

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA.

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM)

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) adalah pembangkit listrik tenaga air berkapasitas menengah dengan daya antara 1 MW hingga 10 MW. PLTM bekerja dengan memanfaatkan energi potensial air yang dialirkan dari ketinggian tertentu untuk menggerakkan turbin, yang selanjutnya mengaktifkan generator untuk menghasilkan Listrik (Maharani, Pramana and Irsyad, 2024).

Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM) memiliki sejumlah keunggulan, terutama dalam aspek biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Keunggulan ini disebabkan oleh pemanfaatan sumber daya alam terbarukan, yaitu air (Asngari, 2024). Dengan ukurannya yang relatif kecil, PLTM tidak hanya lebih ramah lingkungan, tetapi juga lebih mudah diimplementasikan. Selain itu, cakupan penggunaannya cukup luas, dan mesin penggeraknya tidak memerlukan persyaratan stabilitas tegangan yang ketat. Berbeda dengan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), PLTM umumnya hanya memanfaatkan sebagian aliran dari sungai atau bendungan yang telah ada. Untuk mengurangi dampak negatif dari pembangunan PLTM, terdapat beberapa kriteria yang harus dipenuhi, seperti memastikan aliran sungai tetap mencukupi, menjaga kualitas air, menyediakan jalur migrasi ikan, melindungi Daerah Aliran Sungai (DAS), melestarikan spesies yang terancam punah,

menyediakan area rekreasi, serta mempertahankan nilai budaya setempat (Makbul et al., 2023).

PLTM biasanya dibangun dengan tipe run-of-river, di mana perbedaan ketinggian atau head diperoleh tanpa perlu membangun bendungan besar. Sebagaimana gantinya, aliran sungai dialihkan ke sisi sungai sebelum akhirnya dijatuhkan kembali ke aliran utama di bagian bawah, sehingga head yang dibutuhkan dapat tercapai. Air kemudian dialirkan melalui pipa pesat menuju rumah pembangkit yang terletak di tepi sungai untuk menggerakkan turbin. Setelah melewati turbin, air dikembalikan ke sungai melalui saluran pembuangan atau tailrace. Energi mekanik yang dihasilkan dari putaran poros turbin ini selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik melalui generator.

2.1.2 Prinsip Operasional Pembangkit Listrik Tenaga MiniHidro (PLTM)

Minihidro adalah sistem pembangkit listrik tenaga air yang memiliki kapasitas di atas 100 kW. Prinsip kerjanya didasarkan pada pemanfaatan energi air untuk menggerakkan turbin, yang kemudian mengonversi energi kinetik air menjadi energi listrik. Secara umum, minihidro memanfaatkan aliran air sebagai sumber energi utama untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik.

2.1.3 Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

PLTM merupakan sumber energi terbarukan yang memanfaatkan aliran sungai atau danau untuk menghasilkan listrik. Kinerjanya dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti debit air, ketinggian jatuh air, desain turbin, serta efisiensi sistem. Berikut adalah beberapa aspek kinerja PLTM yang diteliti:

1. Pengaruh Debit Air dan Head

Debit air dan head adalah dua faktor utama yang memengaruhi kinerja turbin air. Debit air mencerminkan jumlah volume air yang mengalir melalui

turbin dalam satuan waktu. Semakin besar debit air, semakin tinggi daya yang dihasilkan oleh turbin, asalkan head tetap konstan. Namun, jika debit terlalu besar, efisiensi turbin dapat menurun akibat turbulensi atau kavitas. Di sisi lain, head menggambarkan ketinggian atau jarak vertikal antara sumber air dan turbin. Head yang lebih tinggi berarti energi potensial air yang tersedia lebih besar, sehingga dapat meningkatkan daya yang dihasilkan. Namun, jika head terlalu rendah, energi yang dihasilkan juga akan berkurang. Interaksi antara debit air dan head sangat penting untuk mencapai kinerja optimal. Jika salah satu parameter berubah, seperti peningkatan debit saat head rendah, hasilnya tidak selalu linear, dan efisiensi turbin mungkin akan terpengaruh. Oleh karena itu, kombinasi keduanya harus diperhitungkan dengan baik untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh turbin Francis.

2. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin adalah ukuran seberapa efektif turbin mengubah energi air menjadi energi mekanik yang dapat digunakan. Semakin tinggi efisiensi turbin, semakin banyak energi yang diubah dari aliran air menjadi daya yang dapat dimanfaatkan. Beberapa faktor yang memengaruhi efisiensi turbin antara lain desain turbin, kondisi operasional, dan kerugian energi.

3. Potensi Energi Hidro di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi hidro yang sangat besar, dengan total potensi mencapai sekitar 75.000 MW, menjadikannya salah satu negara dengan sumber daya hidroelektrik terbesar di dunia. Potensi ini tersebar di berbagai wilayah, terutama di daerah pegunungan dan sepanjang sungai-

sungai besar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Meskipun potensi energi hidro ini sangat besar, Indonesia baru memanfaatkan sekitar 10% dari total potensi tersebut. Maka pengembangan lebih lanjut dan peningkatan infrastruktur dapat menjadikan PLTM solusi penting untuk memenuhi kebutuhan energi nasional.

2.1.4 Komponen PLTM

Perencanaan PLTM memerlukan konstruksi yang mendukung operasionalnya. Jika salah satu komponen yang dibutuhkan tidak diterapkan, maka kinerja PLTM dapat menurun, karena setiap bagian dalam sistem ini saling terhubung. Skema kinerja PLTM dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro

Sumber: (Energy, E, 2013)

Secara umum, Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM) terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut:

1. Bak Pengendap (Desilting Tank), Bak pengendap adalah bangunan yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur yang terbawa oleh aliran air.

2. Bangunan Sadap (Intake), Intake adalah bangunan di sisi kiri atau kanan bending yang berfungsi untuk menyadap air sungai dengan kebutuhan dan dialirkan ke saluran pembawa sesuai dengan debit air telah direncanakan.
3. Saluran Pembawa (Headrace), Saluran pembawa adalah saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air dari intake ke bak penenang atau pengendap sesuai dengan debit yang direncanakan.
4. Bendung (Weir), berfungsi untuk menaikkan muka air sungai dan menambah head sehingga air dapat dialirkan menuju intake.
5. Pipa Pesat (Penstock), Pipa pesat adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang.
6. Bak Penenang(Forebay), Bak penenang berfungsi untuk mengurangi kecepatan air yang masuk dari saluran, sehingga turbelensi air pada saat masuk ke dalam pipa pesat berkurang untuk dapat membangkitkan daya yang optimal.
7. Rumah Pembangkit (Power house), Rumah pembangkit berfungsi untuk melindungi alat-alat pembangkit serta merupakan pusat control dari sistem pembangkit.
8. Saluran Pembuangan (Tailrace), Saluran pembawa adalah saluran yang berfungsi membawa air keluar dari rumah turbin setelah memutar turbin.

2.2 Karakteristik Turbin Air Francis

Turbin Francis merupakan salah satu jenis turbin reaksi yang sering digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air. Beberapa karakteristik utama turbin Francis antara lain:

1. Bentuk dan Konstruksi

Turbin Francis dirancang dengan kombinasi aliran radial dan aksial. Air bertekanan tinggi masuk ke turbin melalui suatu pengarah (guide vanes), yang mengarahkan aliran ke runner (roda turbin) berbentuk cangkir. Energi air diubah menjadi energi mekanik saat air melewati suatu-satu turbin, sehingga membuat runner berputar.

2. Kisaran Head

Turbin ini sangat cocok digunakan pada rentang head sedang, yaitu antara 10 hingga 200 meter, namun juga mampu beroperasi pada head yang lebih tinggi hingga mencapai 600 meter. Hal ini menjadikannya solusi yang fleksibel untuk berbagai kebutuhan pembangkit listrik.

3. Efisiensi

Turbin Francis dikenal sebagai salah satu turbin dengan efisiensi yang sangat tinggi, umumnya berkisar antara 85% hingga 90%. Dalam kondisi tertentu, dengan desain yang sangat baik, efisiensi ini dapat meningkat hingga mencapai 95%, sehingga turbin ini menjadi pilihan unggul dalam pembangkit listrik tenaga air.

4. Pengoperasian yang Lancar

Turbin ini memiliki kinerja yang stabil dengan tingkat getaran dan kebisingan yang minim, sehingga sangat cocok digunakan di lokasi yang memiliki persyaratan lingkungan yang ketat.

5. Perawatan

Desain turbin Francis yang sederhana, dengan jumlah bagian bergerak yang lebih sedikit, menjadikannya lebih mudah dalam perawatan jika dibandingkan dengan turbin jenis lainnya, seperti Kaplan dan Pelton.

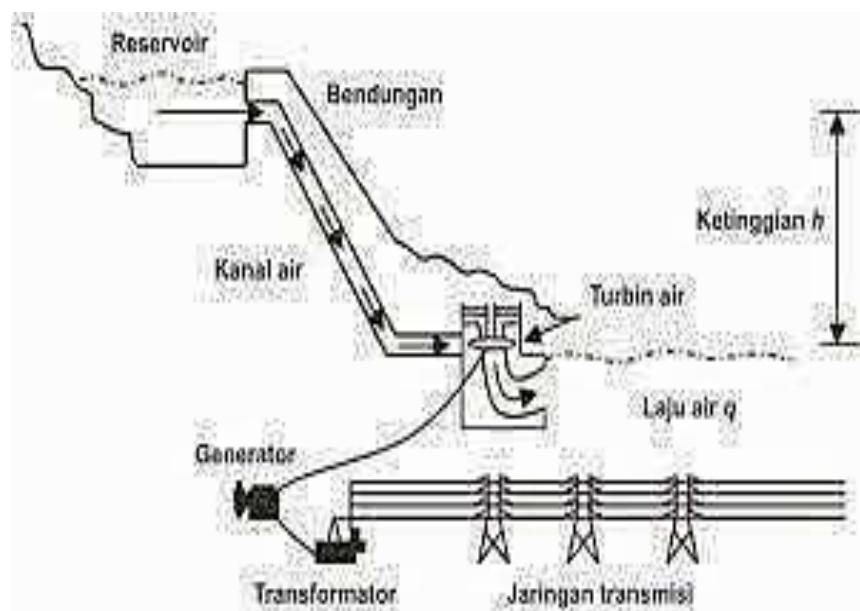
Turbin Francis adalah pilihan unggul untuk pembangkit listrik tenaga air karena efisiensinya yang tinggi, desain yang fleksibel, dan perawatan yang relatif mudah. Kemampuannya untuk beroperasi dalam berbagai kondisi head dan debit menjadikannya salah satu jenis turbin yang paling banyak digunakan di seluruh dunia.

2.3 TurbinAir

Turbin Francis adalah pilihan unggul untuk pembangkit listrik tenaga air karena efisiensinya yang tinggi, desain yang fleksibel, dan perawatan yang relatif mudah. Kemampuannya untuk beroperasi dalam berbagai kondisi head dan debit menjadikannya salah satu jenis turbin yang paling banyak digunakan di seluruh dunia.

Turbin air adalah alat yang menggunakan air sebagai fluida untuk menghasilkan energi. Ketika air mengalir dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah, ia membawa energi potensial. Saat aliran air berlangsung dalam pipa, energi potensial ini secara perlahan berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin, energi kinetik ini akan diubah menjadi energi mekanis, yang kemudian memutar roda turbin. Secara umum, turbin berfungsi sebagai mesin penggerak mula yang memanfaatkan energi dari fluida kerja, yang bisa berupa air, uap, atau gas, untuk memutar roda turbin. Berdasarkan penjelasan tersebut, turbin air dapat

disimpulkan sebagai mesin penggerak mula yang memanfaatkan energi potensial air, mengubahnya menjadi energi kinetik dalam aliran pipa, dan selanjutnya mengubah energi kinetik tersebut menjadi energi mekanis untuk memutar roda turbin.



Gambar 2. 2 Instasi Turbin Air

Sumber: (Energy, E, 2013)

2.4 Klasifikasi Turbin Air Dan Prinsip Kerjanya

2.4.1 Turbin Implus

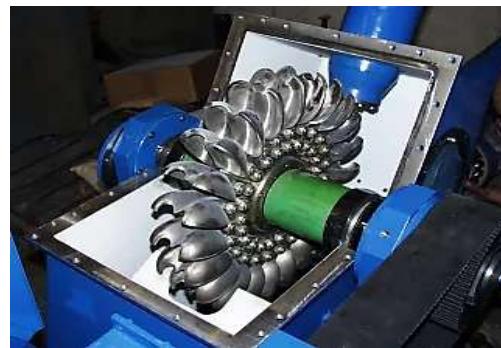
Turbin Impuls adalah jenis turbin air yang mengubah energi potensial air, yang mencakup energi potensial, energi tekanan, dan energi kecepatan, menjadi

energi mekanik yang memutar turbin. Dalam proses ini, energi potensial air pertama-tama diubah menjadi energi kinetik ketika melewati nozzle. Air yang keluar dari nozzle dengan kecepatan tinggi kemudian membentur sudu turbin, sementara tekanan air tetap konstan saat melewati runner dan keluar. Setelah membentur sudu, arah aliran air berubah, menyebabkan terjadinya perubahan momentum (impuls), yang pada akhirnya memutar roda turbin.

Ada beberapa macam Turbin Impuls:

1. Turbin pelton

Turbin ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu runner dan nozzle. Runner mencakup poros satu tangki, piringan, dan beberapa mangkuk, yang digunakan terutama dalam turbin Pelton untuk memanfaatkan potensi hidro dengan head tinggi dan aliran yang kecil.



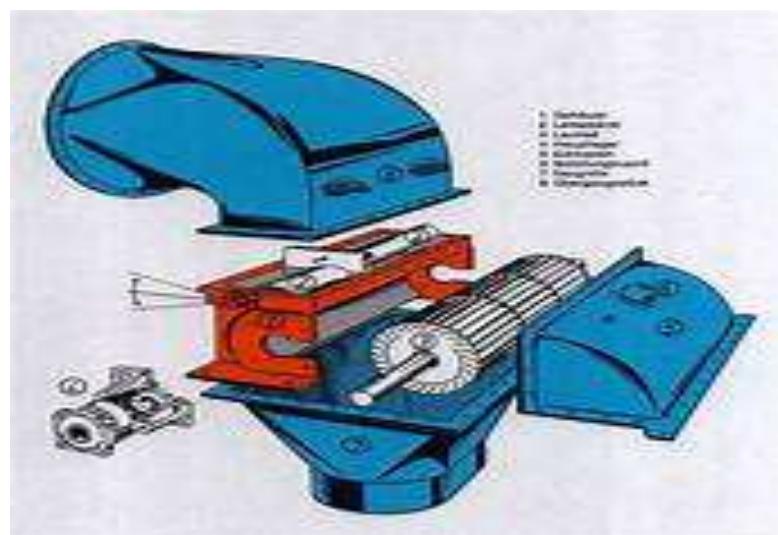
Gambar 2. 3 Turbin Pelton

Sumber: (ilmuteknik.id,2024)

2. Turbin Michell-Bangki

Turbin ini dikenal dengan sebutan turbin arus lintang (cross flow), karena aliran fluida, yaitu air, menggerakkan sudu runner melalui pengarah sehingga menciptakan kesan bahwa fluida datang dari arah yang berbeda. Turbin

Michell-Bangki terdiri dari runner dan nozzle, di mana air yang keluar dari nozzle menggerakkan runner dan mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Turbin ini dirancang untuk digunakan pada head rendah hingga menengah dengan kapasitas hingga $5 \text{ m}^3/\text{s}$, memiliki desain yang sederhana, kecepatan putaran tinggi, dan efisiensi yang tetap stabil meskipun beban turun hingga 40% dari kapasitas maksimal.



Gambar 2. 4 Turbin cross flow

Sumber: (ilmuteknik.id,2024)

2.4.2 Pengertian Tentang Turbin Francis

Turbin Francis adalah turbin jenis tekanan lebih, di mana sudu-sudunya terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan, keduanya terendam dalam air. Proses perubahan energi terjadi sepenuhnya pada sudu pengarah dan sudu gerak, dengan mengalirkan air melalui terusan atau cincin berbentuk spiral (rumah keong). Turbin Francis termasuk dalam kategori turbin reaksi, yang bekerja berdasarkan tekanan

yang ada pada roda turbin, yang menyebabkan turbin berputar saat aliran air mengalir melalui rumah keong, kemudian diarahkan oleh sudu pengarah menuju sudu jalan pada roda turbin.

Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa turbin Francis adalah turbin reaksi yang beroperasi dengan memanfaatkan tekanan pada roda turbin untuk menghasilkan putaran. Aliran air diarahkan melalui rumah keong ke sudu pengarah, lalu menuju sudu jalan, di mana perubahan energi sepenuhnya terjadi di dalam sudu-sudu yang terendam air.



Gambar 2. 5 Turbin Air Tipe Francis

Sumber: (Dokumentasi pribadi, 2024)

2.4.3 Bagian-Bagian Turbin Francis

Turbin Francis adalah jenis turbin reaksi yang dipasang di antara sumber air bertekanan tinggi pada bagian masuk dan air bertekanan rendah pada bagian keluar. Turbin ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu runner, guide vane (sudu pengarah), dan casing (rumah turbin).

1. Runner

Merupakan salah satu bagian dari turbin Francis yang dapat berputar, terdiri dari poros dan bilah turbin yang berfungsi mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik.

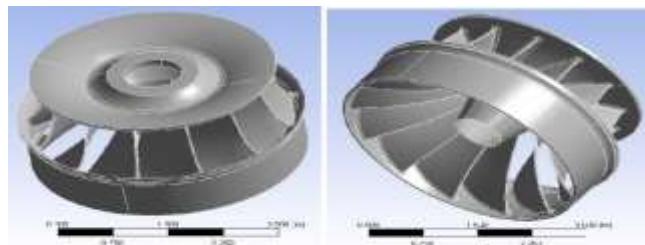


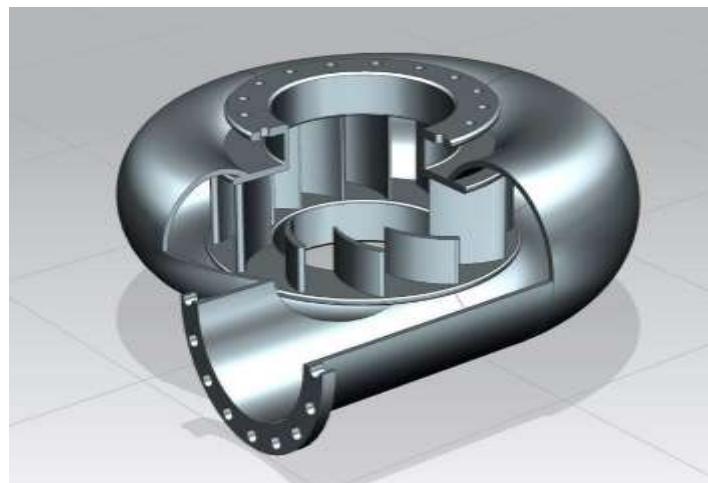
Figure 1: Model of the runner.

Gambar 2. 6 Runner

Sumber: (Sunyoto dkk, 2008)

2. Casing

Merupakan saluran berbentuk seperti rumah siput dengan penampang melintang berbentuk lingkaran. Saluran ini berfungsi untuk menampung fluida yang keluar dari guide vane dan mengoptimalkan energi tekanan.



Gambar 2. 7 Casing

Sumber: (Sunyoto dkk, 2008)

3. Guide Vane

Berfungsi untuk mengarahkan aliran air dari katup pengatur kapasitas di casing menuju runner, serta meningkatkan kecepatan aliran air sebelum mencapai runner.

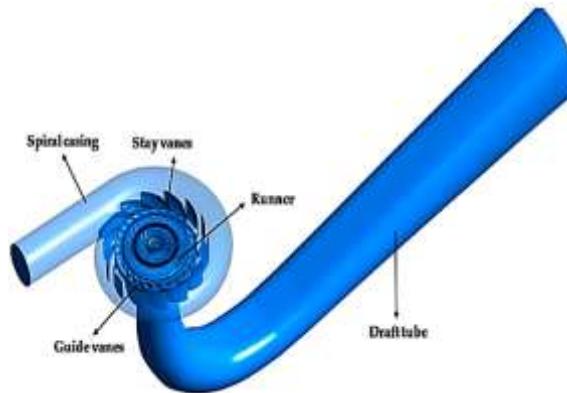


Gambar 2. 8 Guide Vane

Sumber: (Sunyoto dkk, 2008)

4. Draft Tube

Merupakan komponen yang bertugas untuk mengarahkan air dari turbin ke saluran pembuangan, memanfaatkan energi yang berasal dari tinggi jatuh air.



Gambar 2. 9 Draft Tube

Sumber: (Sunyoto dkk, 2008)

2.4.4 Prinsip Kerja Turbin Francis

Turbin Francis beroperasi dengan memanfaatkan tekanan tinggi. Air yang masuk ke roda turbin memiliki energi potensial yang dihasilkan dari perbedaan

ketinggian (head drop). Energi ini sebagian diubah menjadi energi kinetik oleh sudu pengarah, yang mempercepat aliran air untuk memutar sudu jalan. Putaran tersebut mengonversi energi kinetik menjadi energi mekanik yang menghasilkan daya. Energi yang tersisa dari head drop dimanfaatkan melalui pipa isap untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi. Di bagian keluaran roda turbin, air memiliki tekanan rendah dan kecepatan tinggi, sementara di pipa isap, kecepatan air berkurang dan tekanannya meningkat, memungkinkan air keluar dengan tekanan normal. Pipa isap berperan dalam mengubah energi kecepatan menjadi energi tekanan.

2.5 Regresi Linnear

Regresi Linear mencakup konsep, formula dan aplikasi dalam analisis data untuk memahami hubungan antara variabel dependen dan variabel independen. *Regresi Linear* adalah metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel dependen (Y) dan satu atau lebih variabel independen (X). Jika hanya ada satu variabel independen, disebut *Regresi Linear* sederhana, sedangkan jika lebih dari satu variabel disebut *Regresi Linear* berganda. Berikut adalah rumus *Regresi* :

Regresi Linear sederhana (user, n.d.) : Rumus ini digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu variabel bebas dan variabel terikat yang jumlahnya satu juga.

$$Y = a + Bx$$

Keterangan :

Y = Variabel dependen

X = Variabel independen

a = Intersep (konstanta)

b = Koefisien regresi yang menunjukkan perubahan rata-rata pada (Y) untuk setiap sat unit perubahan (X)

Regresi Linear berganda (Wulandari & Syafmen, n.d.) : Membantu memahami pengaruh beberapa variabel dependen.

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \cdots + B_kX_k + e_i$$

Keterangan :

Y = Variabel dependen

X_1, X_2, \dots, X_k = Variabel independen

$B_1 \cdots B_k$ = Koefisiensi *regresi*

e = Residual (sisa)

Hubungan antara algoritma parameter dan regresi linear terletak pada cara regresi linear menggunakan parameter untuk membangun model prediktif, di mana algoritma parameter berperan dalam menentukan nilai parameter optimal. Dalam regresi linear, parameter berupa koefisien regresi diperoleh melalui algoritma tertentu, seperti metode least squares atau gradient descent, yang bertujuan meminimalkan selisih antara nilai prediksi dan nilai aktual. Dengan demikian, algoritma parameter digunakan untuk mengestimasi parameter dalam regresi linear sehingga model dapat memberikan prediksi yang akurat.

2.6 Tinjauan Pustaka

Tabel 2. 1 Kajian Pustaka

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
----	----------	------------------	------------------

1	Syahid,	Sosialisasi Energi Terbarukan dan Pelatihan Perakitan Listrik Tenaga Surya pada Siswa Sekolah Alam Le Cendekia Gowa	Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat digunakan tanpa batas waktu dan tidak akan pernah habis karena dapat dipulihkan dalam waktu relatif singkat antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut.
2	Irhpan Rahmawan	Analisa Kinerja Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Air	Salah satu pusat pembangkit tenaga yang menghasilkan energi listrik adalah PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) salah satunya Bendungan Jati Luhur yang berada di

			Purwakarta Jawa Barat Indonesia. Oleh karena itu peneliti menganalisa kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan metode Interview sekaligus wawancara dengan teknik pengumpulan data dan salah satu lainnya dengan metode Observasi (Pengamatan)
3	Agustanto, Ryan Amadea	Analisis Unjuk Kerja Turbin Francis Dengan Variasi Kapasitas Di Pt Pjb Unit Pembangkitan Brantas Unit Plta Sutami	Turbin Francis merupakan jenis turbin air yang bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Saat ini turbin Francis adalah yang paling banyak dipakai, karena tinggi air jatuh dan kapasitasnya yang paling sering terdapat/sesuai dengan kebutuhannya. Turbin Francis yang dijadikan

			Tugas Akhir ini terdapat di PLTA Sutami, PJB UP Brantas Karangkates, Malang yang bekerja dengan tinggi air jatuh antara 100 m-300 m dan dengan kecepatan spesifik antara 100 rpm-200 rpm. Di dalam kinerjanya turbin air memiliki unjuk kerja yang bisa saja naik dan bisa turun
4	Dimas Dwi Kusuma	Karakteristik Unjuk Kerja Turbin Francis Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Terhadap Perubahan Kapasitas Aliran	Turbin francis adalah mesin penggerak, dimana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar roda jalan, selanjutnya poros turbin air dihubungkan dengan poros pada generator sehingga dapat menghasilkan suatu arus listrik. Penelitian ini

			<p>bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja turbin air pada saat debit air sebesar 700 L/s, 600 L/s, dan 500 L/s. Debit air tertinggi sebesar 700 L/s diperoleh dari bukaan katup pembuka sebesar 100 % (bukaan penuh), sedangkan debit air terendah sebesar 500 L/s diperoleh dari bukaan pembuka sebesar 58 %.</p>
5	Fachrudin, A.R	Penerapan Sistem Perawatan Metode Ismo Pada Turbin Tipe Vertical Francis Kapasitas 35 Mw	<p>Metode perawatan ini diterapkan pada turbin tipe <i>vertikal Francis</i> kapasitas 35 MW. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi perawatan yang berupa jadwal perawatan dan estimasi biaya perawatan dari turbin tipe vertical</p>

			francis kapasitas 35 MW. Dari penelitian ini dihasilkan jadwal perawatan secara komprehensif dan besaran biaya yang dibutuhkan mulai dari kegiatan inspeksi, <i>small repair</i> , <i>medium repair</i> dan <i>overhoule</i> beserta besaran biaya .
6	<u>Ade Setiawan</u>	Regressi Linier Sederhana: Panduan Lengkap Untuk Pemula dalam Statistika	Regressi linier adalah teknik analisis statistik yang digunakan untuk memprediksi hubungan antara dua atau lebih variabel. Variabel ini dapat dibagi menjadi dua jenis: variabel terikat (dependen; Y) dan variabel bebas (independen; X). Regressi linier sederhana merujuk pada model di mana hanya

			ada satu variabel bebas, sementara regresi linier berganda melibatkan lebih dari satu variabel bebas.
--	--	--	---