

Analysis of Electricity Growth Until 2045 Through Hydropower Development

Analisa Pertumbuhan Energi Listrik sampai Tahun 2045 Dengan Pengembangan Energi Air.

Agre A. Palentek, Hans Tumaliang, Lily S. Patras

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mail: agrepalentek023@student.unsrat.ac.id, hanstumaliang@unsrat.ac.id, lily_spatras@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date]

Abstract — North Toraja Regency, located in South Sulawesi Province, has significant water energy potential from various river streams. This potential has been utilized through the development of Mini Hydro Power Plants (PLTM) to meet the electricity demand of the local population and support regional economic growth. Along with increasing population and economic activities, electricity demand continues to grow each year. This study aims to project electricity load growth in North Toraja using the least square method, with a forecasting period from 2025 to 2045. The forecast results indicate an average annual increase in electricity load of 3.12 MW, resulting in a total demand of 62.4 MW by 2045. The currently installed capacity of 77.7 MW is only sufficient to meet electricity needs until 2025. Therefore, an additional 62.4 MW is required by 2045. Based on the water energy potential from four available rivers, an estimated 18 MW of electricity can be generated. As this is insufficient, it is recommended to add two additional generation units to each power plant location to increase total capacity.

Key words— North Toraja; electricity load forecasting; water potential; mini hydro power plant

Abstrak — Kabupaten Toraja Utara di Provinsi Sulawesi Selatan memiliki potensi energi air yang besar dari berbagai aliran sungai. Potensi ini telah dimanfaatkan melalui pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat dan mendukung pertumbuhan ekonomi daerah. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi, kebutuhan beban listrik pun mengalami peningkatan setiap tahunnya. Penelitian ini bertujuan untuk memproyeksikan pertumbuhan beban listrik di Toraja Utara menggunakan metode *least square*, dengan proyeksi dari tahun 2025 hingga 2045. Hasil peramalan menunjukkan rata-rata peningkatan beban listrik sebesar 3,12 MW per tahun, sehingga pada tahun 2045 dibutuhkan total daya sebesar 62,4 MW. Kapasitas terpasang saat ini sebesar 77,7 MW hanya mampu memenuhi kebutuhan hingga tahun 2025. Oleh karena itu, diperlukan tambahan kapasitas sebesar 62,4 MW hingga tahun 2045. Berdasarkan potensi energi air dari empat sungai yang tersedia, diperoleh daya listrik sebesar 18 MW. Karena nilai ini belum mencukupi, maka disarankan penambahan dua unit pembangkit pada masing-masing lokasi untuk meningkatkan kapasitas daya.

Kata kunci: Toraja Utara; peramalan beban listrik; potensi energi air; PLTM

I. PENDAHULUAN

Toraja Utara merupakan salah satu kabupaten yang terletak

di Provinsi Sulawesi Selatan dan dikenal memiliki potensi sumber daya energi terbarukan, khususnya energi air. Potensi ini telah dimanfaatkan oleh pemerintah daerah melalui pembangunan beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) guna memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat setempat. Sejumlah PLTM yang telah beroperasi di wilayah ini meliputi PLTM Malea dengan kapasitas 6,7 MW, PLTM Pongbatik 3 MW, PLTM Madong 10 MW, dan PLTM Maiting Hulu 8 MW. Keempat pembangkit tersebut digabungkan untuk mendukung sistem kelistrikan di Toraja Utara dengan total kapasitas terpasang sebesar 27,7 MW. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan peningkatan aktivitas ekonomi, kebutuhan energi listrik di Toraja Utara mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Meskipun kapasitas daya yang tersedia saat ini masih mampu memenuhi beban tahunan masyarakat, keberlanjutan penyediaan listrik untuk dua dekade mendatang menjadi perhatian penting. Apabila tidak dilakukan perencanaan pengembangan sistem kelistrikan secara dini, maka dikhawatirkan kapasitas pasokan saat ini tidak akan mencukupi kebutuhan listrik hingga tahun 2045. Oleh karena itu, diperlukan studi awal mengenai potensi tenaga air di wilayah Toraja Utara sebagai dasar untuk merencanakan pengembangan kapasitas pembangkit listrik yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi pengembangan PLTM dan menganalisis dampaknya terhadap ketersediaan pasokan listrik di masa mendatang. Kajian ini diharapkan dapat menjadi landasan dalam perencanaan energi jangka panjang untuk mendukung pertumbuhan wilayah secara berkelanjutan.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan mengukur debit air pada beberapa sungai yang ada di Toraja Utara seperti pada sungai Sa'dan, sungai Madandan, Sungai Awan dan sungai Buntu Pepasan. Menganalisa pertumbuhan penduduk, ekonomi dan beban listrik di Toraja Utara. Untuk data primer di dapatkan langsung dari pengukuran pada setiap sungai yang ada di Toraja Utara dan untuk data sekunder seperti data pertumbuhan penduduk

dan ekonomi di dapatkan dari Badan Pusat statistik (BPS) Kabupaten Toraja Utara serta data beban listrik didapatkan dari PLN. ULP. Rantepao Toraja Utara.

A. Kabupaten Toraja Utara

Kabupaten Toraja Utara adalah sebuah wilayah yang berada di Provinsi Sulawesi Selatan, yang terbentuk yang di mekarkan dari Kabupaten Tana Toraja sesuai dengan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2008. Pemisahan ini bertujuan untuk memperbaiki pelayanan pemerintahan, mempercepat pembangunan, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, serta memaksimalkan potensi daerah. Wilayah ini memiliki luas sekitar 1.289,13 km² dengan jumlah penduduk 261.823 jiwa pada tahun 2023. Secara administratif, Kabupaten Toraja Utara terbagi menjadi 21 kecamatan, 40 kelurahan, dan 111 lembang (setara desa). Daerah ini memiliki sumber daya air yang melimpah dan telah dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga minihidro guna memenuhi kebutuhan energi masyarakat dan mendukung kegiatan ekonomi [4]. Kabupaten Toraja Utara berada di kawasan dataran tinggi dan memiliki topografi paling tinggi di Provinsi Sulawesi Selatan. Geografis wilayah ini juga menunjukkan keragaman tingkat kemiringan lereng, dengan sebagian besar wilayahnya didominasi oleh lereng-lereng yang sangat curam dan tersebar di berbagai daerah tersebut [12].

B. Energi Listrik

Energi Listrik merupakan bentuk energi yang dihasilkan dari aliran muatan listrik melalui suatu penghantar. Energi ini berasal dari proses konversi energi primer seperti bahan bakar fosil, tenaga air, angin, sinar matahari, panas bumi, serta biomassa menjadi energi listrik yang dapat digunakan oleh masyarakat. Ketersediaan listrik menjadi salah satu indikator utama dalam pembangunan suatu wilayah, karena berperan penting dalam mendukung kegiatan ekonomi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Dalam kehidupan masa kini, hampir seluruh aktivitas manusia bergantung pada listrik, baik sebagai sumber utama maupun sebagai penunjang berbagai kegiatan.[7].

Listrik memiliki peran penting dalam mendukung modernisasi infrastruktur dan peningkatan kualitas layanan masyarakat. Ketersediaan listrik yang stabil dan handal sangat menunjang berbagai bidang kehidupan, seperti penerangan jalan yang optimal, operasional transportasi listrik yang efisien, sistem kesehatan yang lebih maju, serta pengelolaan air yang lebih baik. Semua hal tersebut bersama-sama berkontribusi pada peningkatan kualitas hidup masyarakat dan membuat daerah tersebut lebih berkembang. Dengan demikian, listrik bukan hanya kebutuhan sehari-hari, tetapi juga menjadi faktor kunci dalam mendorong pembangunan berkelanjutan. [1].

C. Potensi Energi Air

Air adalah sumber energi yang mudah ditemukan di berbagai wilayah karena termasuk sumber daya alam yang tersedia secara melimpah. Potensi air memberikan berbagai manfaat bagi kehidupan masyarakat, terutama dalam sektor pertanian, industri, dan pembangkit listrik. Selain itu, air memiliki sifat khusus yang menjadikannya sumber daya vital bagi

kelangsungan hidup dan perkembangan masyarakat di masa depan. Seiring kemajuan teknologi dan pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan akan energi semakin meningkat. Energi listrik pun menjadi salah satu jenis energi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Saat ini, mayoritas pasokan listrik masih dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batubara dan minyak bumi sebagai bahan bakar. Kedua sumber energi tersebut termasuk jenis energi fosil yang tidak dapat diperbarui dan menghasilkan emisi karbon yang tinggi.[3].

Energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting dan krusial bagi masyarakat di era sekarang. Permintaan energi listrik di Indonesia terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir, seiring dengan pertumbuhan pesat jumlah penduduk dan perbaikan kondisi ekonomi. Saat ini, sebagian besar kebutuhan listrik di Indonesia masih bergantung pada sumber energi fosil yang tidak dapat diperbarui, seperti gas alam dan batu bara. Sementara itu, pemanfaatan energi terbarukan seperti air, angin, dan matahari masih sangat terbatas, sehingga perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan penggunaannya. [14].

Seiring berkurangnya ketersediaan sumber energi listrik yang tidak terbarukan, energi air bisa menjadi alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan sumber energi tersebut. Energi listrik dari air diperoleh dengan memanfaatkan energi potensial atau kinetik yang dihasilkan oleh aliran air itu sendiri. Salah satu potensi energi terbarukan yang cukup besar adalah energi air, namun pemanfaatannya belum maksimal karena keterbatasan teknologi turbin yang tersedia. Untuk kondisi head dan debit sedang hingga tinggi, saat ini masih mengandalkan turbin Pelton, Francis, dan Kaplan. Sementara itu, potensi untuk head rendah belum dimanfaatkan dan dikembangkan secara optimal, padahal Indonesia memiliki potensi besar di bidang ini. [8].

D. Pertumbuhan Kebutuhan Energi

Kebutuhan tenaga listrik diperkirakan akan terus mengalami kenaikan setiap tahunnya. Kenaikan ini disebabkan oleh berkembangnya kebutuhan masyarakat yang harus dipenuhi. Berbagai faktor memengaruhi permintaan energi listrik, termasuk kondisi ekonomi, pertumbuhan jumlah penduduk, serta faktor wilayah dan lainnya.

Salah satu aspek ekonomi yang berperan penting dalam kebutuhan energi listrik adalah pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Secara umum, PDRB terbagi menjadi tiga sektor utama, yaitu sektor komersial, industri, dan publik. Sektor komersial meliputi aktivitas seperti penyediaan listrik, gas, air bersih, konstruksi, perdagangan, serta transportasi dan komunikasi. Sektor publik mencakup jasa, lembaga keuangan, dan perbankan, sedangkan sektor industri terdiri dari kegiatan industri migas dan manufaktur.

Selain faktor ekonomi, penambahan jumlah penduduk juga sangat memengaruhi permintaan energi listrik, di mana populasi cenderung bertambah setiap tahun hingga mencapai titik keseimbangan. [2].

Listrik memiliki peran penting dalam kehidupan modern dan menjadi penggerak utama perkembangan ekonomi sebuah negara. Penggunaannya meliputi berbagai sektor,

seperti industri, perdagangan, dan rumah tangga, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan efisiensi. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana listrik berperan dalam pertumbuhan ekonomi serta dampaknya terhadap kesejahteraan masyarakat. Dalam sektor industri, listrik menjadi faktor kunci yang mendukung proses produksi modern. Pasokan listrik yang stabil dan andal diperlukan untuk menjalankan mesin dan peralatan, sehingga produktivitas meningkat, biaya produksi menurun, dan daya saing di pasar global semakin kuat. Selain itu, listrik juga berperan dalam kemajuan pendidikan. Di era digital, akses listrik sangat penting untuk mengoperasikan perangkat elektronik seperti komputer dan internet, memungkinkan pembelajaran jarak jauh, peningkatan kualitas sumber daya manusia, serta pengembangan tenaga kerja yang kompetitif, yang secara tidak langsung mempercepat pertumbuhan ekonomi. Pada sektor infrastruktur dan layanan publik, listrik menjadi komponen vital untuk penerangan jalan, transportasi berbasis listrik yang efisien, sistem kesehatan modern, dan pengolahan air bersih. Semua ini berkontribusi pada peningkatan kualitas hidup masyarakat sekaligus menarik investasi ke daerah tersebut. Dengan demikian, listrik tidak hanya memenuhi kebutuhan sehari-hari, tetapi juga menjadi pilar penting bagi pembangunan yang berkelanjutan.

Ketersediaan listrik dan pertumbuhan ekonomi memiliki hubungan yang sangat erat dan saling mendukung dalam masyarakat modern. Penyediaan listrik yang cukup menjadi salah satu fondasi utama untuk mencapai pembangunan ekonomi yang berkelanjutan. [1]

E. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro merupakan jenis pembangkit listrik yang menggunakan aliran air dari sungai atau saluran irigasi dengan kapasitas daya berkisar antara 100 kW hingga 10 MW. Pembangkit ini termasuk dalam skala menengah yang memanfaatkan energi aliran air sungai untuk menghasilkan listrik dengan kapasitas daya sekitar 1 MW hingga 10 MW.[6].

PLTM biasanya dibangun dengan sistem run-of-river, di mana head atau beda tinggi air diperoleh tanpa perlu membuat bendungan besar. Caranya adalah dengan mengalihkan aliran sungai ke sisi sungai, kemudian menjatuhkan air kembali ke aliran di bawahnya sehingga perbedaan ketinggian yang dibutuhkan tercapai. Air dialirkan melalui pipa bertekanan tinggi menuju rumah pembangkit yang terletak di tepi sungai untuk menggerakkan turbin, kemudian air kembali ke sungai melalui saluran pembuangan atau tail race. Energi mekanik dari putaran poros turbin kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berkapasitas kecil yang menggunakan tenaga air sebagai sumber energi penggeraknya, seperti aliran irigasi, sungai, atau air terjun alami, dengan memanfaatkan tinggi jatuh air (head) dan debit air. Di saluran irigasi desa Kalisidi, terdapat potensi air yang cukup tersedia sepanjang tahun, dengan debit yang stabil dan kontur yang sesuai, sehingga sudah dimanfaatkan untuk pembangkit PLTMH [5]

Prinsip kerja PLTM memanfaatkan energi potensial air yang mengalir dari ketinggian tertentu untuk menggerakkan turbin air dan generator guna menghasilkan listrik. Generator berperan mengubah energi mekanik dari putaran poros menjadi energi listrik. Proses konversi energi ini terjadi melalui interaksi medan magnet. Komponen utama generator terdiri dari rotor yang bergerak dan stator yang diam, dengan sebuah celah udara yang memisahkan keduanya..[13]

F. Peramalan Beban

Secara umum, beban yang ditangani oleh sistem distribusi listrik dapat dibagi menjadi beberapa sektor, yaitu rumah tangga, industri, komersial, dan sektor usaha. Masing-masing sektor memiliki karakteristik beban yang berbeda karena perbedaan pola pemakaian listrik.

Pada sektor rumah tangga, penggunaan listrik menunjukkan fluktuasi yang cukup besar, terutama karena konsumsi listrik lebih banyak terjadi pada malam hari. Sebaliknya, sektor industri cenderung menggunakan listrik secara stabil sepanjang hari, sehingga rasio antara beban puncak dan beban rata-rata hampir sama. Sektor komersial dan usaha memiliki karakteristik yang mirip, namun sektor komersial biasanya mengalami peningkatan beban listrik pada malam hari

Adapun berdasarkan jenis konsumsi listrik, beban listrik dapat dibedakan sebagai berikut:

- 1.) Beban Rumah Tangga: Biasanya mencakup perangkat penerangan serta alat-alat rumah tangga seperti kipas angin, pemanas air, kulkas, dan peralatan lainnya.
- 2.) Beban Komersial: Meliputi penerangan untuk iklan, kipas angin, pendingin ruangan, serta peralatan listrik yang digunakan di tempat seperti restoran, hotel, dan kantor.
- 3.) Beban Industri: Terbagi menjadi industri kecil yang umumnya beroperasi pada siang hari, dan industri besar yang biasanya berjalan selama 24 jam penuh. Beban ini biasanya mengalami peningkatan signifikan pada siang hari dan menurun menjelang sore.
- 4.) Beban Fasilitas Umum: Konsumsi energi pada fasilitas umum cenderung tinggi sepanjang hari, baik siang maupun malam..

Peramalan beban (load forecasting) adalah proses memperkirakan kebutuhan energi listrik di masa depan berdasarkan data historis, tren pertumbuhan ekonomi, demografi, serta faktor-faktor lainnya. Tujuan utama peramalan beban adalah untuk merencanakan kapasitas pembangkit listrik dan infrastruktur energi secara optimal dan efisien. "load forecasting is the prediction of electrical power demand over a specific period of time based on historical load data and influencing variables." Peramalan ini penting untuk menghindari kekurangan pasokan (under supply) atau pemborosan akibat kelebihan kapasitas (over supply).

Peramalan adalah proses sistematis dalam memprediksi kejadian di masa depan dengan memanfaatkan data dari masa lalu dan saat ini, dengan tujuan meminimalkan kesalahan antara hasil prediksi dan kenyataan. Proses ini menjadi langkah awal yang penting dalam pengambilan keputusan dan perencanaan.

Berdasarkan rentang waktunya, peramalan dibagi menjadi tiga kategori :

- 1.) Peramalan Jangka Panjang: Memprediksi kondisi dalam kurun waktu tahunan atau beberapa tahun ke depan.
- 2.) Peramalan Jangka Menengah: Digunakan untuk meramalkan situasi dalam skala waktu mingguan hingga bulanan.
- 3.) Peramalan Jangka Pendek: Fokus pada prediksi harian bahkan hingga per jam.

Peramalan sendiri terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu:

- 1.) Peramalan Kualitatif
Metode ini didasarkan pada data non-numerik dari masa lalu. Hasil prediksi sangat dipengaruhi oleh intuisi, pertimbangan pribadi, pengalaman, serta opini dari peramal atau peneliti yang bersangkutan.
- 2.) Peramalan Kuantitatif
Peramalan ini mengandalkan data numerik dari masa lalu dan membutuhkan metode statistik atau matematis tertentu. Akurasi hasil sangat tergantung pada metode yang digunakan, di mana metode yang baik akan menghasilkan tingkat kesalahan (error) yang rendah.

Peramalan jenis ini hanya dapat dilakukan apabila:

- 1.) Tersedia data historis.
- 2.) Data tersebut dapat diubah menjadi bentuk numerik.
- 3.) Pola yang terjadi di masa lalu diasumsikan akan terus berlanjut di masa depan.

Berdasarkan dasar peramalan tersebut, informasi mengenai kondisi saat ini maupun masa depan dapat diperoleh dengan menganalisis data historis. Meskipun peramalan pada dasarnya merupakan sebuah perkiraan, penerapan metode tertentu—baik yang bersifat formal maupun informal—membuat hasilnya menjadi lebih valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, sehingga menghasilkan informasi yang bermanfaat. [9]

Peramalan Beban dan Kebutuhan Energi Listrik, menjelaskan bahwa peramalan pada dasarnya merupakan suatu dugaan atau prakiraan mengenai terjadinya suatu kejadian atau peristiwa dimasa yang akan datang. Dalam kegiatan perencanaan peramalan merupakan kegiatan mula dari proses tersebut.

Peramalan beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan jangka waktunya:

- 1.) Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek
Merupakan metode prediksi dengan rentang waktu yang singkat, biasanya mencakup beberapa jam hingga maksimal satu minggu ke depan.
- 2.) Peramalan Beban Listrik Jangka Menengah
Jenis peramalan ini mencakup periode mulai dari satu bulan hingga satu tahun ke depan, dan digunakan untuk perencanaan yang bersifat menengah.
- 3.) Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang
Adalah estimasi kebutuhan listrik dengan cakupan waktu lebih dari satu tahun ke depan.

Dengan demikian, peramalan beban listrik sangat penting untuk memastikan ketersediaan energi listrik dalam jangka panjang secara berkelanjutan. [10]

G. Metode Least Square

Metode Least Square merupakan teknik yang paling umum

dipakai untuk menentukan persamaan tren data karena memberikan hasil secara matematis. Pada pembahasan ini, fokus diberikan pada analisis deret waktu (time series) menggunakan metode kuadrat terkecil, yang dibagi menjadi dua kategori, yaitu untuk data dengan jumlah genap dan data dengan jumlah ganjil. [15]

Regresi Regresi adalah metode yang digunakan untuk mengetahui adanya hubungan antara dua atau lebih variabel. Regresi linier sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu regresi linier sederhana dan regresi linier berganda. Analisis regresi dianggap lebih tepat dalam mengukur hubungan antar variabel, meramalkan nilai, serta memperkirakan variabel terikat berdasarkan variabel bebas, karena memungkinkan penentuan kemiringan garis atau tingkat perubahan antara variabel-variabel tersebut.

Analisis regresi linier merupakan teknik statistik yang digunakan untuk membangun model dan menganalisis hubungan antara satu atau lebih variabel bebas dengan satu variabel respon atau variabel terikat. Regresi dibagi menjadi dua tipe utama, yakni regresi linier dan regresi nonlinier. Dalam regresi linier, analisis selanjutnya dibagi menjadi regresi linier sederhana dan regresi linier berganda. Metode ini merupakan salah satu teknik analisis yang paling banyak digunakan, terutama dalam berbagai disiplin ilmu yang mempelajari hubungan sebab-akibat. [11]

H. Perhitungan peramalan beban listrik dengan menggunakan persamaan metode least square.

1) Persamaan least square

Metode least square merupakan teknik yang digunakan untuk memperkirakan beban listrik jangka panjang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$y = a + b(x) \quad (1)$$

Dimana :

- y = peramalan beban listrik (MW)
- a = bilangan konstant (*intersep*) nilai tren pada tahun dasar
- b = rata-rata pertumbuhan nilai tren tiap tahun
- x = waktu atau periode (x = 1,2,3)

2) Persamaan mencari nilai a dan b

Untuk menghitung peramalan beban listrik dengan menggunakan metode least maka kita harus mencari nilai a (bilangan konstant) dan nilai b (rata-rata pertumbuhan nilai tren tiap tahun) selengkapnya sebagai berikut:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3)$$

Dimana :

- $\sum xy$ = Jumlah Komulutatif waktu di kalikan data storis
- $\sum x^2$ = Jumlah rata-rata jangka waktu dikuadratkan
- $\sum y$ = Jumlah rata-rata data beban listrik
- $\sum x$ = Jumlah rata-rata waktu

n = Jumlah data

I. Perhitungan potensi debit air

1) Persamaan menghitung debit air

Debit air di pengaruhi oleh volume dan selang waktu maka selengkapnya sebagai berikut :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Dimana :

Q = Debit air (m³/s)

V = Volume air (m³)

t = waktu (s)

J. Perhitungan potensi daya energi air

Untuk menentukan potensi daya energi air di pengaruhi oleh massa jenis air, grafitasi, debit air dan kedalaman air maka selengkapnya sebagai berikut :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (5)$$

Dimana:

P = Daya listrik yang di hasilkan

ρ = massa jenis air (1000 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Q = debit air

h = ketinggian jatuhnya air (m)

III. DATA HASIL PENELITIAN DAN PERHITUNGAN

Penelitian ini di laksanakan di Kabupaten Toraja Utara lebih tepatnya di PLN. ULP Rantepo, Badan Pusat Statistik (BPS) Toraja Utara dan mengukur debit air dari beberapa sungai yang ada di Toraja Utara yaitu sungai Sa'dan, sungai Madandan, Sungai Awan dan sungai Buntu Pepasan.

A. Data Pertumbuhan Penduduk Toraja Utara

TABEL 1 PERTUMBUHAN PENDUDUK TORAJA UTARA

Tahun	Penduduk (Jiwa)
2018	229.798
2019	247.157
2020	261.090
2021	264.150
2022	268.198
2023	261.652
2024	266.513

Pada tabel(1) di atas menunjukkan pertumbuhan penduduk dari tahun 2018 sampai tahun 2024 dimana pertumbuhan penduduk berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik.

B. Data Pertumbuhan Ekonomi Toraja Utara

TABEL 2 PERTUMBUHAN EKONOMI TORAJA UTARA

Tahun	PDB (Milliar)
2018	8.696,49
2019	9.596,35
2020	9.721,43
2021	10.344,30
2022	11.344,31

2023	12.307,76
2024	13.257,86

Data pertumbuhan ekonomi Pada tabel (2) berdasarkan Produk Domestik Bruto (PDB) Toraja Utara dari tahun 2018 sampai tahun 2024 menunjukkan bahwa (PDB) meningkat setiap tahun dalam satuan Miliar rupiah.

C. Data Pertumbuhan Beban Listrik Toraja Utara

TABEL 3 PERTUMBUHAN BEBAN LISTRIK TORAJA UTARA

Tahun	MW
2018	54,09
2019	58,08
2020	62,02
2021	64,65
2022	66,69
2023	69,95
2024	73,82

Pada tabel (3) merupakan pertumbuhan beban listrik di Kabupaten Toraja Utara dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2024.

D. Data Pengukuran Debit Air

TABEL 4 HASIL PENGUKURAN DEBIT DI BEBERAPA SUNGAI DI TORAJA UTARA

Tempat	Panjang	Lebar	Kedalaman	Waktu
Sungai Sa'dan	61 m	18 m	1 m	17,75 s
Sungai Madandan	54 m	12 m	5 m	12,54 s
Sungai Awan	23 m	7,5 m	0,56m	29,32 s
Sungai Buntu Pepasan	30 m	21 m	3 m	25,99 s

Pada tabel (4) ini merupakan hasil pengukuran debit air dari empat sungai yang ada di Toraja Utara.

E. Perhitungan

1) Menghitung nilai a dan b

Untuk menghitung peramalan beban listrik maka yang pertama kita lakukan adalah mencari nilai a dan b dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) selengkapnya sebagai berikut :

TABEL 5 KOMPONEN Mencari nilai a dan b

Tahun	X	y	x ²	xy
	(kode tahun)	(Beban MW)		
2018	1	54,09	1	54,09
2019	2	58,08	4	116,16
2020	3	62,02	9	186,06
2021	4	64,65	16	258,6
2022	5	66,69	25	333,45
2023	6	69,95	36	419,7
2024	7	73,82	49	516,74
Total	28	449,3	140	1.884,8

Untuk menghitung nilai a dan b maka kita menggunakan komponen yang ada pada tabel (5) di atas sebagai berikut.

1) Mencari nilai a :

$$\begin{aligned} a &= \frac{(449,3)(140) - (28)(1.884,8)}{7(140) - (28)^2} \\ &= \frac{62.192 - 52.580,4}{980 - 784} \\ &= \frac{10.127,6}{196} \\ &= 51,67 \text{ MW} \end{aligned}$$

2) Mencari nilai b :

$$\begin{aligned} b &= \frac{7(1.884,8) - (28)(449,3)}{7(140) - (28)^2} \\ &= \frac{13.193,6 - 12.580,4}{980 - 784} \\ &= \frac{613,2}{190} \\ &= 3,12 \text{ MW} \end{aligned}$$

2) Menghitung peramalan beban listrik

Jadi karena sudah didapatkan nilai a sebesar 51,67 MW dan nilai b 3,12 MW maka kita dapat menghitung peramalan beban listrik sampai tahun 2045 dengan menggunakan persamaan (1) sebagai berikut :

1. Tahun 2025 :

$$\begin{aligned} y &= a + b(x) \\ &= 51,67 \text{ MW} + 3,12 \text{ MW}(8) \\ &= 51,67 \text{ MW} + 24,96 \text{ MW} \\ &= 76,63 \text{ MW} \end{aligned}$$

Pada tabel (6) di bawah ini dengan perhitungan yang sama maka kita memperoleh peramalan beban listrik dari tahun 2026 sampai tahun 2045.

TABEL 6 HASIL PERHITUNGAN PERAMALAN BEBAN LISTRIK

Tahun	Beban Listrik (MW)
2026	79,75
2027	82,87
2028	85,99
2029	89,11
2030	92,23
2031	95,35
2032	98,47
2033	101,95
2034	104,71
2035	107,83
2036	110,95
2037	114,07
2038	117,19
2039	120,31
2040	123,43
2041	126,55
2042	129,67
2043	132,79
2044	135,91
2045	139,03

3) Menghitung debit air sungai di Toraja Utara

Untuk menghitung debit air dari empat sungai yang ada di Toraja Utara maka kita dapat menggunakan persamaan (4) sebagai berikut :

1. Menghitung debit air sungai Sa'dan

$$\begin{aligned} Q &= v/t \\ &= 61 \text{ m} \times 18 \text{ m} \times 1 \text{ m} \\ &= 1.098 \text{ m}^3 / 17,75 \text{ S} \\ &= 61,86 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. Menghitung debit air sungai Madandan

$$\begin{aligned} &= 54 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 5 \text{ m} \\ &= 3.840 \text{ m}^3 / 12,54 \text{ S} \\ &= 306,23 \text{ m}^3/\text{S} \end{aligned}$$

3. Menghitung debit air sungai buntu pepasan

$$\begin{aligned} &= 30 \text{ m} \times 21 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\ &= 1.890 \text{ m}^3 / 25,99 \text{ S} \\ &= 72,73 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

4. Menghitung debit air sungai Awan

$$\begin{aligned} &= 23 \text{ m} \times 7,5 \text{ m} \times 0,56 \text{ m} \\ &= 112,125 \text{ m}^3 / 29,32 \text{ S} \\ &= 3,82 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

4) Menghitung potensi daya energi air di Toraja Utara

Untuk menghitung potensi daya energi air di Toraja Utara maka kita dapat menggunakan persamaan (5) selengkapanya sebagai berikut :

1. Menghitung daya potensi sungai Sa'dan

$$\begin{aligned} P &= \rho \times g \times Q \times h \\ &= 1000 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 61,86 \text{ m}^3 \times 1 \text{ m} \\ &= 0,6 \text{ MW} \end{aligned}$$

2. Menghitung daya sungai Mdandan

$$\begin{aligned} &= 1000 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 306,23 \text{ m}^3 \times 5 \text{ m} \\ &= 15 \text{ MW} \end{aligned}$$

2. Menghitung daya sungai buntu pepasan

$$\begin{aligned} &= 1000 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 72,73 \text{ m}^3 \times 3 \text{ m} \\ &= 2.1 \text{ MW} \end{aligned}$$

3. Menghitung daya sungai Awan

$$\begin{aligned} &= 1000 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 3,82 \text{ m}^3 \times 0,56 \text{ m} \\ &= 0,02 \text{ MW} \end{aligned}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan Peramalan beban listrik di Toraja Utara

TABEL 7 HASIL PERHITUNGAN PERAMALAN BEBAN LISTRIK DI TORAJA UTARA

Tahun	Beban Listrik (MW)
2025	76,63
2026	79,75
2027	82,87
2028	85,99
2029	89,11
2030	92,23
2031	95,35
2032	98,47
2033	101,95
2034	104,71
2035	107,83
2036	110,95
2037	114,07
2038	117,19
2039	120,31
2040	123,43
2041	126,55
2042	129,67
2043	132,79
2044	135,91
2045	139,03

Dari hasil perhitungan peramalan beban listrik dari tahun 2025 sampai tahun 2045 pada tabel (7) dengan menggunakan persamaan metode Least Square maka pertumbuhan beban listrik di Toraja Utara setiap tahunnya sebesar 3,12 MW. Untuk peramalan beban listrik dari tahun 2025 sampai tahun 2045 .

B. Hasil pengukuran debit air sungai di Toraja Utara.

TABEL 8 HASIL PENGUKURAN DEBIT LAIR SUNGAI DI TORAJA UTARA

Tempat	m3/s
Sungai Sa'dan	61,86
Sungai Madandan	306,23
Sungai Buntu Pepasan	72,73
Sungai Awan	3,82

Dari hasil perhitungan debit air maka kita dapat membangun beberapa jenis pembangkit seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik minihidro (PLTM) dan pembangkit listrik mikrohidro (PLTMH). dengan mlihat potensi debit air yang telah di peroleh dapat di lihat pada tabel (8) sebagai berikut.

C. Hasil Perhitungan daya potensi energi air

TABEL 9 HASIL PERHITUNGAN DAYA POTENSI ENERGI AIR

Tempat	MW
Sungai Sa'dan	0,6
Sungai Madandan	15
Sungai Buntu Pepasan	2,1
Sungai Awan	0,02

Hasil perhitungan daya potensi energi air dari empat sungai yang ada di Toraja Utara cukup besar yang dapat di gunakan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik sampai

tahun 2045 dapat di lihat pada tabel (9) sebagai berikut.

D. Pembahasan

1) Analisa hasil pertumbuhan beban listrik

Berdasarkan hasil perhitungan pertumbuhan beban listrik dengan menggunakan persamaan metode Least Square, diperkirakan kebutuhan daya listrik di Toraja Utara dari tahun 2025 sampai tahun 2045 sebesar 62,4 MW. Sementara itu, kapasitas suplai listrik yang tersedia saat ini sebesar 77,7 MW masih belum mencukupi untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan penambahan daya melalui pembangunan pembangkit listrik baru untuk menangani pertumbuhan beban listrik sampai tahun 2045 dengan memanfaatkan potensi energi air dari empat sungai. Potensi pengembangan pembangkit listrik dari empat sungai yang ada di Toraja Utara, dengan total potensi energi listrik sebesar 18 MW. Namun, kapasitas ini masih belum mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban listrik di masa mendatang. Maka dari itu perlu di lakukan penambahan unit di setiap pembangkitannya untuk memenuhi peningkatan beban listrik sampai tahun 2045.

2) Analisa hasil perhitungan debit air

Dari hasil perhitungan kita dapat memperoleh debit air dari empat sungai yang ada di Toraja Utara, sehingga kita mendapatkan hasil debit air untuk sungai Sa'dan sebesar 61,86 m³/s, untuk Sungai Buntu Pepasan 72,73 m³/s, untuk Sungai Madandan dengan nilai yang cukup besar 306,23 m³/s dan debit dengan nilai paling kecil di antara sungai lainnya yaitu sungai Awan dengan nilai 3,82 m³/s.

3) Analisa hasil perhitungan potensi daya energi air

Jadi daya potensi energi air dari empat sungai yang ada di Toraja Utara hasilnya bervariasi dengan potensi air untuk sungai Sa'dan sebesar 0,6MW, Sungai Madandan 15MW, Sungai Buntu Pepasan 2,1MW dan Sungai Awan 0,02MW dengan potensi air terbesar ada di sungai Madandan dengan nilai 15MW dan potensi air terkecil untuk sungai Awan sebesar 0,02MW. Sehingga untuk sungai Madandan dengan daya potensi energi air yang paling besar dengan daya 15 MW kita dapat menambahkan beberapa unit pada pembangkit untuk memenuhi beban listrik yang meningkat setiap tahunnya di Toraja Utara.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil Dari penelitian ini dapat di simpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- 1) Kapasitas listrik yang ada di Toraja Utara sekarang sebesar 77,7 MW masih mencukupi untuk memenuhi beban listrik untuk tahun 2025. Namun, mulai tahun 2026 sampai 2045, kapasitas ini tidak mencukupi, sehingga diperlukan penambahan pembangkit. Sungai Madandan memiliki potensi energi air yang cukup besar dengan kapasitas daya 15MW yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi peningkatan beban.

- 2) Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beberapa sungai di Toraja Utara memiliki potensi energi air yang cukup besar. Sungai Madandan memiliki potensi tertinggi sebesar 15 MW, sedangkan potensi terendah terdapat pada Sungai Awan sebesar 0,02 MW.
- 3) Pertumbuhan beban listrik di Toraja Utara cukup signifikan, dengan rata-rata peningkatan sebesar 3,12 MW per tahun. Diperkirakan peningkatan total beban dari tahun 2025 sampai 2045 sebesar 62,4 MW.

B. Saran

Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi ULP PLN Rantepao Toraja Utara dalam merencanakan pengembangan pembangkit listrik untuk memenuhi jangka panjang. Hasil peramalan menunjukkan bahwa kapasitas yang tersedia saat ini tidak mencukupi kebutuhan listrik untuk tahun 2026 sampai 2045. Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan pembangkit listrik baru. Salah satu sumber potensi yang dapat di manfaatkan adalah Sungai Madandan, yang memiliki daya potensi energi air sebesar 15 MW dan dapat dikembangkan dalam beberapa unit untuk memenuhi kebutuhan beban listrik dalam jangka panjang.

KUTIPAN

- [1] A. Sapthu, "LISTRIK DAN PENGARUHNYA TERHADAP PERTUMBUHAN EKONOMI DI PROVINSI MALUKU," *J. Cita Ekon.*, vol. 17, no. 2, pp. 199–207, Nov. 2023, doi: 10.51125/citaekonomika.v17i2.11315.
- [2] A. S. F. Rajagukguk, M. Pakiding, and M. Rumbayan, "Kajian Perencanaan Kebutuhan dan Pemenuhan Energi Listrik di Kota Manado," *E-J. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 4, no. 3, pp. 1–11, 2015.
- [3] A. Taufiqurrahman and J. Windarta, "Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia," *J. Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 124–132, Oct. 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.10036.
- [4] Badan Pusat Statistik Kabupaten Toraja Utara, *Toraja Utara dalam angka*, vol. 1. Toraja Utara: Badan Pusat Statistik, 2023.
- [5] C. B. Prasetyo, G. V. Golwa, T. I. Kusuma, and M. A. Jabar, "Rancang Bangun Prototipe Turbin Archimedes Untuk Tangki Air Perumahan Dengan Formulasi Chris Rorres," *J. Teknol. Dan Inov. Ind. JTHI*, vol. 3, no. 1, pp. 032–039, 2022.
- [6] Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. *MINIHIDRO DI DESA SUKAMAJU KABUPATEN GARUT JAWA BARAT, Buku Pedoman Pembangunan PLTMH dan PLTM on Grid Sebagai Usaha Bisnis Penyediaan Tenaga Listrik. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. MINIHIDRO DI DESA SUKAMAJU KABUPATEN GARUT JAWA BARAT.*, vol. 1. Desa Suka Maju Kabupaten Jawa Barat: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. MINIHIDRO DI DESA SUKAMAJU KABUPATEN GARUT JAWA BARAT, 2010
- [7] I. I. Kamuihkar, I. M. Parsa, and C. P. Tamal, "Pengaruh Pemanfaatan Listrik Dan Bahayanya Bagi Keselamatan Manusia Terhadap Tingkat Pemahaman Masyarakat Desa Tribur Kecamatan Abad Selatan Kabupaten Alor," vol. 5, no. 1.
- [8] M. Amin, "DESAIN TURBIN ULIR (ARCHIMEDES SCREW TURBINE) PADA SUNGAI HEAD RENDAH (SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO UNTUK SUPLAI PENGISIAN BATERAI
- [9] M. S. Aihunan, H. L. Latupeirissa, and A. J. Kastanja, "PERAMALAN BEBAN PENYULANG WAYAME 2 PT. PLN (PERSERO) AREA AMBON MENGGUNAKAN METODE LEAST SQUARE," *J. ELKO Elektr. Dan Komput.*, vol. 2, no. 2, May 2021, doi: 10.54463/je.v2i2.47.
- [10] M. Sadli and S. Safwandi, "IMPLEMENTASI SISTEM CERDAS LEAST SQUARE DALAM MERAMALKAN PEMENUHAN KEBUTUHAN STOK LISTRIK DI KOTA LHOKSEUMAWE," *J. ECOTIPE*, vol. 4, no. 2, pp. 21–29, Oct. 2017, doi: 10.33019/ecotipe.v4i2.8.
- [11] M. A. Yusuf, T. Herman, A. Abraham, and H. Rukmana, "Analisis regresi linier sederhana dan berganda beserta penerapannya," *J. Educ.*, vol. 6, no. 2, pp. 13331–13344., 2024.
- [12] O. A. Kadang, V. A. Kumurur, and S. Supardjo, "ANALISIS KESESUAIAN LAHAN PERMUKIMAN DI KABUPATEN TORAJA UTARA," vol. 6, no. 3, 2019.
- [13] R. A. Subekti, "Studi Kelayakan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Di Desa Sukamaju Kabupaten Garut Jawa Barat," *J. Tek. Hidraul.*, vol. 6, no. 2, pp. 105–116, 2015, doi: 10.32679/jth.v6i2.515.
- [14] T. Saroinsong, A. Thomas, and A. N. Mekel, "PROSIDING: DESAIN DAN PEMBUATAN TURBIN ULIR ARCHIMEDES UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO," *Pros. Semin. Nas. Terap. Ris. Inov. Sentrinov Politek. Negeri Malang*, vol. 3, no. 3, pp. 159–168, Nov. 2017
- [15] Y. Siagian, "Implementasi Metode Least Square untuk Peramalan Pertumbuhan Penduduk pada Kabupaten Asahan.," *Semin. Nas. R. SENAR*, vol. 1, no. 1, pp. 375–380, 2018.



Penulis yang bernama lengkap Agre Aldo Palentek adalah anak pertama dari empat bersaudara lahir di Sa'dan Ballopasange' Kabupaten Toraja Utara Sulawesi Selatan pada Tanggal 02 Agustus 2002. Penulis menempuh pendidikan pertama di SD Negeri 4 Sa'dan pada tahun 2008 sampai lulus, pada tahun 2014 melanjutkan Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Bangkelekila' hingga lulus tahun 2017. Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan di SMA Negeri 7 Toraja Utara, Sulawesi Selatan pada tahun 2017 hingga lulus pada tahun 2020. Pada tahun 2021 penulis melanjutkan Pendidikan di

Universitas Sam Ratulangi Manado, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2023. Dalam menempuh Pendidikan, penulis telah melaksanakan Kerja Praktek di PLTA TONSEA LAMA pada bulan Juli sampai Oktober tahun 2024 yang berlokasi di Desa Tonsea Lama, Kecamatan Tondano Utara, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, dan mengikuti Kuliah Kerja Terpaduh (KKT) pada bulan November sampai Desember pada KKT Posko Kakaskasen III Kecamatan Tumohon Utara, Kota Tomohon, Sulawesi Utara. Kemudian pada bulan Maret sampai April tahun 2025 melakukan penelitian dan pengambilan data di PLN ULP Rantepao, Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Toraja Utara dan melakukan pengukuran Debit Air dari empat sungai yang ada di Toraja Utara. Penulis juga aktif di Himpunan Mahasiswa Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado dan mengikuti Kerukunan pemuda Toraja PKKT-BKM di Manado.