

BAB II

PENELITIAN TERDAHULU DAN LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebidang dengan tema yang diangkat dalam tugas akhir ini antara lain:

- a. Hartono, Slamet Hariyadi, Rifdian I.S, Margono dengan judul penelitian "Rancangan Sistem Paralel Dua Generator Dengan Menggunakan Modul Datakom Sebagai Sarana Praktikum di ATKP Surabaya". Penelitian ini dipublish dalam Jurnal Penelitian Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan Surabaya, membahas karakteristik sinkronisasi generator tiga fasa dengan metoda gelap, terang dan gelap-terang, maksud dan tujuan sinkronisasi yang diteliti adalah untuk menambah kemampuan atau daya generator yang sedang melayani beban yang semakin bertambah besar. Keberhasilan pengujian adalah generator menanggung beban secara bertahap sampai maksimal 746 VA yang merupakan 100% (dengan kenaikan beban setiap 25%) dari kemampuan masing-masing generator.
- b. Michael J. Thompson, dengan judul "Fundamentals and Advancements in Generator Synchronizing Systems". Penelitian ini membahas teknologi sinkronasi generator menggunakan mikrokontroler yang dapat menyederhanakan rangkaian sinkronisasi untuk mengurangi biaya, meningkatkan keandalan, dan dengan mudah menyelesaikan integrasi lengkap, otomatisasi, dan jarak jauh kontrol dari sistem.
- c. Haowen Chen et al, dengan judul penelitian "Parallel Operation Program of Marine Power Station Simulation based on Visual C++". Penelitian ini mengambil kapal semi-submersible sebagai objek penelitian, terutama menggambarkan kondisi operasi paralel generator sinkron, deteksi dan cara pencapaian operasi sinkron. Simulasi pembangkit listrik laut dirancang berdasarkan platform Visual C++. Melalui validasi eksperimental, hasil pengujian menunjukkan bahwa kapal laut simulasi pembangkit listrik memiliki keandalan yang tinggi dan anti-interferensi yang baik.

- d. Jusong Rim et al dengan penelitian berjudul “ A New Peak Detection Method for Single or Three-Phase Unbalanced Sinusoidal Signals”. Membahas metode deteksi amplitudo cepat dari gelombang sinusoidal yang tidak seimbang satu atau tiga fase. Metode yang diusulkan adalah metode deteksi amplitudo untuk suatu sinyal sinusoidal satu fasa atau tiga fasa yang tidak seimbang, berdasarkan mendeteksi lebar pulsa yang sesuai dengan amplitudo puncak. Periode deteksi adalah setengah periode dari sinyal input. Metode ini tidak tergantung pada ketidakseimbangan sinyal tiga fase dan urutan fase. Metode yang diusulkan diverifikasi melalui percobaan untuk sinyal tidak seimbang satu fase atau tiga.
- e. Shubhdeep Joshi dengan judul penelitian “Detection of Power Grid Synchronization Failure on Sensing Frequency and Voltage beyond Acceptable Range”. Penelitian ini membahas pengembangan sistem untuk mendeteksi kegagalan sinkronisasi pasokan eksternal apa pun sumber ke jaringan listrik pada penginderaan kelainan pada frekuensi dan tegangan. Ada beberapa pembangkit listrik unit terhubung ke grid seperti hydel, termal, surya dan lain-lain untuk memasok daya ke beban. Unit pembangkit ini perlu suplai daya sesuai dengan aturan jaringan. Sesuai otoritas listrik India, variasi tegangan sistem harus $\pm 5\%$ dan melakukan segala upaya untuk beroperasi pada frekuensi mendekati 50 Hz dan tidak boleh melebihi rentang 49,2 hingga 50,3 Hz. Aturan-aturan ini melibatkan mempertahankan tegangan variasi dalam batas dan juga frekuensi. Jika ada penyimpangan dari batas grid yang dapat diterima, maka wajib bahwa pengumpan yang sama harus secara otomatis terputus dari jaringan yang oleh efeknya disebut sebagai islanding. Ini mencegah dalam skala besar brown out atau black out dari jaringan listrik. Jadi lebih baik memiliki sistem yang dapat memperingatkan jaringan terlebih dahulu sehingga pengaturan alternatif tetap siaga untuk menghindari kegagalan jaringan total.

Dari penelitian terdahulu yang dijabarkan di atas, penelitian ini akan mengangkat sistem sinkronisasi suatu sumber tegangan 1 fasa (PLN) dengan generator 1 fasa, di mana sumber tegangan 1 fasa yang memiliki keterbatasan daya akan didukung oleh sebuah generator 1 fasa dengan cara mensinkronkannya. Proses sinkronisasi dilakukan dengan terlebih dahulu mendeteksi tegangan, fasa dan beda

fasa dari sumber dan generator. Proses pendeteksian dilakukan menggunakan sensor-sensor yang terkait yang diumpankan ke pengendali mikro yaitu sebuah Arduino UNO dan pengendali mengambil keputusan untuk melakukan sinkron. Proses pendeteksian dilakukan secara real time, artinya perubahan-perubahan beban listrik terus menerus diukur, jika beban mengalami penurunan daya maka Arduino akan mengambil keputusan untuk melepaskan/mengeluarkan generator dari kondisi sinkron.

2.2 Konsep Arus Bolak-Balik

Arus bolak-balik merupakan pergerakan muatan listrik melalui media yang mengubah berubah arah secara berkala. Hal ini berbeda dengan arus searah (DC), di mana pergerakan muatan hanya dalam satu arah dan konstan. Arus (dalam ampere) adalah jumlah muatan listrik yang mengalir melewati suatu titik dalam waktu tertentu. Yang menggerakkan arus adalah gaya gerak listrik disebut tegangan (dalam volt). Jika arusnya bolak balik, maka tegangan juga harus bolak balik, polaritasnya berubah pada siklus teratur. Jadi pengertian arus bolak balik adalah arus yang polaritasnya berubah pada siklus yang teratur [5].

Arus bolak-balik selalu mempunyai nilai puncak gelombang atas dan puncak gelombang bawah. Dalam peristiwa mencapainya nilai puncak gelombang atas dan puncak gelombang bawah maka dikatakan telah mencapai satu (1) gelombang penuh. Nilai puncak gelombang atas dan puncak gelombang bawah sering pula disebut nilai dari puncak ke puncak (nilai peak to peak). Gambar di bawah ini menunjukkan gelombang tegangan bolak-balik sinusoidal.

Frekuensi adalah banyaknya gelombang yang terjadi setiap detik dengan satuan (1/detik atau Hertz disngkat Hz). Frekuensi merupakan kebalikan perioda gelombang:

$$f = \frac{1}{T} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Besar tegangan puncak ke puncak () adalah 2 (dua) kali tegangan maksimum (puncak) gelombang;

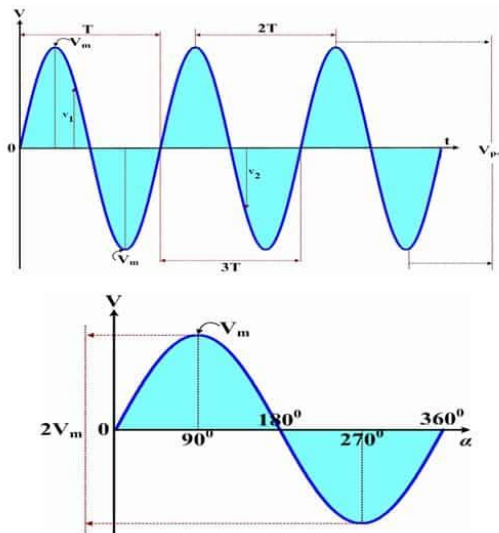
$$V_{pp} = 2V_m \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Tegangan efektif disebut juga tegangan rms (root mean square):

$$V_{ef} = 0,7071V_m \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Tegangan efektif ditunjukkan oleh alat ukur voltmeter AC (alternating current) sedangkan tegangan puncak ditunjukkan oleh oscilloscope. Besar tegangan DC (direct current) atau tegangan rata-rata dari gelombang arus bolak balik adalah 0, sebab tegangan DC merupakan integral rata-rata per perioda dari tegangan bolak-balik:

$$V_{rat} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$



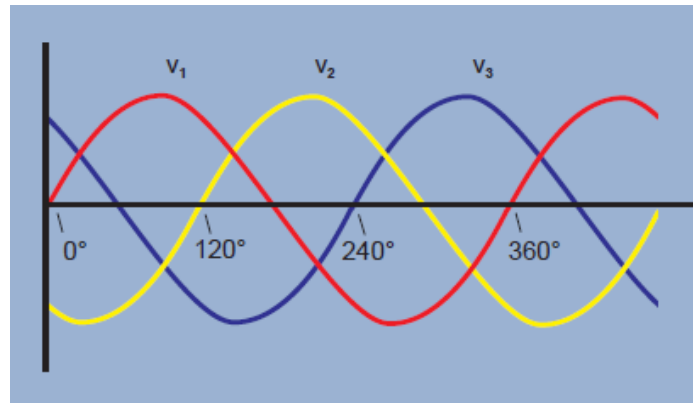
Gambar 2.1 Gelombang Arus Bolak Balik

Keterangan gambar di atas adalah sebagai berikut:

- * T adalah perioda gelombang (detik).
- * V_m adalah tegangan puncak gelombang (Volt).
- * V_1 dan V_2 adalah tegangan sesaat gelombang (Volt).
- * V_{pp} adalah tegangan puncak ke puncak gelombang (Volt).

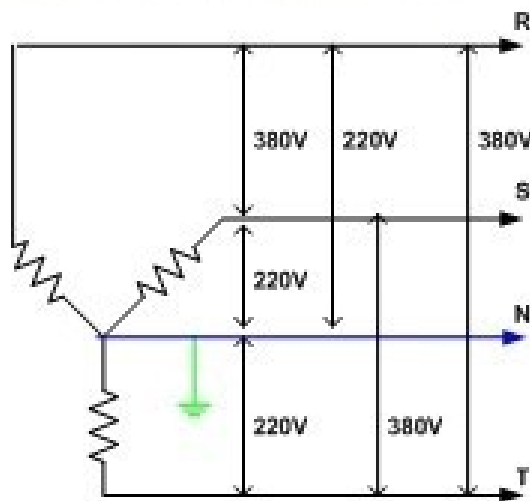
2.3 Tegangan Arus Bolak Balik Tiga Fasa

Dalam sistem kelistrikan di Indonesia, tegangan listrik 3 fasa besarnya mendekati 380 volt sedangkan tegangan listrik 1 fasa 220 volt. Tegangan listrik 3 fasa umum-nya dinotasikan dengan kawat R - S - T, Jika dilakukan pengukuran antar fasa (phase to phase) dengan alat Voltmeter maka besar tegangan dari fasa R ke fasa S atau R-T dan S-T akan menunjukkan angka 380 Volt. Akan tetapi jika salah satu fasa saja yang dihubungkan dengan N (Netral) maka besar tegangan yang dihasilkan adalah 220 volt, baik itu phase R ke N (netral) atau S-N dan T-N.



Gambar 2.2 Gelombang Tegangan 3 Fasa

Untuk mendapatkan tegangan 1 fasa dari jaringan listrik 3 fasa diperlukan sebuah trafo (transformer) yang sisi sekundernya dihubungkan dalam rangkaian bintang (star), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tegangan 1 Fasa Berasal Dari Tegangan 3 Fasa

Hubungan tegangan listrik 3 fasa dan 1 fasa adalah sebagai berikut:

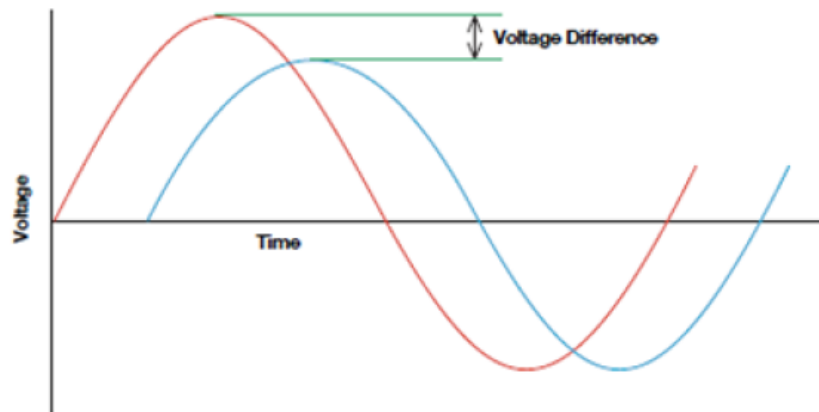
$$V_{1p} = \frac{1}{\sqrt{3}} V_{3p} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk tegangan efektif (rms) $V_{3p} = 380V$ maka tegangan efektif 1 fasa adalah $\approx 220V$, frekuensi tegangan 3 fasa dan 1 fasa adalah sama, misalnya untuk jaringan PLN besarnya 50Hz.

2.4 Pendeteksian Arus Bolak-Balik

2.4.1 Deteksi Kesamaan Tegangan

Salah satu persyaratan untuk bisa sinkron adalah kesamaan tegangan dari sumber tenaga yang hendak disinkronkan. Berikut ini ditunjukkan gambar dua gelombang tegangan yang berbeda pada nilai tegangan maksimumnya.



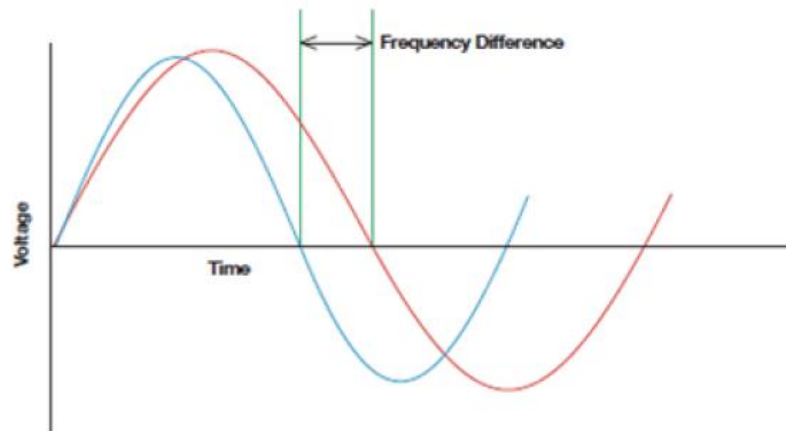
Gambar 2.4 Perbedaan Besar Tegangan Maksimum

Apabila terjadi perbedaan tegangan maka perintah sinkron tidak akan terjadi, supaya bisa terjadi kesamaan tegangan maka tegangan generator harus di adjust supaya bisa sama dengan tegangan jala-jala. Untuk mendeteksi kesamaan tegangan maka masing-masing fasa generator dan jala-jala diumpankan ke rangkaian penurun tegangan, output bagian ini diperbandingkan dengan setingan nilai maksimum perbedaan tegangan yang diijinkan pada dua buah pembanding analog [10]. Output kedua pembanding analog ini adalah berupa sinyal kesamaan atau ketidaksamaan (belum sama) dari tegangan kedua sumber tersebut.

2.4.2 Deteksi Kesamaan Frekuensi

Persyaratan kedua dalam penyinkronan generator adalah adanya kesamaan frekuensi kedua sumber tegangan yang hendak disinkronkan. Berikut ini ditunjukkan gambar dua gelombang tegangan yang berbeda nilai besar frekuensinya. Untuk mendeteksi kesamaan nilai frekuensi maka masing-masing fasa generator dan jala-jala diumpankan ke rangkaian pembanding nilai frekuensi, output bagian ini diperbandingkan dengan setingan (referensi) nilai maksimum perbedaan frekuensi yang diijinkan pada dua buah pembanding analog (A1 dan

A2). Output kedua pembanding analog ini adalah berupa sinyal kesamaan atau ketidaksamaan (belum sama) dari frekuensi kedua sumber tersebut.

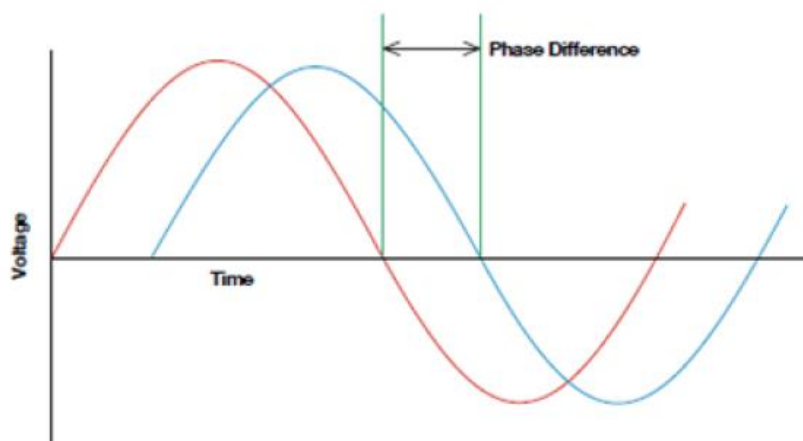


Gambar 2.5 Perbedaan Frekuensi Dua Gelombang

Apabila terjadi perbedaan besar frekuensi maka perintah sinkron tidak akan terjadi, supaya bisa terjadi kesamaan tegangan maka kecepatan mesin penggerak generator harus di adjust supaya bisa sama dengan frekuensi jala-jala.

2.4.3 Deteksi Kesamaan Fasa (Sefasa)

Persyaratan ketiga dalam penyinkronan generator adalah adanya kesamaan fasa (sefasa) dari kedua sumber tegangan yang hendak disinkronkan. Berikut ini ditunjukkan gambar dua gelombang tegangan yang berbeda nilai besar fasanya.



Gambar 2.6 Dua Gelombang Berbeda Fasa

Apabila terjadi perbedaan fasa maka perintah sinkron tidak akan terjadi, walaupun tegangan dan frekuensinya sudah sama. Supaya bisa terjadi kesamaan fasa

diperlukan waktu tunda agar pada suatu saat terjadi kesamaan fasa dari kedua sumber tegangan yang hendak disinkronkan.

Untuk mendeteksi kesamaan fasa maka masing-masing fasa generator dan jala-jala diumpankan ke rangkaian pendeteksi perbedaan fasa, output bagian ini diperbandingkan dengan setingan nilai maksimum perbedaan fasa yang diijinkan pada dua buah pembanding analog. Output kedua pembanding analog ini adalah berupa sinyal kesamaan atau ketidaksamaan dari fasa kedua sumber tersebut.

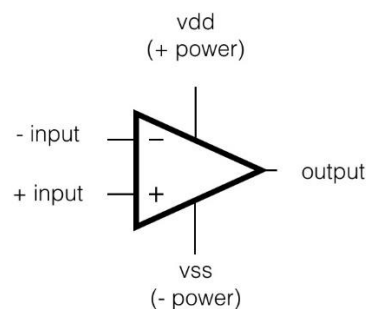
2.5 Penguat Operasional

Penguat operasional atau *operational amplifier* disingkat dengan opamp adalah komponen elektronika analog multi fungsi yang berada dalam kemasan IC (integrated circuits) linier. Beberapa pendapat ahli tentang opamp adalah:

- a. Opamp adalah salah satu dari bentuk IC Linear yang berfungsi sebagai Penguat Sinyal listrik. Sebuah Op-Amp terdiri dari beberapa Transistor, Dioda, Resistor dan Kapasitor yang terinterkoneksi dan terintegrasi sehingga memungkinkannya untuk menghasilkan Gain (penguatan) yang tinggi pada rentang frekuensi yang luas.
- b. Operasional amplifier (Op-Amp) adalah suatu penguat berpenguatan tinggi yang terintegrasi dalam sebuah chip IC yang memiliki dua input inverting dan non-inverting dengan sebuah terminal output, dimana rangkaian umpan balik dapat ditambahkan untuk mengendalikan karakteristik tanggapan keseluruhan pada operasional amplifier (Op-Amp).
- c. Penguat operasional adalah perangkat yang sangat efisien dan serba guna. Contoh penggunaan penguat operasional adalah untuk operasi matematika sederhana seperti penjumlahan dan pengurangan terhadap tegangan listrik hingga dikembangkan kepada penggunaan aplikatif seperti komparator dan osilator dengan distorsi rendah. Penguat operasional dalam bentuk rangkaian terpadu memiliki karakteristik yang mendekati karakteristik penguat operasional ideal tanpa perlu memperhatikan apa yang terdapat di dalamnya. Karakteristik penguat operasional ideal adalah:
 1. Bati tegangan tidak terbatas ($A \approx \infty$)
 2. Impedansi masukan tidak terbatas ($R_{in} \approx \infty$)
 3. Impedansi keluaran nol ($R_{out} \approx 0$)

4. Lebar pita tidak terbatas.
5. Tegangan *offset* nol (kondisi ketika masukan sebesar nol).

Dalam menggunakan opamp dibutuhkan catu daya untuk 'memberi makan' opamp. Sebagian besar waktu, terutama di dunia audio, opamp membutuhkan catu daya yang seimbang, yang berarti +voltage, ground dan -voltage. Ketika bekerja dengan sensor, opamps bekerja dengan catu daya tunggal (+voltage dan ground). Misalnya: LM358, TLC274, LM324. Gambar sebuah opamp ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 2.7 Sebuah Opamp

Sebuah opamp dapat dirangkai menjadi berbagai rangkaian analog, antara lain sebagai pembanding, buffer, non inverteint amplifier, inverting amplifier, integrator dan diffrentiator.

Jika opamp difungsikan sebagai pembanding maka sumber tegangannya adalah $+V_{dd}$ dan Ground (V_{ss} dijadikan $0V$). Outputnya hanya memiliki 2 taraf tegangan yaitu $+V_{dd}$ atau *Ground* ($0V$). Saat taraf tegangan pada masukan *non inverting* (+) lebih tinggi dari masukan *inverting* (-) maka outputnya $+V_{dd}$ sebaliknya jika taraf tegangan masukan *inverting* lebih tinggi dari asukan *non inverting* maka outputnya adalah $0V$.

$$V_{in}(+) > V_{in}(-) \text{ maka } V_{out} = V_{dd} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$$V_{in}(+) < V_{in}(-) \text{ maka } V_{out} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.7)$$









2.6 Gerbang Logika

Rangkaian Logika memiliki pengertian sebagai rangkaian yang akan menerapkan dasar-dasar logika elektronika di setiap penggunaannya di dalam perangkat elektronik tersebut. Sementara pengertian dari dasar-dasar logika itu sendiri memiliki arti sebagai sebuah operasi yang akan diterapkan oleh rangkaian

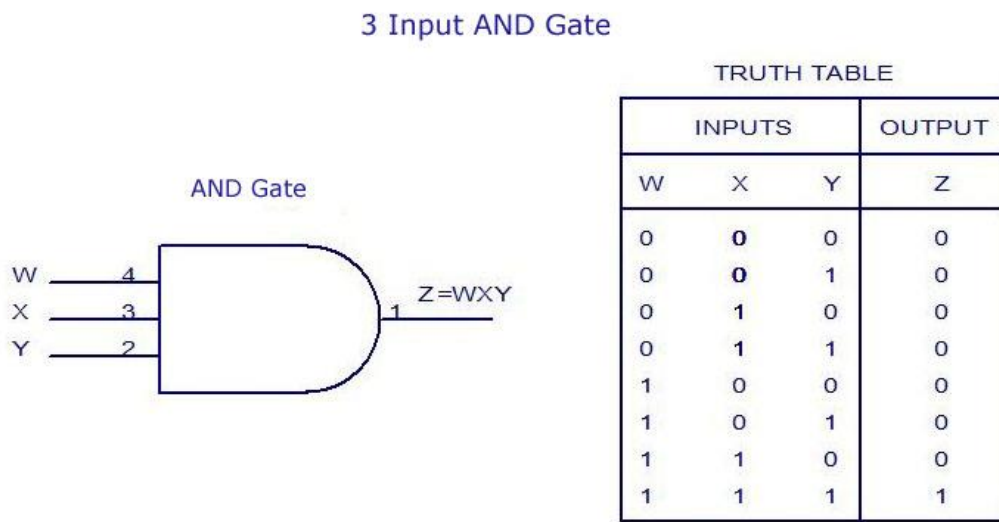
logika itu sendiri dengan menggunakan serta menampilkan gerbang logika yang akan terintegrasi di dalam satu komponen IC.

Gerbang logika sendiri bisa dikondisikan untuk melakukan input atau masukan yang nantinya akan dijadikan sebuah keluaran atau biasa disebut output dimana besarnya akan sesuai dengan apa yang sudah diatur dan juga ditentukan oleh rangkaian logika tersebut. Akan ada tiga gerbang logika dasar yang terdapat di dalam rangkaian logika tersebut. Ketiga gerbang tersebut adalah Gerbang AND lalu gerbang OR dan yang terakhir adalah gerbang NOT. Dari proses penggabungan dari ketika gerbang tersebut yaitu Gerbang AND, OR dan juga NOT ini akan menghasilkan sebuah gerbang logika yang bernama NAND lalu NOR, XOR dan juga gerbang XNOR.

Tabel 2.1 Gerbang-Gerbang Logika

LOGIC FUNCTION	LOGIC SYMBOL	BOOLEAN EXPRESSION	TRUTH TABLE		
			INPUTS	OUTPUT	
AND		$A \cdot B = Y$	B	A	Y
			0	0	0
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	1
OR		$A + B = Y$	0	0	0
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	1
Inverter		$A = \bar{A}$	0	1	
			1	0	
NAND		$\overline{A \cdot B} = Y$	0	0	1
			0	1	1
			1	0	1
			1	1	0
NOR		$\overline{A + B} = Y$	0	0	1
			0	1	0
			1	0	0
			1	1	0
XOR		$A \oplus B = Y$	0	0	0
			0	1	1
			1	0	1
XNOR		$\overline{A \oplus B} = Y$	1	1	0
			0	0	1
			0	1	0
XNOR		$\overline{A \oplus B} = Y$	1	0	0
			0	0	1
			1	1	1

Gerbang-gerbang logika yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 adalah gerbang-gerbag dasar yang memiliki 2 masukan dengan 1 keluaran, kecuali gerbang NOT. Untuk mendapatkan gerbang logika dengan 3 (AND dan OR) masukan maka dapat dirangkai dari 2 buah gerbang logika 2 masukan atau varian gerbang logika dengan 3 masukan yang sudah tersedia. Sebagai contoh gerbang AND dengan 3 masukan yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.8 Gerbang AND 3 Masukan Dan Tabel Kebenarannya

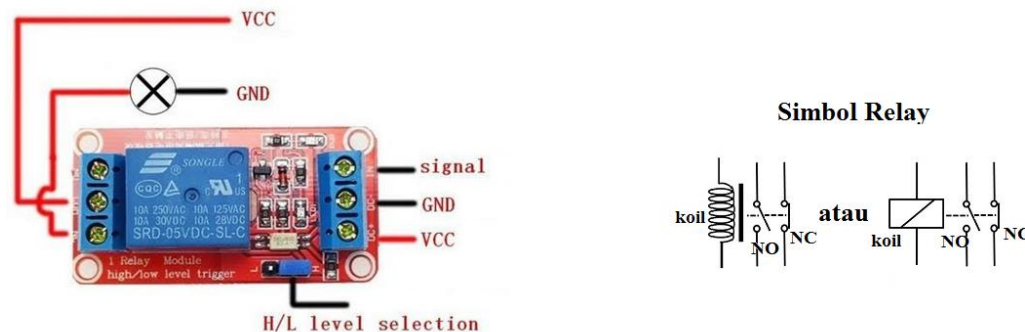
2.7 Relay Elektromekanik

Prinsip dasar untuk menghidup-matikan lampu adalah menghubungkan lampu dengan sumber tegangan. Alat yang digunakan untuk menghidup matikan lampu tersebut adalah saklar (*switch*), namun seiring dengan kebutuhan, fungsi saklar bisa digantikan dengan *relay*, baik *relay* dari jenis *solid state* maupun elektromekanik. Dengan menggunakan *relay* aktifasi lampu bisa dilakukan dari mana saja, termasuk dari jarak jauh.

Relay elektromekanik bekerja berdasarkan prinsip magnetik, dimana jika koil *relay* dialiri arus listrik maka koil akan membangkitkan medan magnet. Medan magnet akan menarik kontak-kontak *relay*, kontak-kontak *relay* inilah yang akan menghubungkan atau memutuskan lampu dengan sumber tenaganya.

Sumber tenaga untuk koil *relay* dengan kontak-kontak *relay* ada sama dan ada juga yang berbeda. Dalam penelitian ini, sumber tenaga untuk koil *relay* berasal

dari sumber tegangan DC (*direct current*) sedangkan pada kontak-kontak *relay* menggunakan sumber tegangan AC (*alternating current*).



Gambar 2.9 Relay Elektromekanik Dan Rangkaian Dasarnya

Pada kontak-kontak *relay* terdapat 2 jenis hubungan, yaitu kontak NO (*normally open*) dan kontak NC (*normally closed*). Saat *relay* tidak bekerja (koil tidak dialiri arus DC) maka kontak NO tetap NO dan NC tetap NC, tetapi jika dialiri arus listrik maka kontak NO menjadi NC dan NC menjadi NO. Besar arus yang melalui koil bergantung pada spesifikasi koil yang digunakan, bisa 5V, 12 V atau 24V DC atau 220V AC. Sedangkan besar arus yang melalui kontak *relay* bergantung pada spesifikasinya, dari beberapa Ampere sampai puluhan Ampere AC.

2.8 Rangkaian Detektor Arus Bolak-Balik

2.8.1 Detektor Arus

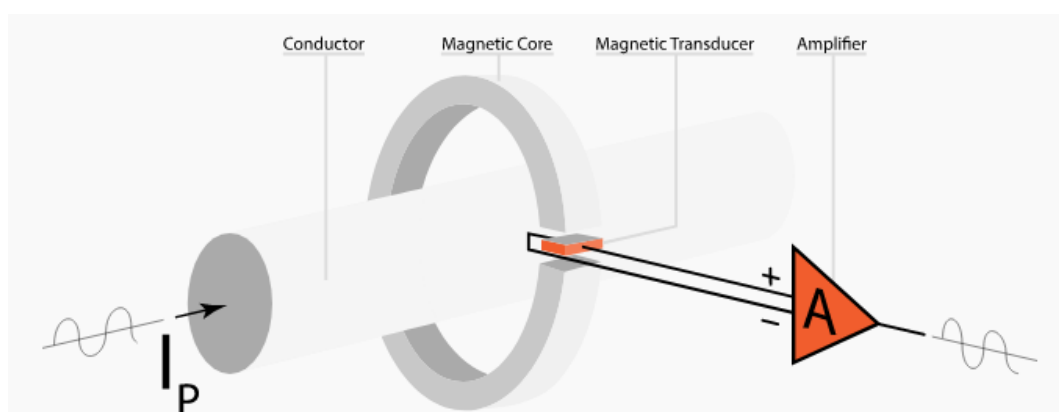
Arus listrik adalah kuantitas fisik yang disebabkan oleh tegangan dan berarti terjadi aliran elektron antara potensi listrik yang berbeda (biasanya dari kutub positif ke negatif dalam kasus arus searah, ini berbeda dengan arus bolak-balik). Ini berarti dalam analogi air arus adalah laju aliran air aktual yang mengalir dari hulu ke arah hilir. Konkretnya ini berarti bahwa arus adalah aliran muatan listrik antara dua kutub. Ada dua jenis arus yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Yang lebih sederhana dari keduanya adalah DC dimana elektron hanya mengalir dalam satu arah dan alirannya konstan, sebaliknya ada AC dimana elektron berubah arah dan amplitudo dengan frekuensi (tergantung pada frekuensi grid, yaitu 50 Hz artinya elektron berubah arah dan amplitudo 50 kali per detik). AC sulit dijelaskan

dengan analogi air karena air dalam banyak kasus tidak berubah arah dan hanya mengalir dalam satu arah.

Penyebab arus searah adalah tegangan “searah” atau konstan, misalnya baterai. Tetapi untuk membangkitkan arus bolak-balik kita memerlukan sumber tegangan bolak-balik, misalnya generator AC pada pembangkit listrik. Bentuk gelombang normal dari arus bolak-balik adalah gelombang sinus, di mana setengah siklus positif sesuai dengan aliran positif arus dan setengah siklus negatif sesuai dengan arus terbalik.

Dengan metode ini, AC atau DC dapat diukur, tetapi ada beberapa hal yang harus diperhatikan. Pertama, arus shunt yang dinyatakan tidak boleh dilampaui karena dapat membakar resistor. Kedua, shunt akan memanaskan dan akhirnya menjadi panas jika arus maksimum yang dinyatakan mengalir melaluinya untuk waktu yang lama. Resistansi shunt berubah dengan meningkatnya suhu, dan jika shunt terlalu panas, resistansi dapat berubah secara permanen. Karena ini shunt biasanya hanya digunakan hingga sekitar 60% dari tingkat yang dinyatakan saat ini.

Sensor arus loop terbuka lebih murah daripada varietas loop tertutup seperti sensor arus Zero Flux. Sensor tersebut terdiri dari sensor efek Hall yang dipasang di celah inti magnetik. Output dari sensor efek Hall diperkuat dan mengukur medan yang diciptakan oleh arus tanpa melakukan kontak apa pun dengannya. Ini memberikan isolasi galvanik antara sirkuit dan sensor.

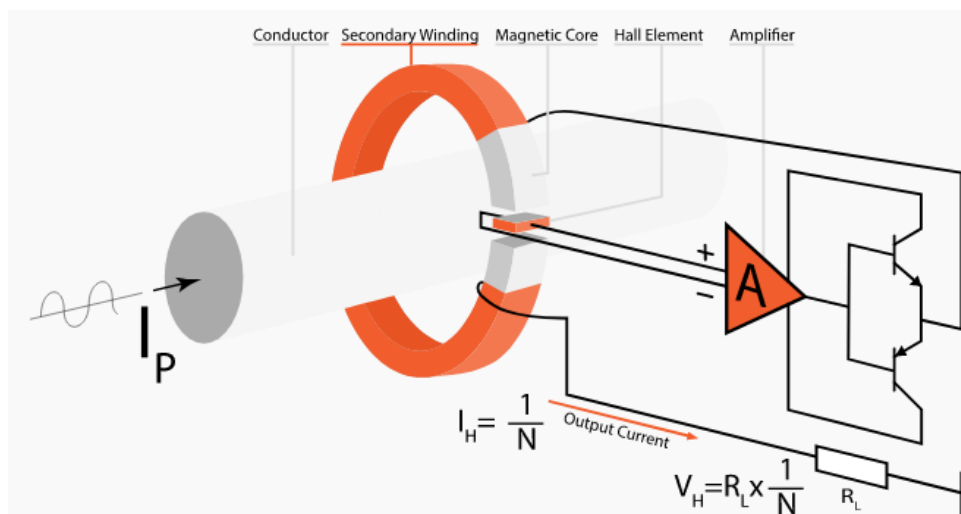


Gambar 2.10 Prinsip Sensor Arus Open Loop

Beberapa sensor arus loop terbuka memiliki elektronik kompensasi yang membantu mengimbangi penyimpangan yang disebabkan oleh perubahan suhu sekitar. Dibandingkan dengan sensor loop tertutup, sensor loop terbuka lebih kecil

dan lebih murah. Mereka memiliki kebutuhan daya yang rendah dan dapat digunakan untuk mengukur arus AC dan DC. Pada saat yang sama, mereka tidak seakurat sepupu loop tertutup mereka: mereka tunduk pada saturasi dan memberikan kompensasi suhu rendah dan kekebalan kebisingan.

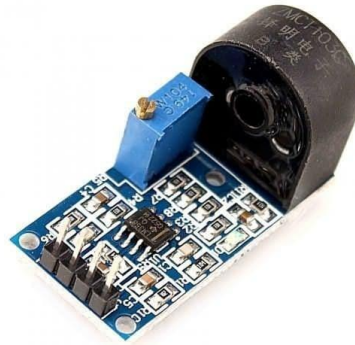
Sensor arus loop tertutup menggunakan rangkaian kontrol umpan balik untuk memberikan output yang sebanding dengan input. Dibandingkan dengan sensor loop terbuka, desain umpan balik loop tertutup ini secara inheren memberikan peningkatan akurasi dan linearitas serta kompensasi penyimpangan suhu yang lebih baik dan ketahanan terhadap kebisingan (noise).



Gambar. 2.11 Prinsip Sensor Arus Loop Tertutup

Dengan sensor loop terbuka, penyimpangan yang disebabkan oleh suhu, atau non-linearitas apa pun pada sensor akan menyebabkan kesalahan. Di sisi lain, sensor loop tertutup menggunakan koil yang digerakkan secara aktif dengan menciptakan medan magnet yang menentang medan konduktor saat ini. Ini adalah "loop tertutup" yang memberikan peningkatan akurasi dan kinerja saturasi. Biaya, ukuran, dan kebutuhan daya yang lebih rendah membuat sensor arus loop terbuka sangat populer. Ini agak diimbangi oleh fakta bahwa kerentanan mereka terhadap saturasi berarti bahwa mereka harus "kebesaran" di beberapa aplikasi untuk menghindari masalah ini. Sensor arus loop tertutup adalah favorit yang jelas dalam aplikasi yang membutuhkan akurasi dan ketahanan terbaik terhadap saturasi, atau yang digunakan di lingkungan dengan suhu ekstrem yang lebar atau gangguan listrik.

Sensor arus dan transduser arus yang berbeda tersedia untuk berbagai metode, masing-masing disesuaikan dengan lingkungan pengukuran serta rentang arus yang dimaksudkan untuk diukur. Misalnya, persyaratan untuk mengukur microamps (μA) sangat berbeda dari yang dibutuhkan untuk mengukur ribuan amp.



Gambar 2.12 Sensor Arus Bolak-Balik

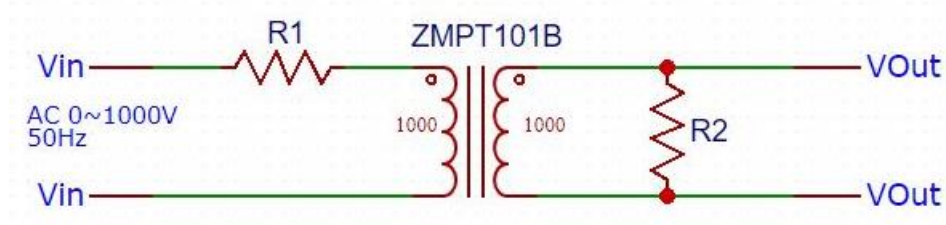
2.8.2 Detektor Tegangan

Tegangan dapat berupa AC atau DC, tergantung pada arus yang mengalirkannya. Dalam sistem DC, arus tidak pernah berubah arah. Itu searah, yaitu, tidak mengubah polaritas. Tetapi dalam sistem AC, arus bolak-balik arah, melintasi 0V ke arah positif, kemudian berbalik dan melintasi 0V lagi ke arah negatif. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur tegangan disebut voltmeter. Tegangan juga dikenal sebagai beda potensial antara dua titik, sehingga voltmeter selalu dihubungkan secara paralel dengan rangkaian. Untuk mempengaruhi rangkaian sesedikit mungkin, impedansi input voltmeter harus sangat tinggi. Impedansi masukan khas dari Voltmeter adalah 10 Ohm.

Pengukuran tegangan AC dapat dilakukan dengan cara dirubah menjadi DC agar lebih mudah dibaca oleh mikrokontroler. Mikrokontroler yang dilengkapi dengan ADC (Analog to Digital Converter) tidak dapat membaca sinyal negatif, maka dari itu tegangan negatif harus dinaikkan offsetnya menjadi 2,5 V sehingga terdapat perbedaan antara nilai negatif dan positif.

Modul sensor ZMPT101B dibangun dari sebuah trafo tegangan presisi tinggi. Modul ini dapat mengukur tegangan listrik AC hingga 1000 volt. Batas tegangan tembus pada modul ini hingga 4kV, rasio lilitan sekunder dan primernya adalah 1: 1. Arus yang mengalir pada lilitan primer dan sekunder modul ini adalah

ini adalah 2mA: 2mA. Arus input hanya dibatasi oleh resistor seri R₁, sedangkan resistor sampling R₂ dipasang paralel untuk mendapatkan tegangan output dari arus yang mengalir pada sisi sekunder trafo.



Gambar 2.13 Prinsip Kerja Modul Sensor ZMPT101B

Dimana:

- V_{in} adalah tegangan masukan dalam Volt (V).
- V_{out} adalah tegangan keluatan dalam Volt (V).
- R₁ adalah tahanan pembatas arus masukan dalam Ohm (Ω).
- R₂ adalah tahanan sampling tegangan output dalam Ohm (Ω).

Pesamaan tegangan output adalah:

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_2} V_{in} \dots\dots\dots (2.8)$$

R₁ dipilih sehingga arus yang melalui lilitan primer tidak melebihi 2mA, arus maksimum yang diijinkan adalah 10mA, tetapi apabila arus primer melebihi 2mA maka linearitas sensor akan hilang. V_{om} (tegangan output maksimum) merupakan tegangan efektif (V_{rms}) ditentukan oleh tegangan puncak ADC (*analog to digital converter*) dalam loop sampling dari mikrokontroler.

- Untuk ADC Bipolar

$$V_{om} = \frac{V_{ADC}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.9)$$

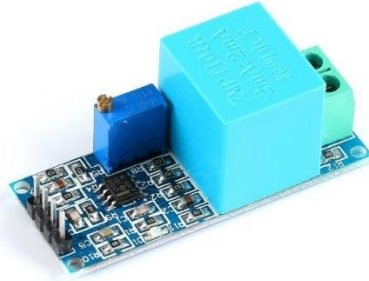
Jika nilai tegangan puncak ADC bipolar V_{ADC} adalah ± 3,3V dan ± 5V maka teganga V_{om} adalah 2,12V dan 3,53V.

- Untuk ADC Unipolar

$$V_{om} = \frac{V_{ADC}}{2\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Jika nilai tegangan puncak ADC unipolar V_{ADC} adalah 3,3V dan 5V maka teganga V_{om} adalah 1,16V dan 1,77V

Sensor tegangan ZMPT101B telah dilengkapi summing- amplifier sehingga dapat digunakan untuk menaikkan tegangan negatif sehingga baik untuk pengukuran tegangan dengan menggunakan mikrokontroler.

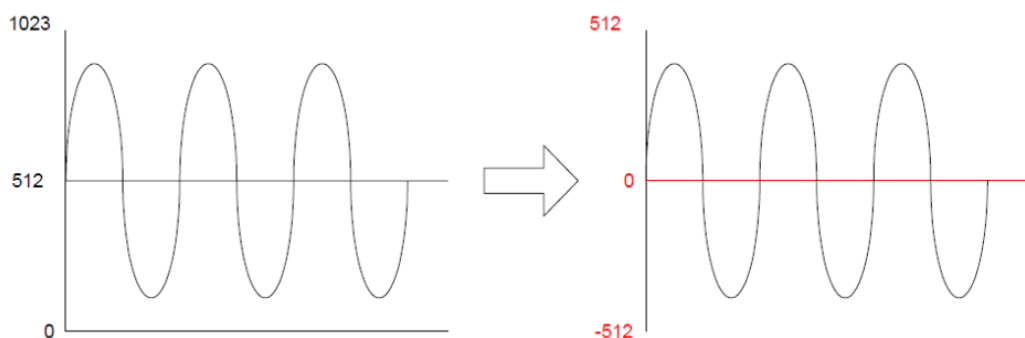


Gambar 2.13 Sensor Tegangan Arus Bolak-Balik

2.8.3 Detektor Frekuensi

Jumlah siklus yang diselesaikan per detik dengan kuantitas bolak-balik dikenal sebagai frekuensi dan dilambangkan dengan f . Dalam sistem SI, frekuensi dinyatakan dalam Hz yang merupakan bentuk singkat dari hertz. Frekuensi gelombang dikatakan satu hertz (atau Hz), yang sama dengan satu siklus per detik.

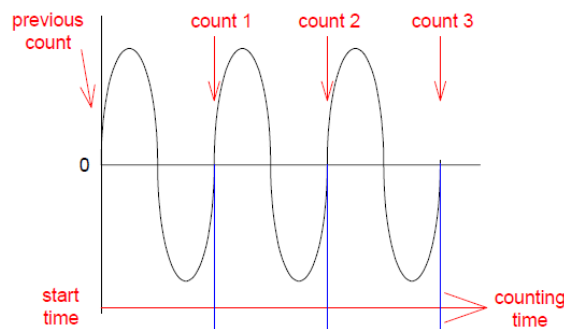
Menghitung frekuensi peristiwa berulang dilakukan dengan menghitung berapa kali peristiwa itu terjadi dalam periode waktu tertentu, kemudian membagi hitungan dengan lamanya periode waktu. Gambar 2.14 menunjukkan diagram suatu sinyal diproses untuk mendapatkan nilai frekuensi berdasarkan bentuk gelombangnya. Perhitungannya sedikit sederhana yang melibatkan beberapa konversi dan rata-rata.



Gambar 2.14 Titik Tengah Osilasi Gelombang

Langkah pertama adalah membuat bentuk gelombang berosilasi pada nilai analog di titik 0 untuk membedakan antara sisi positif dan negatif. Ini sebenarnya opsional karena hanya berdasarkan rumus perhitungan karena dapat juga mengambil nilai 512 sebagai tengah osilasi. Magnitudo pada output (Monitor serial) berada dalam batas -512 hingga 512 dan magnitudo gelombang sebenarnya tidak menjadi perhatian kami karena tidak mengukur nilai Tegangan AC.

Langkah kedua adalah menambah waktu pencacahan dan menghitung jumlah sampel. Jumlah sampel penghitungan dimulai ketika nilai gelombang lebih besar dari 0 yang merupakan titik awal gelombang sinus. Setiap kali sampel terakhir diambil untuk perhitungan rata-rata, hitungan terakhir menjadi "hitungan sebelumnya" dari rangkaian pembacaan berikutnya sehingga mengabaikan penghitungan berikutnya. Namun, karena waktu mulai diatur ulang pada penghitungan sampel terakhir, waktu mulai sebenarnya dimulai pada penghitungan sebelumnya. Untuk gambaran yang jelas dapat dilihat gambar di bawah ini.



Gambar 2.15 Prinsip Penghitungan Frekuensi Dari Gelombang

Nilai frekuensi akan menjadi total waktu akumulasi dibagi dengan jumlah total hitungan (jumlah sampel).

$$f = \frac{1/\sum T_n}{n} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

- * T_n adalah waktu pencacahan.
- * $\sum T_n$ adalah jumlah waktu pencacahan.
- * n adalah jumlah pencacahan.

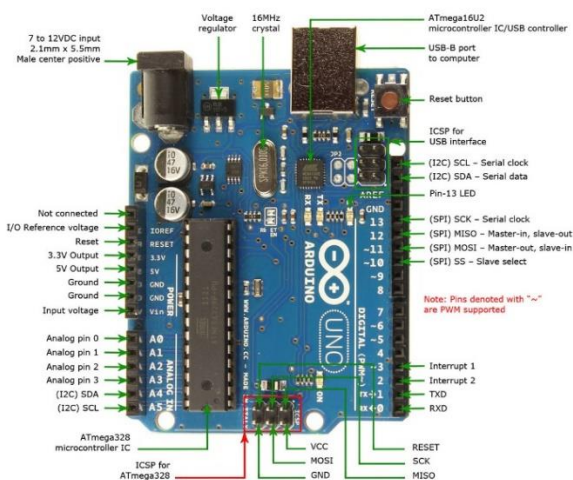
2.9 Arduino

Arduino merupakan *mikrokontroler* / pengendali mikro papan tunggal (*single board*) yang bersifat sumber terbuka dan menjadi salah satu proyek Open Source Hardware yang paling populer. Dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Perangkat kerasnya (*arduino board*) memiliki prosesor *Atmel AVR* dengan sejumlah pin analog dan digital. Softwaranya terdiri dari beberapa alat yakni Integrated Development Environment (IDE), Text-Editor, Compiler, Serial Monitor, dan Serial ISP Programmer.

Arduino menggunakan keluarga mikrokontroler ATmega yang dirilis oleh Atmel sebagai basis, namun ada individu/perusahaan yang membuat *clone* arduino dengan menggunakan mikrokontroler lain dan tetap kompatibel dengan arduino pada level hardware. Untuk fleksibilitas, program dimasukkan melalui bootloader meskipun ada opsi untuk mem-bypass bootloader dan menggunakan pengunduh untuk memprogram mikrokontroler secara langsung melalui port ISP.

2.9.1 Arduino UNO Board

Arduino UNO Board disingkat AUB adalah salah mikrokontroler dari yang berbasis mikrokontroler ATmega. Jenis yang ini adalah yang paling banyak digunakan. Banyak sekali referensi yang membahas Arduino Uno. Versi yang terakhir adalah Arduino Uno R3 (Revisi 3), menggunakan ATMEGA328 sebagai Mikrokontrolernya, memiliki 14 pin I/O digital dan 6 pin input analog. Untuk pemrograman cukup menggunakan koneksi USB type A to To type B. Sama seperti yang digunakan pada USB printer.



Gambar 2.16 Arduino UNO Board Dan Fungsi Pin

Keterangan gambar:

- **Power (USB / Barrel Jack)**

Setiap papan Arduino membutuhkan cara untuk terhubung ke sumber daya. Arduino UNO dapat diaktifkan dari kabel USB yang berasal dari komputer atau catu daya smartphone dan juga smartphone power bank yang bertegangan +5V. bisa juga dari adaptor tegangan +12V melalui konektor barrel jack.

- **Pin (5V, 3.3V, GND, Analog, Digital, PWM, AREF)**

Pin pada Arduino UNO adalah tempat di mana dihubungkan kabel untuk membangun sirkuit tertentu. Pin-pin Arduino UNO Board dilindungi oleh 'header' plastik hitam yang memungkinkan untuk memasukkan kabel tepat ke papan.

- **GND**

Singkatan dari 'Ground'. Ada beberapa pin GND di Arduino, salah satunya dapat digunakan untuk menghubungkan ke sirkuit dan digunakan untuk fungsi yang berbeda.

- **5V & 3.3V**

Pin 5V memasok daya 5V, dan pin 3,3V memasok daya 3,3V. Sebagian besar komponen sederhana yang digunakan dengan Arduino bekerja dengan baik pada tegangan 5V atau 3,3V.

- **Digital (7)**

Di seberang pin analog adalah pin digital (0 hingga 13 pada UNO). Pin ini dapat digunakan untuk input digital dan output digital dengan level tegangan maksimal +5V.

- **PWM (8)**

Tanda tilde (~) di sebelah beberapa pin digital (3, 5, 6, 9, 10, dan 11 pada UNO) berfungsi sebagai pin digital normal, tetapi juga dapat digunakan untuk sesuatu yang disebut Pulse-Width Modulation (PWM).

- **Tombol Atur ulang (Reset)**

Dengan menekan tombol Reset sesaat maka pin reset terhubung ke ground dan me-restart kode yang dimuat pada Arduino.

- **Indikator Daya LED**

Tepat di bawah dan di sebelah kanan kata “UNO” pada AUB, ada LED kecil di sebelah kata ‘ON’. LED ini akan menyala setiap kali board dihubungkan ke sumber listrik. Jika lampu ini tidak menyala, ada kemungkinan besar ada sesuatu yang salah.

- **LED TX RX**

TX adalah kependekan dari pengiriman, RX adalah kependekan dari penerimaan. Tanda-tanda ini muncul pada AUB untuk menunjukkan pin yang sedang melakukan komunikasi serial. LED ini merupakan indikasi visual setiap kali Arduino kami menerima atau mentransmisikan data.

- **IC Utama**

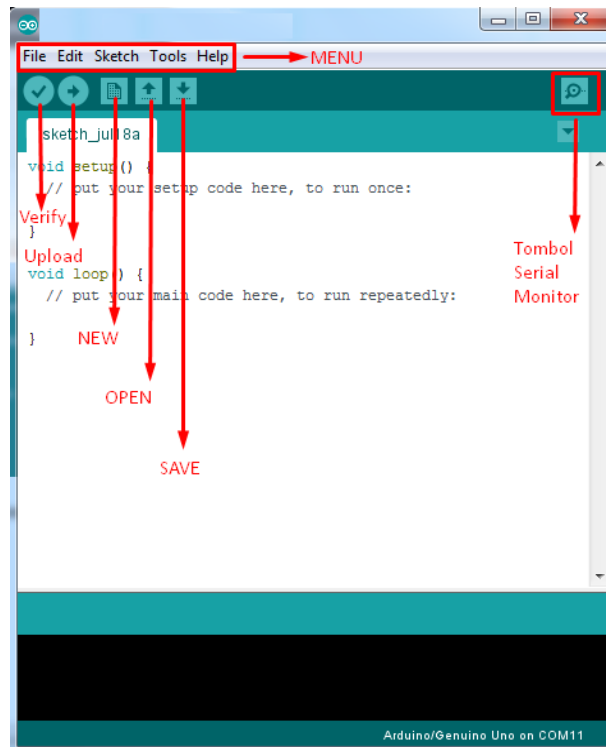
Benda hitam dengan semua kaki logam adalah IC, atau Integrated Circuit merupakan “otak” AUB. IC utama pada Arduino sedikit berbeda dari jenis papan ke jenis papan, tetapi biasanya dari garis ATmega IC dari perusahaan ATMEL.

- **Regulator tegangan**

Regulator tegangan berfungsi mengubah tegangan input yang berasal barrel jack ke tegangan +5V. Tegangan +5V adalah tegangan kerja pada mikrokontroler Atmega sekaligus tegangan pada pin-pin input dan outputnya. Tegangan input pada barrel jack yang diijinkan maksimum +20V agar regulator berfungsi dengan baik.

2.9.2 Software Arduino IDE

Software Arduino IDE dapat didownload dari situs pada alamat website <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. Selanjutnya software tersebut diinstall pada komputer ataupun laptop. Pada software Arduino IDE terdapat beberapa menu yang memiliki fungsi yang berbeda-beda. Beberapa menu yang terdapat pada Software Arduino IDE adalah: * File * Edit *Sketch *Tools *Help.



Gambar 2.17 Tampilan Arduino IDE Pada Layar Komputer

- Menu File terdiri dari beberapa pilihan, seperti misalnya untuk membuat sketch baru, menyimpan sketch, membuka preferences, pilihan untuk keluar dari program dan yang lainnya.
- Pada menu Edit terdapat pilihan-pilihan seperti Copy, Paste, Cut, Select All untuk menyeleksi semua kode yang sudah ditulis dan yang lainnya.
- Pada menu Sketch terdapat pilihan seperti Verify yang digunakan untuk memverifikasi sketch yang telah dibuat, kemudian pilihan Upload yang digunakan untuk mengunggah sketch yang telah dibuat dan dikompilasi ke Arduino. Selanjutnya terdapat pilihan Include Library yang di dalamnya mencakup pemilihan library Arduino yang akan digunakan, pilihan untuk mengatur library (Manage Library) yang digunakan untuk memperbaharui library dan untuk mengunduh library dan yang terakhir terdapat pilihan untuk menambahkan ataupun untuk memperbarui library secara offline yang berupa file dengan ekstensi zip.
- Pada menu Tools terdapat beberapa pilihan submenu. Submenu yang biasa digunakan adalah pilihan untuk memilih jenis Board Arduino yang digunakan atau Arduino yang sedang terhubung dengan komputer dan pilihan untuk port

COM di mana Arduino tersebut terhubung dengan komputer. Submenu Programmer digunakan untuk memilih programmer yang digunakan untuk mengunggah sketch yang telah dibuat ke AUB.

- Pada menu Help terdapat beberapa pilihan yang dapat digunakan untuk mencari informasi, langkah-langkah terkait Arduino. Tombol serial monitor yang terdapat di ujung sebelah kanan dapat digunakan untuk melihat data-data berupa karakter, angka, maupun text yang dikirimkan dari Arduino ke komputer.

2.9.3 Struktur Pemrograman Arduino IDE

Struktur pemrograman yang ada di Arduino IDE secara garis besar terbagi menjadi beberapa bagian yaitu :

- Header

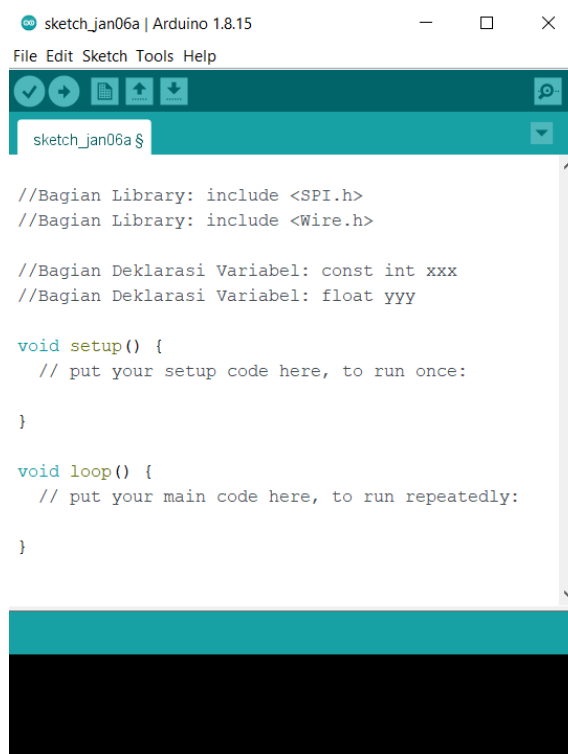
Header berisi library yang kita butuhkan. Library-library dasar yang ada dalam pemrograman bahasa C, sudah terinput otomatis dalam Arduino IDE. Library dasar seperti `stdio.h`, `stdlib.h`, `math.h`, kemudian library mikrokontroler yang digunakan dan masih banyak lagi. Sehingga, ketika memprogram di Arduino IDE dan perlu library-library dasar sudah tidak perlu dipanggil lagi di bagian header. Library yang sifatnya pengembangan, yang tidak termasuk library dasar maka harus dipanggil dibagian header.
- Deklarasi Variabel

Deklarasi variabel yang dimaksud yaitu variabel global, yaitu variabel yang bisa digunakan diseluruh bagian program ini. Variabel terbagi menjadi dua, yaitu global dan lokal. Untuk deklarasi variabel global terletak dibagian ini, tetapi untuk variabel lokal maka dideklarasikan ditiap awal fungsi/prosedur dimana variabel tersebut digunakan.
- Setup

Pada bagian ini, digunakan untuk mengkonfigurasi / mengatur mikrokontroler supaya sesuai kebutuhan pengguna. Pada dasarnya pin-pin yang ada pada mikrokontroler bisa digunakan sebagai masukan (input) atau keluaran (output), baik digital maupun analog. Maka, mikrokontroler harus diatur sebelum digunakan sesuai kebutuhan.

- Loop

Bagian Loop merupakan bagian yang isinya program utama yang akan dijalankan berulang-ulang. Program yang dijalankan sampai sumber tenaga (power supply) dicabut.



```
sketch_jan06a | Arduino 1.8.15
File Edit Sketch Tools Help
sketch_jan06a $

//Bagian Library: include <SPI.h>
//Bagian Library: include <Wire.h>

//Bagian Deklarasi Variabel: const int xxx
//Bagian Deklarasi Variabel: float yyy

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Gambar 2.18 Struktur Pemrograman Arduino IDE

2.10 Generator Set (Genset)

Sumber tegangan lainnya selain jala-jala PLN adalah sebuah genset. Genset yang dimaksud dalam penelitian ini adalah jenis portable genset dengan daya kurang dari 2000Watt. Sebagaimana dengan jala-jala PLN, tegangan dan frekuensi keluaran genset adalah 200VAC dan 50Hz. Genset sudah memiliki mekanisme pengaturan tegangan dan frekuensi internal saat starting dan saat dibebani. Penelitian ini difokuskan saat genset dibebani dengan tipe beban yang bervariasi yang memitik beratkan pada arus yang terukur pada saat pembebanan terjadi.

Peralatan sensor tegangan, frekuensi, fasa dan arus listrik juga dipasang pada terminal output dari genset sehingga dapat ditampilkan nilai-nilai output genset pada layar monitor (OLED display).