder.

E. Tiang Lampu Jalan

Tiang merupakan komponen yang digunakan untuk menopang lampu. Salah satu jenis tiang yang digunakan untuk lampu jalan adalah tiang galvanis dengan lengan tunggal.

F. Jenis Tiang Lampu Jalan

1. Tiang Lampu Oktagonal

Tiang lampu oktagonal memiliki bentuk tiang 8 sisi. Tiang lampu oktagonal galvanis memiliki berbagai kegunaan dari sarana industri, yang memiliki keunggulan keras, kuat, ringan, tahan panas, dan juga tahan karat dan memiliki tinggi tiang dari 5 – 45 m [4].

2. Tiang Lampu Hexagonal

Tiang lampu hexagonal memiliki bentuk 6 sisi. Tiang hexagonal ini sama seperti tiang oktagonal memiliki berbagai kegunaan, mulai dari sarana olahraga sampai area industri. Namun kekuatannya sendiri tiang lampu hexagonal lebih kuat dari tiang lampu oktagonal karena, bentuk segi 6 dari tiang ini seperti bentuk sarang lebah yang juga mempunyai 6 sisi [4].

3. Tiang Lampu Konvensional/ Bulat

Tiang lampu konvensional adalah tiang lampu yang berbentuk bulat. Kontruksi tiang PJU bulat cenderung lebih solid, sehingga tidak rawan terserang karat atau keropos dan juga memiliki harga yang jauh lebih murah [4].

G. Lampu Light Emitting Diode (LED)

Lampu LED adalah komponen semikonduktor yang mengubah energi listrik menjadi cahaya pada saat mendapatkan arus listrik. Lampu LED memiliki kelebihan untuk menekan biaya listrik menjadi lebih hemat jika dibandingkan dengan jenis lampu lainnya, umur lampu relatif lebih panjang bertahan 2-4 kali lebih lama dari lampu lainnya [5].

H. Armatur

Armatur adalah rumah lampu yang berfungsi untuk memancarkan cahaya dari lampu. Armatur dilengkapi dengan alat pelindung untuk melindungi lampu, menurut klasifikasi SNI Indeks Proteksi (IP) memiliki 2 angka. Angka pertama menyatakan melindungi lampu dari debu dan angka kedua menyatakan pelindung terhadap air dan juga pada peraturan menteri perhubungan, bahwa armatur lampu harus tahan terhadap hujan, debu, uap air dan serangga. Sistem perlindungan yang baik adalah semakin tinggi indeks perlindungan semakin baik standar pelindungannya. Pada

umumnya indeks proteksi yang sering di pakai pada lampu jalan adalah IP 66 [2].

I. Panel Lampu Penerangan

Panel adalah kombinasi dari satu atau lebih peralatan pengsakelaran tegangan rendah dengan peralatan kontrol pengaman dan pengatur yang saling berhubungan yang seluruhnya dirancang lengkap dengan sistem pengkabelan listrik dan hubungan mekanik serta bagian kerangka lengkap dan tertutup. Panel kontrol penerangan jalan umum yang dilengkapi dengan kontaktor dan *time switch*, dengan tutup berengsel yang mudah dibuka. Semua panel yang digunakan untuk instalasi penerangan jalan umum harus memenuhi persyaratan standar penerangan jalan umum. Panel dalam bidang kelistrikan sangat besar artinya karena merupakan tempat kedudukan peralatan kontrol dan tempat menghubungkan daya listrik dari sumber tegangan ke alat pemakai atau beban [7].

J. Pengaman

Pengaman adalah suatu peralatan listrik yang digunakan untuk melindungi komponen listrik dari kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan seperti arus beban lebih ataupun arus hubung singkat [8].

K. Miniatur Circuit Breaker

Miniatur Circuit Breaker (MCB) adalah suatu komponen instalasi tenaga listrik yang berfungsi memutus dan menyambung rangkaian listrik baik dalam keadaan normal atau saat terjadi beban lebih dan hubung singkat [8].

Pada MCB terdapat dua jenis pengaman yaitu secara *thermis* dan *elektromagnetis*, pengaman *thermis* berfungsi untuk mengamankan arus beban lebih sedangkan pengaman *elektromagnetis* berfungsi untuk mengamankan jika terjadi hubung singkat [8].

MCB dibuat hanya memiliki satu kutub untuk pengaman satu Phase, sedangkan untuk pengaman tiga Phase biasanya memiliki tiga kutub dengan tuas yang disatukan, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu kutub maka kutub yang lainnya juga akan ikut terputus.

Untuk menentukan kapasitas MCB dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [9] :

Untuk persamaan pengaman satu Phase menggunakan persamaan 1 dibawah ini:

$$P = V_{L-N} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(1)$$

Untuk persamaan pengaman tiga Phase menggunakan persamaan 2 dibawah ini:

$$P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- I* : Arus (A)
- P* : Daya Aktif (W)
- V_{L-N}* : Tegangan Line to Netral (V)
- V_{L-L}* : Tegangan Line to Line (V)
- cos φ* : Faktor Daya

L. Penghantar

Penghantar adalah bahan yang digunakan untuk menghubungkan suatu titik ketitik yang lain. Penghantar yang

digunakan untuk instalasi listrik adalah berupa kawat berisolasi atau kabel. Jenis penghantar yang biasa digunakan adalah tembaga dan alumunium [11].

M. Kabel NYAF

Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Kabel ini hanya memiliki satu inti kabel berupa serabut. Isolasinya tipis dan juga diberi warna berbeda. Kabel ini direncanakan dan direkomendasikan untuk instalasi dalam kabel kotak distribusi pipa atau di dalam duct. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi. Kabel jenis ini sangat cocok untuk tempat yang mempunyai belokan – belokan tajam [11].

N. Kabel NYM

Kabel NYM adalah kabel yang memiliki beberapa penghantar dan isolasi luar sebagai pelindung. Kabel jenis ini mempunyai isolasi luar jenis PVC berwarna putih (cara mengenalinya bisa dengan melihat warna yang khas putih ini) dengan selubung karet di dalamnya dan berinti kawat tunggal yang jumlahnya antara 2 sampai 4 inti dan masing-masing inti mempunyai isolasi PVC dengan warna berbeda.[11].

O. Kabel NYFGbY

Penghantar ini terdiri dari penghantar tembaga tanpa lapisan timah putih, dengan isolasi PVC. Jumlah inti kabel kebanyakan tiga atau empat dan kadang-kadang dua. Inti kabel ini dibelit menjadi satu, kemudian diberi lapisan pembungkus inti dari karet atau plastik lunak, dan perisai kawat baja pipih berlapis seng. Perisai kawat baja ini diikat dengan spiral pita baja berlapis seng [11].

P. Kuat Hantar Arus (KHA)

Kemampuan hantar arus merupakan arus maksimum yang dapat dialirkan dengan kontinu oleh penghantar pada keadaan tertentu tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang melampaui nilai tertentu.

Untuk menentukan luas penampang penghantar yang digunakan maka harus menentukan arus nominal yang melewati suatu penghantar. Dengan mengetahui kemampuan hantar arus dapat ditentukan penghantar dengan menggunakan persamaan rumus seperti di bawah ini [9] :

$$KHA = 125\% \times I_n \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- KHA* : Kemampuan Hantar Arus
- I_n* : Arus Nominal

Dalam menentukan luas penampang penghantar harus memperhatikan jatuh tegangan (drop voltage) [9].

Untuk persamaan satu phase menggunakan rumus :

Jatuh tegangan dalam bentuk (%)

$$\Delta u = \frac{\Delta v}{V_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(4)$$

Jatuh tegangan dalam bentuk (Volt)

$$\Delta v = \frac{L \times I \times 2}{A \times \sigma} \dots\dots\dots(5)$$

Menentukan luas penampang

$$A = \frac{L \times I \times 2}{\Delta V \times \sigma} [mm^2] \dots\dots\dots(6)$$

Untuk persamaan tiga phase menggunakan rumus :

Jatuh tegangan dalam bentuk (%)

$$\Delta u = \frac{\Delta v}{V_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(7)$$

Jatuh tegangan dalam bentuk (Volt)

$$\Delta v = \frac{\sqrt{3} \times L \times I \times \cos \varphi}{A \times \sigma} \dots\dots\dots(8)$$

Menentukan luas penampang

$$A = \frac{\sqrt{3} \times L \times I \times \cos \varphi}{\Delta V \times \sigma} [mm^2] \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

- A = Luas penampang (mm²)
- L = Panjang Jalan (m)
- I = Arus Beban (A)
- ΔV = Jatuh Tegangan (V)
- Δu = Jatuh Tegangan (%)
- V_s = Tegangan Sumber (V)
- σ = Konduktivitas penghanta, Tembaga 56, Aluminium 32,7 (m/Ω mm²)

Q. Sistem Otomatis Penerangan

Sistem otomatis penerangan adalah cara atau proses suatu alat yang dibuat untuk melakukan dan mengatur pekerjaan secara otomatis agar sesuai dengan rencana dan harapan sehingga memudahkan suatu pekerjaan yang biasanya dilakukan oleh manusia [13].

R. Kontaktor

Magnetik kontaktor adalah sakelar listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Prinsip kerjanya didalam kontaktor terdapat lilitan yang akan menjadi magnet bila di aliri listrik, magnet tersebut akan menarik kontak yang berada di dekatnya sehingga kontak yang semula terbuka (NO) akan menjadi tertutup sedangkan kontak yang awalnya tertutup (NC) akan menjadi terbuka. Magnetik kontaktor terdiri dari kontak utama dan kotak bantu. Kontak utama digunakan untuk sumber arus listrik sedangkan kontak bantu digunakan untuk rangkaian pengendali [10].

$$KHA \text{ Kontaktor} = I_n \times 115\% \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

- I_n : Arus Nominal (A)

S. Timer

Timer sering disebut juga relay timer atau relay penunda batas waktu banyak digunakan dalam instalasi yang membutuhkan pengaturan waktu secara otomatis. Fungsi dari peralatan ini adalah sebagai pengatur waktu bagi peralatan yang dikendalikannya. Timer ini dimaksudkan untuk mengatur waktu hidup atau mati dari kontaktor dalam delay waktu tertentu.

T. Efikasi Cahaya

Efikasi cahaya terhitung adalah perbandingan keluaran lumen terhitung dengan pemakaian daya terhitung dinyatakan dalam lumen [14].

$$K = \frac{\Phi}{P} \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan :

- K = Efikasi Cahaya (Lumen/watt)
- Φ = Flux Cahaya (Lumen)
- P = Daya Listrik (Watt)

U. Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya (I) dengan satuan kandela (Cd) adalah arus cahaya dalam lumen yang diemisikan setiap sudut ruang (pada arah tertentu) oleh sebuah sumber cahaya. Intensitas cahaya dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini [14].

$$\Phi = I \times \omega \dots\dots\dots(12)$$

$$\omega = 4\pi \dots\dots\dots(13)$$

$$I = \frac{K \times P}{\omega} \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan :

- I = Intensitas Cahaya (Cd)
- Φ = Fluks Cahaya (lumen)
- ω = Sudut ruangan (steradian)
- K = Efikasi cahaya (Lumen/watt)
- P = Daya

V. Intensitas Penerangan

Flux cahaya yang mengenai bidang yang diterangi seluas m² disebut dengan intensitas penerangan (E) dalam satuan lux, jadi 1 lux = 1 lumen per m². Bila suatu bidang dengan luas A m² diterangi dengan flux cahaya, maka rata – rata intensitas penerangan itu sama dengan [14]:

$$E_{rata-rata} = \frac{\Phi}{A} \text{ lux} \dots\dots\dots(15)$$

Keterangan :

- E_{rata-rata} = Intensitas Cahaya
- Φ = flux Cahaya (lumen)
- A = Luas bidang yang terkena cahaya

W. Iluminasi

Iluminasi adalah intensitas penerangan atau kekuatan penerangan yang disebut tingkat pencahayaan suatu bidang [14]:

Kuat Penerangan pada titik I :

$$E = \frac{I}{h^2} \dots\dots\dots(16)$$

Kuat Penerangan pada titik (Eq) :

$$r = \sqrt{h^2 + q^2} \dots\dots\dots(17)$$

$$\cos \theta = \frac{h}{r} \dots\dots\dots(18)$$

$$E = \frac{I}{r^2} \times \cos \theta \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan :

- I = Intensitas cahaya (cd)
- q = Jarak horizontal lampu dengan titik pencahayaan
- h = Jarak dari sumber cahaya ke titik kerja (m)
- r = Jarak lampu ketengah-tengah jalan
- E = Kuat penerangan (Lux)

X. Menentukan Jumlah Titik Lampu

Jumlah titik lampu yang dibutuhkan dihitung menggunakan rumus [1].

$$T = \frac{L}{S} + 1 \dots\dots\dots(20)$$

Keterangan :

- T = Jumlah titik lampu
- L = Panjang jalan (m)

$$S = \text{Jarak tiang ke tiang (m)}$$

Ada banyak jenis penempatan lampu jalan, baik untuk penggunaan dua sisi atau satu sisi jalan, dan tentu saja mempengaruhi penempatan tiang yang akan dipasang. Ada beberapa cara untuk menempatkan lampu penerangan jalan yaitu [2] :

1. Dikiri/kanan jalan.
2. Dikiri dan kanan jalan secara selang-seling.
3. Dikiri dan kanan jalan secara berhadapan.
4. Ditengah median jalan.
5. Kombinasi.

Y. Menentukan Sudut Stang Ornamen

Untuk menentukan sudut kemiringan stang ornamen, agar titik cahaya penerangan maksimal menerangi badan jalan maka dapat dilihat pada rumus di bawah ini dan Penentuan sudut kemiringan stang ornamen dapat dilihat pada Gambar 7 [1].

$$r = \sqrt{h^2 + q^2} \dots\dots\dots(21)$$

sehingga :

$$\cos \theta = \frac{h}{r} \dots\dots\dots(22)$$

Keterangan :

- r : Jarak lampu ketengah-tengah jalan
- h : Jarak dari sumber cahaya ke titik kerja (m)
- q : jarak horizontal lampu dengan titik pencahayaan
- H : Tiang tiang (meter)
- W1 : Tiang ke ujung lampu
- W2 : Jarak horizontal lampu ke ujung jalan

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu Tempat Perencanaan

Tempat perencanaan yang akan direncanakan oleh penulis untuk instalasi penerangan jalan umum adalah Jalan Tani Subur Kec. Loa Janan Ilir, karena masih minimnya penerangan pada jalan tersebut, sementara pada jalan ini merupakan salah satu jalan alternatif untuk penghubung dari jalan utama ke jalan utama yang lainnya, maka dari itu jalan ini perlu adanya penerangan yang optimal agar membantu pengguna jalan untuk mengetahui dan dapat melihat kondisi jalan dengan jelas dan juga hal ini sangat berkaitan dengan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan agar terhindar dari kecelakaan ataupun tindakan kriminal yang terjadi pada jalan tersebut. Waktu perencanaan akan dilaksanakan pada bulan Januari 2023 dengan bulan Juli 2023.

B. Jenis Sumber Data

Data – data yang digunakan dalam perencanaan ini adalah data yang berhubungan dengan perencanaan penerangan lampu jalan, seperti :

1. Buku – buku atau referensi pendukung lain melalui website yang berkaitan dengan teori penerangan jalan umum.
2. Panjang dan lebar Jalan Tani Subur yang diukur dengan *measure wheel* dan roll meter.
3. Katalog yaitu meliputi jenis pengaman, jenis kabel,

lampu penerangan *Light Emiting Diode* (LED), komponen kontrol dan lain – lain.

4. Dokumentasi pada lokasi Jalan Tani Subur menggunakan kamera *handphone* dan *Lay Out* lokasi jalan berdasarkan *Google Earth*.

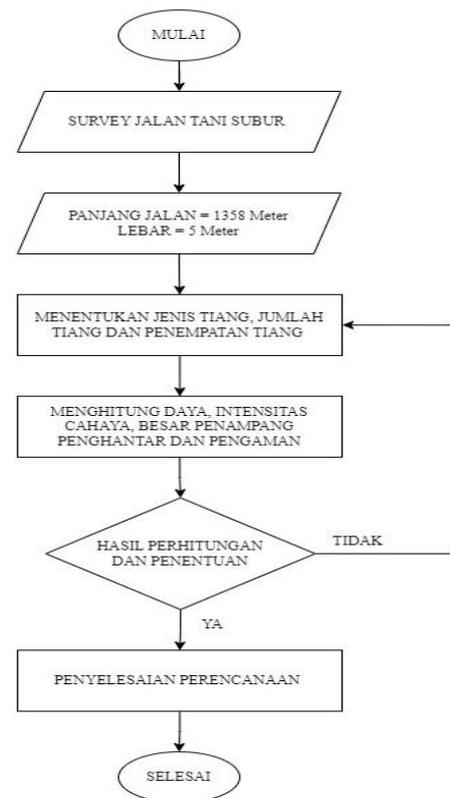
C. Metode

Dalam penyusunan penelitian ini, metode yang digunakan adalah :

1. Metode Observasi Langsung
Melakukan pemantauan langsung ke lapangan untuk meninjau objek yang akan diteliti serta didokumentasikan dan dapat digunakan sebagai bahan untuk wawancara.
2. Metode Wawancara
Melakukan diskusi tanya jawab dengan masyarakat sekitar seperti lurah dan RT.
3. Metode Literatur
Metode pengambilan data dengan cara membaca referensi baik berupa buku maupun situs internet yang berkaitan dengan masalah yang dibahas.
4. Dokumentasi
Metode yang dilakukan dengan gambar jalan sebagai gambaran dalam pembuatan perencanaan penerangan jalan umum.

D. Langkah-Langkah Perencanaan (Flowchart)

Proses perencanaan instalasi penerangan jalan umum Jalan Tani Subur Kecamatan Loa Janan Ilir, Samarinda dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart perencanaan instalasi Penerangan Jalan Umum (PJU)

E. Data Panjang Jalan

Proses pengukuran panjang Jalan Tani Subur menggunakan *measure wheel* dengan pengukuran awal dari *measure wheel* yaitu menunjukkan nilai 0000 meter dan setelah melakukan pengukuran dengan *measure wheel* menunjukkan nilai 1.358 meter. Proses pengukuran Jalan Tani Subur dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Pengukuran awal panjang Jalan Tani Subur dari *measure wheel* menunjukkan nilai 0000 meter



Gambar 3. Pengukuran akhir panjang Jalan Tani Subur dari *measure wheel* menunjukkan nilai 1.358 meter

F. Data Lebar Jalan

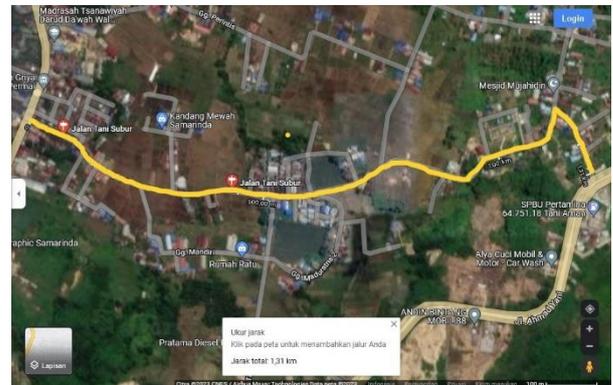
Jalan Tani Subur memiliki lebar jalan 5.2 meter apabila ditinjau dari alat ukur Roll meter dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengukuran lebar jalan dari alat ukur Roll meter menunjukkan nilai 5.2 meter

G. Denah Lokasi Jalan

Denah Lokasi perencanaan pada Jalan Tani Subur, pada Gambar 5 Denah lokasi Jalan Tani Subur berupa foto dari *Google Earth*.



Gambar 5. Foto denah lokasi Jalan Tani Subur dari *Google Earth*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Instalasi PJU Jalan Tani Subur

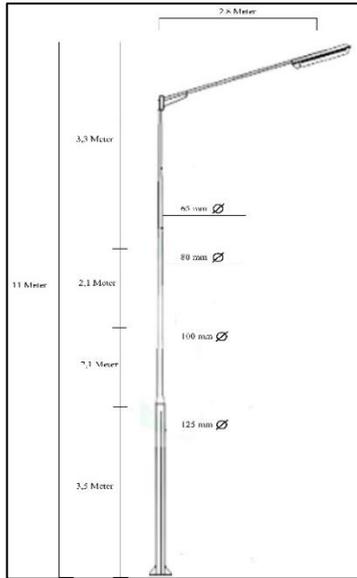
Dalam merencanakan suatu penerangan lampu jalan, aspek yang perlu diperhatikan adalah faktor lingkungan disekitar jalan tersebut. Jalan yang akan direncanakan instalasi penerangan lampu jalan ini memiliki panjang keseluruhan 1358 meter dan lebar Jalan Tani Subur adalah 5,2 meter dilakukan pembulatan menjadi 5 meter dan Jalan Tani Subur termasuk jalan kelas lokal.

Berdasarkan masalah diatas penulis dapat mempertimbangkan dalam perencanaan penerangan lampu di Jalan Tani Subur. Dari faktor lingkungan tersebut maka dapat menjadikan acuan dalam memilih komponen yang tepat untuk digunakan pada perencanaan instalasi penerangan lampu Jalan Tani Subur ini seperti pemilihan jenis lampu tiang dan panel PJU.

B. Menentukan Jenis Dan Penempatan Tiang Lampu

Jalan Tani Subur adalah jalan dengan tipikal satu jalur dua arah. Jadi pada perencanaan ini jenis tiang yang akan digunakan adalah tiang tunggal dengan tinggi 11 meter.

Pada perencanaan penerangan lampu Jalan Tani Subur ini tiang yang digunakan memiliki tinggi 11 meter dan panjang lengan tiang sebesar 2,8 meter. Pada perencanaan ini jenis tiang yang akan digunakan adalah tiang galvanis jenis oktagon dengan lengan tunggal dikarenakan memiliki keunggulan keras, kuat, ringan, tahan panas, dan juga tahan karat. Penempatan tiang lampu jalan akan dipasang dibagian kiri jalan searah dengan trafo dan panel PJU dan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tiang lengan tunggal

C. Menentukan Sudut Stang Ornamen

Pada perencanaan jalan maka harus menentukan kemiringan stang ornamen agar pencahayaannya mengarah ke tengah jalan, maka harus mengetahui jarak tengah jalan. Untuk mengetahui sudut stang ornamen maka menggunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$r = \sqrt{h^2 + q^2}$$

$$r = \sqrt{11^2 + 0,7^2}$$

$$r = 11,02$$

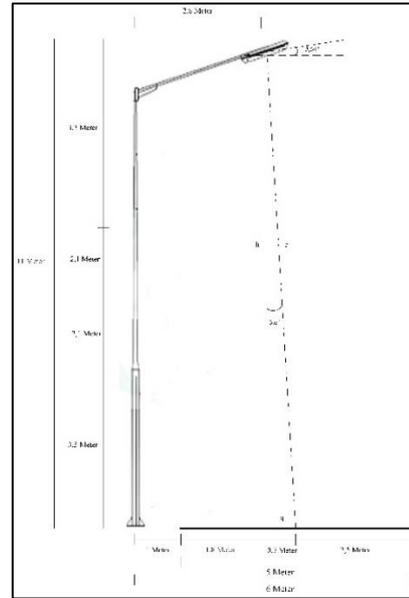
Sehingga :

$$\cos \theta = \frac{h}{r}$$

$$\cos \theta = \frac{11}{11,02} = 0,998$$

$$\cos \theta^{-1} = 3,64^\circ$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas sudut stang ornament tepat dibawah lampu yang mengarah ketengah jalan adalah 3,64 ° dan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sudut stang ornamen

D. Menentukan Intensitas Cahaya

Untuk menentukan intensitas cahaya terlebih dahulu mengetahui jarak sumber cahaya ke titik kerja . Sesuai dengan persyaratan SNI 7391:2008 dimana untuk jalan kelas lokal iluminansi cahaya rata – ratanya sebesar 2 – 5 lux. Intensitas cahaya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$E = \frac{I}{h^2}$$

$$5 = \frac{I}{11^2}$$

$$I = 5 \times 11^2 = 605 \text{ candela (Cd)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan maka besaran intensitas cahaya dengan iluminasi 5 lux adalah 605 Candela.

E. Menentukan Flux Cahaya

Langkah berikutnya menentukan flux cahaya. Untuk menentukan besarnya Flux cahaya dapat menggunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$605 = \frac{\Phi}{4\pi}$$

$$\Phi = 605 \times 4 \times 3,14 = 7.598,8$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, besar fluks cahaya yang diperoleh adalah 7.598,8 lumen.

F. Menentukan Daya Lampu

Setelah mendapatkan nilai flux cahaya kemudian dapat menentukan besar daya lampu yang akan digunakan dengan menggunakan persamaan rumus efikasi cahaya dan untuk efikasi rata – rata (lumen/watt) lampu *Light Emitting Diode* (LED) yang berkisar 70–150 lumen/watt dan untuk perhitungan dibawah ini menggunakan 140 lumen/watt :

$$K = \frac{\Phi}{P}$$

$$140 = \frac{7.598,8}{P}$$

$$P = \frac{7.598,8}{140} = 54,27 \text{ watt}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diatas maka didapatkan hasil perhitungan daya lampu sebesar 54,27 watt, karena daya lampu tersebut tidak ada dipasaran, maka penulis menggunakan lampu *Light Emitting Diode* (LED) 55 watt yang sesuai dengan katalog dipasaran.

G. Menentukan Jumlah Tiang Lampu

Dalam perencanaan instalasi penerangan lampu jalan tidak terlepas dari jumlah tiang lampu yang digunakan. Banyaknya tiang lampu yang akan digunakan dapat ditentukan dari panjang jalan dan jarak antar tiang yang akan dipasang. Jalan Tani Subur ini memiliki panjang jalan 1358 meter, memiliki lebar jalan 5 meter dengan jarak antar tiang 40 meter. Untuk menentukan jumlah tiang dapat menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$T = \frac{L}{S} + 1$$

$$T = \frac{1358}{40} + 1$$

$$T = 33,9 \text{ Dilakukan pembulatan } (34) + 1 = 35$$

Dilakukan penambahan 1 tiang berguna untuk pada persimpangan pada ujung titik jalan atau pada tikungan. Tiang yang digunakan pada perencanaan Jalan Tani Subur berjumlah 35 tiang tiang dengan lengan tunggal yang pada setiap tiangnya terdapat sebuah lampu.

H. Menentukan Intensitas Penerangan

Dalam menentukan intensitas penerangan terlebih dahulu harus mengetahui tinggi sumber cahaya terhadap jalan, lebar jalan, jarak tiang ke ujung lampu, jarak horizontal lampu ke ujung jalan, dan mengetahui jarak antar tiang lampu jalan setelah semuanya diketahui maka dapat menentukan intensitas penerangan sebagai berikut :

$$r = \sqrt{h^2 + q^2}$$

$$r = \sqrt{11^2 + 0^2}$$

$$r = \sqrt{121} = 11$$

Menentukan E:

$$E = \frac{I}{r^2} \times \frac{h}{r}$$

$$E = \frac{605}{11^2} \times \frac{11}{11}$$

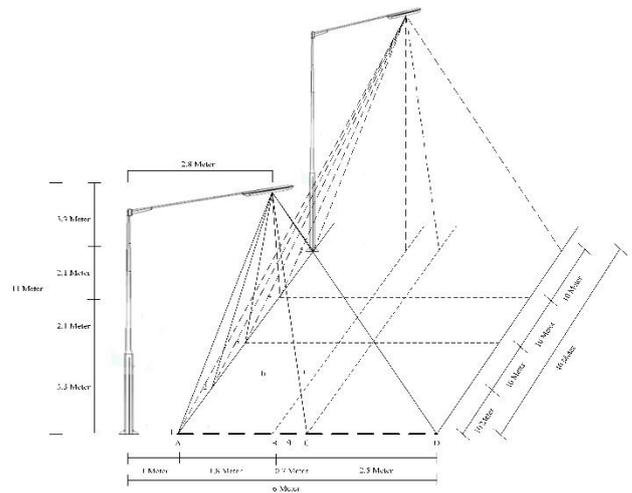
$$E = 5 \text{ Lux}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan lux tepat dibawah lampu sebesar 5 lux dan untuk kuat penerangan pada titik 0 meter atau titik pada jatuhnya lampu (B). selanjutnya dapat dilihat dalam Tabel 1 dibawah ini :

TABEL 1
HASIL PERHITUNGAN KUAT PENERANGAN

Titik Pencahayaannya (Lux)	Jarak Antar Tiang 40 Meter				
	0	10	20	30	40
A = 1,8 m	4,805 Lux	1,981 Lux	0,554 Lux	0,203 Lux	0,092 Lux
B = 0 m	5,000 Lux	2,025 Lux	0,560 Lux	0,204 Lux	0,093 Lux
C = 0,7 m	4,969 Lux	2,018 Lux	0,558 Lux	0,203 Lux	0,093 Lux
D = 3,2 m	4,426 Lux	1,892 Lux	0,543 Lux	0,203 Lux	0,092 Lux

Di mana untuk menghitung kuat penerangan dimulai dari titik B (0) tepat dibawah lampu, kemudian diukur dari titik B (0) ke titik A bahu jalan didapatkan panjang 1,8 meter, kemudian dari titik B (0) ke titik C (tengah jalan) didapatkan 0,7 meter dan titik B ketitik D (ujung jalan) didapatkan panjang 3,2 meter. Jarak intensitas penerangan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Jarak intensitas penerangan

I. Menentukan Jumlah Beban Tiap Phase

Dari Perhitungan menentukan jumlah titik lampu, maka dapat menghitung jumlah beban tiap phase dengan menjumlah total daya lampu yang digunakan.

$$P_{\text{lampu}} = 55 \text{ watt}$$

$$\text{Phase (R)} = 55 \times 12 = 660 \text{ watt}$$

$$\text{Phase (S)} = 55 \times 12 = 660 \text{ watt}$$

$$\text{Phase (T)} = 55 \times 11 = 605 \text{ watt}$$

$$\text{Total beban tiap phase} = 1925 \text{ watt}$$

J. Menentukan Pengaman Utama

Untuk menentukan pengaman utama PJU pada Jalan Tani Subur rencana harus mengetahui jenis pengaman yang digunakan. Dimana pengaman utama yang akan digunakan adalah MCB 3 Phase, maka dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times VL - L \times \cos \phi}$$

$$I_n = \frac{1925}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,9}$$

$$I_n = 3,25 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas arus nominal yang didapat adalah 3,25 A, maka pengaman utama yang digunakan pada perencanaan penerangan Jalan Tani Subur adalah MCB 3 Phase sebesar 6 A.

K. Menentukan Pengaman Tiap Phase

Setelah menentukan pengaman utama selanjutnya menentukan pengaman tiap phase. Untuk menentukan pengaman tiap phase perlu diketahui jumlah beban yang digunakan setiap phase. Untuk menentukan besar pengaman

yang digunakan tiap phase (R,S dan T) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos \phi}$$

$$I_n = \frac{660}{220 \times 0,9}$$

$$I_n = 3,33 \text{ A}$$

Sehingga berdasarkan hasil perhitungan diatas maka didapat arus nominal sebesar 3,33 A maka pengaman yang digunakan adalah MCB 4 A.

L. Menentukan Pengaman Tiap Tiang

Setelah menentukan pengaman pada setiap phase selanjutnya menentukan pengaman tiap tiang. Untuk menentukan pengaman tiap tiang perlu diketahui berapa besar daya lampu yang digunakan pada setiap tiang. Untuk menentukan besar pengaman yang digunakan tiap tiang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos \phi}$$

$$I_n = \frac{55}{220 \times 0,9}$$

$$I_n = 0,27 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka arus nominal pengaman tiap tiang sebesar 0,27 A. Maka pengaman yang digunakan tiap tiang adalah 2 A.

M. Menentukan Luas Penampang Kabel Utama

Dalam menentukan luas penampang utama yaitu dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$KHA = 125\% \times I_n \text{ (Arus Nominal)}$$

$$KHA = 125\% \times 3,25$$

$$KHA = 4,06 \text{ A}$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan diatas Kemampuan Hantar Arus (KHA) yang didapat adalah 4,06 A, karena luas penampang utama harus lebih besar dari luas penampang tiap grup, maka luas penampang kabel yang digunakan adalah kabel NYFGbY 4 x 10 mm²

N. Menentukan Luas Penampang Kabel Tiap Phase

Dalam menentukan luas penampang penghantar tiap phase dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$A = \frac{L \times I \times 2}{\frac{\Delta V \times \sigma}{1358 \times 3,33 \times 2}}$$

$$A = \frac{22 \times 56}{1358 \times 3,33 \times 2}$$

$$A = 7,34 \text{ mm}^2 \text{ Menyesuaikan Tabel Penampang} = 6 \text{ mm}^2$$

$$\Delta v = \frac{L \times I}{A \times \sigma \times 2}$$

$$\Delta v = \frac{1358 \times 3,33 \times 2}{7,34 \times 56}$$

$$\Delta v = 22 \text{ V}$$

$$\Delta u = \frac{\Delta v}{V_s} \times 100 \%$$

$$\Delta u = \frac{22}{220} \times 100 \% = 10 \%$$

Berdasarkan perhitungan diatas, Maka kabel yang akan digunakan adalah NYFGbY 2 x 6 mm², dengan drop tegangan sebesar 10 %.

O. Menentukan Luas Penampang Kabel Tiap Grup

Submitted: 29/09/2023; Revised: 20/11/2023;
Accepted: 23/11/2023; Online first: 22/11/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrd.v4i2.17>

Dalam menentukan luas penampang kabel tiap tiang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$KHA = 125\% \times I_n \text{ (Arus Nominal)}$$

$$KHA = 125\% \times 0,27$$

$$KHA = 0,33 \text{ A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas KHA luas penampang penghantar didapat 0,33 A, maka kabel yang digunakan tiap tiang adalah jenis kabel NYM 2 x 1,5 mm².

P. Menentukan Kapasitas Kontaktor

Untuk menentukan kapasitas kontaktor yang akan digunakan pada rangkaian otomatis pada panel instalasi penerangan lampu jalan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I = I_n \times 115\%$$

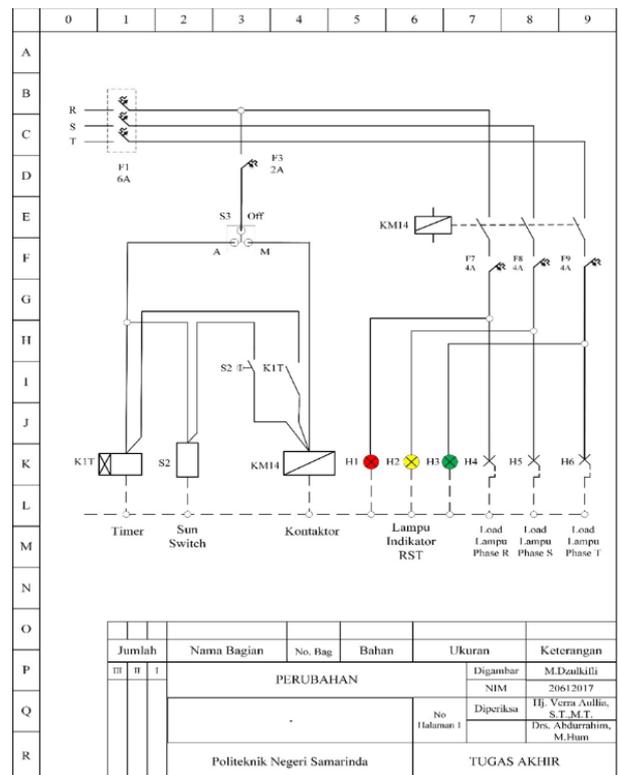
$$I = 3,25 \times 115\%$$

$$I = 3,73 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka kontaktor yang akan digunakan pada instalasi penerangan jalan umum ialah kontaktor dengan kapasitas 9 A.

Q. Menentukan Rangkaian Kontrol

Pada perencanaan instalasi penerangan pada Jalan Tani Subur, menggunakan sistem otomatis dengan Timer dan *Light Dependent Resistor* (LDR). Adapun untuk rangkaian kontrol dan wiring rangkaian kontrol dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian kontrol

R. Prinsip Kerja Rangkaian Kontrol

Pada rangkaian ini menggunakan Timer sebagai sistem otomatisnya dan memiliki *selector switch* yang mempunyai 3 posisi yaitu Off, Otomatis dan Manual.

1. Posisi Off

Pada posisi *selector switch* dalam keadaan off, beban lampu jalan tidak akan menyala karena kontaktor tidak mendapatkan arus dari sumber sehingga koil pada kontaktor tidak dapat terhubung. Posisi ini hanya digunakan ketika adanya perawatan dan perbaikan.

2. Posisi Otomatis

Pada posisi *selector switch* dalam keadaan otomatis, beban lampu beroperasi sesuai dengan pengaturan waktu pada Timer dan *Light Dependent Resistor* (LDR), Untuk Timer waktu nyala lampu diatur mulai pukul 18.00 sampai pukul 06.00, anak kontak Timer akan berada pada posisi menutup (lampu menyala) selama 12 jam dan akan membuka (lampu mati) selama 12 jam. Apabila telah sampai waktu yang telah ditentukan untuk lampu menyala, Timer akan mengalirkan arus listrik menuju koil kontaktor yang akan membuat anak kontak dari kontaktor yang awalnya berada di posisi Normally Open (NO) berubah ke posisi Normally Close (NC) dan arus listrik akan mengalir ke beban lampu jalan yang akan membuat lampu jalan menyala dan apabila telah sampai waktu yang telah ditentukan untuk lampu mati, Timer akan memutuskan arus listrik menuju koil kontaktor yang akan membuat anak kontak dari kontaktor yang awalnya berada di posisi Normally Close (NC) berubah ke posisi Normally Open (NO) dan arus listrik akan terputus ke beban lampu jalan yang akan membuat lampu jalan mati. Untuk *Light Dependent Resistor* (LDR) akan bekerja pada saat keadaan mulai gelap dan akan langsung mengalirkan arus listrik menuju koil kontaktor dan akan membuat anak kontaktor bekerja yang akan mengalirkan arus listrik pada beban lampu jalan yang membuat lampu menyala dan pada saat keadaan terang *Light Dependent Resistor* (LDR) akan memutuskan arus listrik yang mengalir menuju koil kontaktor yang akan membuat anak kontaktor tidak bekerja dan memutuskan arus listrik pada beban lampu jalan yang membuat lampu jalan mati.

3. Posisi Manual

Pada posisi *selector switch* dalam keadaan manual arus listrik akan langsung masuk ke koil kontaktor yang membuat anak kontak dari kontaktor yang awalnya berada di posisi Normally Open (NO) berubah ke posisi Normally Close (NC) dan arus listrik akan mengalir ke beban lampu jalan yang akan membuat lampu jalan menyala. Posisi manual hanya akan digunakan ketika Timer dan *Light Dependent Resistor* (LDR) tidak berfungsi dengan baik sehingga lampu jalan dapat tetap dihidupkan.

Jenis lampu yang digunakan pada instalasi penerangan jalan umum di Jalan Tani Subur adalah lampu *Light Emitting Diode* (LED) dengan daya 55 watt dan memiliki lumen output sebesar 7.500 lumen. Total tiang yang akan dipasang pada Jalan Tani Subur sebanyak 35 tiang dengan lengan tunggal dan terdapat 1 buah lampu disetiap tiangnya yang akan dipasang pada sisi kiri jalan dengan jumlah total daya sebesar 1.925 watt.

Perencanaan instalasi penerangan lampu Jalan Tani Subur menggunakan kabel NYFGbY $4 \times 10 \text{ mm}^2$ sebagai penghantar utama, kabel NYFGbY $2 \times 6 \text{ mm}^2$ sebagai penghantar percabangan tiap phase dan kabel NYM $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ sebagai kabel penghantar pada beban lampu *Light Emitting Diode* (LED).

Pada pengamanan utama menggunakan MCB 3 phase 6 A, pada pengamanan setiap phase menggunakan MCB 1 phase 4 A, dan pada pengamanan tiap tiang lampu menggunakan MCB 1 phase 2 A.

Perencanaan instalasi penerangan pada Jalan Tani Subur dalam pengoperasian lampunya menggunakan sistem otomatis, manual, dan off. Pada sistem otomatis menggunakan timer dan *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk mengoperasikan nyala dan padamnya lampu jalan. Pada sistem manual digunakan hanya pada saat Timer dan *Light Dependent Resistor* (LDR) tidak bisa digunakan dan posisi off digunakan pada saat pemeliharaan atau perbaikan.

B. Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian ini, penulis dapat menyampaikan kepada pembaca yang ingin mengembangkan penelitian ini :

1. Sebelum merencanakan penerangan lampu jalan harus terlebih dahulu mengetahui bagaimana medan lokasi pada jalan yang akan direncanakan.
2. Dalam merencanakan instalasi penerangan jalan umum harus mengetahui dan memerlukan pengetahuan dasar tentang penerangan jalan umum seperti penentuan jenis lampu dan armatur, menentukan jarak antar tiang dan tinggi tiang, pengamanan dan penghantar yang akan digunakan serta mengetahui kerja dari sistem otomatis yang akan digunakan.
3. Selalu melakukan pemeliharaan dan perawatan lampu jalan secara rutin dan teratur untuk mencegah terjadinya kerusakan pada komponen dan menjamin penerangan jalan umum dapat beroperasi secara maksimal.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut :

Jalan Tani Subur memiliki panjang 1358 meter dan lebar jalan sebesar 5 meter. Jalan Tani Subur termasuk jalan lokal.

Perencanaan instalasi penerangan lampu pada Jalan Tani Subur menggunakan tiang besi jenis oktagon lengan tunggal dengan tinggi tiang 11 meter dan panjang lengan 2,8 meter dengan sudut stang ornamen sebesar $3,64^\circ$.

REFERENSI

- [1] A. Effendi dan A. Suryana, "Evaluasi sistem pencahayaan lampu jalan ke kecamatan sungai bahar," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 2, no. 2, pp. 86-94, 2013.
- [2] B. S. Nasional, *Spesifikasi Penerangan Jalan Di Kawasan Perkotaan (Standar Nasional Indonesia 7391 :2008)*, SNI 73912008, pp. 1-52, 2008.
- [3] N. Shamin dan N. A. K. Demak, "Evaluasi tingkat penerangan jalan umum (PJU) di kota Gorontalo," *Radial*, vol. 7, no. 1, pp. 44-61, 2018.
- [4] R. R. Bunahri, "Analisis perbandingan ekonomis penggunaan penerangan jalan umum hexagonal dengan penerangan jalan umum konvensional di Bandar Udara Djalaluddin Gorontalo," *Sky East*:

- Education of Aviation Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 68–79, 2023.
- [5] H. Nayomi, “Peluang pemanfaatan lampu LED sebagai sumber penerangan,” Skripsi, Universitas Indonesia, 2013.
- [6] S. Palaloi, S. Nafis, dan S. Emo, “Kajian tingkat efisiensi lampu led swabalast untuk pencahayaan umum,” *Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, vol. 14, no. 1, pp. 1–14, 2015.
- [7] M. Saralina dan B. D. Cahyono, “Perancangan panel kapasitor bank 1200 kVAR di PT. Tiga Kreasi Indonesia,” *J. Ilm. Tek.*, vol. 1, no. 3, pp. 32–39, 2022, doi: 10.56127/juit.v1i3.373.
- [8] P. Bunga, M. Pakiding, dan S. Silimang, “Perancangan sistem pengendalian beban dari jarak jauh menggunakan smart relay,” *Journal Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 5, pp. 65–75, 2015.
- [9] G. G. Logor, Ih. Tumaliang, dan L. S. Patras, “Redesain Instalasi Listrik Gedung RS. GMIBM,” pp. 1–10, 2022.
- [10] E. Gunawan dan E. Wahyono, “Rancangan instalasi lampu penerangan jalan umum dengan sistem kontaktor dan timer,” *Jurnal Cahaya Bagaskara*, vol. 1, no. 1, pp. 36–44, 2017.
- [11] B. Suriansyah, “Catu daya cadangan berkapasitas 100 Ah / 12 V untuk laboratorium otomasi industri Poliban,” *J. Intekna*, no. 2, pp. 102–209, 2014.
- [12] *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011*, Badan Standardisasi Nasional, 2011.
- [13] Sujito, A. R. D. Mardika, dan Z. S. Nugroho, “Rancang bangun otomatisasi sistem penerangan pada gedung,” *Jurnal Teknik*, vol. 14, no. 1, pp. 17–23, 2022.
- [14] Muhaimin, *Teknologi Pencahayaan*. Bandung: PT. Revina Aditama, 2001.

Variable Frequency Drive (VFD) Berbasis Arduino Mega 2560 Sebagai Pengendali Motor Induksi 3 Fase

Deni Irawan¹, Prihadi Murdiyat², Rusdiansyah³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
 pmurdiyat@polnes.ac.id

Abstrak, Penggunaan motor induksi tiga fase di industri sudah sangat umum karena motor induksi tiga fase memiliki kelebihan seperti konstruksinya sederhana dan murah. Sesuai dengan perkembangan penggunaannya, motor induksi 3 fase diharapkan dapat diatur kecepatan putarnya. Kini, pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dapat dilakukan oleh perangkat variabel frequency drive (VFD) dengan mengatur frekuensi keluaran VFD. Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun VFD berbasis Arduino Mega 2560 yang menggunakan metode penyaklaran SPWM untuk membentuk gelombang sinusoida yang merupakan suplai untuk motor induksi. Frekuensi yang dihasilkan pada VFD dapat diatur dari 0 Hz sampai dengan 50 Hz. Hasil dari pengujian VFD dengan beban motor induksi 3 fase diperoleh bahwa kecepatan motor dapat diatur dari 278 rpm sampai dengan 1454 rpm dengan memvariasikan frekuensi dari 10 Hz sampai dengan 50 Hz.

Kata kunci: Variable Frequency Drive, SPWM, Motor Induksi 3 Fase,

I. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang, penggunaan motor induksi tiga fase di industri sudah semakin banyak. Hal ini karena motor induksi tiga fase mempunyai beberapa kelebihan yaitu handal, mempunyai tenaga yang besar, konsumsi daya listrik yang rendah serta perawatannya yang mudah.

Seringkali motor induksi diinginkan untuk berputar pada kecepatan yang diperlukan. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan rangkaian TRIAC (*Triode for Alternating Current*) yang diatur sudut triggernya. Tetapi cara ini menghasilkan bentuk gelombang sinusoida terpotong yang kurang ideal sebagai tegangan masukan motor. Cara lain adalah dengan mengatur frekuensi sumber tegangannya akan tetapi karena sumber tegangan yang tersedia umumnya memiliki frekuensi yang konstan atau tidak bisa diubah nilainya, maka diperlukan sebuah alat yg mampu mengubah tegangan sumber dengan frekuensi tetap (umumnya 50 Hz) menjadi sumber tegangan dengan frekuensi variabel. Alat tersebut bernama *Variable Frequency Drive* (VFD).

VFD merupakan sebuah alat yang terdiri *rectifier*, *filter*, *inverter*, dan rangkaian kontrol yang digunakan untuk mengatur frekuensi tegangan keluaran yang diinginkan. Sistem

kontrol kecepatan motor induksi dengan menggunakan VFD sama dengan sistem kontrol motor induksi dengan menggunakan inverter, hal ini dikarenakan tegangan keluaran dari VFD merupakan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang dibangkitkan oleh inverter di dalam VFD. Keuntungan operasi *inverter* PWM sebagai teknik konversi dibanding jenis-jenis inverter lainnya ialah rendahnya distorsi harmonik pada tegangan keluaran dibanding menggunakan jenis inverter lainnya [1]. Selain itu teknik PWM sangat mudah dan hemat untuk diterapkan berkat semakin pesatnya perkembangan semikonduktor (terutama komponen daya yang mempunyai waktu penyaklaran sangat cepat).

Untuk pengaturan kecepatan motor induksi, teknik PWM mampu menggerakkan motor induksi dengan putaran halus dan rentang frekuensi yang lebar.

Pada Skripsi ini, penulis melakukan rancang bangun *Variable Frequency Drive* dengan masukan tegangan 1 fase dan keluaran tegangan 3 fase dengan frekuensi yang dapat diatur dari 0Hz sampai dengan 50Hz. VFD ini dikombinasikan dengan pensaklaran PWM melalui program di arduino. Kontrol sinusoidal PWM pada bagian inverter VFD adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengaturan frekuensi dan tegangan keluaran pada VFD. Oleh karena itu, sesuai dengan latar belakang diatas, penulis memberi judul “Rancang Bangun Variable Frequency Drive (VFD) Sebagai Pengendali Motor Induksi 3 Fase Berbasis Arduino Mega 2560”

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Variable Frequency Drive (VFD)

Variable Frequency Drive (VFD) merupakan gabungan dari *rectifier* dan *inverter*, di mana *rectifier* berfungsi sebagai pengubah tegangan AC dengan frekuensi tetap menjadi tegangan DC dan *inverter* berfungsi sebagai pengubah tegangan DC menjadi AC dengan frekuensi variabel yang dapat diatur. VFD melakukan konversi dari tegangan AC frekuensi tetap menjadi AC frekuensi variabel dengan cara mengubah menjadi tegangan DC terlebih dahulu melewati *rectifier* kemudian menjadikannya variabel frekuensi melalui *inverter*.

VFD berfungsi untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fase dengan cara mengubah frekuensi yang masuk ke motor induksi tersebut seperti pada Persamaan (1).

$$n = (120 \cdot f) / p \tag{1}$$

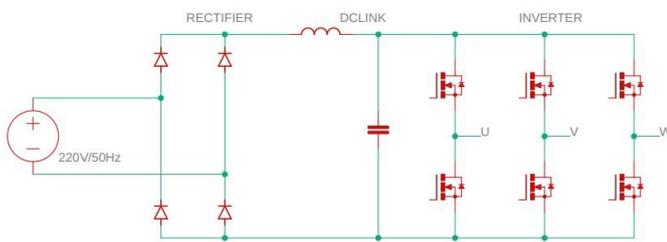
keterangan: n = Putaran per menit (rpm)

f = Frekuensi (Hz) p =

Jumlah kutub

Fungsi utama dari VFD ada dua yaitu, untuk melakukan konversi listrik, dan untuk mengatur frekuensi yang keluar. Pengaplikasian VFD dimulai dari peralatan kecil sampai dengan peralatan besar seperti, kompresor, sistem ventilasi pada bangunan besar, pompa, konveyor, dan alat pengendali mesin lainnya. Kelebihan dari penggunaan VFD pada motor adalah dapat menghemat energi listrik sehingga dapat mengurangi biaya konsumsi listrik [1].

Rangkaian dari VFD adalah terdiri dari *rectifier* (penyearah), *DC link*, dan *inverter* seperti ditampilkan pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Rangkaian *variable frequency drive* (VFD)

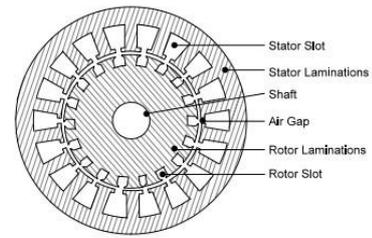
B. Motor Induksi 3 Fase

Untuk aplikasi pada industri dan pertambangan, motor induksi 3 fase adalah penggerak utama untuk sebagian besar mesin. Motor ini dapat dioperasikan baik secara langsung dari sumber listrik atau dari konverter frekuensi. Di negara-negara industri modern, lebih dari setengah total energi listrik yang digunakan di negara-negara tersebut diubah menjadi energi mekanik melalui motor induksi AC. Aplikasi untuk motor ini meliputi hampir setiap tahap pembuatan dan pemrosesan. Pengaplikasiannya juga meluas ke bangunan komersial dan lingkungan domestik. Biasa digunakan untuk menggerakkan pompa, kipas, kompresor, mixer, agitator, pabrik, konveyor, penghancur, peralatan mesin, derek, dan lain-lain. Tidak heran jika motor listrik jenis ini sangat populer saat ini karena kesederhanaan, keandalan, dan biayanya rendah [2].

1) Konstruksi Motor Induksi 3 Fase

Konstruksi dasar motor induksi AC terdiri dari 2 bagian elektromagnetik [2], yaitu: *a. Stator*

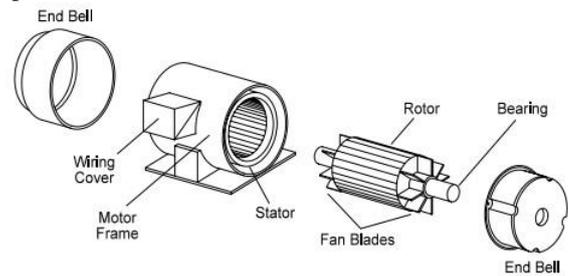
Stator adalah bagian stasioner luar motor yang ditunjukkan pada [Gambar 2](#). Untuk bagian stator terdiri dari: *Stator Slot*, *Stator Lamination*, *Rotor Lamination*, *Shaft* atau Poros, dan *Air Gap* atau Celah Udara.



Gambar 2. Laminasi stator dan rotor [2]

b. Rotor

Ini adalah bagian yang berputar pada motor. Seperti halnya stator di atas, rotor terdiri dari satu set dari laminasi baja berlubang yang disatukan dalam bentuk jalur magnet silinder dan rangkaian listrik. Bagian-bagian dari rotor dapat dilihat pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Detail perakitan motor induksi AC [2]

2) Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fase

Ketika catu daya AC 3 fase dihubungkan ke terminal stator dari motor induksi, arus bolak-balik 3 fase mengalir pada belitan stator. Arus ini mengatur perubahan medan magnet (pola fluks), yang berputar di sekitar bagian dalam stator. Kecepatan putaran sinkron dengan frekuensi daya listrik dan disebut dengan kecepatan sinkron.

Pada jenis motor induksi 3 fase yang paling sederhana, medan putar dihasilkan oleh 3 belitan stator tetap, berjarak 120° terpisah di sekeliling stator yang dapat dilihat pada [Gambar 2.6](#). Ketika tiga belitan stator terhubung ke catu daya 3 fase, fluks melingkupi satu rotasi untuk setiap siklus tegangan suplai. Pada catu daya 50 Hz, fluks stator berputar dengan kecepatan 50 putaran per detik, atau $50 \times 60 = 3000$ putaran per menit [2].

Kecepatan di mana fluks stator berputar disebut kecepatan sinkron dan tergantung pada jumlah kutub motor dan frekuensi catu daya, seperti pada Persamaan (1).

C. Inverter

Inverter didefinisikan sebagai perangkat yang mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Inverter datang dalam berbagai jenis, berbagai harga, daya, efisiensi dan tujuan. Inverter semakin umum digunakan selama beberapa tahun ini karena digunakan dalam pembangkit listrik tenaga surya. Karena tenaga surya menghasilkan tegangan DC, maka diperlukan inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang diperlukan untuk menyuplai peralatan rumah tangga [3].

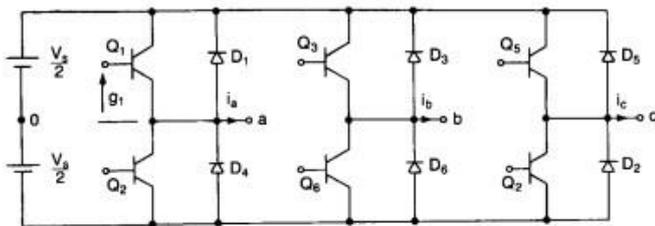
D. *Inverter 3 Fase*

Pada VFD, inverter 3 fase digunakan untuk mengubah tegangan DC pada DC Link menjadi tegangan AC 3 fase. Gelombang keluaran inverter 3 fase yang dihasilkan tidak sinus murni sehingga dibutuhkan *filter* untuk menghasilkan gelombang sinus murni.

Inverter 3 fase terdiri dari 6 komponen switching berupa MOSFET dan membutuhkan 6 sinyal PWM yang berasal dari mikrokontroler sebagai pengaturan frekuensi seperti yang terlihat pada [Gambar 4](#) [4]. Ketika MOSFET Q1 dalam kondisi aktif, terminal A akan terhubung ke terminal positif pada tegangan masukan DC. Ketika MOSFET Q4 dalam kondisi aktif, terminal A akan terhubung ke terminal negatif pada tegangan masukan DC. Tegangan antar fase yang dihasilkan dari *inverter* 3 fase dengan mode konduksi 180° dapat dicari dengan Persamaan (2.6) berikut [4]:

$$V_{L-L} = \frac{4V^S \cos 30^\circ}{\sqrt{2} \pi} = 0.7797 V_s \quad (2)$$

keterangan: V_{L-L} = Tegangan line to line (V)
 V_s = Tegangan sumber DC (V)

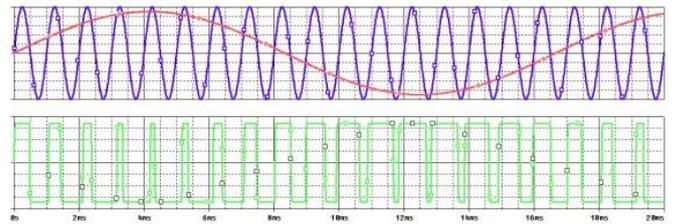


Gambar 4. Rangkaian inverter 3 fase [4]

E. *Pulse Width Modulation (PWM)*

Metode umum untuk menghasilkan daya AC dalam konverter daya elektronik adalah modulasi lebar pulsa (PWM). PWM digunakan secara luas sebagai sarana untuk menjalankan perangkat AC dengan sumber listrik DC. Sumber tegangan DC dapat dibuat agar terlihat seperti sinyal AC melalui beban dengan mengubah siklus tugas sinyal PWM. Pola di mana siklus tugas Sinyal PWM yang bervariasi dapat dibangkitkan melalui seperti komponen analog sederhana, mikrokontroler, atau sirkuit terintegrasi PWM khusus [3].

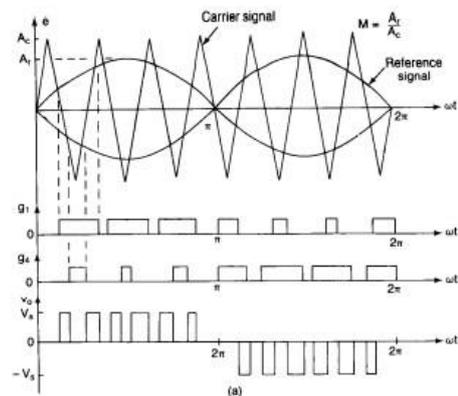
Dalam sirkuit analog, sinyal PWM dihasilkan dengan menggabungkan sinyal *reference* dan sinyal *carrier* melalui komparator yang menciptakan sinyal *output* berdasarkan perbedaan antara kedua masukannya. Sinyal *reference* adalah gelombang sinusoidal pada frekuensi sinyal keluaran yang diinginkan. Sinyal *carrier* adalah gelombang segitiga atau 'gigi gergaji' yang beroperasi pada frekuensi yang lebih besar secara signifikan dibandingkan gelombang *reference*. Ketika sinyal *carrier* melebihi *reference*, output berada pada satu keadaan, dan ketika *reference* melebihi *carrier*, output berada pada keadaan yang berlawanan. Prosesnya ditunjukkan pada [Gambar 5](#), dengan sinyal *carrier* berwarna biru, sinyal *reference* berwarna merah, dan output berwarna hijau [3].



Gambar 5. Level sinyal PWM (kontrol analog) [3]

F. *Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)*

Sinyal keluaran inverter dapat dikontrol dengan menggunakan teknik PWM dengan cara mengatur periode ON dan OFF dari *switching inverter*. Diantara teknik PWM, metode *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) banyak digunakan karena pengaturan tegangan dan frekuensi keluaran inverter menghasilkan bentuk yang mendekati gelombang sinusoidal. Sinyal pemicu pada *switching inverter* didapatkan dari perbandingan sinyal segitiga yang juga disebut dengan sinyal *carrier* dengan sinyal sinusoidal tiga fase yang juga disebut dengan sinyal *reference*. Sinyal *carrier* memiliki frekuensi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sinyal *reference*. Perbandingan antara sinyal *reference* dan sinyal *carrier* dapat dilihat pada [Gambar 6](#). Perbandingan antara amplitudo sinyal *reference* dengan sinyal *carrier* dinamakan dengan index modulasi [5].



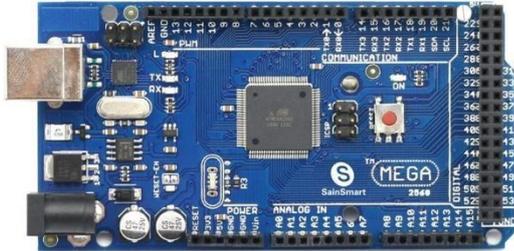
Gambar 6. Pemicuan gelombang SPWM [4]

G. *Arduino Mega 2560*

Arduino merupakan *board* berbasis mikrokontroler *opensource* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri ialah chip atau IC (*integrated circuit*) yang mampu menyimpan dan mengerjakan program yang dikirim oleh komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler ialah agar rangkaian elektronik bisa membaca *input* lalu memproses program untuk menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas menjadi otak yg mengendalikan proses *input*, dan *output* sebuah rangkaian elektronika

Pada penelitian ini digunakan Arduino Mega yang menggunakan chip mikrokontroler Atmega2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak dibanding tipe lainnya seperti uno, nano, mini, yaitu: 54 buah digital I/O pin (14 pin

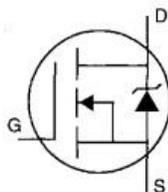
yang diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega 2560 juga dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Board ini sudah sangat lengkap dari tipe lainnya, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Board Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada [Gambar 7 \[6\]](#).



Gambar 7. Arduino Mega 2560 [6]

H. MOSFET (IRFP460)

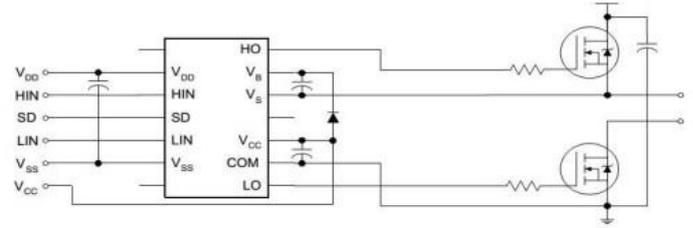
Selain menggunakan mikrokontroler sebagai pemicu sinyal untuk inverter, dibutuhkan pula saklar dalam perancangan inverter. Sebuah komponen yang berfungsi sebagai saklar pada inverter yaitu MOSFET seperti terlihat pada [Gambar 8](#). MOSFET merupakan kependekan dari Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor yang merupakan transistor efek medan berupa perangkat semikonduktor yang mempunyai impedansi masukan tinggi. MOSFET bekerja dengan cara mengaktifkan buka tutup saklar ON dan OFF. MOSFET mempunyai 3 kaki terminal yaitu source (S), gate (G), dan drain (D). Arus listrik masuk melewati gerbang source dan kemudian keluar melalui gerbang drain. Sedangkan gerbang gate berfungsi sebagai pengatur lebar saluran yang dikendalikan oleh tegangan dari elektroda [7].



Gambar 8. MOSFET N-channel [8]

I. Gate Driver MOSFET (1R2110)

IC IR2110 adalah driver MOSFET dan IGBT yang betegangan dan berkecepatan tinggi dengan dua sisi keluaran high dan low. Input logika kompatibel dengan keluaran CMOS atau LSTTL standar, hingga logika 3.3V. Keluaran dari driver menampilkan tahap penyangga arus pulsa tinggi yang dirancang untuk minimum konduksi silang driver. Penundaan propagasi disesuaikan untuk menyederhanakan penggunaan dalam aplikasi frekuensi tinggi. Saluran mengambang dapat digunakan untuk menggerakkan MOSFET daya N-Channel atau IGBT dalam konfigurasi sisi high yang beroperasi hingga 500 atau 600 volt [9]. Rangkaian gate driver MOSFET dapat dilihat pada [Gambar 9](#).



Gambar 9. Rangkaian gate driver MOSFET [9]

J. Liquid Crystal Display (LCD)

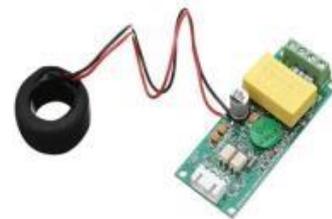
Liquid crystal display (LCD) merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi untuk menampilkan data, baik karakter, huruf maupun grafik. Jenis LCD yang dipakai pada penelitian ini adalah LCD M1632. LCD ini terdiri dari dua bagian, yang pertama merupakan panel LCD sebagai media penampil informasi dalam bentuk huruf/angka dua baris, masing-masing baris bisa menampung 16 huruf/angka. Bentuk dari LCD ditampilkan pada [Gambar 10 \[10\]](#).



Gambar 10. Liquid crystal display (LCD) [10]

K. Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T merupakan sebuah modul elektronik yang dapat mengukur arus, tegangan, daya, frekuensi, energi dan. Modul ini sudah dilengkapi dengan sensor tegangan dan sensor arus (CT). Sensor ini menghasilkan output dengan komunikasi serial. Jika dihubungkan dengan mikrokontroler seperti arduino maka komunikasi yang digunakan ialah komunikasi serial. Pengkabelan dari modul ini terdiri dari 2 bagian, yaitu pengkabelan untuk masukan tegangan dan arus, serta pengkabelan komunikasi serial. Sesuai datasheet, modul sensor PZEM-004T ini memiliki tegangan kerja yaitu bekerja pada 80~260 VAC, tegangan test yaitu 80~260 VAC, daya 100 A/22.000 W, dan frekuensi 45~65 Hz [11]. Sensor PZEM-004T dapat dilihat pada [Gambar 11](#).



Gambar 11. Sensor PZEM-004T [11]

L. Filter Pasif

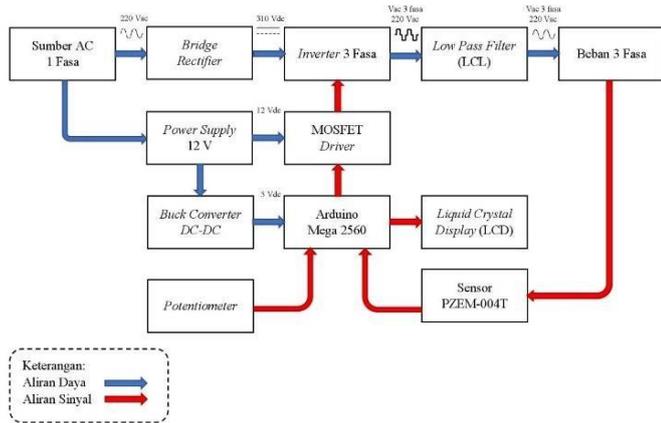
Filter pasif merupakan jenis filter yang menggunakan komponen pasif untuk dapat meloloskan frekuensi yang diinginkan. Rangkaian filter pasif sendiri terdiri dari komponen pasif yaitu resistor, kapasitor dan induktor. Jenis-jenis filter

pasif ditentukan berdasarkan bagaimana mengklasifikasikan spektrum frekuensi yang diinginkan agar dapat lolos dalam filter yang akan dirancang. Jenis-jenis filter pasif yaitu *Low Pass Filter*, *High Pass Filter*, *Band Pass Filter*, dan *Band Stop Filter* [12].

III. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum Sistem

Perancangan alat ini terdiri dari beberapa blok utama, yaitu blok rangkaian daya yang terdiri dari *full wave bridge rectifier* dan *inverter* tiga fase, untuk blok rangkaian kontrol terdiri dari Gambar 12. Diagram Blok Sistem



Gambar 12. Diagram blok sistem

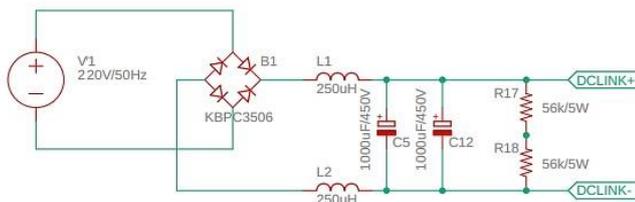
B. Perancangan Hardware

Perancangan *Hardware* pada alat *Variable Frequency Drive* yang dibangun dalam sistem ini antara lain sebagai berikut:

1) Perancangan Bridge Rectifier

Pada rangkaian *Bridge Rectifier* ini menggunakan *Diode Bridge* tipe KBPC3506 dengan tegangan maksimum sebesar 600 V dan arus maksimum sebesar 35 A sehingga cocok digunakan untuk rangkaian VFD. Tegangan sumber *bridge rectifier* ini menggunakan *single phase voltage regulator* sehingga dapat diatur tegangan masukannya.

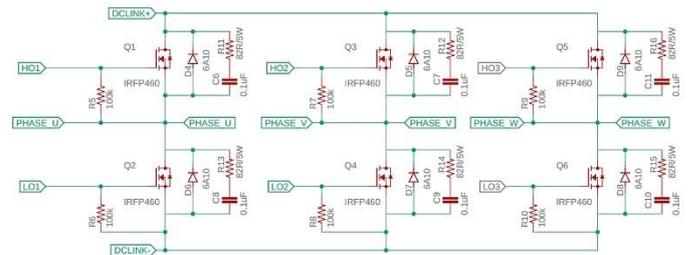
Kapasitor dan induktor ini digunakan supaya hasil dari tegangan DC yang keluar dari *diode bridge* lebih halus, sedangkan resistor digunakan untuk membuang muatan pada kapasitor apabila sistem dalam keadaan berhenti. Rangkaian perancangan *Bridge Rectifier* dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Rangkaian diode bridge

2) Perancangan Inverter 3 Fase

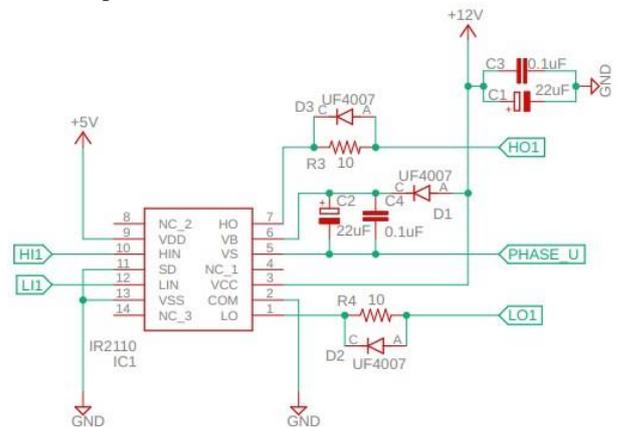
Pada rangkaian *Inverter 3 fase* yang dirancang pada penelitian ini menggunakan 6 buah MOSFET, dimana pada masing-masing fase dilayani oleh 2 MOSFET. MOSFET yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe IRFP460 yang memiliki tegangan *Drain-Source* sebesar 500 V dan arus *Drain* sebesar 20 A. Pada masing-masing MOSFET digunakan pengaman diode yang dipasang parallel dengan MOSFET dan sebuah rangkaian RC *Snubber*. Untuk penyulutan *inverter 3 fase* sendiri terdapat enam masukan pada masing-masing kaki *Gate* MOSFET yaitu HO1, LO1, HO2, LO2, HO3, dan LO3. Rangkaian dari *inverter 3 fase* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Inverter 3 fase

3) Perancangan MOSFET Driver

Perancangan MOSFET Driver pada penelitian ini menggunakan 3 buah IC IR2110 pada masing-masing fase. IC IR2110 berfungsi untuk mengatur high atau low sinyal yang akan diterima oleh MOSFET. Input sinyal pada IC IR2110 pada kaki HIN dan LIN, dimana *input* sinyal ini berasal dari *optocoupler* dan mikrokontroler, untuk *output* IC IR2110 terdapat pada kaki HO dan LO yang dihubungkan dengan kaki *Gate* MOSFET *high side* dan MOSFET *low side*. Ketika HIN mendapatkan sinyal *HIGH* maka akan menggerakkan MOSFET *high side*, sedangkan ketika LIN mendapatkan sinyal *HIGH* maka akan menggerakkan MOSFET *low side*. Komponen *bootstrap* pada rangkaian MOSFET Driver ini mengacu pada *Application Note AN-978*, *datasheet* IC IR2110, dan *datasheet* IRFP460. Rangkaian dari MOSFET Driver dapat dilihat pada Gambar 15.



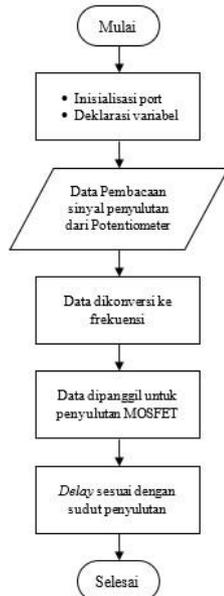
Gambar 15. Rangkaian MOSFET Driver

C. Perancangan Software

Perancangan software pada alat Variable Frequency Drive antara lain sebagai berikut:

1) Perancangan Program Penyulutan Sinyal SPWM 6 Pulse

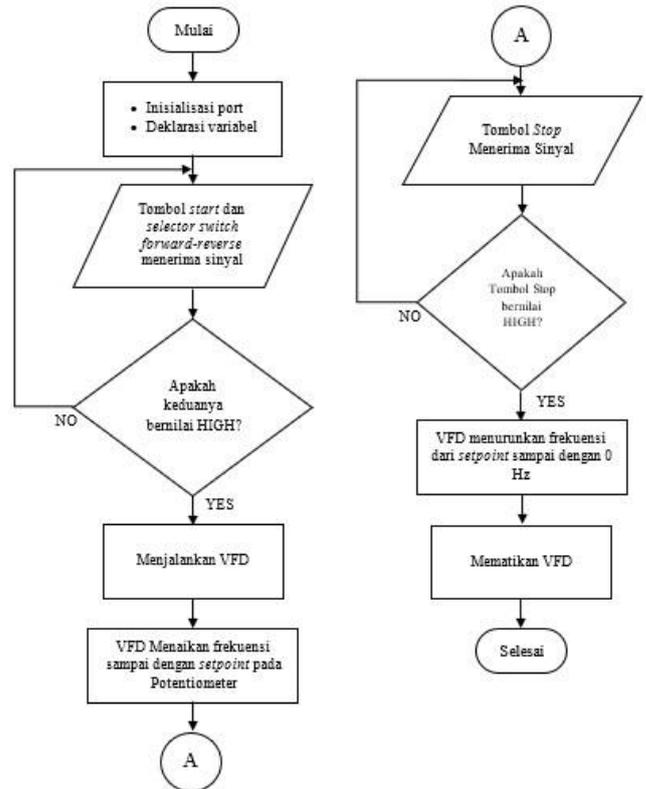
Pembangkitan sinyal SPWM pada penelitian ini menggunakan program pada Arduino Mega 2560. Keluaran dari Arduino akan masuk ke Optocoupler lalu dari Optocoupler menuju ke Gate driver MOSFET IR2110 untuk mengolah sinyal tersebut sebelum masuk ke MOSFET. Untuk flowchart penyulutan sinyal SPWM 6 pulse dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Flowchart penyulutan sinyal SPWM 6 pulse

2) Perancangan Program Rangkaian Kontrol VFD

Pengontrolan VFD pada penelitian ini menggunakan program pada Arduino Mega 2560. Pengontrolan yang digunakan berupa start, stop, dan switch direction. Untuk flowchart program rangkaian kontrol VFD dapat dilihat pada Gambar 17.



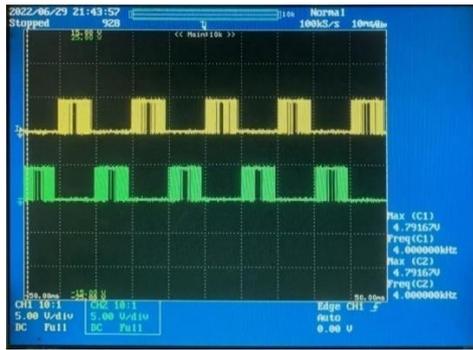
Gambar 17. Flowchart program rangkaian kontrol VFD

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sinyal SPWM

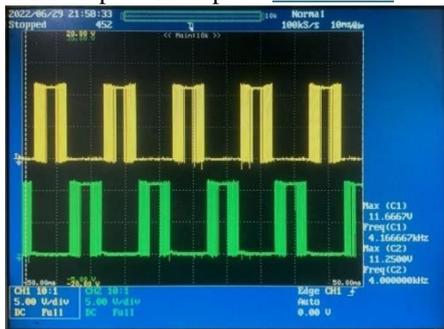
Pengujian sinyal SPWM dilakukan untuk mengetahui apakah bentuk gelombang SPWM sudah sesuai untuk penyulutan MOSFET dan juga pengujian ini dilakukan agar pada saat sinyal digunakan untuk penyulutan MOSFET tidak terjadi kesalahan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan Osiloskop digital agar dapat melihat bentuk dari sinyal SPWM. Sinyal SPWM yang diamati adalah sinyal SPWM output Arduino dan sinyal SPWM output driver MOSFET

Mikrokontroler yang digunakan untuk membangkitkan sinyal SPWM adalah Arduino Mega 2560. Frekuensi switching sinyal SPWM yang digunakan adalah sebesar 4 kHz yang didapat dari prescaler program pada Arduino. Sinyal SPWM yang dihasilkan pada penelitian ini ada 6 sinyal yaitu HO1, HO2, HO3, dan LO1, LO2, LO3 yang masing-masing berbeda waktu aktifnya. Maksud dari sinyal HO1 adalah sinyal yang digunakan untuk penyulutan MOSFET high side fase satu, sedangkan LO1 adalah sinyal yang digunakan untuk penyulutan MOSFET low side fase satu. Untuk sinyal yang lain sama seperti sinyal HO1 dan LO1 hanya berbeda pada urutan fasenya. Bentuk sinyal SPWM keluaran Arduino dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Sinyal SPWM output Arduino frekuensi 50 Hz

Pengujian sinyal SPWM *high* dan *low* keluaran Arduino ditunjukkan pada Gambar 18. Jarak antara sinyal SPWM *high* dan *low* adalah sebesar 180° yang menunjukkan bahwa keluaran Arduino bekerja secara bergantian. Bentuk gelombang yang ditampilkan hanya pada fase satu karena bentuk gelombang pada fase lainnya sama hanya berbeda pada pergeseran fasenya saja. Untuk tegangan pada sinyal SPWM yang dihasilkan Arduino mendekati 5 V sedangkan tegangan yang dibutuhkan untuk penyulutan MOSFET berkisar antara 10 - 20 V sesuai dengan *datasheet* MOSFET sehingga dibutuhkan *driver* agar dapat melakukan penyulutan MOSFET. Sinyal SPWM output *driver* MOSFET dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Sinyal SPWM output driver frekuensi 50 Hz

Pengujian sinyal SPWM keluaran *driver* MOSFET memiliki tegangan mendekati 12 V. Tegangan sinyal SPWM keluaran driver ini sudah cukup untuk menggerakkan MOSFET pada kondisi *fully on*. Keluaran dari *driver* langsung menuju ke kaki *Gate high side* MOSFET dan *low side* MOSFET pada masing-masing fase.

B. Pengujian Frekuensi Keluaran VFD

Pengujian frekuensi keluaran VFD dilakukan untuk mengetahui nilai dari frekuensi keluaran VFD serta membandingkan apakah frekuensi keluaran VFD sesuai dengan nilai pada alat ukur referensi yang digunakan. Alat ukur referensi yang digunakan adalah multimeter.

Setelah dilakukan pengambilan data pada frekuensi keluaran VFD dengan menggunakan alat ukur multimeter selanjutnya adalah membandingkan hasil dari frekuensi keluaran dari VFD dengan frekuensi *Setpoint* pada VFD dengan menggunakan persamaan simpangan (*error*). Hasil dari pengujian frekuensi keluaran VFD dapat dilihat pada TABEL 1.

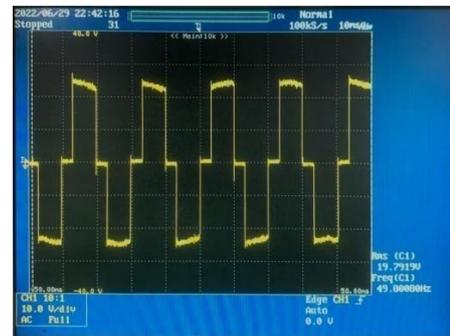
TABEL 1
PENGUJIAN FREKUENSI KELUARAN VFD

NO	Frekuensi <i>setpoint</i> (Hz)	Frekuensi pengukuran (Hz)	Error (%)
1	5	4.779	4.62
2	10	9.925	0.75
3	15	14.87	0.87
4	20	19.83	0.86
5	25	24.80	0.80
6	30	29.78	0.74
7	35	34.70	0.86
8	40	39.70	0.75
Nilai error rata-rata			
9	45	44.63	0.82
10	50	49.63	0.74
			1.181

Dari data hasil pengujian didapatkan nilai error dengan rata-rata 1.181%. Nilai yang didapat cukup kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa frekuensi keluaran dari VFD cukup akurat.

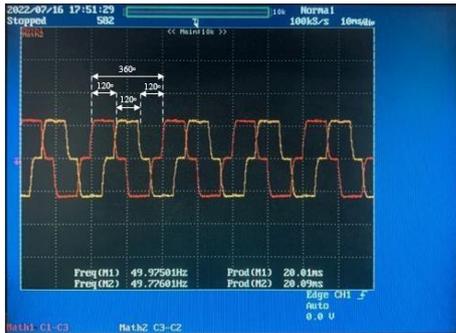
C. Pengujian Keluaran VFD Tanpa Beban

Pengujian keluaran VFD tanpa beban dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang dan tegangan keluaran VFD tanpa beban. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur osiloskop dan multimeter digital. Bentuk gelombang keluaran dari VFD dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Gelombang VL-L keluaran VFD

Pada Gambar 20 bentuk gelombang tegangan keluaran VFD masih berupa *modified square wave* karena belum diberikan *filter* untuk mereduksi harmonisa agar gelombang mendekati sinus murni. Pada pengujian awal tegangan DC yang diberikan sebesar 24 V untuk mengetahui apakah kesalahan pada VFD sebelum diberikan tegangan DC yang lebih besar. Bentuk gelombang keluaran VFD beda fase dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Gelombang antar fase keluaran VFD

ABB		IE1 CE	
3 - Motor M2AA 090S-4		Cl. F	IP 55
3GAA092001-		2010	
N° 3GE107			
V	Hz	r/min	kW
230 D	50	1420	1.1
400 Y	50	1420	1.1
415 Y	50	1430	1.1
IE1-76.7(100%)-76.3(75%)-72.4(50%)			
IM 1001			
6205-2Z/C3		6204-2Z/C3	13 Kg

Gambar 22. Spesifikasi Motor Induksi 3 Fase

Pada pengujian ini juga dilakukan perbandingan antara tegangan keluaran VFD pada alat dan tegangan keluaran VFD secara teoritis atau perhitungan. Untuk perhitungan tegangan keluaran VFD dapat dilihat pada Persamaan (2). Tabel data hasil pengujian keluaran VFD tanpa beban dapat dilihat pada [TABEL 2](#).

TABEL 2
PENGUJIAN KELUARAN VFD TANPA BEBAN

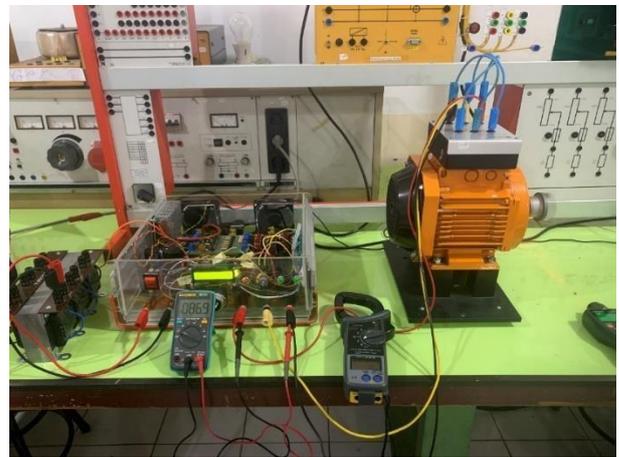
NO	f (Hz)	Vin (V)	Vdc (V)	V _{Line-Lin}		Error (%)
				Pengukuran (V)	Perhitungan (V)	
1	10	102.3	140	111.5	109.2	2.106
2	20	101.8	138	109.3	107.7	1.485
3	30	101.4	135.8	106.8	106	0.755
4	40	100.9	134.1	104.7	104.6	0.095
5	50	100	132.6	102.9	103.5	0.580
Nilai rata-rata error						1.004

Dari data hasil pengujian dapat dilihat bahwa error tegangan keluaran VFD pada pengukuran dan perhitungan didapat nilai error rata-rata sebesar 1.004%. Nilai error ini termasuk kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa keluaran VFD hampir akurat. Nilai pada pengukuran tegangan tidak linear dapat diakibatkan karena *human error* pada saat pengukuran. Tegangan masukan pada VFD pada data diatas berubah-ubah ini dikarenakan pengaruh dari perubahan frekuensi. Jadi semakin kecil frekuensi maka tegangan inputnya semakin besar, begitu pun sebaliknya.

D. Pengujian Keluaran VFD Beban Motor Induksi 3 Fase

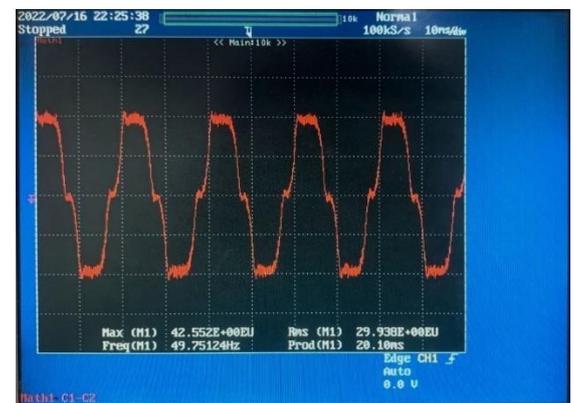
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari frekuensi keluaran VFD terhadap beban 3 fase. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur Osiloskop, Multimeter, *Clampmeter*, dan *Tachometer*. Motor induksi 3 fase yang digunakan memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada [Gambar 22](#).

Pada pengujian dengan beban motor induksi 3 fase, motor dihubungkan delta karena tegangan yang keluar pada VFD adalah sebesar 220 V_{L-L} sehingga motor harus dihubungkan delta. Situasi pengujian VFD dengan beban motor induksi 3 fase ditunjukkan pada [Gambar 23](#).



Gambar 23. Pengujian keluaran VFD beban motor induksi 3 fase

Keluaran VFD yang diamati pada pengujian ini adalah bentuk gelombang, tegangan, arus, dan kecepatan motor. Bentuk gelombang pada pengujian ini dapat dilihat pada [Gambar 24](#). Gelombang yang dihasilkan masih berupa gelombang *modified square wave* dan hampir membentuk gelombang sinus.



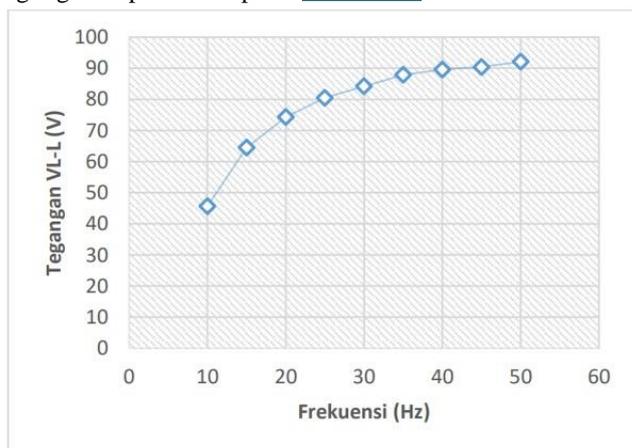
Gambar 24. Gelombang keluaran VFD beban motor induksi 3 fase

Pengujian dengan menggunakan beban motor induksi 3 fase ini juga dilakukan dengan memvariasikan frekuensi untuk mengetahui pengaruh tegangan, arus, dan kecepatan pada Motor induksi 3 fase. Data hasil percobaan dapat dilihat pada [TABEL 3](#), menunjukkan pengaruh perubahan frekuensi terhadap tegangan, arus, dan kecepatan motor.

TABEL 3
DATA HASIL PERCOBAAN KELUARAN VFD BEBAN MOTOR
INDUKSI 3 FASE

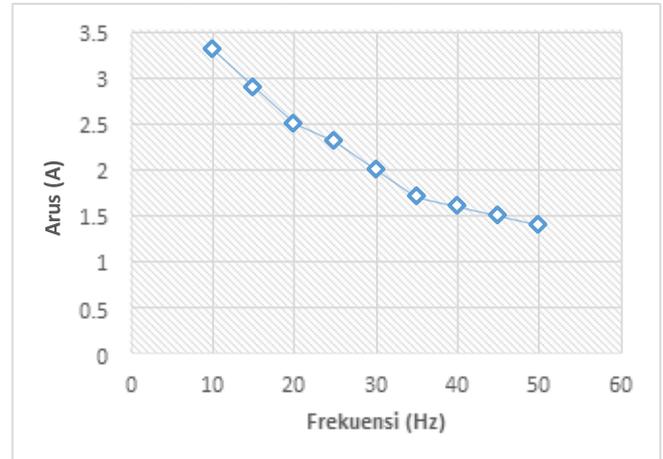
No.	Frekuensi (Hz)	V _{in} (V)	V _{L-L} (V)	I _L (A)	Kecepatan Motor (RPM)
1	10	75.5	45.66	3.3	278
2	15	85.1	64.5	2.9	444
3	20	91.3	74.3	2.5	593
4	25	94.6	80.5	2.3	742
5	30	96.7	84.2	2	891
6	35	98	87.9	1.7	1046
7	40	99	89.6	1.6	1186
8	45	99.7	90.4	1.5	1246
9	50	100	92.1	1.4	1454

Dari data hasil percobaan pada [TABEL 3](#) didapat tegangan, arus, dan kecepatan motor. Sesuai dengan data hasil percobaan didapat bahwa frekuensi mempengaruhi kecepatan pada Motor induksi 3 fase. Selain pengaruh frekuensi terhadap kecepatan motor, frekuensi juga mempengaruhi tegangan masukan VFD, tegangan keluaran VFD, dan arus pada VFD. Pada saat tegangan *drop* pada frekuensi rendah terjadi kenaikan arus, begitu pun sebaliknya tegangan mengalami kenaikan pada frekuensi tinggi dan arus semakin mengecil. Kenaikan arus yang terjadi dapat disebabkan karena perbandingan V/F keluaran tidak konstan sehingga menyebabkan arus terus meningkat saat frekuensi keluaran dkecilkan. Grafik pengaruh dari perubahan frekuensi terhadap tegangan dapat dilihat pada [Gambar 25](#).



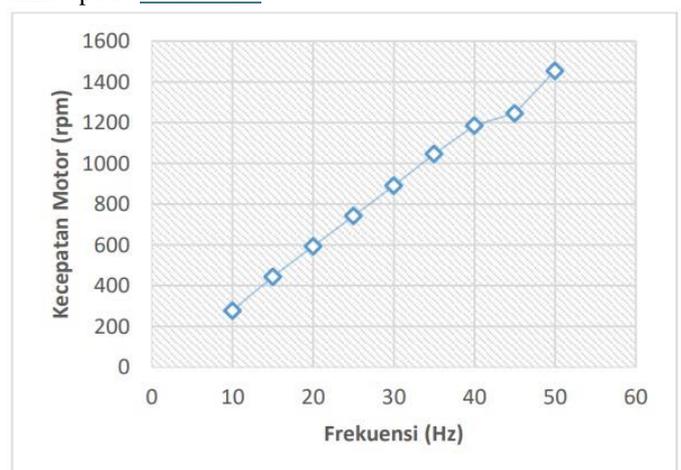
Gambar 25. Grafik pengaruh perubahan frekuensi terhadap tegangan

Grafik pengaruh perubahan frekuensi terhadap tegangan pada [Gambar 25](#) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan pada frekuensi kecil dan terjadi kenaikan tegangan pada frekuensi besar. Bentuk grafik kenaikan tegangan tidak linear, hal ini dikarenakan tidak dilakukan pengaturan tegangan keluaran pada alat VFD sehingga kenaikan tegangan tidak konstan dengan kenaikan frekuensi. Grafik pengaruh perubahan frekuensi terhadap arus dapat dilihat pada [Gambar 26](#).



Gambar 26. Grafik pengaruh perubahan frekuensi terhadap arus

Grafik dari pengaruh perubahan frekuensi terhadap arus pada [Gambar 26](#) dapat dilihat bahwa, terjadi kenaikan arus pada frekuensi kecil dan arus mengalami penurunan pada frekuensi besar. Jadi semakin besar frekuensi maka semakin kecil arus yang dihasilkan, semakin kecil frekuensi maka semakin besar arus yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan perbandingan antara V/F pada keluaran VFD tidak konstan sehingga arus yang dihasilkan besar saat frekuensi kecil. Grafik pengaruh frekuensi terhadap kecepatan motor dapat dilihat pada [Gambar 27](#).



Gambar 27. Grafik pengaruh perubahan frekuensi terhadap kecepatan motor

Dari grafik kecepatan motor pada [Gambar 27](#) dapat dilihat bahwa frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan pada motor. Jadi semakin besar frekuensi maka semakin besar kecepatan pada motor. Pada data hasil percobaan didapat bentuk grafik yang linear, tetapi terdapat satu nilai yang tidak

linear, hal ini dapat diakibatkan karena *human error* pada saat pengukuran kecepatan motor menggunakan tachometer.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari keseluruhan tahapan pada penyusunan skripsi ini mulai dari studi literatur, perancangan alat, pembuatan alat, dan pengujian alat, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Rancang bangun *Variable Frequency Drive* berbasis Arduino Mega 2560 telah berhasil dibuat dengan frekuensi yang dapat divariasikan dengan *range* 0 Hz sampai dengan 50 Hz.
- 2) *Variable Frequency Drive* yang telah dibuat dapat mengatur kecepatan motor dari 278 rpm sampai dengan 1454 rpm dengan frekuensi yang divariasikan dari 10 Hz sampai dengan 50 Hz.
- 3) Pengaturan kecepatan yang dilakukan dengan mengatur frekuensi pada VFD, yaitu semakin besar frekuensi yang dihasilkan maka semakin cepat putaran pada motor induksi dan semakin kecil frekuensi yang dihasilkan maka semakin lambat putaran pada motor induksi 3 fase.
- 4) Pada pengujian dengan beban motor induksi 3 fase, frekuensi mempengaruhi tegangan keluaran VFD, semakin kecil frekuensi yang dihasilkan tegangan keluaran juga ikut menurun dan semakin besar frekuensi yang dihasilkan maka semakin besar juga tegangan yang dihasilkan.
- 5) Arus yang dihasilkan pada pengujian dengan beban motor induksi 3 fase meningkat saat frekuensi keluaran VFD kecil dan mengecil saat frekuensi keluaran VFD besar, hal ini disebabkan oleh tegangan keluaran VFD yang berubah-ubah.
- 6) Membalik arah putaran motor induksi 3 fase sudah berhasil dilakukan dengan cara mengubah jarak antar fase pada program SPWM.
- 7) Arduino Mega 2560, optocoupler P817, dan IC IR2110 dapat digunakan dengan baik untuk melakukan proses pemecuan pada 6 buah MOSFET.

B. Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini sekiranya dapat dikembangkan pada penelitian-penelitian selanjutnya. Adapun saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pengaturan tegangan keluaran VFD diperlukan agar perbandingan antara V/F tetap konstan, sehingga arus yang dihasilkan tidak melebihi arus nominal pada Motor induksi 3 fase.
- 2) Pemilihan *filter* yang tepat pada keluaran VFD agar gelombang yang dihasilkan mendekati sinus murni.

REFERENSI

- [1] R. Ananda, "Pengaturan kecepatan motor induksi menggunakan sistem kontrol pada variable speed drive (VSD)," Skripsi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 2017.
- [2] M. Barnes, *Practical Variable Speed Drives and Power Electronics*, Oxford: Elsevier, 2003.
- [3] O. Rich dan W. Chapman, *Three-Level PWM DC/AC Inverter Using a Microcontroller*, NECAMSID, 2012.
- [4] M. H. Rashid, *Power Electronic Circuits, Devices, and Application*, Prentice Hall: New Jersey, 2003.
- [5] Asnil, Krisadinata dan I. Husnaini, "Desain dan analisis inverter tiga fasa menggunakan metode SPWM," *Seminar Nasional Teknik Elektro*, pp. 16-20, 2018.
- [6] G. Stevanov, T. Cekerovski, B.C. Dimitrova, dan S. Stefanova, "3-phase motor speed regulator based on microcontroller," *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials"*, vol. XIV, no. 6, pp. 226229, 2020.
- [7] N. Desiwantiyani, "Rancang bangun inverter SPWM," Skripsi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2018.
- [8] International Rectifier, "HEXFET Power MOSFET IRFP460 Datasheet".
- [9] International Rectifier, "High And Low Side Driver IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF datasheet".
- [10] M. Putra, "Perancangan dan pengujian pembangkit pulsa tegangan tinggi menggunakan FBT dengan metode PWM berbasis ATmega328," Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2019.
- [11] C. T. Lumbantobing, "Rancang bangun monitoring pemakaian energi listrik maksimal 1000w berbasis smartphone Android via Wifi," Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2020.
- [12] Aviyudi, "Perancangan filter LCL untuk aplikasi pada inverter satu fasa keluaran photovoltaic," Skripsi, Universitas Andalas Padang, Padang, 2014.

Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kualitas Air Danau Perumahan Pinang Bahari

Rizky Wahyudi¹, Marson Ady Putra², Lucianus Handri Gunanto³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
 marson@polnes.ac.id

Abstrak- Pembudidaya ikan air tawar yang dilakukan kelompok warga di danau Perumahan Pinang Bahari mengalami kesulitan dalam melakukan pemantauan kualitas air. Perancangan alat *monitoring* kualitas danau ini diharapkan membantu masyarakat dalam memantau kualitas air yang ada di danau Pinang Bahari dengan cara memantau langsung kualitas air menggunakan perangkat *smartphone*. Perangkat *monitoring* kualitas air ini menggunakan sensor pH, sensor TDS, sensor suhu, dan sensor turbidity sebagai pembacaan setiap parameter pada kualitas air. Hasil yang diperoleh nantinya akan diproses pada perangkat mikrokontroler Arduino uno dan NodeMCU ESP8266 yang selanjutnya akan ditampilkan pada aplikasi Blynk untuk *monitoring* kualitas air danau Pinang Bahari. Hasil pengujian alat secara keseluruhan menyatakan bahwa sistem ini bekerja sesuai dengan harapan dimana sistem dapat mendeteksi kualitas air danau. Pengujian pada setiap sensor memiliki rata-rata persentase nilai eror dibawah 5%. Pada danau Pinang Bahari setelah dilakukan pengecekan kualitas air maka hasil yang di dapat pada danau Pinang Bahari nilai kualitas air sesuai standar dan aman bagi masyarakat sekitar serta cocok untuk melakukan budidaya ikan air tawar di danau Pinang Bahari tersebut.

Kata kunci: Kualitas air, *Monitoring*, mikrokontroler, IOT

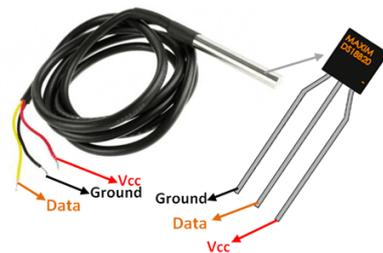
I. PENDAHULUAN

Alat *monitoring* adalah alat yang sering kita jumpai sehari-hari. *Monitoring* merupakan bagian penting dalam proses kerja sebagian industri. Tujuan dari *monitoring* ini dimaksudkan agar sistem dari keseluruhan dapat berlangsung aman, efektif, dan efisien. Perkembangan teknologi saat ini, dapat memantau kondisi objek yang diinginkan secara real time menggunakan perangkat *Internet of Things* (IoT). Tujuan Penelitian ini adalah untuk membuat sistem *monitoring* kualitas air secara efisien di mana *monitoring* dapat ditampilkan pada smart phone. Perancangan alat ini akan membantu masyarakat dalam hal *me-monitoring* kualitas air yang digunakan pada budidaya ikan. Parameter dalam *me-monitoring* kualitas air diantaranya suhu air di mana untuk mendapatkan parameter tersebut menggunakan sensor DS18B20, Tingkat keasaman air menggunakan sensor pH meter, *Total dissolved solid* merupakan senyawa organik yang terdapat pada air pembacaan menggunakan sensor *total dissolved solids* (TDS), dan Tingkat kekeruhan air yang akan dibaca menggunakan sensor Turbidity. Pembacaan hasil sensor akan diproses dengan menggunakan Arduino Uno dan data akan langsung dapat dipantau pada Smart Phone pengguna sehingga akan memudahkan dalam *me-monitoring* kualitas air danau.

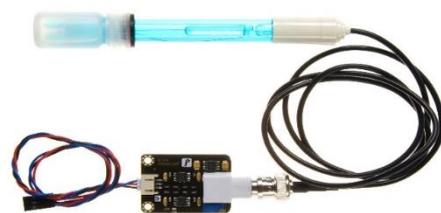
II. LANDASAN TEORI

A. Sensor DS18B20

Sensor suhu DS18B20 adalah sebuah sensor suhu digital 1-wire (hanya membutuhkan 1 pin jalur data komunikasi). Setiap sensor DS18B20 memiliki nomor seri 64-bit yang unik yang berarti kita dapat menggunakan banyak sensor pada bus data yang sama (banyak sensor terhubung ke GPIO yang sama). Hal tersebut sangat berguna untuk logging data pada proyek pengontrolan suhu yang membutuhkan banyak sensor suhu. Sensor ini memiliki rentang pengukuran suhu dari mulai -55°C sampai dengan +125°C dengan akurasi ±0.5°C dari -10°C sampai +85°C [1]. Bentuk fisik sensor DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 1. Akurasi pengukuran kurang lebih 0.5 °C.



Gambar 1. Sensor DS18B20 [1].



Gambar 2 Sensor pH [3].

TABEL 1
 SPESIFIKASI SENSOR PH

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan operasi	5 V
2	Ukuran modul	43 mm x 32 mm
3	Rentang pengukuran	0 – 14 pH
4	Suhu pengukuran	0 – 60°C
5	Akurasi pengukuran	±0,1 pH (25°C)
6	Waktu respon	≤ 1 menit
7	Panjang kabel	660 mm



Gambar 3. Sensor TDS [5].

TABEL 2
SPESIFIKASI SENSOR TDS

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan input	3,3 ~ 5,5V
2	Tegangan output	0 ~ 2,3 v
3	Arus kerja	3 ~ 6 mA
4	Pengukuran TDS	0 ~ 1000 ppm
5	Akurasi	±10% F.S. (25°C)
6	Dimensi modul	42 × 32 mm
7	Panjang probe	83 cm

B. Sensor pH

pH adalah ukuran keasaman atau basa dari suatu larutan yang skalanya berkisar dari 0 sampai dengan 14, di mana nilai 0 menunjukkan pH sangat asam, nilai 7 menunjukkan pH netral sedangkan pH 14 menunjukkan pH sangat basa. Cara kerja sensor pH ialah dengan mengukur perbedaan potensial antara dua elektroda yaitu elektroda referensi (perak/perak klorida) dan kaca elektroda yang sensitive terhadap ion hydrogen [2]. Pada Gambar 2 merupakan fisik dari Sensor pH dan Tabel 1 merupakan spesifikasi dalam sensor pH.

C. Sensor TDS

Sensor TDS menggunakan prinsip kerja dua elektroda yang terpisah untuk mengukur nilai konduktivitas listrik dari cairan sampel. Sifat elektrolit atau kandungan partikel ion dari suatu cairan akan mempengaruhi hasil pengukuran konduktivitas listrik pada sensor TDS [4]. Sistem pengukur TDS air minum ini didasarkan pada kemampuan kation dan anion dalam menghantarkan listrik, semakin tinggi nilai konduktivitas maka semakin besar kemampuan kation dan anion dalam menghantarkan listrik. Berikut Tabel 2 menunjukkan spesifikasi dari sensor TDS dan Gambar 3 adalah sensor TDS tersebut.

D. Turbidity Sensor

Turbidity sensor digunakan untuk mendeteksi kualitas air dengan cara mengukur tingkat kekeruhannya. Sensor ini menggunakan cahaya untuk mendeteksi partikel yang tertahan di dalam air dengan cara mengukur transmisi cahaya dan tingkat penghamburan cahaya yang berubah sesuai dengan jumlah TTS (*Total Suspended Solids*) dengan meningkatnya TTS [2]. Bentuk fisik dari sensor ditunjukkan pada Gambar 4 Berikut spesifikasi dari turbidity sensor

E. Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah board minimum sistem mikrokontroler AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino ini memiliki 14 pin digital, 6 pin analog. Enam pin digitalnya dapat berfungsi sebagai pin Pulse Width Modulation (PWM), yang memungkinkan untuk memberikan nilai analog ke pin tersebut. Adapun pin-pin analog dapat difungsikan sebagai pin digital. Mikrokontroler

Submitted: 10/28/2023; Revised: 12/30/2023;
Accepted: 12/30/2023; Online first: 12/30/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i2.27>



Gambar 4. Sensor turbidity [6].

TABEL 3
SPESIFIKASI TURBIDITY SENSOR

NO	Spesifikasi	Keterangan
1	Tegangan input	5V DC
2	Metode output	Analog output
3	Arus kerja	40 mA
4	Waktu respon	500 ms
5	Rentang temperature	5°C sampai dengan 90°C
6	Stroke temperature	-10°C sampai dengan 90°C

ATmega328P memiliki RAM berukuran 2K dan EEPROM berukuran 1K. Clock speed sebesar 16MHz. Tegangan masukan yang dianjurkan berkisar antara 7V dan 12V. Arus maksimum pada setiap pin sebesar 20mA. Board Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 5.

F. Node MCU ESP 8266

NodeMCU adalah perangkat firmware dan pengembangan sumber terbuka yang membantu membangun produk IoT. NodeMCU dikembangkan untuk mempermudah penggunaan *Application Programming Interface* (API) lanjutan untuk IO perangkat keras. API dapat mengurangi pekerjaan yang berlebihan untuk mengonfigurasi dan memanipulasi perangkat keras. NodeMCU dirancang seperti Input Output (IO) perangkat keras Arduino [8]. Board Node MCU ESP 8266 dapat dilihat pada Gambar 6.

G. Standar Kualitas Air Budidaya Ikan Air Tawar

Pada Tabel 4 merupakan standar kualitas atau mutu air yang dapat digunakan untuk melakukan budidaya ikan air tawar menurut PP No. 22 Tahun 2021 [9].

III. METODOLOGI PERANCANGAN

A. Blok Diagram Sistem

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler yang menjadi modul utama yang berfungsi untuk memproses setiap data yang berasal dari nilai sensor yang sedang berjalan adapun sensor yang digunakan yaitu sensor pH, sensor suhu air, sensor TDS, dan sensor kekeruhan air. Sensor tersebut digunakan untuk mengidentifikasi keadaan air pada danau Pinang Bahari. Alat *monitoring* kualitas air tersebut juga terintegrasi oleh sebuah website sebagai antarmuka antara pengguna dengan perangkat NodeMCU ESP8266. Pengguna dapat memantau kualitas air melalui website dan Smartphone agar mempermudah proses pemanataun beserta pengolahan data



Gambar 5. Arduino Uno [7].



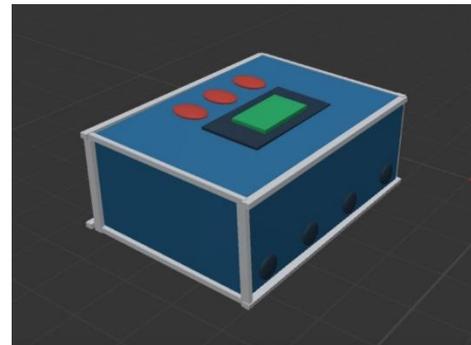
Gambar 6. NodeMCU ESP8266 [8]



Gambar 1. Penentuan titik sampel

TABEL 4
TABEL KUALITAS AIR BUDIDAYA IKAN

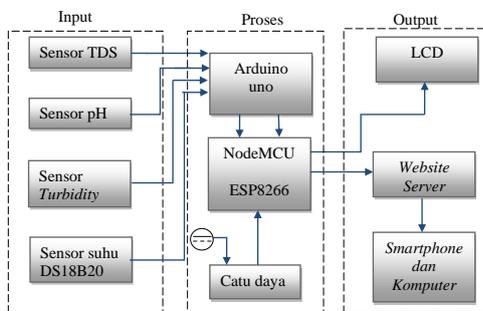
No	Parameter	Kelas 2
1	Temperatur °C	Dev 3 (Perbedaan Suhu udara dengan suhu air
2	Derajat Keasaman (pH)	6 – 9 pH
3	Padatan terlarut total (TDS)	≤ 1000
4	Kekeruhan Air	≤ 20 NTU



Gambar 9. Desain alat

TABEL 5
SPESIFIKASI DESAIN ALAT

Spesifikasi	Ukuran
Panjang	20 cm
Lebar	24 cm
Tinggi	12 cm
Berat	1,35 kg



Gambar 7. Blok diagram sistem

kualitas air tersebut. Gambar 7 merupakan blok diagram sistem dari alat yang di buat.

B. Metode Pengambilan Data

Pengambilan data pada danau di Pinang Bahari dengan melakukan penentuan titik sampel menggunakan *sample survey method* yaitu metode pengambilan sampel dilakukan dengan membagi menjadi beberapa segmen atau titik yang dapat mewakili populasi. Penentuan titik pengambilan sampel kualitas air pada danau yang akan dilakukan pengambilan data untuk pengujian alat yang akan dibuat dapat dilihat Pada Gambar 8. Pengujian dilakukan dengan dua cara yaitu *in situ* (pengukuran langsung di lapangan) dan *ex situ* (analisis laboratorium).

C. Desain Alat

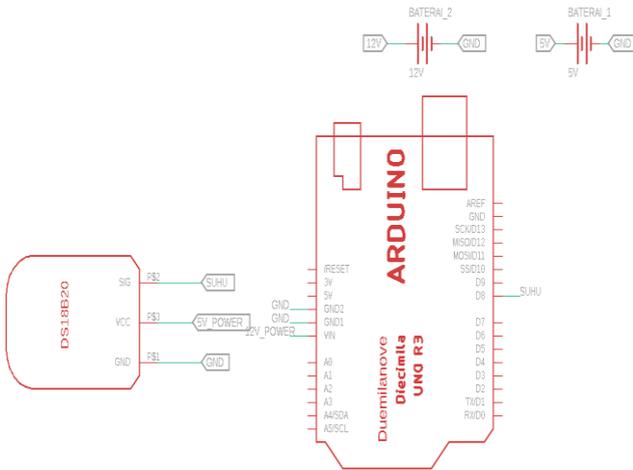
Desain alat dibuat menggunakan *software* Prisma3D dengan menimbang berbagai macam aspek hingga fungsi yang tepat guna untuk hasil akhir yang baik. Desain alat *monitoring* kualitas air dapat dilihat pada Gambar 9. Spesifikasi ukuran dan berat pada alat *monitoring* kualitas air dapat dilihat pada Tabel 5 Berikut ini

D. Perancangan Sensor Suhu DS18B20

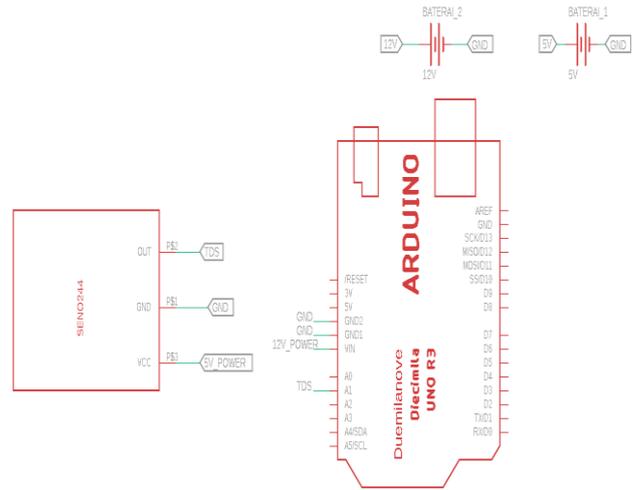
Sensor DS18B20 berfungsi untuk mengukur suhu air dalam danau. Cara kerja sensor ini sama dengan sensor pH yaitu dengan memasukkan sensor ke dalam air, maka dengan itu sensor dapat membaca suhu air. Pada Gambar 10 merupakan skematik dari Sensor DS18B20 di mana tegangan input yang dibutuhkan sensor yaitu 5 v dan Pin sig langsung masuk pada pin D8 Arduino yaitu sebagai input data dari sensor.

E. Perancangan Sensor pH

Sensor pH berfungsi untuk mengukur derajat asam basa air yaitu dengan mencelupkan sensor ke dalam air. Cara kerja sensor ini yaitu dengan cara memasukkannya ke dalam air, maka dengan demikian sensor akan membaca derajat asam basa

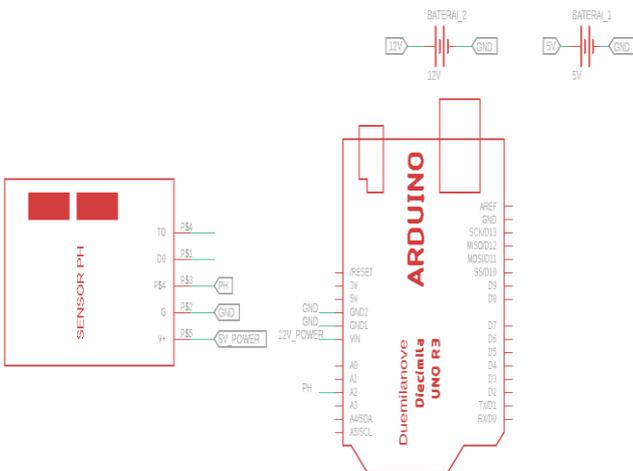


Gambar 10. Skematik DS18B20



Gambar 12. Sensor TDS

data output sensor akan dihubungkan di pin ADC A3 Arduino Uno.



Gambar 11. Sensor pH

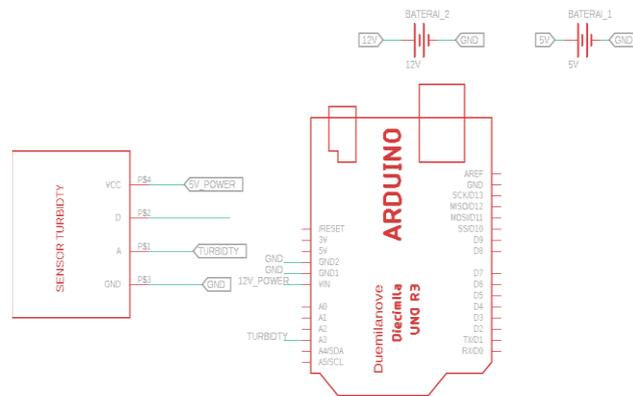
air tersebut kemudian dikirimkan untuk di proses. Pada Gambar 11 merupakan skematik dari sensor pH di mana sensor ini membutuhkan tegangan 5 v dan pin input sensor masuk dalam pin ADC arduino yaitu A2.

F. Perancangan Sensor TDS

Sensor TDS berfungsi sebagai untuk mengukur jumlah padatan atau partikel terlarut didalam air. Cara kerja sensor dengan cara mencelupkan ujung sensor ke danau yang akan di ukur partikel-partikel yang terlarut didalam danau tersebut, selanjutnya yang akan diproses melalui sistem yang dibuat. Pada Gambar 12 merupakan rangkaian skematik dari sensor TDF di mana sensor ini membutuhkan tegangan input 5 v dan keluaran senso akan masuk pada pin ADC A1 pada Arduino Uno

G. Turbidity Sensor

Sensor *Turbidity* berfungsi sebagai untuk mengukur tingkat kekeruhan pada air danau. Cara kerja dari sensor ini ialah dengan mencelupkan ujung sensor tersebut dimana nantinya sensor ini akan mengukur tingkat kekeruhan air danau tersebut, selanjutnya yang akan diproses melalui sistem yang dibuat. Pada Gambar 13 merupakan skematik dari sensor *tubidity* di mana sensor ini memerlukan tegangan input 5 v dan



Gambar 13. Sensor turbidity

H. Perancangan Penampilan pada Aplikasi Blynk

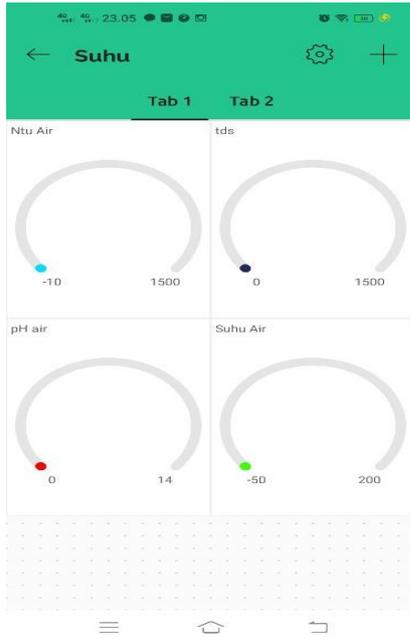
Berikut ini penampilan pada website pada aplikasi Blynk menggunakan smartphone. penampilan nilai data dari nodeMCU ESP8266 ke smartphone menggunakan Virtual Output dari aplikasi Blynk dan tampilan awal hasil penampilan data pada aplikasi Blynk.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini dilakukan 2 tahap yaitu pengujian setiap sensor dan pengujian air danau Perumahan Pinang Bahari. Pengujian sensor dilakukan dengan melakukan perbandingan sampel data dan sekaligus sebagai kalibrasi sensor yang akan digunakan. Sampel data diambil dari buffer sampel maupun dari Laboratorium Kimia. Setelah sensor dinyatakan baik dan telah dikalibrasi dengan data sampel akan selanjutnya mengambil data kualitas air di danau.

A. Sensor Suhu

Dalam pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan dengan menggunakan sampel suhu air panas, suhu air dingin, dan suhu air normal. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan



Gambar 14. Aplikasi Blynk

TABEL 6
HASIL PENGUJIAN SENSOR SUHU

No	Termometer (oC)	Sensor Suhu DS18B20 (oC)	Error Perbandingan (%)	Keterangan
1	17,4	17,30	0,574	Baik
2	19,4	19,5	0,515	Baik
3	29,9	29,82	0,267	Baik
4	47,3	46,94	0,761	Baik
5	47,3	47,00	0,634	Baik

sensor suhu DS18B20 dengan alat ukur termometer yang akan dilihat nilai eror pada sensor tersebut. Berikut ini hasil percobaan sensor DS18B20 dengan menggunakan sampel suhu air. Pada Tabel 6 merupakan hasil pengujian sensor suhu. Pada data menunjukkan bahwa sensor akurasi sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah 99% sehingga sensor suhu dapat dikatakan baik.

B. Pengujian Sensor pH

Pengujian sensor pH dilakukan untuk mengetahui apakah kondisi perintah pada sensor apakah bekerja dengan baik dalam menghitung nilai pH yang dihasilkan oleh air. Dalam penelitian ini peneliti melakukan uji coba serta kalibrasi sensor dengan menggunakan sampel pH. Nantinya setelah dilakukan kalibrasi maka akan dilihat bagaimana kondisi danau di perumahan Pinang Bahari serta jenis ikan apa saja yang cocok di danau tersebut. Pada Tabel 7 merupakan hasil pengujian sensor pH. Pada data menunjukkan bahwa sensor dalam keadaan baik karena akurasi mencapai 99,417%.

C. Pengujian Sensor TDS

Pengujian sensor TDS akan dilakukan menggunakan sampel air sungai dengan nilai TDS 142, air dari pdam dengan nilai TDS 40, dan air mineral dengan nilai TDS 113. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai pada sensor TDS dengan alat ukur TDS meter dimana akan dilihat nilai eror yang ada pada sensor TDS tersebut. Pada Tabel 8 merupakan hasil

TABEL 7
HASIL PENGUJIAN SENSOR PH

No	Nilai pH Buffer	Sensor pH	Error Perbandingan	Keterangan
1	4,00	4,13	0,037	Baik
2	4,00	4,12	0,030	Baik
3	6,86	6,90	0,583	Baik
4	6,86	6,84	0,291	Baik
5	9,18	9,20	0,217	Baik

TABEL 8
HASIL PENGUJIAN SENSOR TDS

No	Sampel Air (TDS)	Sensor TDS (TDS)	Error Perbandingan	Keterangan
1	142	142,34	0,239	Baik
2	142	142,47	0,333	Baik
3	40	39,661	0,972	Baik
4	40	41,211	3,027	Baik
5	113	115,83	2,504	Baik

TABEL 9
HASIL PENGUJIAN TURBIDITY SENSOR

No	Sampel NTU	Sensor Turbidiy	Error Perbandingan	Keterangan
1	103	108	4,854	Baik
2	103	99	3,883	Baik
3	103	98	4,854	Baik
4	103	100	2,91	Baik
5	103	101	1,94	Baik

pengujian sensor TDS. Pada data menunjukkan bahwa sensor TDS yang digunakan dalam kondisi baik karena akurasi ketepatan pembacaan sensor sebesar 96,973%.

D. Pengujian Turbidity Sensor

Pengujian turbidity sensor atau sensor kekeruhan dengan menggunakan sampel air dengan nilai 103 NTU sampel air NTU ini diambil dari laboratorium teknik kimia politeknik negeri samarinda. Pada Tabel 9 merupakan hasil pengujian sensor turbidity. Pada sensor ini memperlihatkan bahwa akurasi pengukuran sensor turbidity sensor yaitu 95% sehingga sensor ini dapat dikatakan baik.

E. Pengujian Kualitas Air Danau

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kinerja sistem alat monitoring kualitas air di danau Pinang Bahari. Peneliti akan menguji coba sistem mulai dari pH, TDS, suhu, dan kekeruhan air apakah sistem dapat membaca parameter nilai air. Pada proses pengambilan data peneliti mengambil data dari 7 titik sampel pada danau Pinang Bahari. Dari hasil ujicoba sistem dapat diketahui bahwa sistem dapat bekerja dengan baik sesuai perintah pada program yang telah dibuat. Pada Gambar 15 proses pengambilan data di danau didampingi oleh pengurus danau. Tabel 10 merupakan data hasil pengukuran kualitas danau Perumahan Pinang Bahari.

Pada Tabel 10 menunjukkan hasil rata-rata pengukuran dari setiap titik sampel didapatkan bahwa kondisi air danau Perumahan Pinang Bahari masih dalam kondisi layak untuk melakukan budidaya ikan air tawar sesuai dengan Tabel 4 tentang batas maksimal kualitas air untuk budidaya ikan air tawar.



Gambar 15. Pengambilan data di danau

TABEL 10
HASIL PENGUJIAN KUALITAS AIR DANAU

Titik Sampel	pH Air	Suhu Air	NTU Air	TDS Air
1	7	28.56	10	72.12
2	6.9	28.62	13	67.55
3	6.94	30.31	15	58.45
4	6.67	3.25	14	68.87
5	6.5	29.69	14	86.97
6	6.87	29.56	15	121.7
7	6.54	29	16	75.54
Rata-Rata	6.774	25.57	13	78.742

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Pada penelitian ini didapatkan bahwa dengan menggunakan sensor suhu DS18B20, sensor pH, sensor TDS dan sensor Turbidity dapat mampu mengukur setiap parameter kualitas air dengan tingkat kesalahan dibawah 5%. Dari kualitas air yang telah dilakukan pengukuran di Danau Pinang Bahari didapatkan semua nilai parameter didapatkan masih dalam batas wajar dalam melakukan budidaya ikan air tawar di danau. Pemanfaatan IOT juga mampu memudahkan dalam pengambilan data maupun pembacaan data karena telah dapat langsung memantau secara *real-time* hasil pengukuran dari sensor.

B. Saran

Pada penelitian ini masih dalam tahap pengembangan di mana berfokus pada system monitoring dan memberikan informasi terhadap pengguna terkait kondisi air di danau. Harapan kedepan adalah yaitu membuat suatu sistem kontrol di mana bertujuan selain memberikan informasi terhadap pengguna dapat secara otomatis langsung mengkontrol suatu sistem agar dapat menjaga kualitas air danau.

REFERENSI

- [1] D. Eridani, O. Wardhani, dan E. D. Widiyanto, "Designing and implementing the arduino-based nutrition feeding automation system of a prototype scaled nutrientfilm technique (NFT) hydroponics using total dissolved solids (TDS) sensor," in *2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang: IEEE, Oct. 2017, pp. 170-175. doi: 10.1109/ICITACEE.2017.8257697.
- [2] M. F. Wicaksono, *Aplikasi Arduino Dan Sensor*, Informatika, 2017.
- [3] "PH_meter_SKU_SEN0161 -DFRobot." Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU_SEN0161_
- [4] R. P. Wirman, I. Wardhana, dan V. A. Isnaini, "Kajian tingkat akurasi sensor pada rancang bangun alat ukur total dissolved solids (tds) dan tingkat kekeruhan air," *Jurnal Fisika*, vol. 9, no. 1, pp. 37-46, May 2019, doi: 10.15294/jf.v9i1.17056.
- [5] "Gravity Analog TDS Sensor / Meter for Arduino COM43 ,R27," Faranux Electronics. Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.faranux.com/product/gravity-analog-tds-sensor-meter-for-arduino-com432/>
- [6] "Water Turbidity Sensor with Analog Output Module." Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.techtonics.in/water-turbidity-sensor-with-analog-output-module>
- [7] D. M. Yusuf, A. Azwardi, dan M. M. Amin, "Alat pendeteksi kadar keasaman sari buah, soft drink, dan susu cair menggunakan sensor pH berbasis mikrokontroler Arduino Uno Atmega328," *teknika*, vol. 12 no. 1, 2020, doi: 10.5281/zenodo.3865138.
- [8] T. Sulistyorini, N. Sofi, dan E. Sova, "Pemanfaatan NodeMCU ESP8266 berbasis Android (Blynk) sebagai alat alat mematikan dan menghidupkan lampu," *Jurnal Ilmiah Teknik*, vol. 1, no. 3, pp. 40-53, Sep. 2022, doi: 10.56127/juit.v1i3.334.
- [9] Peraturan Pemerintah, *Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- [10] J. Rocher, J.M. Jimenez, J. Tomas, dan J. Lioret. "Low-cost turbidity sensor to determine eutrophication in water bodies." *Sensors*, vol. 23, no. 8, Jan. 2023, p. 3913. www.mdpi.com, <https://doi.org/10.3390/s23083913>.
- [11] C.D. Kelley, et al. "An affordable open-source turbidimeter." *Sensors*, vol. 14, no. 4, Apr. 2014, pp. 7142-55. www.mdpi.com, <https://doi.org/10.3390/s140407142>.

Evaluasi Pengendalian Kecepatan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Variable Speed Drive* ATV61 Terhadap Penghematan Energi Pada PLTGU Tanjung Batu

Gilang Arrachman¹, Rusdiansyah², Bustani³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
rusdiansyah@polnes.ac.id

Abstrak- Motor induksi tiga fasa banyak digunakan sebagai penggerak peralatan dengan kecepatan penuh secara konstan, sedangkan kebutuhan suatu sistem tidak selalu harus pada kecepatan penuh. Oleh karena itu *Variable Speed Drive* (VSD) dapat mengatur kecepatan putaran motor induksi sesuai dengan yang dibutuhkan. Penurunan kecepatan motor berpengaruh terhadap konsumsi daya listrik. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa daya motor induksi tiga fasa jika dioperasikan tanpa dan dengan menggunakan VSD berturut-turut adalah sebesar 1344.88 kWh dan 559.313 kWh. Dengan selisih sebesar 785.567 kWh, penggunaan VSD menghemat energi listrik sebesar 58.411%.

Kata kunci: Konsumsi daya listrik, motor induksi tiga fasa, *variable speed drive*.

I. PENDAHULUAN

Pada banyak industri, motor listrik digunakan untuk menunjang proses produksi. Salah satu jenis motor yang sering digunakan adalah motor induksi tiga fasa. Saat digunakan, motor induksi tiga fasa tidak selalu diharapkan bekerja pada putaran penuh. Karena itu berbagai metode digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor induksi tiga fasa, salah satunya adalah dengan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) [1]. *Variable Speed Drive* adalah suatu alat yang dapat mengendalikan putaran motor induksi tiga fasa dengan cara merubah frekuensi tegangan masuknya.

Motor induksi tiga fasa dengan pengaturan kecepatan juga digunakan di PLTGU Tanjung Batu. Perangkat tersebut merupakan salah satu dari berbagai perangkat lain yang digunakan dalam proses pembangkitan listrik. Perangkat *Variable Speed Drive* yang dipakai adalah Schneider Altivar 61. Pada saat pembangkit beroperasi, laju aliran bahan bakar jenis *High Speed Diesel* (HSD) diatur dengan menggunakan *Variable Speed Drive* Schneider Altivar 61. *Variable Speed Drive* mengatur nilai frekuensi pada motor *feeding pump* sehingga laju aliran bahan bakar dapat disesuaikan dengan yang dibutuhkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor arus bolak-balik (Motor AC) adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik atau tenaga gerak, dimana tenaga gerak ini berupa perputaran pada poros motor [2]. Motor induksi tiga fasa dioperasikan pada sistem tenaga tiga fasa dan banyak digunakan dalam berbagai bidang industri. Terdapat dua komponen utama pada motor induksi tiga fasa yaitu rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang berputar sedangkan stator merupakan bagian yang diam.

B. Stator

Stator merupakan bagian yang diam pada motor induksi. Bagian stator tersusun dari alur-alur yang terbuat dari pelat-pelat yang dipejalkan sebagai tempat kawat kumparan dililitkan sehingga membentuk gulungan. Bentuk gulungan pada dasarnya cukup banyak, namun yang umum digunakan ada 3 macam, yaitu *block biasa*, *block diamond*, dan *block smith*

C. Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar pada motor induksi. Perputaran rotor disebabkan karena adanya medan magnet yang dihasilkan oleh stator. Rotor motor induksi tidak berputar pada kecepatan sinkron tetapi sedikit ketinggalan atau terjadi selisih jumlah putaran antara putaran medan stator dan putaran rotor

D. Slip

Selisih antara putaran medan stator dan putaran rotor disebut sebagai *slip*. Kecepatan putaran rotor motor induksi harus lebih lambat dari kecepatan sinkronnya supaya konduktor pada rotor selalu dipotong oleh medan putar, sehingga pada rotor timbul tegangan induksi yang akan menghasilkan arus induksi pada rotor.

$$Slip (S) = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan :

S : *Slip*
N_s : Kecepatan Sinkron
N_r : Kecepatan Putaran Rotor

E. Torsi

Torsi adalah kekuatan yang menghasilkan suatu rotasi (putaran). Hal ini menyebabkan objek untuk berputar. Torsi merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu. Torsi terdiri dari gaya dan jarak dengan satuan lb-ft, satuan tersebut harus diubah ke dalam satuan Nm. Untuk 1 lb ft = 1,356 Nm. Untuk menghitung nilai torsi dapat menerapkan rumus:

$$\tau = \frac{5250 \times HP}{n} \tag{2}$$

Keterangan :

- τ : Torsi
- n : Kecepatan Sinkron
- HP : Daya motor

Sedangkan hubungan torsi terhadap daya pada sebuah motor induksi tiga fasa adalah :

$$P = \tau \times \omega \tag{3}$$

Keterangan :

- P : Daya, Watt (W)
- τ : Torsi
- ω : Kecepatan sudut (Rad/s)

Untuk rumusan kecepatan sudut adalah :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n/60 \tag{4}$$

Keterangan :

- n : Kecepatan putaran motor (Rpm)

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa daya yang dibutuhkan motor induksi sebanding dengan besarnya torsi yang dihasilkan pada kecepatan tertentu.

F. Rugi Daya dan Efisiensi

Pada sebuah motor induksi terdapat rugi-rugi yang ditimbulkan karena komponen-komponen yang menyusun motor itu sendiri. Komponen - komponen tersebut akan menimbulkan rugi - rugi tembaga, rugi - rugi pada inti besi, rugi - rugi mekanik seperti hambatan yang ditimbulkan karena gesekan dan angin. Efisiensi sebuah motor dinyatakan sebagai persentase perbandingan antara daya output (P_{out}) terhadap daya input (P_{in}). Untuk menghitung rugi daya dan efisiensi motor induksi dapat menggunakan rumus berikut ini:

Untuk rugi daya

$$P = P_{in} - P_{out} \tag{5}$$

Keterangan :

- P : Rugi daya
- P_{in} : Daya masukan
- P_{out} : Daya keluaran

Submitted: 12/30/2023; Revised: 12/31/2023;
 Accepted: 12/31/2023; Online first: 12/31/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i2.31>

Untuk mencari Pin

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \tag{6}$$

Keterangan :

- P : Daya masukan
- V : Tegangan
- I : Arus
- $\cos\phi$: Faktor daya

Untuk mencari Pout

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \times \eta \tag{7}$$

Keterangan :

- P : Daya masukan
- V : Tegangan
- I : Arus
- $\cos\phi$: Faktor daya
- η : Efisiensi motor induksi

Untuk efisiensi

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \tag{8}$$

Keterangan :

- η : Efisiensi
- P_{out} : Daya masukan
- P_{in} : Daya masukan

G. Variable Speed Drive

Variable Speed Drive (VSD) adalah suatu peralatan pengendali motor induksi 3 fasa dengan prinsip mengatur besaran frekuensi dan tegangan yang diterima oleh motor induksi [3]. *Variable Speed Drive* menggunakan frekuensi tegangan masuk untuk mengatur kecepatan putaran motor induksi tiga fasa. Pengaturan Lebar Pulsa Modulasi atau PWM merupakan salah satu teknik yang digunakan dalam sistem kendali. Pengaturan lebar modulasi dipergunakan sebagai *speed control* (kendali kecepatan). Kecepatan putaran medan stator dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \tag{9}$$

Keterangan :

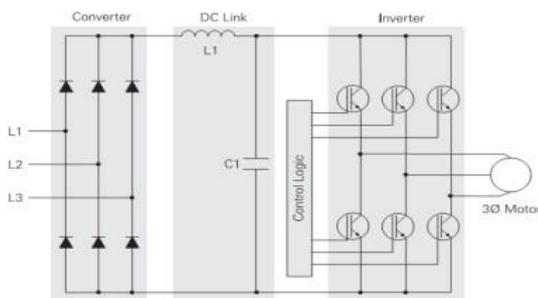
- f : Frekuensi
- p : Jumlah kutub

Dari besaran pada persamaan di atas, dapat dilihat bahwa nilai dari sebuah frekuensi dapat mempengaruhi kecepatan putaran motor induksi, yang berarti dengan memainkan frekuensi dapat merubah putaran motor induksi.

H. Pulse Width Modulation

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan

dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Pertama tegangan bolak-balik dikonversi menjadi searah, dibutuhkan penyearah untuk bisa melakukannya. Penyearah yang digunakan adalah penyearah tidak terkendali (*rectifier*). Setelah tegangan sudah diubah menjadi searah maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan searah dengan menggunakan tandon kapasitor sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan searah diubah menjadi tegangan bolak-balik kembali oleh *inverter* dengan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*).



Gambar 1. PWM drive basic schematic

I. Rectifier

Rectifier (Penyearah Gelombang) merupakan suatu bagian berfungsi sebagai pengubah sinyal AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal DC (*Direct Current*). Komponen utama pada rangkaian *rectifier* atau penyearah gelombang adalah *diode*. *Rectifier* akan mengubah tegangan bolak-balik tiga fasa menjadi tegangan searah. Nilai tegangan searah yang dihasilkan adalah 1.35 kali tegangan inputnya, misal: 480VAC maka dihasilkan 650 VDC.

J. DC Link

Kapasitor bekerja dengan penyearah dan bertindak sebagai penyimpanan tegangan. Tegangan DC yang telah disaring pada *DC Link* kemudian dimasukkan kebagian *inverter*.

K. Inverter

Inverter adalah suatu alat yang berfungsi untuk merubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC) dengan menggunakan metode *switching* dengan frekuensi yang dapat diatur dengan IGBT. IGBT memiliki kemampuan penyaklaran yang sangat tinggi hingga ribuan kali per detik dimana dapat aktif kurang dari 400 nano detik dan mati dalam waktu 500 nano detik. IGBT dibangun oleh sebuah *gate*, *kolektor*, dan *emitter*. Saat *gate* diberikan tegangan positif dari *control logic* (biasanya +15VDC), arus akan mengalir melalui *collector* dan *emitter*.

IGBT akan mati saat tegangan positif dihilangkan dari *gate*. Selama kondisi mati, tegangan *gate* IGBT akan ditahan pada nilai tegangan negatif yang kecil sekitar -15V VDC untuk mencegah agar tidak hidup dengan sendirinya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

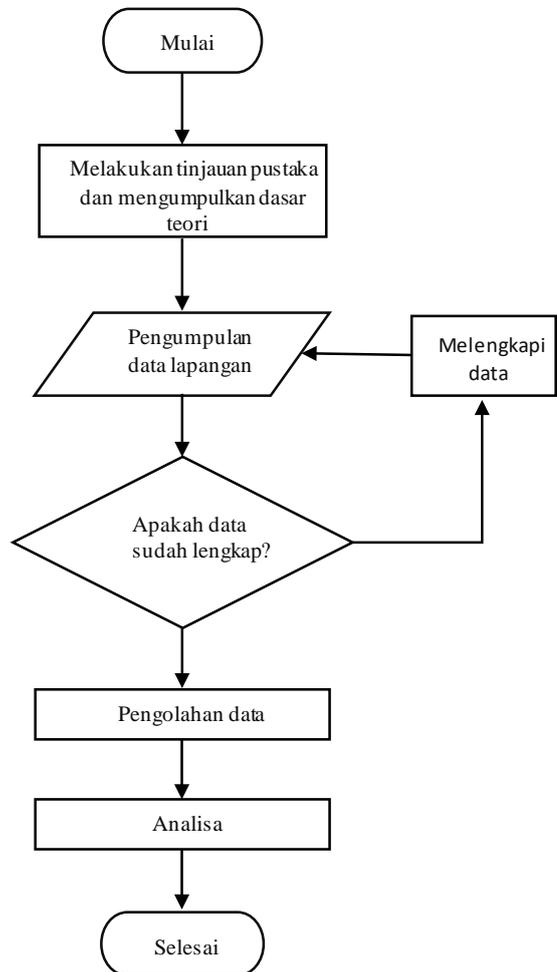
A. Waktu dan Lokasi

Proses pengambilan data *Variable Speed Drive* ATV 61 sebagai pengendali kecepatan putaran motor induksi tiga fasa yang berperan sebagai *feeding pump* dilakukan pada Mei 2019

Submitted: 12/30/2023; Revised: 12/31/2023;
Accepted: 12/31/2023; Online first: 12/31/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrd.v4i2.31>

sampai dengan Juni 2019 dan dilaksanakan di PLTGU Tanjung Batu yang berlokasi di Jalan Raya Tj. Batu, Tenggaraong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

B. Desain Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

C. Data

Data-data yang diperoleh antara lain adalah data motor induksi tiga fasa yang digunakan, data *Variable Speed Drive* (VSD), dan data aktual motor induksi tiga fasa yang dikendalikan VSD. Ketiganya ditunjukkan dalam tabel-tabel berikut.

TABEL 1
SPESIFIKASI MOTOR INDUKSI TIGA FASA WESTERN ELECTRIC 10 160M2-2

Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa Western Electric 10 160M2-2	
<i>Operating Data</i>	<i>Rated Point</i>
Output (kW/HP)	15/20

Voltage Φ / Y (V)	380/660
Load Current Φ / Y (A)	28.7/16.5
Power Factor	0.89
Frequency (Hz)	50
Efficiency (%)	89
Speed (r/min)	2920
Pole	2
Ingress Protection Rating	IP55
Wight (Kg)	107
Type	10 160M2-2

TABEL 2
SPESIFIKASI VARIABLE SPEED DRIVE ALTIVAR 61

Sumber	Input Tegangan	380...480 V 50/60 Hz
Motor	Daya Maksimal Output (KW/HP)	18,5/25
Line supply (input)	Maksimal Arus (380V/480V)	45,5A/37,5A
	Max. prospective line Isc	22 kA
	Apparent power	30,5 kVA
	Max. Inrush current	93.4A
Drive (output)	Max. available nominal current In (280V/460V)	41A/34A
	Max. Transient current for 60 s	49,2A

TABEL 3
DATA AKTUAL MOTOR INDUKSI SETELAH DIKENDALIKAN VSD

No	Hari/Tanggal	Frekuensi Hz	Arus I	Tegangan V	RPM ns	RPM Nr
1	Senin, 6 Mei 2019	25	13.3	199	1500	1490
		35	13.8	274	2100	2090
		50	14.3	390	3000	2929
2	Selasa, 7 Mei 2019	25	12.6	198	1500	1490
		35	13.1	274.1	2100	2099
		50	13.8	389.1	3000	2930
3	Rabu, 8 Mei 2019	25	13.3	199	1500	1484
		35	13.8	275	2100	2090
		50	14.3	393	3000	2929
4	Kamis, 9 Mei 2019	25	13.3	199	1500	1490
		35	13.8	274.8	2100	2093
		50	14.3	390	3000	2929
5	Jumat, 10 Mei 2019	25	13.3	199	1500	1486
		35	13.8	276	2100	2090
		50	14.3	388.8	3000	2930
6	Senin, 20 Mei 2019	25	13.4	199	1500	1484
		35	13.7	279	2100	2090
		50	14.4	391.9	3000	2929
7	Selasa, 21 Mei 2019	25	13.7	197	1500	1484
		35	14.3	274	2100	2090
		50	14.7	390	3000	2939
8	Rabu, 22 Mei 2019	25	13.6	199	1500	1490
		35	13.9	275	2100	2093
		50	14.4	390	3000	2929
9	Kamis, 23 Mei 2019	25	13	200	1500	1491
		35	13.3	274.8	2100	2093
		50	14.1	390	3000	2929
10	Jumat, 24 Mei 2019	25	13.4	199	1500	1490
		35	13.8	275.3	2100	2092
		50	14.3	390	3000	2930

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengoperasian Variable Speed Drive ATV 61

Pengoperasian Variable Speed Drive ATV 61 yang di aplikasikan dengan motor induksi tiga fasa Western Electric 10 160M2-2 yang berfungsi sebagai pompa bahan bakar pada

Submitted: 12/30/2023; Revised: 12/31/2023;
Accepted: 12/31/2023; Online first: 12/31/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i2.31>

Tanjung Batu ialah menggunakan *Mode Remote*, yaitu untuk menjalankannya diperlukan *remote control* dari *Variable Speed Drive* tersebut sehingga dapat mengkontrolnya. Ketika baru dioperasikan operator mengatur frekuensi *Variable Speed Drive* sebesar 25 Hz dengan potensio meter dengan beban 2.3 kg/s sebagai *starting* awal selama beberapa menit sampai operator mendapatkan perintah selanjutnya dari ruang kontrol untuk merubah ke kecepatan sinkron menjadi 35 Hz dengan beban 2.4 kg/s selama beberapa waktu yang ditentukan (biasanya 5 jam) dari ruang kontrol. Selanjut setelah beberapa waktu maka operator akan mendapatkan perintah selanjutnya untuk merubah frekuensi *Variable Speed Drive* menjadi 50 Hz atau frekuensi maksimum dengan beban 2.5 kg/s dari motor induksi tersebut selama beberapa waktu (biasanya 3 jam). Lalu operator akan menurunkan frekuensi secara perlahan kemudian menghentikannya dengan menekan tombol *Stop* pada *Remote Control*.

B. Tabel Hasil Perhitungan Daya Masukkan Motor Induksi

TABEL 4
PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN DAYA MASUKKAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA WESTERN ELECTRIC 10 160M2-2 TANPA VSD DAN DENGAN VSD

No	Hari & Tanggal	Name Plate	Dengan VSD			
		50 Hz	25 Hz	35 Hz	50 Hz	
1	Senin, 6 Mei 2019	16.811 kW	4.079 kW	5.828 kW	8.597 Kw	
2	Selasa, 7 Mei 2019	16.811 kW	3.845 kW	5.535 kW	8.277 kW	
3	Rabu, 8 Mei 2019	16.811 kW	4.079 kW	5.845 kW	8.663 kW	
4	Kamis, 9 Mei 2019	16.811 kW	4.079 kW	5.845 kW	8.597 kW	
5	Jumat, 10 Mei 2019	16.811 kW	4.079 kW	5.871 kW	8.570 kW	
6	Senin, 20 Mei 2019	16.811 kW	4.110 kW	5.892 kW	8.699 kW	
7	Selasa, 21 Mei 2019	16.811 kW	4.160 kW	6.040 kW	8.837 kW	
8	Rabu, 22 Mei 2019	16.811 kW	4.171 kW	5.892 kW	8.657 kW	
9	Kamis, 23 Mei 2019	16.811 kW	4.007 kW	5.634 kW	8.476 kW	
10	Jumat, 24 Mei 2019	16.811 kW	4.110 kW	5.856 kW	8.597 kW	

C. Tabel Hasil Perhitungan Daya Keluaran Motor Induksi

TABEL 5
PERBANDINGAN DAYA KELUARAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA WESTERN ELECTRIC 10 160M2-2 TANPA VSD

No	Hari & Tanggal	Name Plate	Dengan VSD			
		50 Hz	25 Hz	35 Hz	50 Hz	
1	Senin, 6 Mei 2019	14.962 kW	3.631 kW	5.187 kW	7.651 kW	

2	Selasa, 7 Mei 2019	14.962 kW	3.422 kW	4.926 kW	7.366 kW
3	Rabu, 8 Mei 2019	14.962 kW	3.631 kW	5.206 kW	7.710 kW
4	Kamis, 9 Mei 2019	14.962 kW	3.631 kW	5.202 kW	7.651 kW
5	Jumat, 10 Mei 2019	14.962 kW	3.631 kW	5.225 kW	7.627 kW
6	Senin, 20 Mei 2019	14.962 kW	3.658 kW	5.244 kW	7.742 kW
7	Selasa, 21 Mei 2019	14.962 kW	3.702 kW	5.375 kW	7.865 kW
8	Rabu, 22 Mei 2019	14.962 kW	3.713 kW	5.244 kW	7.704 kW
9	Kamis, 23 Mei 2019	14.962 kW	3.567 kW	5.014 kW	7.658 kW
10	Jumat, 24 Mei 2019	14.962 kW	3.658 kW	5.212 kW	7.651 kW

D. Tabel Hasil Perhitungan Efisiensi Motor Induksi

TABEL 6
HASIL PERHITUNGAN NILAI EFISIENSI MOTOR INDUKSI DENGAN FREKUENSI 23 HZ, 35 HZ DAN 50 HZ SELAMA 10 HARI.

No.	Hari & Tanggal	Efisiensi motor induksi		
		25 Hz	35 Hz	50 Hz
1	Senin, 6 Mei 2019	89.016 %	89.001 %	88.996 %
2	Selasa, 7 Mei 2019	88.998 %	88.997 %	89.543 %
3	Rabu, 8 Mei 2019	89.016 %	88.991 %	88.999 %
4	Kamis, 9 Mei 2019	89.016 %	88.999 %	88.996 %
5	Jumat, 10 Mei 2019	89.016 %	88.996 %	88.996 %
6	Senin, 20 Mei 2019	89.002 %	88.662 %	88.998 %
7	Selasa, 21 Mei 2019	88.990 %	88.990 %	89.000 %
8	Rabu, 22 Mei 2019	89.019 %	89.002 %	88.991 %
9	Kamis, 23 Mei 2019	89.019 %	88.995 %	90.349 %
10	Jumat, 24 Mei 2019	89.002 %	89.002 %	88.996 %

Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat nilai dari efisiensi motor induksi tiap frekuensi yang berbeda selama 10 hari. Nilai yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan nilai yang tertera pada *name plate* yang berarti pengendalian motor induksi dengan VSD tidak mempengaruhi efisiensi dari motor tersebut.

D. Perhitungan Nilai Torsi Motor Induksi Tiga Fasa Western Electric 10 160M2-2 Yang Dikendalikan Dengan VSD

Untuk mengetahui besar nilai torsi motor induksi tiga fasa sebagai pompa yang dikendalikan VSD dengan frekuensi 25 Hz, 35 Hz dan 50 Hz dengan beban masing-masing 2.3 kg/s, 2.4 kg/s dan 2.5 kg/s. Maka dapat ditentukan berdasarkan dengan rumus (2). Rumus tersebut masih dalam satuan lb ft,

sehingga untuk mengubah ke dalam satuan Nm, hasil dari perhitungan dikalikan dengan 1.356.

- Data yang digunakan untuk menghitung nilai torsi motor induksi tiga fasa yang dikendalikan VSD adalah data pada Tabel 3 (Senin, 6 Mei 2019) seperti berikut :

$$25 \text{ Hz} = 3.631 \text{ kW} \quad 35 \text{ Hz} = 5.187 \text{ kW}$$

$$50 \text{ Hz} = 7.651 \text{ kW}$$

- Untuk mendapatkan nilai dengan satuan HP maka data diatas masing-masing dibagi dengan 746 (1 HP = 746 kW).

$$25 \text{ Hz} = 4.867 \text{ HP} \quad 35 \text{ Hz} = 6.953 \text{ HP}$$

$$50 \text{ Hz} = 10.256 \text{ HP}$$

Nilai torsi untuk frekuensi 25 Hz

$$\tau = \frac{5250 \times HP}{n}$$

$$\tau = \frac{5250 \times 4.867}{1500}$$

$$\tau = 17.0345 \text{ lb ft} \times 1.356 = 23.09 \text{ Nm}$$

Nilai torsi untuk frekuensi 35 Hz

$$\tau = \frac{5250 \times HP}{n}$$

$$\tau = \frac{5250 \times 6.953}{2100}$$

$$\tau = 17.3825 \text{ lb ft} \times 1.356 = 23.57 \text{ Nm}$$

Nilai torsi untuk frekuensi 50 Hz

$$\tau = \frac{5250 \times HP}{n}$$

$$\tau = \frac{5250 \times 10.256}{3000}$$

$$\tau = 17.948 \text{ lb ft} \times 1.356 = 24.33 \text{ Nm}$$

- Menentukan daya keluaran motor induksi tiga fasa yang dikendalikan VSD berdasarkan nilai torsi, dengan rumus seperti berikut:

$$P = \tau \times \omega$$

Keterangan :

τ : Torsi

ω : Kecepatan sudut, $2 \cdot \pi \cdot n/60$ (Rad/s)

Untuk frekuensi 25 Hz

$$P = \tau \times \omega$$

$$P = 23.09 \times 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{1500}{60}$$

$$P = 3.628 \text{ kW}$$

Untuk frekuensi 35 Hz

$$P = \tau \times \omega$$

$$P = 23.57 \times 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{2100}{60}$$

$$P = 5.185 \text{ kW}$$

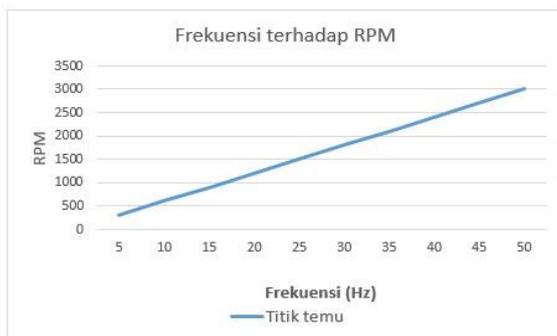
Untuk frekuensi 50 Hz

$$P = \tau \times \omega$$

$$P = 24.33 \times 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{3000}{60}$$

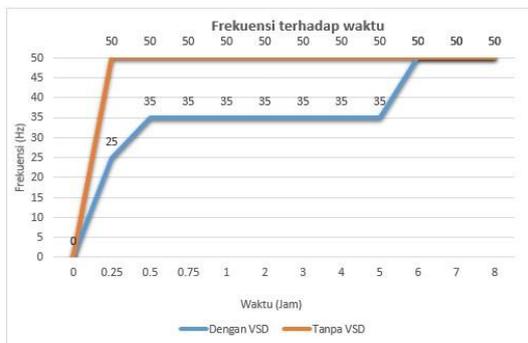
$$P = 7.646 \text{ kW}$$

Dari data torsi dan daya yang diperoleh maka dapat dilihat bahwa daya yang dibutuhkan motor induksi sebanding dengan besarnya torsi yang dihasilkan pada kecepatan tertentu.



Gambar 3. Grafik frekuensi terhadap RPM motor induksi

Dari grafik dalam Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai frekuensi tegangan yang diberikan pada motor induksi maka semakin cepat putaran motor induksi. Jika semakin kecil nilai frekuensi yang diberikan maka semakin lambat putaran motor induksi.



Gambar 4. Grafik frekuensi terhadap waktu kerja motor induksi

Dari grafik dalam Gambar 4 tampak perbedaan antara pengendalian kecepatan motor induksi dengan VSD di PLTGU Tanjung Batu dan tanpa VSD. Tanpa menggunakan VSD kecepatan putaran motor induksi tidak dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan sehingga motor induksi akan selalu beroperasi pada kecepatan maksimalnya secara konstan. Dengan menggunakan VSD kecepatan putaran motor induksi dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan sehingga tidak akan selalu beroperasi pada kecepatan maksimalnya melainkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Submitted: 12/30/2023; Revised: 12/31/2023;
 Accepted: 12/31/2023; Online first: 12/31/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i2.31>

Setelah melakukan perhitungan berdasarkan data dari *name plate* dan data berdasarkan hasil dari pengamatan yang telah dilakukan pada motor induksi tiga fasa *western electric* 10 160M2-2 di PLTGU Tanjung Batu maka didapatkan nilai dari daya masukan (*Watt*) yang berbeda.

- Berdasarkan perhitungan konsumsi daya (*Watt*) yang dibutuhkan dari data *name plate* motor induksi tiga fasa *western electric* 10 160M2-2 maka didapatkan nilai sebesar 16.811 kW.
- Sedangkan konsumsi daya (*Watt*) yang dibutuhkan motor induksi tiga fasa *western electric* 10 160M2-2 berdasarkan perhitungan dari data pengamatan yang telah dilakukan selama 10 hari adalah :

Untuk setiap frekuensi 25 Hz selama 10 hari
 4.079 kW ; 3.845 kW ; 4.079 kW ; 4.079 kW ;
 4.079 kW ; 4.110 kW ; 4.160 kW ; 4.171 kW ;
 4.007 kW ; 4.110 kW (Bekerja selama 10 menit)

Untuk setiap frekuensi 35 Hz selama 10 hari
 5.828 kW ; 5.535 kW ; 5.850 kW ; 5.845 kW ;
 5.871 kW ; 5.892 kW ; 6.040 kW ; 5.892
 kW ; 5.634 kW ; 5.856 kW (Bekerja selama
 5 jam)

Untuk frekuensi 50 Hz diabaikan karena merupakan frekuensi jala-jala yaitu sebanding dengan frekuensi motor induksi tanpa dikendalikan dengan VSD. Maka dapat diketahui perbedaan konsumsi daya yang dibutuhkan motor induksi tiga fasa *western electric* 10 160M2-2 yang bekerja 8 jam sehari selama 10 hari.

- Tanpa menggunakan *Variable Speed Drive*
 Total daya untuk frekuensi 50 Hz (konstan) selama 10 hari
 $16.811 \text{ kW} \times 80 \text{ Jam} = \mathbf{1344.88 \text{ kWh}}$
- Dengan *Variable Speed Drive* ATV 61
 - Total daya untuk frekuensi 25 Hz selama 10 hari

$$40.719 \text{ kW} \times \frac{15 \text{ Menit}}{60 \text{ Menit}} = 10.179 \text{ kWh}$$

- Total daya untuk frekuensi 35 Hz selama 10 hari
 $58.243 \text{ kW} \times 5 \text{ Jam} = 291.215 \text{ kWh}$
 Daya total:
 $10.179 \text{ kWh} + 291.215 \text{ kWh} = \mathbf{301.394 \text{ kWh}}$

Dapat diketahui daya yang dibutuhkan motor induksi tiga fasa *western electric* 10 160M2-2 tanpa dikendalikan *Variable Speed Drive* ATV61 sebesar **1344.88 kWh**, sedangkan untuk konsumsi daya yang dibutuhkan motor induksi tiga fasa *western electric* 10 160M2-2 yang dikendalikan *Variable Speed Drive* ATV61 sebesar **559.313 kWh** yang berarti ada selisih antara kedua nilai tersebut sebesar :

Selisih nilai daya masukan:
 $\mathbf{1344.88 \text{ kWh} - 559.313 \text{ kWh} = 785.567 \text{ kWh}}$

Atau jika dipersentasekan maka :

$$(1344.88 \text{ kWh} - 559.313 \text{ kWh}) \div 1344.88 \text{ kWh} \times 100\% = 58.411\%$$

Adanya selisih antara nilai dari daya masukan motor induksi tiga fasa *western electric* 10 160M2-2 yang dikendalikan dengan *Variable Speed Drive* ATV61 dan tanpa dikendalikan *Variable Speed Drive* ATV61 menunjukkan bahwa telah terjadi penghematan konsumsi daya (*Watt*).

V. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan frekuensi yang diperoleh dari *Variable Speed Drive* ATV 61 pada PLTGU Tanjung Batu menghasilkan perubahan putaran motor induksi tiga fasa *Western Electric* 10 160M2-2. Semakin besar nilai frekuensinya maka semakin cepat putaran yang dihasilkan motor induksi, semakin kecil nilai frekuensinya maka kecepatan putaran yang dihasilkan motor induksi akan menurun.
2. Pengoperasian motor induksi tiga fasa *Western Electric* 10 160M2-2 yang dikendalikan *Variable Speed Drive* ATV 61 di PLTGU masih dilakukan secara manual atau masih dilakukan oleh operator untuk mengoperasikannya.
3. Penggunaan *Variable Speed Drive* ATV 61 pada motor induksi tiga fasa *Western Electric* 10 160M2-2 di PLTGU Tanjung Batu terbukti menghasilkan penghematan energi hingga 77.589%.

B. Saran

Pada PLTGU Tanjung Batu *Variable Speed Drive* digunakan tanpa menggunakan *controller* melainkan hanya dengan menggunakan kontrol konvensional atau masih secara *manual* maka peran operator sangat diperlukan untuk mengoperasikannya dengan cara langsung berada di lapangan sehingga dapat melaksanakan perintah sesuai permintaan. Sebaiknya digunakan aplikasi PLC, dengan penerapan PLC dalam *control* motor induksi yang menggunakan VSD maka sistem kontrol menjadi otomatis dan dapat dikontrol *via local station* maupun *remote area*.

REFERENSI

- [1] A. Atmam, A. Tanjung, dan Z. Zufahri, "Analisis penggunaan energi listrik motor induksi tiga fasa menggunakan variable speed drive (VSD)," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 2 no. 2, pp. 52-59, Juni 2018,
- [2] B. P. Hartono dan E. Nurcahyo, "Analisis hemat energi pada inverter sebagai pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa," *Elektrika*, vol. 1, no. 1, September 2017.
- [3] E. A. Nugroho, "implementasi sistem kendali variable speed drive pada inverter 3 fasa menggunakan mikrokontroler AT89S52," *Jurnal Simetris*, vol. 9, no. 1, April 2018.
- [4] N. Evalina, A. Aziz H, dan Z. Zulfikar, "Pengaturan kecepatan putaran motor induksi 3 fasa menggunakan programmable logic controller," *Journal of Electrical Technology*, Juni 2018.
- [5] A. H. Irawan, D. C. Riawan, dan T. Yuwono, "Penghematan energi pada kompresor menggunakan *variable speed drive* (VSD)," *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2013.
- [6] S. Sudibyo, P. M. Khairul, A. Rosa, dan A. Herawati, "Analisis efisiensi motor induksi pada kondisi tegangan non rating dengan metode segregated loss," *Teknosia*, vol. 2, no. 2, September 2016.
- [7] R. Berlianti, "Analisis motor induksi fasa tiga tipe rotor sangkar sebagai generator induksi dengan variasi hubungan kapasitor untuk eksitasi," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, Maret 2015.
- [8] M. S. I. Abdillah dan E. A. Zuliari, "Analisa kinerja motor induksi 3 fasa pada pompa sentrifugal di Fave Hotel Rungkut Surabaya," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi terapan*, ITATS, 2018.

Analisis Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Wilayah Tenggara Sistem Mahakam

Riza Wahyu Hidayat¹, Muhammad Syahrir Djalil², Ipniansyah³

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

Jl. Dr. Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda

riza.w99@gmail.com

Abstrak- Analisis keandalan penyaluran energi listrik pada JTM 20 KV melalui penyulang R-1, R-3 dan R-5 ke konsumen di wilayah Tenggara pada tahun 2018 sangat dipengaruhi jumlah gangguan yang terjadi. Untuk meningkatkan mutu pelayanan saat ini, maka harus diketahui mutu pelayanan sebelumnya. Penghitungan indeks keandalan dapat menggunakan rumus SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), CAIDI (*Consumer Average Interruption Duration Index*), dan CAIFI (*Consumer Average Interruption Frequency Index*). Dari hasil analisis diperoleh bahwa untuk tahun 2018, nilai SAIDI-SAIFI pada R-1 sebesar 388,24 jam/pelanggan/tahun dan 30,82 kali/pelanggan/tahun. Nilai SAIDI-SAIFI penyulang R-3 sebesar 535,36 jam/pelanggan/tahun dan 91,51 kali/pelanggan/tahun. Sementara, nilai CAIDI-CAIFI penyulang R-1 rata-rata mengalami pemadaman selama 12,59 jam/pelanggan dan sebanyak 0,000551 kali/pelanggan, CAIDI-CAIFI pada penyulang R-3 rata-rata mengalami pemadaman selama 5,85 jam/pelanggan dan sebanyak 0,00124 kali/pelanggan, sedang penyulang R-5 rata-rata mengalami pemadaman selama 9,91 jam/pelanggan dan sebanyak 0,00185 kali/pelanggan. Perbandingan antara hasil perhitungan SAIDI-SAIFI dengan standar SPLN 68-2 : 1986 menunjukkan bahwa sistem tidak handal karena nilai dari hasil penghitungan melebihi nilai maksimum standar PLN. Penyebab terbanyak terjadinya gangguan penyaluran adalah penyebab internal, sedang penyebab eksternal lebih sedikit.

Kata kunci: JTM 20 kV, keandalan jaringan, SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan laju perkembangan dalam bidang pengembangan sarana dan prasarana penunjang kebutuhan masyarakat, dituntut pula suatu sistem kelistrikan yang mampu melayaninya. Dalam kehidupan sehari-hari seperti penggunaan peralatan yang menggunakan tenaga listrik yang sudah menjadi kebutuhan pokok yang harus dipenuhi. Maka dari itu keandalan jaringan menengah 20 kV merupakan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Keandalan dalam menyalurkan energi listrik ke konsumen sangat dipengaruhi oleh banyaknya jumlah gangguan yang terjadi, sehingga berpengaruh terhadap pasokan energi listrik dan pelayanan ke konsumen.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem distribusi di bedakan menjadi dua yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah. Penggunaannya disesuaikan dengan tingkat keandalan yang diinginkan, kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer [1].

Indeks keandalan merupakan indikator keandalan yang dinyatakan dalam bentuk besaran atau satuan yang standar digunakan untuk analisis ini adalah SPLN 68-2: 1986 jaringan radial yaitu dimana nilai untuk SAIDI adalah 21 jam/tahun dan untuk nilai SAIFI adalah 3,2 kali/tahun Pada penghitungan keandalan jaringan tegangan menengah 20 kV menggunakan rumus penghitungan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), sedangkan indeks CAIDI (*Consumer Average Interruption Duration Index*) dan CAIFI (*Consumer Average Interruption Frequency Index*) merupakan indeks untuk mengetahui nilai rata-rata padam dan banyaknya padam setiap pelanggan [2].

A. System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini, gambaran mengenai lama pemadaman rata-rata pertahun yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari jaringan dapat di evaluasi. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut [3]:

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah Perkalian Jam Padam dan Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Planggan}} \quad (1)$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \times N_i}{N_i}$$

Keterangan :

U_i : Waktu padam pelanggan dalam periode tertentu (jam/tahun).

N_i : Jumlah pelanggan yang dilayani pada titik beban i .

B. System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIFI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini gambaran mengenai frekuensi kegagalan rata-rata pertahun yang terjadi pada bagian-bagian dari sistem bisa dievaluasi sehingga dapat dikelompokkan sesuai dengan tingkat keandalannya. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut [2]:

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Perkalian Banyaknya Padam dan Pelanggan Padam}}{\text{Jumlah Pelanggan}}$$

$$SAIFI = \frac{\lambda_i \times N_i}{N_i} \tag{2}$$

Keterangan :

- λ_i : Angka kegagalan rata-rata/frekuensi padam.
- N_i : Jumlah pelanggan yang dilayani pada titik beban i .

Namun sebelum menghitung nilai SAIFI harus mencari laju kegagalan pertahun yaitu dengan rumus sebagai berikut:
Untuk menghitung laju kegagalan (λ)

$$\lambda = \frac{\text{banyak gangguan}}{12} \text{ kali/tahun} \tag{3}$$

C. Consumer Average Interruption Duration Index (CAIDI)

CAIDI merupakan indeks durasi atau lamanya gangguan rata-rata bagi konsumen yang terkena gangguan tersebut. CAIDI adalah durasi atau lamanya gangguan rata-rata pertahun, dihitung berdasarkan jumlah gangguan berkelanjutan dalam setahun. Ini adalah rasio dari total durasi gangguan terhadap jumlah gangguan selama tahun tersebut. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut [4] :

$$CAIDI = \frac{\text{Jumlah Lamanya Gangguan Rata-Rata}}{\text{Jumlah Banyaknya Gangguan Rata-Rata}}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \tag{4}$$

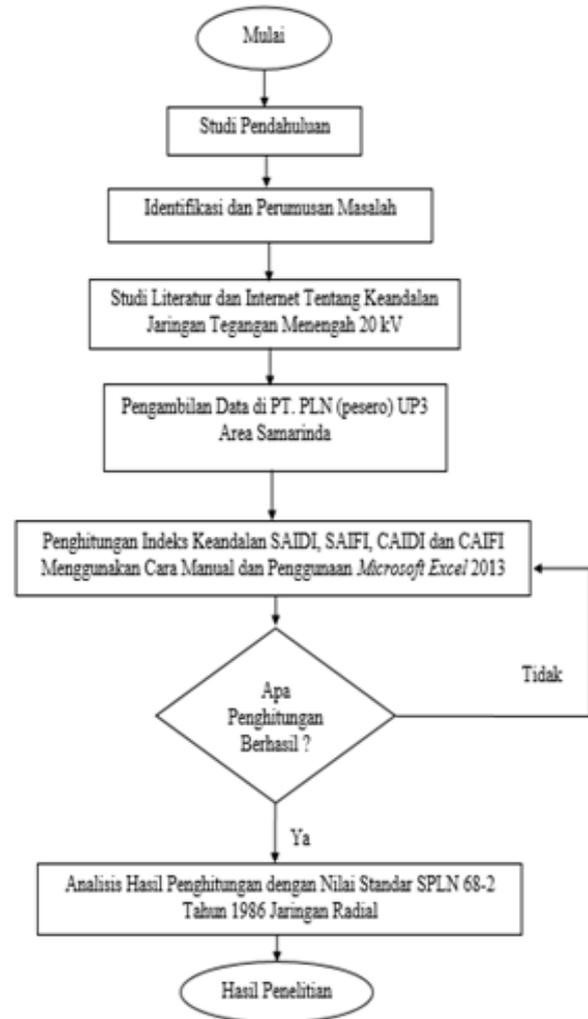
D. Consumer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)

CAIFI merupakan indeks frekuensi gangguan rata-rata bagi konsumen yang terkena gangguan tersebut. CAIFI adalah rata-rata jumlah gangguan pertahun bagi konsumen yang mengalami gangguan sepanjang tahun. Ini merupakan rasio jumlah interupsi tahunan terhadap jumlah konsumen yang terkena gangguan sepanjang tahun. Konsumen hanya dihitung sekali terlepas dari jumlah interupsi. Berbeda dengan SAIFI yang menghitung dengan seluruh konsumen, CAIFI hanya menghitung konsumen yang terkena gangguan saja. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut [4] :

$$CAIFI = \frac{\text{Jumlah Gangguan Dalam Setahun}}{\text{Jumlah Pelanggan Terkena Dampak}} \tag{5}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Merupakan cara atau proses pengerjaan skripsi ini mulai dari studi pendahuluan hingga proses atau hasil yang didapat selama analisis dilakukan dengan menggunakan metode yang berlaku.



Gambar 1. Kerangka penelitian

A. Data Olahan

Data olahan merupakan data yang sudah direkap atau diambil yang di pakai untuk penghitungan dan analisis dari data sumber atau dari pihak PT. PLN (pesero) UP3 Area Samarinda.

TABEL 1

DATA GANGGUAN PENYULANG R-1

Bulan	Pelanggan	Gangguan		Pelanggan Padam
		Banyak (x)	Durasi (jam)	
Januari	18687	5	2,5	9303
Februari	18687	2	2,73	9303
Maret	18687	7	5,06	9303
April	18687	9	8,45	9303
Mei	18687	6	5,93	9303
Juni	18687	6	3,79	9303
Juli	18687	10	6,24	9303
Agustus	18687	7	4,28	9303
September	18687	2	0,07	9303
Oktober	18687	3	2,15	9303
November	18687	1	3,04	9303
Desember	18687	1	20,75	9303
Total		5,16	64,99	111636

TABEL 2
DATA GANGGUAN PENYULANG R-3

Bulan	Pelanggan	Gangguan		Pelanggan Padam
		Banyak (x)	Durasi (jam)	
Januari	9498	7	1,19	6884
Februari	9498	10	4,8	3046
Maret	9498	15	7,29	6884
April	9498	23	2,4	6884
Mei	9498	18	8,64	6884
Juni	9498	18	1,93	6884
Juli	9498	27	5,07	3046
Agustus	9498	7	11,45	6884
September	9498	2	13,38	6884
Oktober	9498	2	7,35	6884
November	9498	2	0,33	6884
Desember	9498	9	4,03	6884
Total		11,6	67,86	74932

TABEL 3
DATA GANGGUAN PENYULANG R-5

Submitted: 12/30/2023; Revised: 12/31/2023;
Accepted: 12/31/2023; Online first: 12/31/2023
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i2.33>

Bulan	Pelanggan	Gangguan		Pelanggan Padam
		Banyak (x)	Durasi (jam)	
Januari	4714	11	17,63	3510
Februari	4714	13	22,55	3510
Maret	4714	18	7,29	3510
April	4714	16	12,2	4714
Mei	4714	20	26,81	4714
Juni	4714	28	28,16	4714
Juli	4714	21	13,83	4714
Agustus	4714	18	4,72	4714
September	4714	16	10,32	4714
Oktober	4714	17	6,34	3510
November	4714	15	9,58	4714
Desember	4714	14	11,52	4714
Total		17,25	170,95	51752

TABEL 4
DATA PELANGGAN PADAM PERZONA

Penyulang	Pelanggan Padam	
	Zona 1	Zona 2
R-1	-	9303
R-3	3838	3046
R-5	1204	3510

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penghitungan Nilai Indeks Keandalan SAIDI-SAIFI Bulan Januari-Desember 2018 untuk Penyulang R-1

Pertama melakukan perhitungan secara manual dengan mencari indeks keandalan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dengan memasukkan persamaan (1). Mencari indeks keandalan SAIFI (*System Average Interruption Frenquency Index*), dengan memasukkan persamaan matematis (2), dan juga rumus laju kegagalan (3). Kemudian melakukan penghitungan menggunakan *Software Microsoft Excel 2013*. Maka persamaan matematis dan hasil yang didapat untuk indeks keandalan SAIDI dan SAIFI adalah:

$$SAIDI = \frac{U_i \times N_i}{N_i} = \text{jam/pelanggan/tahun}$$

$$\lambda = \frac{\text{banyak gangguan}}{\text{N}_i} \text{ kali/tahun}$$

$$SAIFI = \frac{N_i \times \lambda_i}{NT} = \text{kali/pelanggan/tahun}$$

1. SAIDI dan SAIFI Bulan Januari

$$SAIDI = \frac{2,5 \times 9303}{18687} = 1,24 \text{ jam/pelanggan}$$

$$SAIFI = \frac{5 \times 9303}{18687} = 2,48 \text{ kali/pelanggan.}$$

2. SAIDI dan SAIFI Bulan Februari

$$SAIDI = \frac{2,73 \times 9303}{18687} = 1,35 \text{ jam/pelanggan}$$

- SAIFI = $\frac{2 \times 9303}{18687} = 0,99$ kali/pelanggan
3. SAIDI dan SAIFI Bulan Maret
 SAIDI = $\frac{5,06 \times 9303}{18687} = 2,51$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{7 \times 9303}{18687} = 3,48$ kali/pelanggan
 4. SAIDI dan SAIFI Bulan April
 SAIDI = $\frac{8,45 \times 9303}{18687} = 4,20$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{9 \times 9303}{18687} = 4,48$ kali/pelanggan
 5. SAIDI dan SAIFI Bulan Mei
 SAIDI = $\frac{5,93 \times 9303}{18687} = 2,95$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{6 \times 9303}{18687} = 2,98$ kali/pelanggan
 6. SAIDI dan SAIFI Bulan Juni
 SAIDI = $\frac{3,79 \times 9303}{18687} = 1,88$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{6 \times 9303}{18687} = 2,98$ kali/pelanggan
 7. SAIDI dan SAIFI Bulan Juli
 SAIDI = $\frac{6,24 \times 9303}{18687} = 3,10$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{10 \times 9303}{18687} = 4,97$ kali/pelanggan
 8. SAIDI dan SAIFI Bulan Agustus
 SAIDI = $\frac{4,28 \times 9303}{18687} = 2,13$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{7 \times 9303}{18687} = 3,48$ kali/pelanggan
 9. SAIDI dan SAIFI Bulan September
 SAIDI = $\frac{0,07 \times 9303}{18687} = 0,03$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{2 \times 9303}{18687} = 0,99$ kali/pelanggan
 10. SAIDI dan SAIFI Bulan Oktober
 SAIDI = $\frac{2,15 \times 9303}{18687} = 1,07$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{3 \times 9303}{18687} = 1,49$ kali/pelanggan
 11. SAIDI dan SAIFI Bulan November
 SAIDI = $\frac{3,04 \times 9303}{18687} = 1,51$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{1 \times 9303}{18687} = 0,49$ kali/pelanggan
 12. SAIDI dan SAIFI Bulan Desember
 SAIDI = $\frac{20,75 \times 9303}{18687} = 10,33$ jam/pelanggan
 SAIFI = $\frac{1 \times 9303}{18687} = 0,49$ kali/pelanggan
 13. SAIDI dan SAIFI Tahunan
 SAIDI = $\frac{64,99 \times 111636}{18687} = 388,24$ jam/pelanggan

Untuk menghitung laju kegagalan (λ)

$$\lambda = \frac{\text{banyak gangguan}}{12} \text{ kali/tahun}$$

$$\lambda = \frac{62}{12} = 5,16 \text{ kali/tahun}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{5,16 \times 111636}{18687} = 30,82 \text{ kali/pelanggan}$$

B. Penghitungan Nilai Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI Bulan Januari-Desember 2018 untuk Penyulang R-3 dan R-5

Pertama dengan mencari indeks keandalan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dengan memasukkan persamaan (1). Mencari indeks keandalan SAIFI (*System Average Interruption Frenquency Index*), dengan memasukkan persamaan matematis (2), dan juga rumus laju

kegagalan (3), Dalam mencari indeks keandalan, maka analisis yang dilakukan adalah dengan mengevaluasi keandalan berdasarkan data pada Tabel 2 dan Tabel 3 yang dicari adalah indeks keandalan SAIDI-SAIFI pada penyulang R-3 dan R5 dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 yang mana penghitungan dilakukan menggunakan *Software Microsoft Excel 2013*. Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka di dapat hasil yang lebih mudah, yang mana hasil ini langsung berupa angka yang didapat.

TABEL 5
HASIL PENGHITUNGAN SAIDI-SAIFI PENYULANG R-3

Bulan	Nilai SAIDI Jam/pelanggan	Nilai SAIFI Kali/pelanggan
Januari	0,862493156	5,073489156
Februari	1,539355654	3,206990945
Maret	5,283676563	10,87176248
April	1,739481996	16,6700358
Mei	6,262135186	13,04611497
Juni	1,398833439	13,04611497
Juli	1,625944409	8,658875553
Agustus	8,29877869	5,073489156
September	9,697612129	1,44956833
Oktober	5,327163613	1,44956833
November	0,239178774	1,44956833
Desember	2,920880185	6,523057486
Tahunan	535,36	91,51

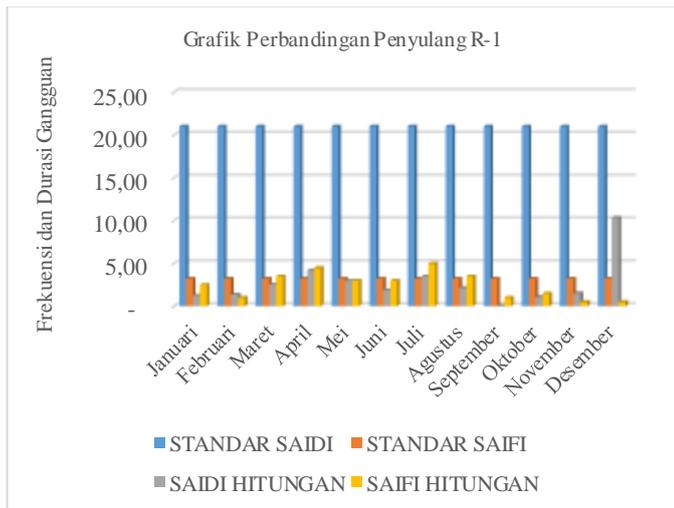
TABEL 6
HASIL PERHITUNGAN SAIDI-SAIFI PENYULANG R-5

Bulan	Nilai SAIDI Jam/pelanggan	Nilai SAIFI Kali/pelanggan
Januari	13,12713195	8,190496394
Februari	16,79051761	9,679677556
Maret	5,428065337	13,40263046
April	12,2	16
Mei	26,81	20
Juni	28,16	28
Juli	13,83	21
Agustus	4,72	18
September	10,32	16
Oktober	4,720704285	12,65803988
November	9,58	15
Desember	11,52	14
Tahunan	1876,75	189,37

C. Analisis Perbandingan Nilai SAIDI-SAIFI dari Hasil Penghitungan Bulanan dan Tahunan Dengan Standar SPLN 68-2: 1986

Analisis perbandingan yang dilakukan dengan perbandingan nilai standar SPLN 68-2: 1986, kemudian dilakukan analisis grafik untuk nilai keandalan pada penyulang R-1, R-3 dan R-5. Pada Gambar 4.1, 4,2 dan 4,3 dapat dilihat nilai perbandingan dari hasil penghitungan dengan nilai standar.

1. Analisis Grafik Perbandingan Nilai SAIDI-SAIFI dari Hasil Penghitungan Dengan Standar SPLN 68-2: 1986 Pada Penyulang R-1

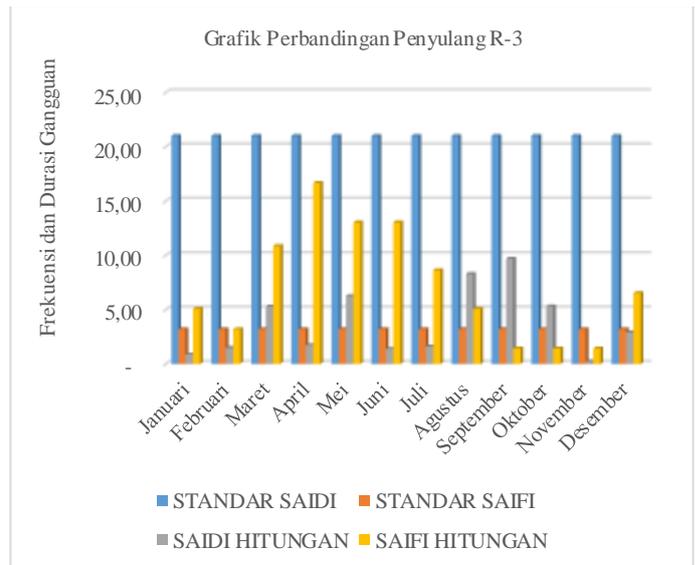


Gambar 1 Grafik perbandingan dengan nilai standar penyulang R-1

Dari gambar grafik sebelumnya dapat dianalisis untuk nilai keandalan bulanan SAIDI dan SAIFI dengan nilai standar SPLN 68-2: 1986, dimana nilai keandalan SAIDI pada penyulang R-1 masih dalam keadaan standar karena tidak melebihi nilai maksimum yaitu 21. Sedangkan untuk nilai SAIFI pada penyulang R-1 ini pada bulan Januari, Februari, Mei, Juni, September, Oktober, November dan Desember masih dalam keadaan standar dan untuk bulan Maret, April, Juli dan Agustus sudah tidak standar karena sudah melebihi nilai maksimum yaitu sebesar 3,2.

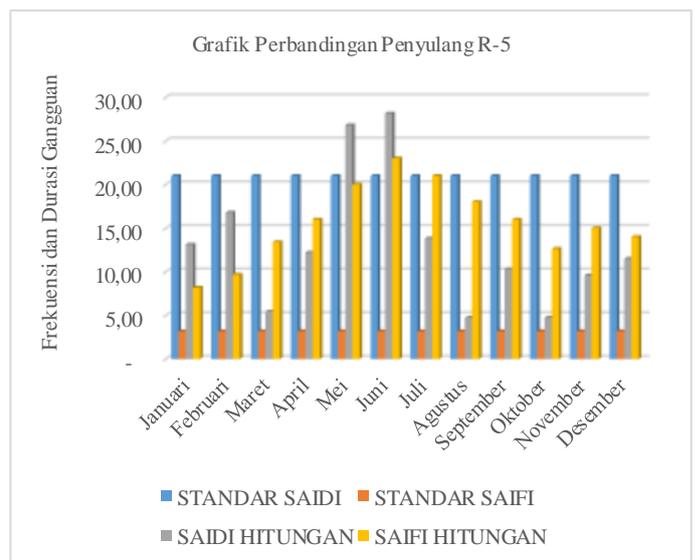
2. Analisis Grafik Perbandingan Nilai SAIDI-SAIFI dari Hasil Penghitungan Dengan Standar SPLN 68-2: 1986 Pada Penyulang R-3

Pada gambar grafik sebelumnya dapat dianalisis untuk nilai keandalan bulanan SAIDI dan SAIFI dengan nilai standar SPLN 68-2: 1986, dimana nilai keandalan SAIDI pada penyulang R-3 masih dalam keadaan standar karena tidak melebihi nilai maksimum yaitu 21. Sedangkan untuk nilai SAIFI pada penyulang R-3 pada bulan Februari, September, Oktober dan Desember masih dalam keadaan standar dan pada bulan Januari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus dan Desember sudah tidak standar karena nilainya sudah melebihi nilai maksimum yaitu sebesar 3,2.



Gambar 2 Grafik perbandingan dengan nilai target penyulang R-3

3. Analisis Grafik Perbandingan Nilai SAIDI-SAIFI dari Hasil Penghitungan Dengan Standar SPLN 68-2: 1986 Pada Penyulang R-5



Gambar 3 Grafik perbandingan dengan nilai target penyulang R-5

Dari gambar grafik sebelumnya dapat dianalisis untuk nilai keandalan bulanan SAIDI dan SAIFI dengan nilai standar SPLN 68-2: 1986, dimana nilai keandalan SAIDI pada penyulang R-3 pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Juli, Agustus, September, Oktober, November dan Desember masih dalam keadaan standar dan untuk bulan Mei dan Juni sudah tidak standar lagi karena sudah melebihi nilai maksimum yaitu 21. Sedangkan untuk nilai SAIFI pada penyulang R-5 dapat dikatakan tidak standar karena nilainya sudah melebihi nilai maksimum yaitu sebesar 3,2.

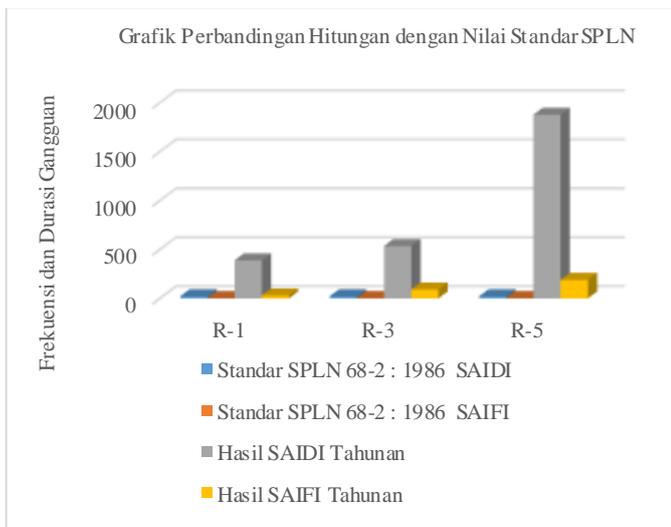
4. Analisis Perbandingan Nilai SAIDI-SAIFI dari Hasil Penghitungan Tahunan dengan Standar SPLN 68-2: 1986

Dari hasil analisis perbandingan penghitungan bulanan dengan nilai standar SPLN 68-2: 1986, maka selanjutnya

dilakukan perbandingan serta analisis grafik untuk nilai keandalan tahunan pada penyulang R-1, R-3 dan R-5. Pada Tabel 4. dan Gambar 4 dapat dilihat nilai perbandingan dari hasil penghitungan dengan nilai standar.

TABEL 7
PERBANDINGAN HASIL PENGHITUNGAN DENGAN STANDAR SPLN 68-2: 1986

Penyulang	Standar SPLN 68-2: 1986		Hasil SAIDI Tahunan	Hasil SAIFI Tahunan
	SAIDI	SAIFI		
R-1	21	3,2	388,24	30,82
R-3	21	3,2	535,36	91,51
R-5	21	3,2	1876,75	189,37



Gambar 4 Grafik perbandingan hasil penghitungan dengan standar SPLN 68-2 tahun 1986

Dari grafik di atas dapat dianalisis bahwa untuk nilai keandalan dari hasil penghitungan dengan nilai standar SAIDI dan SAIFI dari SPLN 68-2: 1986 maka dapat dikatakan tidak handal. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil nilai dari penghitungan yang mana nilainya melebihi nilai maksimum dari nilai standar. Dari nilai standar SAIDI yaitu 21, untuk penyulang R-1 nilainya sebesar 388,24, penyulang R-3 sebesar 535,36 dan untuk nilai penyulang R-5 mencapai nilai sebesar 1876,75. Sedangkan untuk nilai standar SAIFI yaitu 3,2, dari penyulang R-1 mencapai angka 30,82, untuk penyulang R-3 mencapai angka 91,51 dan untuk penyulang R-5 mencapai angka 189,37.

D. Analisis Penghitungan Keandalan Indeks Nilai CAIDI dan CAIFI Selama Tahun 2018 Pada Penyulang R-1, R-3 dan R-5

Dari hasil penghitungan yang dilakukan sebelumnya yaitu menghitung nilai SAIDI dan SAIFI maka untuk menghitung nilai rata-rata lama padam dan banyak padam pada setiap pelanggan yaitu dengan menggunakan persamaan rumus CAIDI (*Consumer Average Interruption Duration Index*) persamaan (2.4) dan CAIFI (*Consumer Average Interruption Frequency Index*) untuk persamaan (2.5). Maka persamaan matematis dan hasil yang didapat untuk indeks CAIDI dan CAIFI adalah sebagai berikut:

1. Nilai CAIDI dan CAIFI Penyulang R-1

$$CAIDI = \frac{388,24}{30,82} = 12,59 \text{ jam/pelanggan}$$

$$CAIFI = \frac{62}{111636} = 0,000551 \text{ kali/pelanggan}$$

2. Nilai CAIDI dan CAIFI penyulang R-3 dan R-5

Setelah dilakukan penghitungan dengan rumus dan cara yang sama namun agar memudahkan dan lebih cepat menggunakan *software Microsoft Excel* didapat nilai hasil yaitu pada Tabel 8.

TABEL 8
NILAI CAIDI DAN CAIFI

Penyulang	CAIDI (Jam/Pelanggan)	CAIFI (Kali/Pelanggan)
R-1	12,59	0,000551
R-3	5,85	0,00124
R-5	9,91	0,00185

Dari tabel hasil penghitungan di atas maka dapat dianalisis untuk nilai CAIDI pada penyulang R-1 rata-rata mengalami lamanya padam yaitu sebesar 12,59 jam/pelanggan selama tahun 2018. Untuk nilai CAIFI penyulang R-1 rata-rata banyaknya atau frekuensi padam yaitu sebesar 0,000551 kali/pelanggan selama tahun 2018. Untuk nilai CAIDI pada penyulang R-3 rata-rata mengalami lamanya padam yaitu sebesar 5,85 jam/pelanggan selama tahun 2018. Untuk nilai CAIFI penyulang R-3 rata-rata banyaknya atau frekuensi padam yaitu sebesar 0,00124 kali/pelanggan selama tahun 2018. Untuk nilai CAIDI pada penyulang R-5 rata-rata mengalami lamanya padam yaitu sebesar 9,91 jam/pelanggan selama tahun 2018. Untuk nilai CAIFI penyulang R-5 rata-rata banyaknya atau frekuensi padam yaitu sebesar 0,00185 kali/pelanggan selama tahun 2018.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penghitungan dan analisis perbandingan yang telah dilakukan tentang indeks nilai keandalan SAIDI dan SAIFI dengan nilai target PT. PLN (persero) UP3 Area Samarinda tahun 2018 dan nilai standar SPLN 68-2 : 1986 pada penyulang R-1, R-3 dan R-5 maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Indeks nilai keandalan SAIDI dan SAIFI pada penyulang R-1 selama tahun 2018 mencapai angka 388,24 jam/pelanggan/tahun dan 30,82 kali/pelanggan/tahun. Untuk penyulang R-3 nilai SAIDI dan SAIFI mencapai nilai 535,36 jam/pelanggan/tahun dan 91,51 kali/pelanggan/tahun. Sedangkan untuk nilai SAIDI dan SAIFI penyulang R-5 mencapai nilai 1876,75 jam/pelanggan/tahun dan 189,37 kali/pelanggan/tahun.
- 2) Berdasarkan indeks nilai standar keandalan dari SPLN 68-2 : 1986 jaringan radial nilai keandalan dari penyulang R-1, R-3 dan R-5 pada tahun 2018 dikategorikan tidak handal karena nilai SAIDI dan SAIFI jauh melebihi batas maksimum yang ditentukan dari nilai standar dan target.

- 3) Untuk nilai CAIDI selama tahun 2018 yaitu pada penyulang R-3 yang paling sebentar mengalami padam untuk setiap pelanggan dan yang terlama pada penyulang R-1. Sedangkan untuk nilai rata-rata banyaknya padam atau CAIFI selama tahun 2018 pada penyulang R-1 yang paling sedikit mengalami banyaknya padam dan penyulang R-5 yang paling banyak mengalami banyaknya padam untuk setiap pelanggan.

Ditinjau dari penyebab gangguan selama tahun 2018 untuk penyulang R-1, R-3 dan R-5 penyebab gangguan yang mengakibatkan pemadaman yaitu dari gangguan internal yang tidak terdeteksi dengan cepat, kemudian gangguan eksternal oleh ulah hewan atau manusia dan alam.

REFERENSI

- [1] Buku PLN 5. 2010. Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. Keputusan Direksi PT. PLN (Persero).
- [2] Jufrizel dan R. Hidayatullah, “Analisis keandalan sistem distribusi 20 kV menggunakan metode section technique dan ria-section technique pada penyulang Adi Sucipto Pekanbaru,” Prosiding Seminar Nasional teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIKI) 9, UIN Sultan Syarif Kasim, pekanbaru, 18-19 Mei, 2017
- [3] SPLN 68-2. 1986. Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara, 1986.
- [4] R. Akbar, “Analisa jatuh tegangan jaringan distribusi primer 20kV pada penyulang Indrapuri (Studi kasus pada PT. PLN (Persero) Rayon Lambaro),” Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam - Banda Aceh, 2016.