

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki banyak sumber daya alam, salah satunya adalah air, yang dapat dibuat berupa air terjun, dan peluang tersebut makin baik, karena negara Indonesia memiliki musim hujan 6 bulan dalam sekali setahun. Dengan adanya kekayaan alam tersebut maka sampai sekarang sudah banyak untuk memanfaatkan air sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pada manusia yang sangat penting dan vital di masa yang sangat modern ini. Ketiadaan energi listrik akan sangat mengganggu keberlangsungan aktivitas manusia, yang mana manusia sekarang sudah sangat membutuhkan energi listrik, mulai dari pekerjaan rumahan hingga pekerjaan industrial. Energi listrik juga merupakan salah satu sumber yang sangat membantu pekerjaan manusia. Oleh karena itu, kesinambungan dan ketersediaan energi listrik ini perlu dipertahankan setiap waktu.

Dalam rangka pemanfaatan sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT), maka salah satu sumber EBT dan memiliki potensi sumber daya alam yang besar di Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga air. Pembangunan PLTA selain untuk memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia (*renewable energy*), khususnya tenaga air, juga sebagai pengganti bahan bakar minyak pada pembangkit – pembangkit listrik milik PT PLN (Persero). Pembangkit Listrik Tenaga Air merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk memenuhi seluruh kebutuhan pasokan listrik bagi masyarakat Indonesia. Upaya ini cukup cerdas untuk menyiasati keberadaan bahan bakar batu bara sebagai salah satu bahan utama dalam membangkitkan tenaga listrik. Dengan penggantian energi primer tenaga pembangkit tersebut diharapkan dapat dilakukan penghematan BBM, berkurangnya subsidi pemerintah terhadap PT PLN (Persero) dan mendukung program pelestarian lingkungan.

PLTA adalah suatu pembangkit energi listrik dengan mengubah energi potensial (air) dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan aliran air dari pipa pesat menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu energi listrik alternatif bagi kehidupan. Keuntungan dari pembangkit listrik tenaga air dimana saat sumber energi lainnya mulai menipis dan memberikan dampak negatif untuk Masyarakat, maka air merupakan sumber energi sangat penting karena dari air tersebut dapat dijadikan sumber energi pembangkit listrik yang murah dan tidak menimbulkan polusi. Daerah di Indonesia banyak dikelilingi oleh aliran sungai yang mana dapat memadai untuk dijadikan sumber energi pembangkit listrik dengan skala yang diinginkan. Dengan memanfaatkan potensi yang ada maka diharapkan dapat memenuhi kebutuhan sumber energi sendiri agar dapat mengantisipasi kenaikan biaya dan kesulitan energi dan kesulitan listrik nasional.

PLTA memiliki berbagai kelebihan, termasuk sifatnya yang terbarukan dan bebas emisi, andal, fleksibel, serta potensinya sebagai tempat rekreasi. Namun, juga terdapat kekurangan, seperti potensi dampak lingkungan dari pembangunan bendungan dan kebutuhan biaya awal yang besar untuk konstruksi. Selain itu, PLTA diakui sebagai sumber energi bersih yang efisien dengan ongkos listrik yang relatif rendah,

menjadikannya kompetitif di antara sumber energi terbarukan lainnya. Teknologi ini tidak menghabiskan air dan memiliki emisi gas rumah kaca yang relatif lebih rendah dibanding pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

Disamping keunggulan yang dimiliki PLTA, juga terdapat beberapa permasalahan dan kekurangannya. Salah satu permasalahan yang terdapat pada pengoperasiannya adalah bagaimana berupaya untuk memaksimalkan sumber daya air yang tersedia sehingga mengoptimalkan pembangkitan daya yang dihasilkan. Pengoptimasi produksi listrik perlu dilakukan untuk mencukupi kebutuhan akan energi listrik yang terus meningkat setiap tahunnya.

Energi terbarukan tersedia di seluruh dunia sebagai pilihan energi alternatif masa depan. Energi terbarukan dipilih karena dapat digunakan selamanya dan sekali digunakan tidak akan pernah habis. Pembangkit listrik tenaga air adalah contoh pembangkit listrik yang menggunakan energi air untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga air dari penggunaan sumber energi terbarukan telah memberikan manfaat bagi masyarakat dan memungkinkan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Di Indonesia, sumber energi berbasis air memiliki potensi pengembangan yang besar.

Besarnya energi yang dapat dibangkitkan oleh PLTA ditentukan oleh *head* yaitu beda ketinggian antara bagian atas aliran air sebelum masuk pipa pesat dengan ketinggian air saat keluar pipa pesat dan ditentukan pula oleh debit aliran air yang mengalir melalui pipa pesat yang menggerakkan turbin. Debit aliran air dapat diatur sesuai dengan kebutuhan energi listrik yang diperlukan, namun kendalanya volume air yang dapat ditampung oleh waduk terkadang tidak mencukupi untuk mengasilkan energi listrik yang dibutuhkan. Hal ini dapat disebabkan karena debit air yang masuk ke waduk berkurang, umumnya terjadi pada musim kemarau atau dapat pula disebabkan oleh pendangkalan yang terjadi pada waduk akibat sedimentasi sehingga tidak dapat menampung aliran air secara maksimal pada musim penghujan. (Mawar Said, 2013). Faktor utama yang mempengaruhi produktifitas PLTA adalah debit dan *head* pada aliran tersebut. Dengan head tersebut berpotensi untuk dibangun PLTA.

Di Indonesia, masalah energi menjadi lebih penting karena perlu mendapatkan penanganan yang khusus. Sekitar 80% kebutuhan energi di Indonesia dipenuhi oleh minyak bumi, harga minyak dan konsumsi minyak bumi yang cenderung meningkat dengan pesat setiap tahun, serta banyak sumber energi alternatif di Indonesia yang perlu dikembangkan (Lubis, 2007). Pokok-pokok mengenai energi telah dicantumkan dalam Kebijakan Energi Nasional yang bertujuan menghemat bahan bakar minyak bumi dan pengembangan sumber-sumber energi alternatif lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut, Presiden menekankan perlunya penghematan bahan bakar minyak dalam negeri, terutama untuk kebutuhan yang tidak dapat digantikan dengan bentuk energi yang lain, seperti transportasi, *feedstock* industri, dan lain sebagainya. Selain itu, energi lainnya (energi alternatif) juga perlu dimanfaatkan secara optimal, yakni energi yang berasal dari tenaga air, panas bumi, matahari, dan lain sebagainya (Yuningsih & Aji, 2019).

Indonesia memiliki permintaan listrik yang terus meningkat setiap tahunnya. Penyebab utamanya adalah peningkatan perekonomian dan jumlah penduduk masyarakat, serta kemajuan teknologi yang telah meningkatkan standar kenyamanan hidup masyarakat. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk di

Indonesia, kebutuhan listrik terus meningkat. Berdasarkan asumsi dan target yang digunakan dalam RUKN 2023-2060, dilakukan pemodelan sehingga menghasilkan proyeksi kebutuhan tenaga listrik tahun 2023 sebesar 379 TWh meningkat menjadi 1.849 TWh pada tahun 2060 (rata-rata pertumbuhan sekitar 4,8% per tahun) (Ditjen Ketenagalistrikan Kemen ESDM, 2023).

Banyaknya persediaan air yang dimiliki oleh Negara Indonesia menjadi salah satu alasan yang paling mendasar mengapa sistem pembangkitan listrik melalui tenaga air ini didirikan. Oleh karena itu, tidak mengherankan jika Indonesia pada akhirnya memiliki beberapa waduk serta bendungan. Hal itu karena waduk serta bendungan adalah rangkaian sistem dari Pembangkit Listrik Tenaga Air.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya menjadi dasar bagi penulis untuk melakukan penelitian lebih lanjut yang berjudul "Perancangan Aplikasi *Hydropower Simulation* Berbasis MATLAB dan Implementasinya Untuk Perhitungan Potensi Daya Listrik Pada Bendungan Karalloe Kabupaten Gowa".

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana mendesain aplikasi perhitungan potensi daya listrik dengan menggunakan *Software* MATLAB?
2. Bagaimana mengetahui potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dari Bendungan Karalloe dengan menggunakan aplikasi yang telah dibuat?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendesain aplikasi perhitungan potensi daya listrik dengan menggunakan *software* MATLAB.
2. Mengetahui potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dari Bendungan Karalloe menggunakan aplikasi yang telah dibuat.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut manfaat dari penelitian yang dilakukan :

1. Mengetahui bagaimana membuat dan mendesain aplikasi perhitungan potensi daya listrik dengan menggunakan *software* MATLAB.
2. Mengetahui potensi daya listrik yang dihasilkan pada Bendungan Karalloe.
3. Dapat dijadikan bahan acuan dalam penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) pada bendungan yang akan diteliti.
4. Mengetahui potensi bendungan Karalloe sebagai PLTA.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian mengarah pada tujuan yang diharapkan maka untuk permasalahan diatas maka ditetapkan pembatasan sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya sebatas mendesain dan membuat aplikasi perhitungan potensi daya listrik dengan mengetahui berapa luas penampang, debit air, tinggi terjun air, jenis turbin, generator, *stabilizer*/trafo.
2. Penelitian ini hanya menggunakan data yang diambil dari Bendungan Karalloe.

1.6 Teori

1.6.1 Potensi Energi Air

Potensi energi alternatif di Indonesia sangatlah besar. Sebagai contoh, energi angin dapat dimanfaatkan karena Indonesia terletak di daerah tropis yang memiliki angin dengan kecepatan hingga 5 m/s (Data Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional). Selain itu, energi air juga merupakan sumber daya yang potensial. Indonesia dikenal sebagai negara maritim karena sebagian besar wilayahnya terdiri dari air, yang seharusnya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik.

Menurut Danny Harri Siahaan (2009:5-8), air merupakan sumber energi yang murah dan mudah didapat, karena menyimpan energi potensial (ketika air jatuh) dan energi kinetik (ketika air mengalir). Energi yang terdapat dalam air dapat dimanfaatkan dalam bentuk energi mekanis maupun energi listrik. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air tergantung pada besarnya ketinggian dan debit air. Dalam konteks reservoir air, ketinggian (*head*) merupakan perbedaan tinggi antara permukaan air di reservoir dengan permukaan air yang keluar dari turbin air. Total energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah energi potensial air.

1.6.2 Debit

Perencanaan pembuatan pembangkit listrik terdiri atas beberapa hal utama, salah satunya yaitu debit. Debit aliran air merupakan banyaknya air yang mengalir dalam satuan volume per waktu dengan satuan yang digunakan yaitu meter kubik per detik (m^3/s). Debit aliran dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan luas penampang daerah aliran air. Pengukuran tinggi muka air dan lebar sungai dapat dilakukan untuk mengetahui luas penampang aliran. Sedangkan, pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan menggunakan alat ukur kecepatan arus. Pada daerah sungai besar, dalam proses pengukuran kecepatan aliran air dapat menggunakan current meter dengan mengukur besaran kecepatan arus berdasarkan jumlah putaran kipas pada alat, sedangkan untuk pengukuran luas penampang dapat dilakukan dengan membagi luas pada setiap segmen dan mengukur kedalaman pada setiap segmennya. Pada daerah aliran sungai kecil pengukuran debit dapat dilakukan menggunakan metode apung dalam mengukur kecepatan dengan memanfaatkan benda apung dan pengukuran menggunakan meteran untuk luas penampang aliran air.

Klasifikasi sungai terbagi menjadi empat yaitu kali kecil dari mata air, kali, sungai sedang dan sungai besar. Pengklasifikasian sungai dilakukan berdasarkan luas penampang aliran sungai dan lebar sungai sehingga dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Aliran Sungai

Nama	Luas DAS	Lebar Sungai
Kali kecil dari mata air	0-2 km^2	0-1 m
Kali kecil	2-50 km^2	1-3 m
Sungai sedang	50-300 km^2	3-10 m
Sungai besar	>300 km^2	>10 m

Sumber: (Hayati, Agoes, & Julianoor P., 2014)

1.6.3 Tinggi Jatuh Air (*HEAD*)

Tinggi jatuh air atau *head* termasuk salah satu parameter utama dalam perencanaan pembuatan pembangkit listrik tenaga pikohidro. *Head* atau tinggi jatuh air merupakan jarak vertikal atau beda tinggi antara permukaan air pada daerah input dengan output air pada turbin. Bendungan sederhana digunakan dalam memodifikasi ketinggian *head* sehingga semakin tinggi air yang jatuh, maka tenaga yang dihasilkan semakin besar. *Head* dapat diukur menggunakan alat-alat ukur seperti altimeter *page* pada GPS, meteran, *waterpass*, *range finder* (alat ukur kemiringan) dan clinometer (penggunaannya dikombinasikan dengan pengukuran langsung kemiringan bidang) (Astro et al., 2020). *Head* dapat diklasifikasikan berdasarkan hasil pengukuran ketinggian menggunakan alat ukur. Pengklasifikasian *head* dapat dilakukan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2. Klasifikasi *head*

Tipe	Ketinggian
<i>Head</i> Rendah	2-30 m
<i>Head</i> Menengah	30-100 m
<i>Head</i> Tinggi	>100 m

Sumber: (Syakuro, 2022)

1.6.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah salah satu pembangkit listrik yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan dari hal ini disebut sebagai hidroelektrik. Empat komponen utama dari PLTA adalah adanya waduk atau bendungan, saluran pelimpah (pembawa air), gedung sentral (powerhouse), dan serandang hubung (switchyard) atau unit transmisi yang mengalirkan produksi listrik ke konsumen (Vinatoru, 2007). Pembangkit listrik adalah suatu rangkaian alat atau mesin yang mengubah energi mekanikal untuk menghasilkan energi listrik, biasanya rangkaian alat itu terdiri dari turbin dan generator listrik. Fungsi dari turbin adalah memutar rotor dari generator listrik, sehingga dari putaran rotor itu mengeluarkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan dinaikkan dulu voltasenya menjadi 150 KV s/d 500 KV melalui Trafo *Step Up*. Penaikan tegangan ini berfungsi untuk mengurangi kerugian akibat hambatan pada kawat penghantar dalam proses transmisi. Dengan tegangan yang ekstra tinggi maka arus yang mengalir pada kawat penghantar menjadi kecil.

Air merupakan sumber daya energi yang mempunyai energi ekonomis. Ketersediaan air di dunia ini terbatas. Jumlah yang membutuhkan semakin meningkat, sehingga perlu berhati-hati dalam pemanfaatannya. Kandungan air di dalam bumi pada dasarnya berlimpah, volume seluruhnya mencapai 1.400.000.000 km³, lebih kurang 97% merupakan air laut (air asin) yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung dalam kehidupan manusia. Dari 3% sisanya, 2% berupa gunung-gunung es di kedua kutub bumi, 0,75% merupakan air tawar yang mendukung kehidupan makhluk hidup di darat, baik berupa mata air, air sungai, danau maupun air tanah dan selebihnya berupa uap air. Makin bertambah jumlah penduduk dimuka bumi ini, makin banyak air yang dibutuhkan, sedangkan ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan di alam ini jumlahnya terbatas. Air

tawar tersebut berasal dari siklus air (Daur Hidrologi) secara alami. Keberadaan air di alam ini mengalami suatu putaran / yang disebut sirkulus air/ daur hidrologi.

Orang memanfaatkan air untuk berbagai keperluan, seperti untuk kebutuhan rumah tangga (minum, masak, mandi dan mencuci), pengairan atau irigasi sawah, peternakan, sarana transportasi, pembangkit tenaga listrik, industri, peternakan, rekreasi dan lain-lain. Sebagian besar air dikembalikan ke lingkungan perairan sebagai air buangan/ air limbah dan sedikit saja yang benar-benar dikonsumsi. Air yang dimanfaatkan tersebut, sebagian dikonsumsi dan selebihnya dikembalikan ke lingkungan.

Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah motor yang dihubungkan dengan turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. Namun, secara luas pembangkit listrik tenaga air tidak hanya terbatas pada air dan sebuah waduk maupun air terjun, melainkan juga meliputi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air dalam bentuk apapun.

Adapun klasifikasi PLTA berdasarkan keluarannya ialah sebagai berikut :

Tabel 3. Klasifikasi PLTA

No.	Jenis PLTA	Kapasitas
1.	PLTA besar	>100 MW
2.	PLTA menengah	15 – 100 MW
3.	PLTA kecil	1 – 15 MW
4.	PLTM (mini hidro)	100 Kw – 1 MW
5.	PLTMH (mikro hidro)	5 kW – 100 kW
6.	Pico hodro	< 5 kW

Sumber : (Prayogo, 2003)

1.6.5 Jenis-Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air dibagi menjadi dua golongan (Dandekar & Sharma, 1991) sebagai berikut :

1.6.5.1 Penggolongan Berdasarkan Tinggi Terjun

Karena di Indonesia banyak terdapat sungai dengan kondisi geografis berbeda-beda antara sungai satu dengan sungai lainnya, dapat dimanfaatkan dengan dibangunnya pusat pembangkit listrik, berdasarkan dari kondisi pusat pembangkit tenaga air dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Jenis Terusan Air (*Water Way*)
Adalah pusat pembangkit yang mempunyai tempat pengambilan air (*intake*) dari hulu sungai dan mengalirkan air ke hilir melalui terusan air dengan kemiringan (*gradient*) agak kecil. Tenaga listrik dibangkitkan dengan memanfaatkan tinggi terjun dari kemiringan sungai.
2. Jenis Bendungan (DAM)
Adalah jenis pusat pembangkit yang melintang sebagai guna menaikkan permukaan air dibagian hulu bendungan dan membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan tinggi terjun yang diperoleh antara sebelah hulu dan sebelah hilir sungai.
3. Jenis Bendungan dan Terusan Air (Campuran)

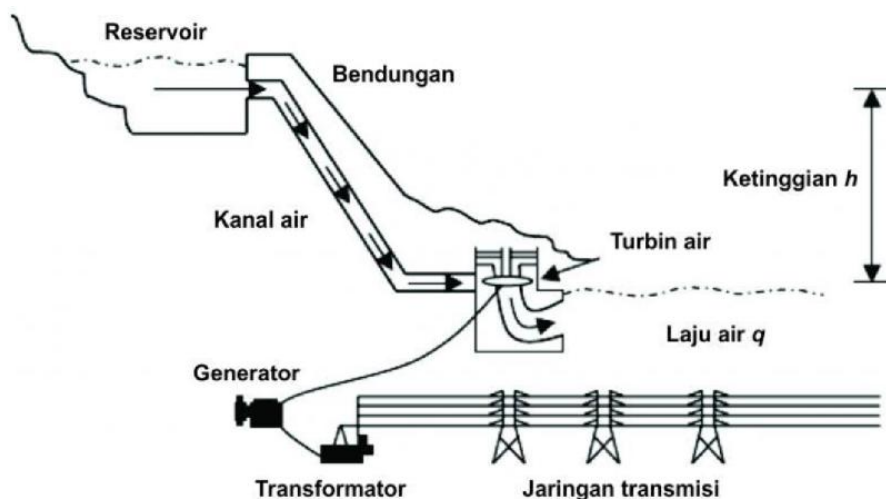
Adalah jenis gabungan dari kedua jenis pembangkit tersebut diatas. Jenis ini membangkitkan listrik dengan menggunakan tinggi terjun yang didapat dari bendungan dan terusan air.

1.6.5.2 Penggolongan Menurut Aliran Air

1. Pembangkit Jenis Aliran Air Langsung (*Run of River*)
Adalah jenis pembangkit yang memanfaatkan aliran sungai itu sendiri secara alamiah dan sering kali dipakai oleh pusat pembangkit jenis saluran air.
2. Pembangkit Jenis Kolam Pengatur (*Regulating Pond*)
Adalah pusat pembangkit yang mengatur aliran sungai setiap hari atau setiap minggu dengan menggunakan kolam pengatur yang dibangun melintang terhadap sungai dan membangkitkan tenaga listrik sesuai perubahan beban. Selain itu jenis lain dengan kolam pengatur yang dibangun dibagian hilir pusat pembangkit beban puncak (*Peaking Load Plant*) dengan waduk berkapasitas besar atau kolam (*Pondage*), yang mengatur aliran air, pada waktu beban puncak (*Peak Water Flow*) sehingga menjadi aliran yang konstan. Pusat pembangkit semacam ini disebut jenis kolam kompensasi.
3. Pusat Pembangkit Jenis Waduk (*Reservoir*)
Adalah pusat pembangkit yang mempunyai sebuah bendungan besar yang dibangun melintang terhadap sungai. Dengan demikian terjadi sebuah danau buatan atau waduk asli dipakai sebagai waduk. Air dihimpun pada waktu musim hujan dan dikeluarkan kembali pada musim kemarau. Jadi pusat pembangkit semacam ini sangat berguna untuk pemakaian sepanjang tahun.
4. Pusat Pembangkit Jenis Tandon Pompa (*Pomp Storage*)
Adalah jenis pusat pembangkit yang memanfaatkan kelebihan air terutama pada musim hujan atau pada saat pemakaian tenaga listrik berkurang yang mana pada saat itu air akan di pompa kembali keatas dan disimpan dalam waduk dan dimanfaatkan kembali pada saat melayani beban puncak pada malam harinya.

1.6.6 Prinsip Kerja PLTA

Tenaga air yang digunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah tenaga kinetik serta energi potensial yang dimiliki oleh air. Meskipun tergolong tenang, air ternyata memiliki tenaga yang cukup besar. Air bahkan bisa digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Energi listrik yang berhasil dibangkitkan oleh tenaga air tersebut dikenal dengan istilah hidroelektrik. Mengubah energi potensial air menjadi energi listrik meskipun nantinya bentuk pembangkit listriknya beragam. Hal yang penting untuk diperhatikan adalah harus membuat bendungan untuk suplai air yang teratur lengkap dengan pintu untuk membuka juga filter untuk menyaring sampah. Bendungan terletak pada dasar sungai yang terhindar dari banjir serta stabil.



Gambar 1. Skematik PLTA

Sumber : (Aini, 2017)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan cara mengubah energi potensial (dari dam atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). PLTA adalah pembangkit listrik yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan dari ini biasa disebut sebagai hidroelektrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. Namun, secara luas, PLTA tidak hanya terbatas pada air dari sebuah waduk atau air terjun, tetapi juga meliputi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air dalam bentuk lain seperti tenaga ombak.

Pembangkit tenaga listrik yang banyak dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapatkan tenaga listrik arus bolak-balik tiga fase, tenaga mekanik yang dipakai memutar generator listrik didapat dari mesin penggerak generator listrik atau biasa disebut penggerak mula (*prime mover*). Mesin penggerak generator listrik yang banyak digunakan adalah mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas. Mesin penggerak generator melakukan konversi tenaga primer menjadi tenaga mekanik penggerak generator. Proses konversi energi primer menjadi energi mekanik menimbulkan produk sampingan berupa limbah dan kebisingan yang perlu dikendalikan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan. Proses pembangkitan tenaga listrik adalah proses konversi energi primer (bahan bakar atau potensi tenaga air) menjadi tenaga mekanik sebagai penggerak generator listrik dan selanjutnya generator listrik menghasilkan tenaga listrik. Dalam PLTA, potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga listrik. Mula-mula potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air. Kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan tenaga listrik.

1.6.7 Daya Listrik PLTA

Dalam PLTA, potensi air dikonversikan menjadi tenaga listrik. Mula-mula potensi tenaga air dikonversi menjadi tenaga mekanik untuk memutar turbin, kemudian turbin akan memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Menurut Riny Sulistyowati dan Dedi Dwi Febriantoro (2012) bahwa, "Satuan daya listrik dalam SI adalah *Watt*, yang didefinisikan sebagai berubahnya energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan

arus. Daya dalam *watt* diserap oleh suatu beban pada setiap saat sama dengan jatuh tegangan pada beban tersebut (*Volt*) dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban (*Ampere*), atau daya listrik terbagi menjadi tiga jenis, yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya nyata”.

1. Perhitungan Luas Penampang (A)

Luas penampang (A) merupakan hasil perkalian antara lebar rata-rata (L) saluran/aliran dengan kedalaman rata-rata (H) saluran/aliran air. (Sintong & Hamzah, 2017).

$$A = L \text{ rata-rata} \times H \text{ rata-rata} \quad (1)$$

Keterangan :

A = Luas Penampang (m²)

L rata-rata = Lebar rata-rata (meter)

H rata-rata = Kedalaman rata-rata (meter)

2. Perhitungan Kecepatan (v)

Panjang saluran/lintasan pengukuran (P) = meter (panjang lintasan harus tetap).

Kecepatan (v) adalah hasil pembagian antara panjang saluran saluran/aliran (P) dibagi dengan waktu rata-rata (T rata-rata)

$$v = P / T \text{ rata-rata} \quad (2)$$

Keterangan :

v = Kecepatan (meter/detik)

P = Panjang saluran (meter)

T rata-rata = Waktu rata-rata (detik)

3. Perhitungan Debit Air (Q)

Debit air (Q) merupakan hasil perkalian antara luas penampang (A) saluran/aliran dengan kecepatan (v) aliran air.

$$Q = A.v \quad (3)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/detik)

A = Luas penampang saluran (m²)

v = Kecepatan aliran air (m/detik)

4. Perhitungan Daya Turbin (Pt)

Perhitungan daya turbin bisa dilakukan setelah diketahui nilai debit air.

$$Pt = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_t \quad (4)$$

Keterangan :

Pt = Daya turbin (watt)

ρ = Densitas air (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Q = Debit air (m³/detik)

H = (*Head*) Tinggi terjun air efektif (m)

η_t = Efisiensi turbin

0,8 – 0,85 untuk turbin *Pelton*. Turbin *Pelton* merupakan turbin dengan tinggi terjun yang tinggi, yaitu diatas 300m.

0,8 – 0,9 untuk turbin *Francis*. Turbin *Francis* sekarang ini bisa digunakan untuk ketinggian air jatuh 700m.

0,8 – 0,9 untuk turbin *Propellerkaplan*. *Head* turbin *Propellerkaplan* berada di kisaran 10-70m.

0,7 – 0,8 untuk turbin *Crossflow*. Tinggi terjun air untuk turbin *Crossflow* kisaran 5-200m.

5. Perhitungan Daya Generator (P_g)

Perhitungan daya generator bisa dilakukan setelah diketahui nilai daya air.

$$P_g \text{ (kW)} = P_t \times \eta_g \quad (5)$$

Keterangan :

P_g = Daya generator (kW)

P_t = Daya turbin

η_g = Efisiensi generator

Sehingga secara matematis daya real yang dihasilkan dari pembangkit adalah sebagai berikut :

$$P_{real} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g \quad (6)$$

Dimana :

P_{real} = daya sebenarnya yang dihasilkan (kW)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

Q = debit air (m^3/s)

H = ketinggian efektif (m)

η_t = Efisiensi turbin

η_g = Efisiensi generator

1.6.8 Komponen PLTA

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air yang akan diubah menjadi energi listrik. Air sebagai sumber energi pembangkit merupakan salah satu sumber energi yang murah dan relatif mudah didapatkan, karena air dapat ditemukan di berbagai tempat serta menyimpan energi potensial (pada k=jatuh air) dan energi kinetik (pada air mengalir).

Terdapat beberapa komponen utama PLTA seperti berikut.

1.6.8.1 Bendungan (*Weir*)

Menurut Direktorat Sumber Daya Air Kementerian PUPR, bendung adalah sebuah struktur bendungan dengan kepala yang rendah (lowhead dam) yang berfungsi untuk menaikkan permukaan air, umumnya ditemukan di sungai. Air sungai yang permukaannya dinaikkan oleh bendung akan melimpas lewat puncak atau mercu bendung (*overflow*). Selain itu, bendungan juga dapat digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air di saluran atau sungai. Bendungan merupakan salah satu bangunan utama dalam pembangkit listrik dan sangat berperan dalam menentukan kapasitas serta memengaruhi kinerja pembangkit secara signifikan. Bendungan yang dirancang atau dibangun tidaklah selalu harus dibangun secara permanen dengan pasangan batu, tetapi bisa sekedar dari susunan batu saja. Hal tersebut bergantung pada kondisi dan lokasi pembangunan bendungan dengan

mempertimbangkan struktur dan bahan bendungan maka kelayakan didirikannya bendungan akan jauh lebih efektif dan baik.



Gambar 2. Bendungan
Sumber : UPB Karalloe

1.6.8.2 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Bangunan pelimpah adalah struktur keselamatan yang penting pada bendungan yang dirancang dengan kapasitas cukup besar untuk mengalirkan kelebihan air yang masuk ke bendungan melalui aliran sungai, terutama saat bendungan penuh atau saat permukaan air mencapai titik maksimum, tanpa menyebabkan kerusakan pada bendungan itu sendiri. Bentuk ambang pelimpah dan saluran pembawanya dibuat sedemikian rupa agar air dapat mengalir dengan lancar dan minim turbulensi. Jika air mengalir terlepas dari permukaan ambang pelimpah, maka akan terbentuk ruang kosong (ruang hampa) pada titik perpisahan aliran tersebut, yang dapat menimbulkan kavitasi. Kavitasi merupakan fenomena terbentuknya rongga uap yang dapat merusak struktur bendungan, sehingga harus dihindari demi menjaga keamanan dan keawetan bangunan.



Gambar 3. Bangunan Pelimpah
Sumber : UPB Karalloe

1.6.8.3 *Intake*

Bangunan pemasok air atau yang dikenal sebagai *intake*, merupakan struktur yang berfungsi mengambil air dari bendungan dan menyalurkannya ke pipa tekan sebelum diteruskan menuju turbin. Pada PLTA, *intake* dirancang agar dapat mengalirkan air ke turbin dengan seminimal mungkin kehilangan energi. Oleh karena itu, dalam perencanaan *intake*, penting untuk menjaga agar

kecepatan masuk air pada pintu intake dibuat serendah mungkin guna meminimalkan kehilangan energi tersebut.



Gambar 4. Intake
Sumber : PLTA Malea

1.6.8.4 Pipa Pesat (*Penstock*)



Gambar 5. Pipa Pesat
Sumber : PLTA Malea

Pipa pesat atau penstock merupakan pipa saluran yang terletak antara surge tank dengan turbin. Dibagian dasar pipa pesat terdapat katub pemasuk utama yang mengatur air masuk kedalam turbin. Katub ini akan mengarahkan air menuju rumah turbin/*spiral casing* (rumah siput) didalam nya terdapat pintu pengatur air yang akan mengenai baling-baling turbin kemudian mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik roda air turbin. Saluran pipa pesat adalah saluran pengaliran air dari tabung penenang hingga keturbin dengan debit yang stabil. Besar ukuran saluran pipa pesat tergantung pada besarnya debit aliran air yang diperlukan untuk menggerakkan turbin supaya menghasilkan daya yang maksimal. Pipa pesat ini terbuat dari pipa baja yang tahan terhadap tekanan air dadakan dan maksimum, hal ini terjadi pada saat penutupan katup pemasukan utama (*Main Intake Valve*).

Pipa pesat (*penstock*) berfungsi sebagai saluran yang mengalirkan air dari kolam penenang menuju turbin untuk menggerakkannya. Pada pipa pesat

ini terdapat pipa pernapasan udara yang berfungsi mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam pipa agar tidak menimbulkan benturan pada sudu-sudu turbin. Pipa pesat dipasang di atas dasar bak penenang untuk mencegah masuknya batu atau benda asing lain yang dapat merusak *runner* turbin.

1.6.8.5 Turbin



Gambar 6. Turbin

Sumber : PLTA Malea

Turbin merupakan komponen yang terpenting dari unit PLTA. Turbin berfungsi mengubah aliran air menjadi energi kinetik yang akan memutar rotor (*runner*). Hal yang mempengaruhi jumlah daya listrik yang akan dihasilkan bergantung pada besarnya debit aliran air dan tingkat ketinggian lokasi. Penentuan jenis atau model turbin apa yang akan digunakan tergantung pada kondisi lokasi yaitu tergantung dari debit air yang tersedia dan beda tinggi. Seluruh jenis turbin mempunyai karakteristik kemampuan yang berbeda-beda baik dari kecepatan putaran yang dihasilkan efisien atau tidak, dan kekuatan turbin tersebut. Kecepatan putaran dari turbin diukur berdasarkan beda tinggi. Dilihat dari beda tingginya, jenis turbin dapat dibagi kedalam beberapa tingkat beda ketinggian pertama, tinggi (*high head*) >30 meter, sedang (*medium head*) antara 10-30 meter, dan rendah (*low head*) di bawah <10 meter.

Turbin berfungsi untuk memanfaatkan aliran air dari pipa pesat / *penstock* untuk menghasilkan energi putar pada porosnya. Pada PLTA turbin memanfaatkan air sebagai fluida kerjanya. Air mempunyai energi potensial karena perbedaan ketinggian antara permukaan waduk (*reservoir*) dengan kedudukan turbin, energi potensial tersebut harus diubah menjadi energi kinetik (kecepatan) melalui pipa dan di dalam turbin energi kinetik tersebut diubah menjadi energi mekanik berupa putaran turbin. Pada umumnya PLTA menggunakan *Vertical Turbine* atau turbin tegak sebagai penggerak generator.

a. Jenis-Jenis Turbin

Dilihat dari cara mengubah energinya turbin air dapat dibedakan menjadi 3 jenis turbin. Berikut 3 jenis turbinnya antara lain :

1. Turbin Kipas/*Kaplan*

Jenis turbin ini tergolong ke jenis turbin reaksi. Turbin ini biasanya dipakai/difungsikan pada ketinggian berkisar <20 meter kebawah. Turbin

kaplan akan berputar ketika proses pemanfaatan dari kecepatan debit air yang menabrak baling-baling turbin.

2. Turbin *Francis*

Jenis turbin ini tergolong ke jenis turbin reaksi sama seperti turbin *kaplan*. Turbin ini biasanya dipakai/difungsikan pada ketinggian berkisar 200-400m. Turbin *francis* akan berputar ketika proses pemanfaatan dari kecepatan debit air yang menabrak balingbaling turbin.

3. Turbin *Pelton*

Jenis turbin ini tergolong ke jenis turbin impulse, berbeda dengan turbin *kaplan* dan turbin *francis*. Turbin ini biasanya dipakai/difungsikan pada ketinggian berkisar > 300m keatas. Turbin *pelton* akan berputar ketika proses *impulse* yang memanfaatkan kecepatan debit air kemudian menabrak baling-baling turbin. Turbin implus akan mengubah semua energi air menjadi energi potensial disertai tekanan dan kecepatan yang dijadikan ke energi kinetik yang digunakan untuk memutar turbin menjadi energi gerak/putar.

1.6.8.6 Generator



Gambar 7. Generator

Sumber : PLTA Malea

Generator terhubung dengan turbin melalui gigi-gigi putar, sehingga saat baling-baling turbin berputar, generator juga ikut berputar. Selanjutnya, generator mengubah energi mekanik yang berasal dari turbin menjadi energi listrik. Generator pada PLTA bekerja sama seperti generator pada pembangkit listrik lainnya. Generator dan turbin terhubung melalui poros dan *gearbox* untuk mentransmisikan putaran. Putaran turbin digunakan untuk memutar kumparan magnet di dalam generator, sehingga menghasilkan pergerakan elektron yang memicu arus bolak-balik (AC). Generator listrik adalah perangkat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu rotor dan stator. Rotor terdiri dari 18 besi yang dililit kawat dan disusun melingkar membentuk 9 pasang kutub magnet utara dan selatan. Ketika kutub tersebut dialiri arus eksitasi dari *Automatic Voltage Regulator* (AVR), akan terbentuk medan magnet. Rotor dipasang satu poros dengan turbin, sehingga saat turbin berputar, rotor juga bergerak. Medan magnet yang berputar ini menghasilkan tegangan listrik pada kawat-kawat stator setiap kali kutub

magnet melewati kumparan stator. Tegangan inilah yang kemudian menghasilkan energi listrik.

1.6.8.7 Transformator

Transformator adalah kompoen peralatan pembangkit tenaga listrik yang digunakan untuk mentransformasi daya yang berfungsi untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan.

Transformator atau sering disebut trafo, adalah perangkat listrik yang mengubah energi listrik dari satu bentuk ke bentuk energi listrik lain. Besarnya tegangan listrik yang dihasilkan oleh transformator disesuaikan dengan kebutuhan energi listrik. Biasanya, transformator terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada inti besi. Terdapat dua jenis kumparan pada transformator, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer merupakan lilitan di salah satu sisi inti besi tempat masuknya arus listrik, sedangkan kumparan sekunder adalah lilitan di sisi lainnya yang menjadi tempat keluarnya arus listrik. Fungsi utama transformator adalah mengubah besaran listrik dalam suatu rangkaian, khususnya tegangan listrik. Transformator dapat meningkatkan atau menurunkan tegangan, dimana trafo *step up* berperan untuk menaikkan tegangan, dan trafo *step down* berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik.



Gambar 8. Transformator
Sumber : PLTA Malea

1.6.9 Kelebihan dan Kekurangan PLTA

Kelebihan PLTA

- a. Air tidak perlu dibeli karena air disediakan oleh alam sehingga biaya pembangkit relatif murah.
- b. Tidak menimbulkan polusi.
- c. Tidak menimbulkan kebisingan karena jauh dari pemukiman.
- d. Mempunyai *usefull life* yang lama.

- e. Dapat meningkatkan perekonomian masyarakat karena dengan pembangunan PLTA ini akan membutuhkan tenaga kerja.

Kekurangan PLTA

- a. Pengoperasian PLTA tergantung pada curah hujan. Kalau curah hujan rendah, maka PLTA tidak dapat beroperasi secara normal.
- b. Jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan biaya transmisi yang besar.
- c. Biaya pembangunan PLTA relatif besar.
- d. Masa pembangunan PLTA cukup lama.
- e. Membutuhkan tempat yang besar.

1.6.10 Software MATLAB

MATLAB merupakan bahasa pemrograman yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti *Delphi*, *Basic* maupun *C++*. MATLAB merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan dan grafik-grafik perhitungan. MATLAB adalah sebuah bahasa dengan (*high-performance*) kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. MATLAB mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk pakai di mana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar (Lastya, Kurniawan, & Irwanda, 2022).

Appdesigner adalah fitur di MATLAB yang memungkinkan pengguna untuk membuat aplikasi berbasis grafis (GUI) secara intuitif menggunakan metode *drag and drop*. *Appdesigner* menyediakan komponen antarmuka lengkap sehingga pengguna dapat mendesain aplikasi interaktif tanpa harus menulis kode GUI secara manual. Dengan *appdesigner*, pembuatan aplikasi menjadi lebih cepat dan efisien, serta mudah untuk mengintegrasikan kode MATLAB di belakang tampilan aplikasi.

1.6.11 Penelitian Terdahulu

Adapun terdapat beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini. Meskipun demikian, penelitian yang diajukan ini masih berbeda dengan penelitian terdahulu yang ada. Berikut ini beberapa penelitian terdahulu tersebut yaitu :

1. "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Sungai Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatera Utara" (2018). Penelitian berfokus pada perencanaan dan analisis terkait perencanaan pembangkit listrik di Aek Kualu, Kabupaten Toba Samosir. Perencanaan mula-mula dilakukan analisis debit andalan yang bertujuan untuk menentukan setiap dimensi bangunan hingga daya dan energi dari PLTA Kualu. Setelah direncanakan seluruh komponen PLTA, maka akan diketahui nilai daya (Kw) yang dihasilkan serta produksi energi tahunan (kWh). Hasil dari penelitian ini di dapatkan debit pembangkit sebesar 18,04 m³/detik dengan keandalan 65%. Intake dengan tinggi ambang 1,5m dan lebar 2 pintu masing-masing 8m. Turbin yang digunakan tipe francis, daya yang dihasilkan 12483,82 kW dengan energi 71,171 GWh dalam 1 tahun.

2. “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Bendungan Leuwikeris Tasikmalaya” (2020). Penelitian ini berfokus untuk menghitung potensi listrik yang dapat dihasilkan PLTA Bendungan Leuwikeris. Penelitian ini berfokus pada analisis debit potensial bangkitan, menghitung tinggi energi yang dapat dimanfaatkan, menentukan perletakan dan dimensi komponen PLTA, besar daya keluaran dari PLTA, dan nilai kelayakan PLTA menggunakan perangkat *lunak RETscreen Clean Energy Analysis* yang merencanakan 2 desain alternatif PLTA.
3. “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air *Run Of River* (PLTA ROR) Baliem Kabupaten Jayawija” (2016). Penelitian ini berfokus untuk mengetahui besarnya debit andalan dan debit rancangan, hidraulika dan dimensi bangunan air, besarnya energi listrik yang dibangkitkan, dan stabilitas bangunan bendung.
4. “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air di Bendungan Bagong Kabupaten Trenggalek Jawa Timur” (2019). Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan pemanfaatan debit *outflow* bendungan sebagai energi potensial untuk menghasilkan energi Listrik yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan tambahan listrik untuk masyarakat serta prasarana pariwisata yang akan datang di sekitar bendungan dan dapat memaksimalkan pemanfaatan sumber daya air di bendungan Bagong. Hasil penelitian tersebut didapatkan tinggi jatuh efektif PLTA di bendungan Bagong pada alternatif 1 sebesar 43.21 m yang dapat menghasilkan energi listrik sebesar 1.758.236 KWh per tahun sedangkan pada alternatif 2 didapatkan tinggi jatuh efektif sebesar 42.99 m yang dapat menghasilkan energi listrik sebesar 1.749.038 KWh per tahun dengan jenis turbin yang digunakan untuk alternatif 1 dan alternatif 2 yaitu turbin francis. Dan secara ekonomi PLTA di bendungan Bagong layak untuk dibangun.
5. “Perencanaan Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Aliran Air Limbah di PT. Indofood CBP Sukses Makmur Tbk” (2023). Penelitian ini berfokus untuk menganalisa kapasitas daya listrik yang dapat dihasilkan dari perancangan pada pengolahan air limbah di PT. Indofood Cbp Sukses Makmur Tbk dan merancang alat pembangkit energi listrik untuk mengetahui energi yang dapat di hasilkan. Hasil penelitian Potensi air limbah di PT. Indofood Cbp Sukses Makmur Tbk apabila dibangkitkan menjadi sumber energi alternatif mampu menghasilkan energi listrik dengan daya yaitu 16,720 VA dan potensi energi air limbah di PT. Indofood Cbp Sukses Makmur Tbk apabila dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik mampu mehidupkan lampu LED sebesar 8 Watt.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2024 sampai April 2025 di Bendungan Karalloe, Desa Garing, Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

2.2 Jenis Penelitian

Adapun penelitian ini berupa penelitian kuantitatif dengan menggunakan software MATLAB untuk pengoptimalan dari perencanaan penelitian yang akan dilakukan.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Pada tahapan data yang dikumpulkan pada Bendungan Karalloe berupa *head* dan debit air sekurang-kurangnya 1 tahun. Dari dari tersebut dapat dihitung berapa daya listrik yang dapat dibangkitkan.

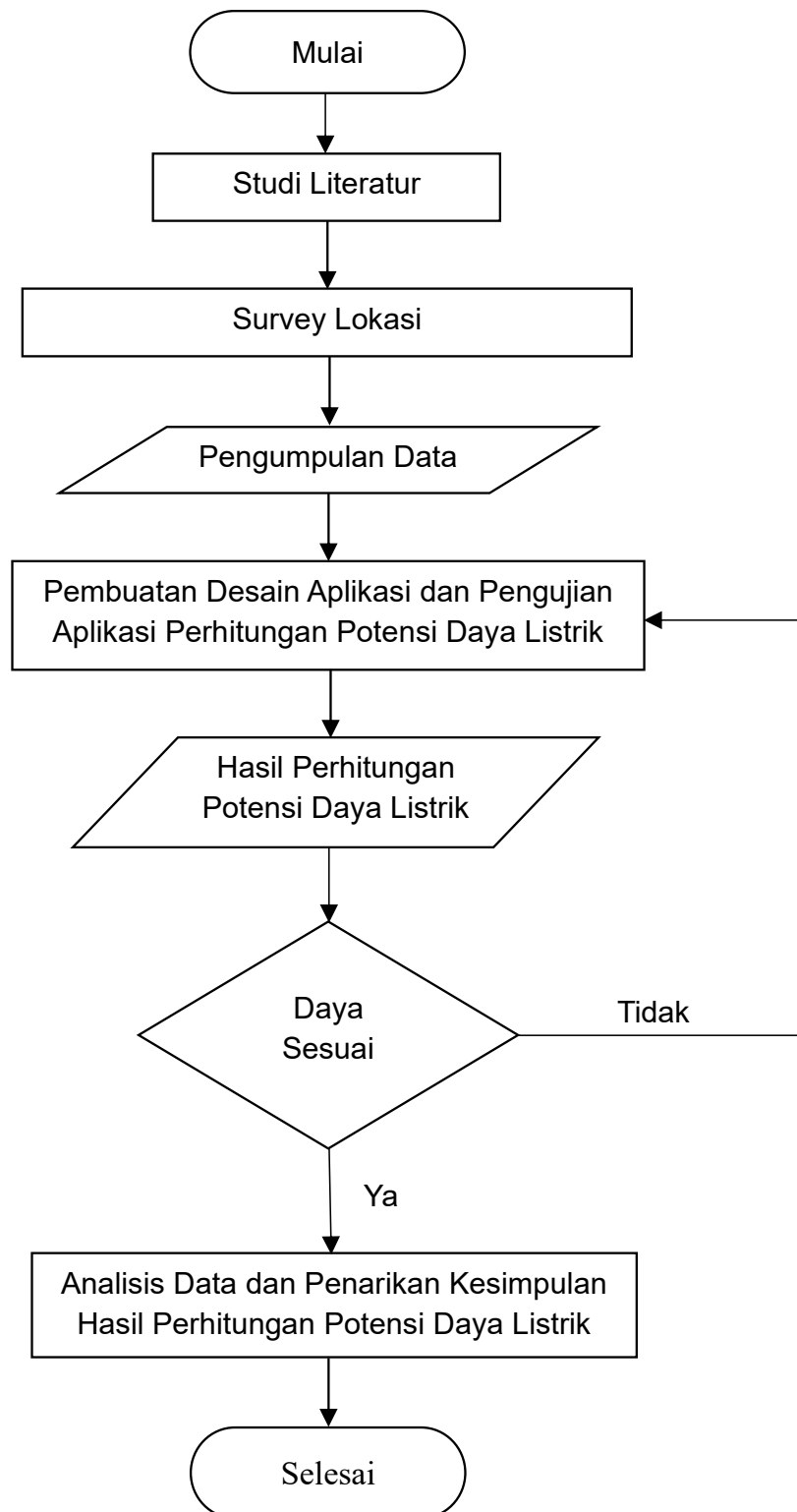
Untuk memudahkan proses pengambilan data, maka ibutuhkan instrumen untuk menuliskan data hasil penelitian seperti yang di tampilkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4. Contoh Lembar Pengambilan Data Penelitian

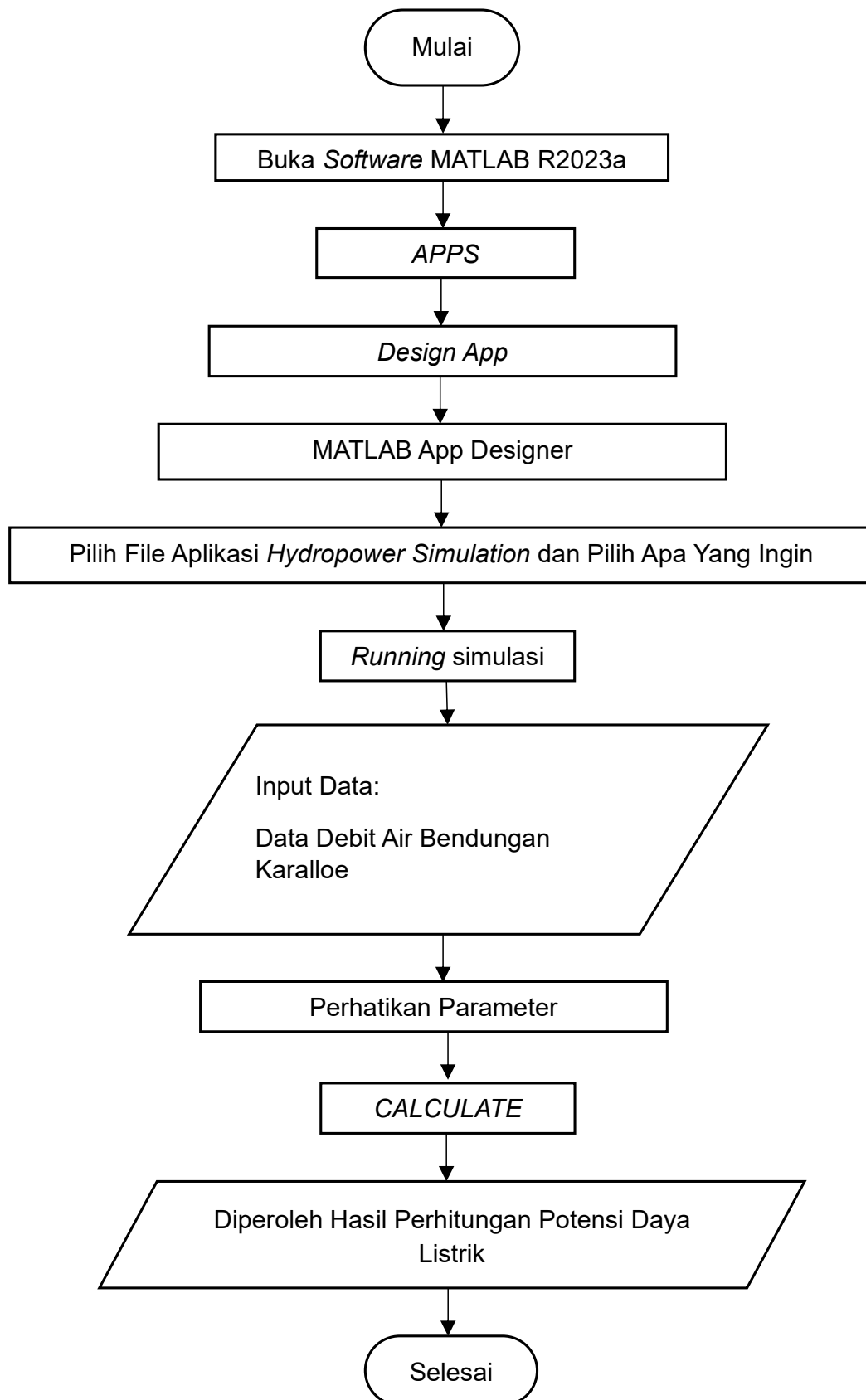
No.	Bulan	Debit Andalan (m ³ /s)
1		
2		
3		
4		

2.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk mendapatkan referensi yang relevan dengan penelitian. Selanjutnya ialah melakukan survei ke lokasi yang ingin digunakan untuk perencanaan PLTA. Kemudian akan dilanjutkan dengan melakukan pengumpulan data sesuai dengan data yang dibutuhkan seperti data debit air dan tinggi jatuh air (*head*) pada lokasi penelitian. Tahap selanjutnya adalah pembuatan dan pengujian simulasi daya PLTA. Apabila hasil simulasi program telah sesuai maka penelitian dapat dilanjutkan ke tahap menganalisis data dan penarikan kesimpulan hasil simulasi. Namun, apabila hasil yang diperoleh tidak sesuai maka akan dilakukan evaluasi program. Adapun tahapan- tahapan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian



Gambar 10. Algoritma Simulasi Dengan Software MATLAB

Untuk menjalankan aplikasi, pastikan PC/Laptop *user* telah terinstal *software* MATLAB R2023a. Setelah MATLAB terbuka *user* dapat mengklik tulisan *APPS* yang berada dibagian pojok kanan atas. Setelah itu tekan *Design App* yang berada pada pojok kanan atas maka akan muncul tampilan MATLAB *App Designer*. Selanjutnya tekan *open* pada sisi pojok kanan atas maka kita akan tampil file aplikasi yang telah kita buat. Setelah memilih *file* aplikasi maka aplikasi *Hydropower Simulation* akan terbuka. Untuk menjalankan aplikasi itu klik apa yang ingin kita buka (*file* atau *help*) lalu tekan tombol *Run* di *toolbar appdesigner*. Ini akan menjalankan aplikasi di jendela terpisah.