

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 KAJIAN PUSTAKA**

Dalam penelitian berjudul "Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)" oleh Ihat Solihat, metode yang digunakan mencakup desain langsung dan pengukuran variasi debit air serta daya listrik yang dihasilkan. Penelitian ini juga menerapkan turbin *crossflow* yang memiliki kelebihan dalam ukuran kecil dan kemampuannya menghasilkan daya yang optimal. Efisiensi turbin *crossflow* ini juga sangat tinggi karena memaksimalkan pemanfaatan energi air yang masuk pada sudu-sudu, sehingga daya dorong kincir semakin besar. Pada penelitian ini, dilakukan tiga kali penggantian pompa dengan mengambil data yang sama pada setiap penggantian untuk dibandingkan manakah yang menghasilkan tegangan paling besar. Hasil penelitian menunjukkan perhitungan sebagai berikut: pada debit 2000 L/jam, menghasilkan daya sebesar 1,78 mW, pada debit 1300 L/jam, menghasilkan daya sebesar 1,47 mW, dan pada debit 1000 L/jam, menghasilkan daya sebesar 0,38 mW. Data ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu putaran pada setiap debit yaitu 2000, 1300, dan 1000 L/jam, maka daya yang dihasilkan juga semakin besar, yang sesuai dengan temuan penelitian yang telah dilakukan [7].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hilmi Fauzi, Yulianto, dan Supriatna Adhisuwignjo berjudul "Sistem Monitoring Keluaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IoT (*Internet of Things*)". Pada penelitian ini, mereka menggunakan NodeMCU Iolink versi 3 sebagai kontroler utama, yang merupakan perangkat berbasis ESP8266. Tampilan web menggunakan akun layanan Google yaitu firebase console, dan aplikasi pada perangkat Android menggunakan *software* online MIT App. Penelitian ini melibatkan penggunaan sensor tegangan, sensor arus ACS 712, dan sensor fotodiode. Penelitian ini juga menggunakan sensor tegangan, sensor arus ACS 712, dan sensor *photodiode*. Prinsip kerja dari sistem monitoring ini melibatkan web dan aplikasi Android

untuk melihat nilai keluaran dari PLTMH. Prosesnya dimulai membaca tegangan arus dan kecepatan oleh sensor, lalu hasil data dari pembacaan sensor akan diproses oleh NodeMCU. Pengujian sistem monitoring dilakukan dengan empat jenis pengujian beban, yaitu: menggunakan beban 0 mW, beban 1 mW, beban 4 mW, beban 12 mW [8].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muh Agra Basri, Sofyan, dan Kurniawati Naim berjudul "Rancang Bangun Electronic Load Control Generator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Mikrokontroler dan IoT". Pada penelitian ini, mereka merancang sebuah alat yang menggunakan beberapa komponen seperti Arduino Uno R3, PZEM-004T, Relay 4 Chanel, NodeMCU ESP32, LCD 2x16, dan SIM 800L V2. Dalam penelitian ini, terdapat dua perancangan *software*, yaitu untuk perintah Arduino Uno R3 dan NodeMCU ESP dengan menggunakan *software* Arduino IDE, serta program monitoring dengan menggunakan aplikasi *Blynk*. Penelitian ini melakukan pengujian perbandingan antara penggunaan alat yang dirancang dan tanpa penggunaan alat tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa saat tidak menggunakan alat rancangan, arus yang mengalir pada rangkaian sebesar 0,28 - 0,35, yang menandakan bahwa dalam pengujian ini tidak terpasang beban pengganti. Sebanyak 4 kali percobaan dilakukan dengan mengacu pada jumlah relay yang digunakan pada perancangan alat. Sementara itu, dalam pengujian dengan penggunaan alat rancangan, arus yang dihasilkan akan naik sesuai dengan jumlah beban konsumen yang terhubung. Sistem kontrol pada alat ini berhasil bekerja dengan sangat baik, dengan arus yang mengalir pada rangkaian sebesar 2,87 saat 1 relay bekerja, 4,28 saat 2 relay bekerja, 4,91 saat 3 relay bekerja, dan sebesar 6,03 saat semua relay bekerja [9].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh K.A. Ridwan, Sutini Pujiastuti Lestari, Irawan Rusnadi, Erlinawati, Atika Rahayu, Evando Mahendra, dan Wahyudi Pratama berjudul "Simulasi *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin *Crossflow* Ditinjau dari Ketinggian, Debit, dan Arah Aliran", digunakan turbin *crossflow* dalam pembangkit listrik mikrohidro (PLTMH). *Control panel* pada alat PLTMH terdiri dari Tachometer untuk mengukur banyaknya putaran turbin dalam satu menit (*Revolution Per Minutes*) dan Multimeter Digital sebagai alat pengukur listrik yang dapat mengukur tegangan

(Voltmeter), arus (Amperemeter), dan daya listrik (MW). Penelitian ini berfokus pada perbandingan aliran *overshoot horizontal*, *overshoot vertical*, dan *undershoot*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada debit optimum 20 liter/menit, semua tipe aliran (*overshoot horizontal*, *overshoot vertical*, dan *undershoot*) menghasilkan daya listrik masing-masing sebesar 16 mW, 12,95 mW, dan 10,8 mW. Pada debit 18 liter/menit, dihasilkan daya masing-masing sebesar 15,6 mW, 11,55 mW, dan 9 mW. Sementara pada debit 16 liter/menit, dihasilkan daya *overshoot horizontal* sebesar 14,4 MW, *overshoot vertikal* sebesar 9,6 MW, dan *undershoot* sebesar 8,7 MW. Hasilnya adalah pada debit optimum 20 liter/ menit untuk *overshoot horizontal*, *overshoot vertical* maupun *undershoot* menghasilkan daya yaitu 16 mW, 12,95 mW, serta 10,8 mW. Untuk 18 liter/ menit dihasilkan 15,6 mW, 11,55 mW, 9 mW. Dan untuk debit 16 liter/menit dihasilkan daya *overshoot horizontal* 14,4 MW, *overshoot vertikal* 9,6 MW dan *undershoot* 8,7 MW. Semakin tinggi debit air, maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan, dan hal ini menegaskan bahwa debit air berbanding lurus dengan daya listrik. [10].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh K. Umurani, A M Siregar, dan Surya Al-Amin yang berjudul “Pengaruh Jumlah Sudu *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja” penelitian ini menggunakan mikrokontrol arduino uno untuk mengontrol dan menerjemahkan data ataupun input sinyal yang ditangkap oleh sensor pembaca, photo sensor interruptor untuk membaca jumlah putaran poros turbin dengan sinar infra merah, load cell untuk membaca berat beban yang diletakkan diatas poros, untuk tempat sabuk penggantung beban, PLX-DAQ untuk *software* yang digunakan untuk mencatat data serial di microsoft excel yang dikirim oleh arduino uno ke komputer. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis torsi yang terjadi poros dan daya turbin. Menggunakan 2 perbandingan yaitu perbandingan torsi terhadap debit air pada jumlah sudu 6 dan 8 dari penelitian ini menunjukkan bahwa daya untuk turbin dengan jumlah 8 sudu cenderung lebih besar dari daya untuk turbin dengan 6 sudu [11].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putu Andrean Wiranata, Gusti Ngurah Janardana, Wayan Arta Wijaya dengan judul “Rancang Bangun

*Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Cross-Flow” metode dari penelitian ini meliputi pembuatan *prototype* berdasarkan hasil perhitungan pada perancangan parameter dan pengujian kinerja *prototype* PLTMH. Penelitian ini tidak menggunakan alat elektronik seperti mikrokontroler dan sensor, penelitian ini memfokuskan rancang bangun dan pengujian sistemnya. Hasil perhitungan parameter *prototype* PLTMH dengan Turbin Cross-Flow dirancang pada head efektif 6 meter. Desain Turbin Cross-Flow menggunakan ukuran diameter luar runner 0,15 meter, diameter dalam runner 0,10 meter, jumlah sudu 18 buah. Hasil pengujian didapatkan hasil 574,6 rpm putaran turbin sebelum dikopel generator; 489 rpm putaran turbin setelah dikopel generator; 3309,2 rpm putaran turbin, tegangan output 36,52 V pada saat tanpa beban, serta 386,4 rpm putaran turbin maksimal; 2584,4 rpm putaran generator maksimal; 28,18 V tegangan output maksimal; 0,422 A arus output maksimal; 10,59 MW daya output maksimal; 0,312 Nm torsi maksimal; 8,026 % efisiensi maksimal pada keadaan berbeban [12].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muhammad Zaini, Safrudin, dan Moh. Bachrudin dengan judul “Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IoT” penelitian ini hanya merancang sistem monitoring tanpa menggunakan *prototype*. Perancangan ini dilakukan dengan merancang perangkat lunak dan perangkat keras. Perangkat keras di antaranya board mikrokontroler ESP32 yang digunakan untuk membaca dan mengolah data sensor tegangan, arus dan frekuensi dari modul sensor PZEM-004T v3 sensor ini digunakan untuk arus AC dan yang bertegangan tinggi dan mengontrol solid state relay (SSR relay) secara jarak jauh. Kemudian dilakukan perancangan perangkat lunak seperti *Internet of things* (IoT) dengan menggunakan platform Ubidots dan dihubungkan ke internet melalui koneksi Wi-Fi guna monitoring dan notifikasi melalui pesan Telegram. Pada pengujian sistem monitoring, notifikasi dan kontrol SSR relay didapatkan dari hasil pengiriman data ke Ubidots dan keberhasilan pengiriman notifikasi dan kontrol SSR relay ini merupakan salah satu bentuk keberhasilan seluruh sistem ditunjukkan dengan respon yang baik dan dapat mengirimkan data. Pengiriman data, notifikasi dan kontrol SSR relay memiliki keberhasilan sebesar 100% [13]. Tabel 2.1 merupakan tabel hasil perbandingan penelitian sebelumnya dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis.

**Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya**

No	Nama Peneliti, Tahun dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
1	(Ihat Solihat, 2020) Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).	Menggunakan metode rancang bangun yang sama pada perancangan PLTMH	Tidak mengimplemen tasikan pemantauan Berbasis IoT	Menggunakan <i>website IoT Platform</i> sebagai Sistem Pemantauan Berbasis IoT
2	(Hilmi Fauzi, Yulianto, Supriatna Adhisuwignjo. 2018) Sistem Monitoring Keluaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IOT ( <i>Internet of things</i> )	Mengimplementa sikan Teknologi IoT pada Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IOT ( <i>Internet of things</i> )	Menggunakan tampilan web menggunakan akun layanan google yaitu firebase console dan aplikasi pada android menggunakan <i>software</i> online MIT App sebagai <i>outputan</i>	Menggunakan <i>website IoT Platform</i> sebagai <i>outputan</i>
3	(Muh Agra Basri, Sofyan, dan Kurniawati Naim, 2021) Rancang Bangun Electronic Load Control Generator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Mikrokontroler dan IoT	Mengimplementa sikan Teknologi IoT pada Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IOT ( <i>Internet of things</i> )	Melakukan pengujian alat rancangan dengan metode menggunakan alat dan tidak menggunakan alat	Melakukan pengujian alat rancangan pembacaan sensor untuk mengetahui arus dan tegangan yang dihasilkan
4	(K.A. Ridwan, Sutini Pujiastuti Lestari, Irawan Rusnadi, Erlinawati, Atika Rahayu, Evando Mahendra, Wahyudi Pratama, 2021) Simulasi <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Crossflow	Menggunakan metode rancang bangun yang sama pada perancangan PLTMH	Tidak mengimplemen tasikan pemantauan Berbasis IoT	Menggunakan <i>website IoT Platform</i> sebagai Sistem Pemantauan Berbasis IoT

No	Nama Peneliti, Tahun dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
	Ditinjau dari Ketinggian, Debit dan Arah Aliran.			
5	(K. Umurani, A M Siregar , dan Surya Al-Amin,2020) Pengaruh Jumlah Sudu <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja	Menggunakan sensor untuk mendapatkan nilai atau data melalui pembacaan sensor	Memantau dan membandingkan dua kinerja torsi dengan jumlah sudu yang berbeda dari prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro	Memantau hasil tegangan, arus, dan kecepatan dari prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro
6	(Putu Andrean Wiranata, Gusti Ngurah Janardana, Wayan Arta Wijaya, 2020) Rancang Bangun <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Cross-Flow	Menggunakan metode rancang bangun yang sama pada perancangan PLTMH	Menggunakan variasi beban atau LED pada saat pengambilan hasil data	Hanya menggunakan satu variasi beban atau LED pada saat pengambilan hasil data
7	(Muhammad Zaini, Safrudin, dan Moh. Bachrudin, 2020) Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus, dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IoT	Mengimplementasikan Teknologi IoT pada Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IOT ( <i>Internet of things</i> )	Merancang sistem monitoring tanpa <i>prototype</i>	Merancang <i>prototype</i> dan sistem monitoringnya

## 2.2 DASAR TEORI

Penulisan landasan teori ini akan membahas dasar teori atau komponen apa saja yang di perlukan dalam merancang *prototype* pembangkit listrik tenaga mikrohidro, seperti membahas tentang pembangkit listrik tenaga mikrohidro, generator, turbin, NodeMCU ESP8266, sensor INA219, sensor *infrared*, Arduino IDE, dan IoT Platform.

### 2.2.1 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Mikrohidro adalah suatu bentuk pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai sumber energi penggerakannya. Sumber air yang digunakan dapat berupa saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian (*head*) dan jumlah debit air. Istilah "mikrohidro" sendiri mengandung makna bahwa pembangkit listrik ini berukuran kecil dan berbasis pada energi air. Secara teknis, mikrohidro terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sumber air (sebagai sumber energi), turbin, dan generator. Energi dalam mikrohidro diperoleh dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Prinsip dasarnya adalah memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi perbedaan ketinggian air, semakin besar pula energi potensial yang dapat diubah menjadi energi listrik [14].

Secara umum tenaga listrik yang menggunakan air terdiri dari :

#### 1. Pembangkit Listrik Tenaga Air

- Kapasitas: Lebih dari 100 MW (tergantung pada ukuran dan jenisnya).
- Skala: Besar.
- Fungsi: Menyediakan pasokan energi listrik dalam jumlah besar untuk jaringan listrik nasional.
- Contoh: PLTA seperti PLTA Asahan di Sumatera Utara, PLTA Saguling di Jawa Barat [15].

#### 2. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

- Kapasitas: Biasanya berkisar antara 100 kW hingga 10 MW.
- Skala: Menengah.
- Fungsi: Menyediakan pasokan energi listrik untuk daerah-daerah yang lebih luas dibandingkan PLTMH, tetapi tidak sebesar PLTA.
- Contoh: PLTMH yang lebih besar atau PLTA skala menengah [16].

#### 3. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

- Kapasitas: Biasanya kurang dari 100 kW.
- Skala: Kecil.
- Fungsi: Menyediakan pasokan energi listrik lokal di daerah terpencil atau terisolasi.
- Contoh: PLTMH di desa-desa terpencil atau area pegunungan [16].



**Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro**

Di samping mempertimbangkan faktor geografis, seperti tata letak aliran air, tinggi jatuhnya air dalam mikrohidro dapat dicapai dengan membendung aliran air, meninggikan permukaan air. Air kemudian dialirkan melalui pipa pesat menuju rumah pembangkit yang seringkali dibangun di tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh generator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Salah satu keunggulan mikrohidro adalah kemampuannya memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar. Misalnya, dengan ketinggian air sekitar 2,5 meter, dapat dihasilkan daya listrik sekitar 400 mW. Meskipun energi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala besar, mikrohidro memiliki keunggulan dalam peralatan yang relatif sederhana dan kebutuhan areal yang lebih kecil. Sehingga instalasi dan pengoperasiannya lebih mudah dan tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Pembangkit listrik mikrohidro juga memiliki beberapa keuntungan lain, seperti biaya yang lebih murah karena menggunakan energi alam, konstruksi yang sederhana yang memungkinkan dioperasikan di daerah terpencil dengan melibatkan tenaga terampil penduduk setempat, tidak menyebabkan pencemaran, dapat dipadukan dengan program lain seperti irigasi, dan mendorong masyarakat untuk menjaga kelestarian hutan dan ketersediaan air [17].

### **2.2.2 ENERGI**



Ada dua jenis umum energi yaitu energi Transisional (transitional energy) dan energi tersimpan (stored energy). Energi transional adalah energi yang sedang bergerak, dan dapat berpindah melintasi suatu batas sistem. Energi tersimpan adalah energi yang berwujud sebagai sebagai massa, posisi dalam medan gaya dan lain lain. Bentuk tersimpan ini biasa di klasifikasikan menjadi beberapa bentuk energi :

### 1. Energi dalam

Salah satu jenis energi ini adalah energi listrik, energi listrik sendiri merupakan energi yang berkaitan dengan arus dan akumulasi electron. Energi jenis ini umumnya dinyatakan dalam satuan daya dan waktu, misalnya mW/jam atau kilomW/jam.

$$W = V \times I \times t \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- W = Daya Listrik (MW)
- V = Tegangan Listrik (Volt)
- I = Arus Listrik (Ampere)
- T = Waktu (sekon)

### 2. Energi Potensial

Energi potensial adalah energi yang di peroleh oleh material tertentu sebagai akibat dari posisinya dalam suatu medan gaya. Termasuk di dalamnya energi medangravitasi, energi yang berkaitan dengan suatu fluida yang terkompresi. Rumus persamaan berikut menunjukkan besarnya energi potensi air :

$$E_p = m.g.h \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- $E_p$  = Energi Potensial Gravitasi (Joule)
- m = Massa (Kg)
- g = Percepatan Gravitasi
- h = Ketinggian (m)

### 3. Energi kinetik

Energi kinetik adalah energi suatu kecepatan ( $v$ ), contohnya : mobil yang bergerak, benda jatuh, dll. Maka rumus energinya dapat dituliskan sebagai berikut

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$E_k$  = Energi Kinetik (Joule)

$M$  = Massa (Kg)

$V$  = Kecepatan (m/s)

### 4. Energi mekanik

Energi mekanik didefinisikan sebagai energi total yaitu penjumlahan antara energi kinetik dan energi potensial.

$$E_m = E_k + E_p \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$E_m$  = Energi Mekanik Total

$E_k$  = Energi Kinetik (Joule)

$E_p$  = Energi Potensial (Joule)

Perubahan energi ini terdapat dua jenis perubahan energi yaitu:

1. Energi Potensial menjadi Energi Kinetik Energi potensial air dirubah menjadi energi kecepatan (kinetik) akibat dari air yang bergerak dan mempunyai kecepatan sehingga terjadi impuls dan perubahan momentum ( $sudu - sudu$ ) dan gravitasi, tegangan elastis dan fluida memampat.

2. Energi mekanik menjadi energi listrik Hampir semua alat yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik menggunakan diri pada efek Faraday untuk prinsip operasinya. Menurut efek Faraday, suatu gradien voltase ditimbulkan dalam konduktor listrik yang dikenakan gaya tegak lurus terhadap suatu medan magnet [18].

### 2.2.3 GENERATOR

Generator bekerja berdasarkan prinsip-prinsip percobaan dengan cara menggerakkan magnet dalam kumparan atau sebaliknya. Ketika magnet digerakkan dalam kumparan, terjadi perubahan fluks gaya magnet di dalam kumparan yang menembus tegak lurus terhadap kumparan tersebut. Akibatnya, beda potensial muncul antara ujung-ujung kumparan, yang menghasilkan arus listrik. Syarat utama untuk terjadinya listrik adalah adanya perubahan fluks magnetik, dan ini dicapai dengan menggerakkan magnet dalam kumparan atau sebaliknya menggunakan energi dari sumber lain, seperti angin atau air yang memutar baling-baling turbin untuk menggerakkan magnet tersebut. Ketika suatu konduktor digerakkan dan memotong medan magnet, akan timbul beda tegangan di ujung-ujung konduktor tersebut. Tegangan ini akan naik saat mendekati medan magnet dan turun saat menjauh. Sehingga, listrik yang dihasilkan dalam siklus bergerak seperti pola positif-nol-negatif-nol (AC) [19].

Generator DC (*Direct Current*) adalah perangkat elektromekanis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik searah (arus searah) atau sebaliknya, yaitu mengubah energi listrik searah menjadi energi mekanik. Prinsip kerja generator DC adalah mengubah energi mekanik menjadi energi listrik searah melalui induksi elektromagnetik. Ini melibatkan gerakan kumparan kawat di dalam medan magnetik atau medan magnetik yang bergerak di sekitar kumparan, menghasilkan arus listrik dalam kumparan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Arus tersebut kemudian dialirkan melalui beban eksternal melalui komutator yang mengatur arah arus. Generator DC umumnya menggunakan hukum induksi Faraday untuk menghasilkan arus searah yang berguna dalam berbagai aplikasi, seperti motor listrik dan pembangkit listrik [20].



**Gambar 2. 2 Generator DC**

Generator AC (*Alternating Current*) adalah perangkat elektromekanis yang menghasilkan energi listrik dalam bentuk arus bolak-balik. Arus bolak-balik adalah arus listrik yang berubah arahnya secara berkala dan teratur. Prinsip kerja generator AC adalah menghasilkan energi listrik dengan arus bolak-balik melalui perputaran kumparan kawat dalam medan magnetik. Perubahan medan magnetik atau gerakan kumparan memotong garis-garis gaya magnetik, menginduksi arus bolak-balik dalam kumparan. Arus ini menciptakan gelombang sinusoidal atau gelombang AC yang dapat diubah tegangannya melalui transformator sebelum didistribusikan ke jaringan listrik atau perangkat. Generator AC adalah dasar dari sistem kelistrikan modern dan memiliki berbagai aplikasi dalam pembangkitan dan distribusi energi listrik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 [21].



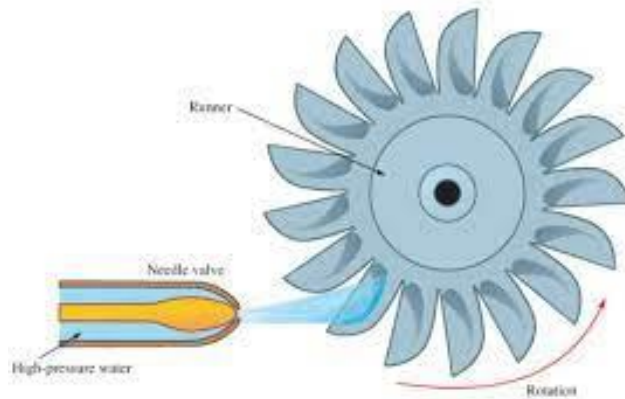
**Gambar 2. 3 Generator AC**

#### **2.2.4 TURBIN**

Turbin air berfungsi untuk mengubah berbagai bentuk energi air, seperti energi potensial, tekanan, dan energi kinetik, menjadi energi mekanik melalui putaran poros. Putaran poros turbin ini kemudian diubah oleh generator menjadi energi listrik. Turbin air dapat dibedakan berdasarkan prinsip kerjanya menjadi dua kelompok, yaitu:

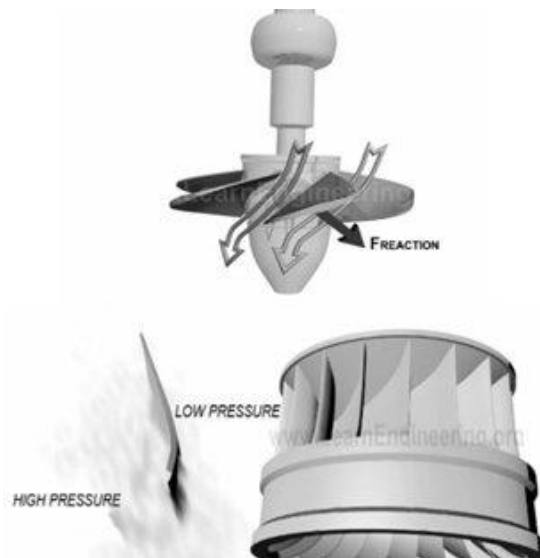
1. Turbin impuls, yang mencakup turbin cross-flow, pelton, dan turgo. Pada jenis turbin ini, tekanan pada setiap sisi sudu gerak pada bagian turbin

yang berputar adalah sama. Jenis turbin impuls ini dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2. 4 Turbin Impuls**

2. Turbin Reaksi (francis, kaplanpropeller) .Untuk jenis ini, di gunakan untuk berbagai keperluan (*wide range*) dengan tinggi terjun menengah (*medium head*) seperti yangditunjukkan pada Gambar 2.5 [22].



**Gambar 2. 5 Turbin Reaksi**

Turbin adalah komponen krusial dalam sistem mikrohidro yang berfungsi untuk menerima energi potensial dari air dan mengubahnya menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin akan digunakan untuk memutar sumbu turbin pada generator, yang selanjutnya menghasilkan energi listrik. Terdapat berbagai jenis turbin berdasarkan teknologinya, antara lain:

1. Turbin Tradisional, biasanya terbuat dari bambu atau kayu.
2. Turbin Modern, biasanya digunakan pada proyek – proyek PLTMH berdana besar. Turbin jenis ini yang paling banyak digunakan adalah turbin jenis Kaplan, Francis, Cross Flow dan Pleton
3. Turbin Modifikasi, di buat dengan memodifikasi jenis turbin yang ada. Di Indonesia, Balitbang telah membuat beberapa turbin jenis ini [23].

### 2.2.5 SENSOR INA219

Sensor INA219 adalah modul sensor yang memiliki kemampuan untuk mengukur tegangan, arus, dan daya secara bersamaan. Prinsip kerja sensor ini adalah dengan mengalirkan arus melalui kabel tembaga di dalamnya, yang kemudian menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh IC medan terintegrasi dan diubah menjadi tegangan yang sebanding. Sensor INA219 dapat dilihat pada gambar 2.6 :



**Gambar 2. 6 Sensor INA219**

Sensor INA219 merupakan alternatif sensor yang dapat digunakan sebagai pengganti modul sensor ACS712 dalam mengukur arus DC. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mengukur sumber beban dengan tegangan hingga 26 Vdc dan arus hingga 3,2 Ampere. Kelebihan dari modul sensor ini adalah selain mengukur arus, juga dapat mengukur tegangan melalui komunikasi I2C dengan tingkat presisi 1%. Dengan menggunakan hukum Ohm, modul ini juga memungkinkan perhitungan daya (mW) yang akurat. Daya yang dapat diukur oleh modul ini mencapai lebih dari 75 mW daya. Selain memiliki ukuran yang kecil, sensor ini

juga memiliki fitur-fitur yang canggih dan berguna untuk aplikasi pengukuran arus dan tegangan pada sumber beban [24]. Sensor INA219 memiliki beberapa spesifikasi seperti ditunjukkan pada tabel 2.2.

**Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor INA219**

Spesifikasi Sensor INA219	
Tegangan Kerja	3.3 – 5.5 V
Tegangan Target	0 – 26 V
Pengukuran	Tegangan, Arus, Daya
Dimensi Board	25.5 * 22.3 mm
Pakage Modul	SOT23-8 & SOIC-8 Paket
Applications	Server, Power Supplies, DII

### 2.2.6 SENSOR INFRARED FC-51

*Infrared* (IR) detektor atau sensor infra merah adalah sebuah komponen elektronika yang dirancang untuk mendeteksi cahaya infra merah (*infrared*, IR). Saat ini, sensor infra merah atau detektor infra merah telah dikembangkan dalam bentuk modul khusus yang dikenal sebagai IR Detector Photomodules. IR Detector Photomodules merupakan chip detektor inframerah digital yang dilengkapi dengan fotodiode dan penguat (amplifier) di dalamnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2. 7 Sensor Infrared**

Modul sensor *infrared* FC-51 ini memiliki dua bagian utama yang terdiri dari IR transmitter dan IR receiver. Fungsi dari IR transmitter adalah bagian yang bertugas untuk memancarkan radiasi inframerah kepada sebuah objek ataupun hambatan. Sedangkan IR receiver merupakan bagian yang berfungsi untuk mendeteksi radiasi yang telah dipantulkan oleh objek yang berasal dari IR

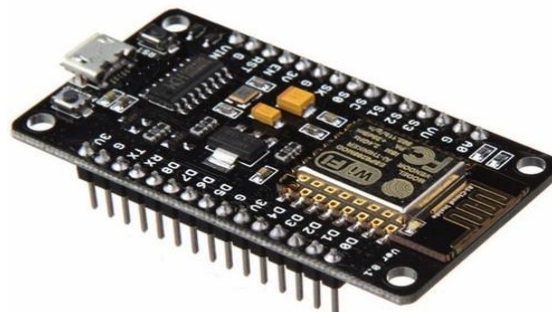
transmitter. Dalam perancangan robot, digunakan jenis IR Detector Photomodules dengan tipe TSOP (*TEMIC Semiconductors Optoelectronics Photomodules*). Jenis TSOP ini memiliki berbagai variasi yang disesuaikan dengan frekuensi carrier-nya, yang berkisar antara 30 kHz hingga 56 kHz. Informasi lebih lengkap mengenai tipe-tipe TSOP beserta frekuensi carrier-nya dapat ditemukan pada lampiran data sheet [25]. Sensor *infrared* FC-51 memiliki beberapa spesifikasi seperti ditunjukkan pada tabel 2.3.

**Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor Infrared FC-51**

Spesifikasi Sensor <i>Infrared</i> FC-51	
Tegangan Kerja	3 – 5 VDC
PIN I/O	5V & 3.3 V
<i>Range</i>	Up to 20 Cm
<i>Dimensi Board</i>	3.2 * 1.4 cm
<i>Output Level</i>	<i>Digital Output Sinyal</i>
Sudut Pendeteksian	35 °

### 2.2.7 MIKROKONTROLER

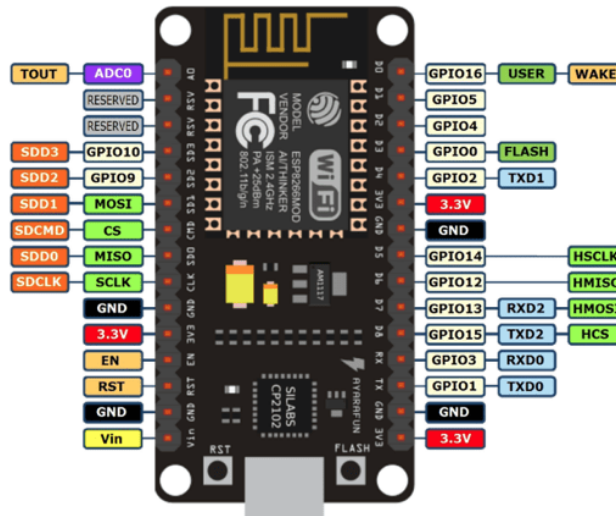
Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer yang hampir seluruh elemennya terpadu dalam satu chip yang dikenal sebagai IC (Integrated Circuit), sehingga sering disebut sebagai single chip microcomputer. Mikrokontroler memiliki peran penting dalam menghadirkan kontrol yang akurat dan responsif terhadap perangkat elektronik yang kompleks. Penggunaan mikrokontroler sangat umum dalam mengontrol peralatan elektronik, dimana mikrokontroler memungkinkan pengaturan yang efisien dan efektif dalam hal biaya [26].



**Gambar 2. 8 NodeMCU ESP8266**



Dalam penelitian ini, penulis menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler. NodeMCU merupakan sebuah board elektronik berbasis chip ESP8266 yang memiliki kemampuan sebagai mikrokontroler dan juga memiliki koneksi internet (WiFi). Modul ini dilengkapi dengan beberapa pin I/O yang memungkinkan pengembangan aplikasi monitoring dan kontrol pada proyek *Internet of things* (IoT) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2. 8 GPIO NodeMCU ESP8266**

NodeMCU ESP8266 dapat diprogram menggunakan compiler Arduino melalui Arduino IDE. Fisik dari NodeMCU ESP8266 memiliki port USB (mini USB) yang memudahkan dalam proses pemrograman. Modul ini merupakan turunan pengembangan dari modul platform IoT keluarga ESP8266 tipe ESP-12. Meskipun secara fungsi hampir mirip dengan platform modul Arduino, NodeMCU dikhususkan untuk aplikasi yang terhubung dengan internet (Connected to Internet) [27]. NodeMCU ESP8266 memiliki beberapa spesifikasi seperti ditunjukkan pada tabel 2.4.

**Tabel 2. 4 Spesifikasi NodeMCU ESP8266**

Spesifikasi NodeMCU ESP8266	
Tegangan Operasi	3.3 V
Tegangan Masukan	7 - 12 V
Pin Digital I/O (DIO)	16

Spesifikasi NodeMCU ESP8266	
Pin Analog Input (ADC)	1
UARTs	2
SPIs	1
I2Cs	1
<i>Flash Memory</i>	4MB
SRAM	64 KB
<i>Clock Speed</i>	80 MHz

### 2.2.8 TELKOM IOT PLATFORM

Telkom IoT Platform merupakan platform yang diciptakan oleh PT Telkom Indonesia sebagai solusi *Internet of things* (IoT) yang menawarkan berbagai layanan untuk menghubungkan, mengelola, dan mengintegrasikan perangkat IoT secara efektif. Pengguna platform dapat mengumpulkan, menyimpan, memeriksa, dan bertindak berdasarkan data yang dihasilkan oleh perangkat IoT. Telkom IoT Platform menawarkan sejumlah fitur dan fungsi yang luas, yang mencakup berbagai aspek penting seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Ini termasuk kemampuan untuk melakukan administrasi dan registrasi perangkat dengan mudah, sehingga mempermudah pengelolaan perangkat yang terhubung. Selain itu, platform ini memungkinkan pengguna untuk mengumpulkan dan memantau data secara real-time, memberikan wawasan yang akurat dan up-to-date tentang kinerja perangkat dan sistem, analisis data, integrasi sistem, serta keamanan dan otentikasi yang kuat.



**Gambar 2. 9 Telkom IoT Platform**

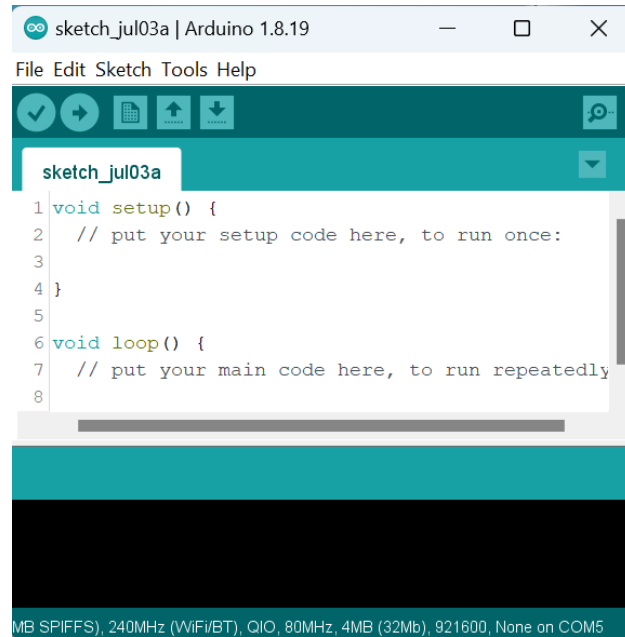
### 2.2.7 SOFTWARE ARDUINO IDE

Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler. Melalui Arduino IDE, mikrokontroler dapat diprogram untuk melaksanakan tugas-tugas tertentu sesuai dengan sintaks pemrograman yang ditentukan. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam Arduino IDE merupakan gabungan antara bahasa C dan C++. Arduino IDE merupakan perangkat lunak open source yang gratis dan dapat diunduh langsung dari situs web resmi Arduino. Selain mencakup cakupan sistem operasi yang luas seperti Linux, Mac, dan berbagai sistem operasi lainnya, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.10, Arduino IDE merupakan platform pengembangan perangkat lunak yang sangat serbaguna. Dalam konteks ini, pengguna diberikan kemampuan yang luar biasa untuk merancang, mengembangkan, dan memprogram mikrokontroler sesuai dengan kebutuhan proyek elektronik.

Melalui penggunaan Arduino IDE, proses memprogram mikrokontroler untuk proyek-proyek elektronik menjadi lebih sederhana dan terstruktur. Dengan demikian, pengguna dapat mengoptimalkan penggunaan mikrokontroler dalam berbagai aplikasi, dari proyek sederhana hingga proyek yang lebih kompleks dan inovatif. Dengan semua fitur dan kemudahan yang ditawarkan oleh Arduino IDE.

Arduino IDE terdiri dari:

1. *Editor Program* adalah sebuah jendela yang memungkinkan pengguna untuk menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*.
2. *Compiler* adalah sebuah modul yang berfungsi mengubah kode program (bahasa *processing*) menjadi kode biner. Hal ini dilakukan karena mikrokontroler tidak dapat memahami bahasa *processing*, sehingga kode program perlu diubah ke dalam bentuk kode biner yang dapat dipahami oleh mikrokontroler.
3. *Pengunggah* adalah sebuah modul yang digunakan untuk mengirimkan kode biner dari komputer ke dalam memori mikrokontroler. Proses ini memungkinkan mikrokontroler untuk menjalankan program yang telah dikompilasi dan disimpan di dalamnya [28].

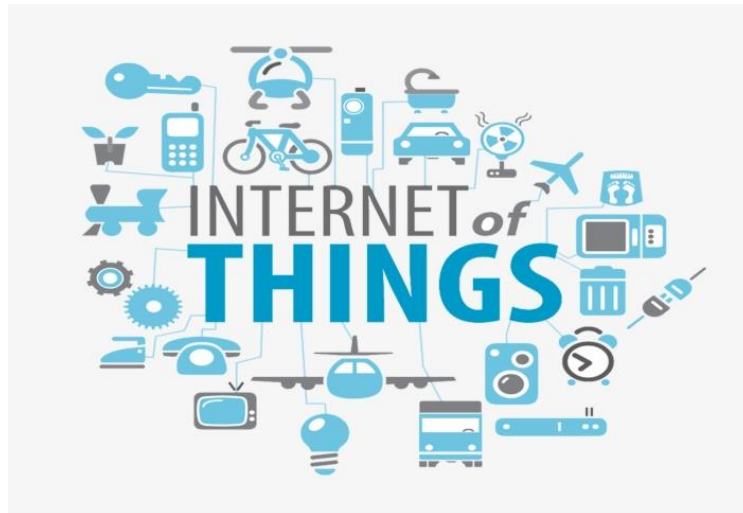


**Gambar 2.10** Tampilan Awal *Software* Arduino IDE

### 2.2.9 *INTERNET OF THINGS (IOT)*

*Internet of Things* (IoT) adalah suatu kumpulan alat-alat yang saling terhubung dan mampu menangkap serta menyampaikan informasi dunia nyata. Dalam IoT, berbagai jenis benda atau alat dapat berkomunikasi dan bertukar informasi sesuai dengan kebutuhan masing-masing. IoT memungkinkan integrasi berbagai perangkat keras dan perangkat lunak ke dalam satu sistem yang terkontrol. Salah satu daya tarik utama dari IoT adalah kemampuannya untuk memungkinkan integrasi yang semakin kuat antara berbagai perangkat keras dan perangkat lunak. Dalam ekosistem IoT, beragam perangkat dari berbagai produsen dan kategori dapat dipadukan dalam satu sistem yang terkontrol dengan baik. Ini memberikan peluang luar biasa untuk menghasilkan solusi yang lebih cerdas, efisien, dan terhubung. Kevin Ashton pertama kali menggunakan istilah "*Internet of things*" pada tahun 1999, namun konsep ini secara resmi dikenalkan kepada publik oleh International Telecommunication Union (ITU) pada tahun 2005. Sinergi dan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dalam IoT memberikan

peluang untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, dan ekonomi dalam berbagai aspek kehidupan yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 [29].



**Gambar 2. 11 *Internet of Things***

**2.2.10 PERHITUNGAN *ERROR***

Pengujian data dilakukan dengan menggunakan dua jenis sensor, yaitu Sensor INA219, dan Sensor *Infrared* dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang akurat dari pengujian sensor tersebut. Selanjutnya, untuk memperoleh hasil *error* dari sensor-sensor tersebut, dilakukan perhitungan seperti yang dijelaskan di bawah ini [30]:

$$E = \left| \frac{\text{Data Sebenarnya} - \text{Data Terukur}}{\text{Data Sebenarnya}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

**2.2.11 PERHITUNGAN *DELAY***

*Delay* adalah waktu yang diperlukan oleh suatu data untuk mencapai tujuan atau tempat tujuan dalam suatu jaringan atau sistem komunikasi. Istilah "*delay*" juga dapat mengacu pada rumus atau formula untuk menghitung waktu jeda antara penerimaan dan pengiriman data [31] Tabel 2.5 merupakan kategori *relay*.

$$\text{Delay} = \text{Waktu Penerimaan Paket} - \text{Waktu Pengiriman Paket} \dots\dots\dots(2.6)$$

Di dalam *delay* juga terdapat rumus rata-rata *delay* :

$$\text{Rata - rata Delay} = \frac{\text{Total Delay}}{\text{Total Data Paket yang diterima}} \dots\dots\dots(2.7)$$

**Tabel 2. 5 Kategori Delay**

Kategori	<i>Packet Loss (%)</i>
Sangat Bagus	0
Bagus	5
Sedang	15
Jelek	25