

Capability Of Renewable Energy Power Plants To Manage Load In The Minahasa System

Kemampuan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Dalam Memikul Beban Di Sistem Minahasa

Anggra E. H. Marjono, Glanny M. C. Mangindaan, Meita Rumbayan

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

e-mails : 18021103042@student.unsrat.ac.id , glanny_m@unsrat.ac.id , meitarumbayan@unsrat.ac.id

Abstract — The use of renewable energy in North Sulawesi is essential to provide for the growing demand for energy. Although the use of non-renewable energy is still dominant, the availability of resources is dwindling, making renewable energy the best alternative. The government should prioritize the use of renewable energy because in addition to reducing dependence on fossil fuels, it also promotes environmentally friendly energy. Long-term forecasting studies of the electric power and daily load from renewable energy power plants, show that in 2022 the load borne is 39%, exceeding the targets set for 2025 by 23% and 2050 by 31%. However, by 2030, the share of renewable energy drops to 24.61%. Without capacity addition, the share of renewable energy is expected to further decline to 12.62% in 2040 and 6.48% in 2050. Therefore, further efforts are needed to ensure sustainable renewable energy growth in North Sulawesi.

Keywords — Capability, Renewable Energy, Forecasting, Load

Abstrak — Penggunaan energi terbarukan di Sulawesi Utara sangat penting untuk menyediakan kebutuhan energi yang terus meningkat. Meskipun penggunaan energi tak terbarukan masih dominan, ketersediaan sumber daya semakin menipis, sehingga energi terbarukan menjadi alternatif yang terbaik. Pemerintah harus memprioritaskan penggunaan energi terbarukan karena selain mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, juga mempromosikan energi yang ramah lingkungan. Studi peramalan jangka panjang mengenai daya listrik dan beban harian dari pembangkit listrik energi terbarukan, menunjukkan bahwa pada tahun 2022 beban yang ditanggung adalah 39%, melebihi target yang ditetapkan untuk tahun 2025 sebesar 23% dan 2050 sebesar 31%. Namun, pada tahun 2030, pangsa energi terbarukan turun menjadi 24,61%. Tanpa penambahan kapasitas, pangsa energi terbarukan diperkirakan akan semakin menurun menjadi 12,62% pada tahun 2040 dan 6,48% pada tahun 2050. Oleh karena itu, diperlukan upaya lebih lanjut untuk memastikan pertumbuhan energi terbarukan yang berkelanjutan di Sulawesi Utara.

Kata kunci — Kemampuan, Energi Terbarukan, Peramalan, Beban

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan adalah sumber energi dari alam yang dapat diperbaharui secara bebas dan tidak terbatas. Tidak diragukan lagi, setiap orang membutuhkan sumber daya energi. Sumber daya, baik yang dapat diperbaharui maupun tidak, diperlukan untuk setiap aktivitas. Dengan pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk, penggunaan energi meningkat pesat. Dengan pertumbuhan teknologi yang cepat,

kebutuhan akan energi juga ikut meningkat. Energi listrik, sebagai hasil dari pemanfaatan kekayaan alam dan teknologi, memainkan peran penting dalam mewujudkan tujuan pembangunan negara.

Dengan kemajuan teknologi, dimasa depan menunjukkan pergeseran kebutuhan energi untuk kebutuhan hidup masyarakat. Namun demikian, penggunaan sumber energi yang terlalu masif berhasil mengganggu dan merusak lingkungan. Penggunaan energi fosil yang berlebihan telah menyebabkan perubahan dramatis pada lingkungan[9]. Akhirnya, pembuangan sumber energi menghasilkan polusi yang berbahaya bagi kesehatan. Untuk memperbaiki struktur energi negara dan mengurangi emisi karbon dioksida secara signifikan [11], telah menjadi konsensus para peneliti di bidang listrik untuk menyerap sumber daya terbarukan yang didistribusikan secara luas melalui peralatan pembangkit listrik terdistribusi.

Di Indonesia, kebanyakan energi tak terbarukan—terutama minyak bumi dan batu bara—masih banyak digunakan. Konversi bahan bakar fosil sebagai sumber energi dapat dicapai dengan mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan[12]. Karena dampak yang ditimbulkan terhadap kehidupan, termasuk lingkungan, masyarakat, dan ekonomi, sumber energi terbarukan semakin dipertimbangkan untuk digunakan sebagai alternatif dari sistem tenaga listrik konvensional[14]. Mengurangi penggunaan energi fosil dan menghasilkan energi yang bersih dan ramah lingkungan harus menjadi prioritas utama pemerintah Indonesia.

Sistem Minahasa merupakan sistem tenaga listrik dengan daerah pelayanan yang meliputi kota Manado, kota Tomohon, kota Bitung, Minahasa Utara, Minahasa Selatan, Minahasa Induk, Minahasa Tenggara, dan kota Kotamobagu dimana sistem bekerja secara terinterkoneksi. Dan sebagian besar Pembangkit Listrik masih memakai energi tak terbarukan yang dapat mencemari lingkungan. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Tentang Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2021–2030 menunjukkan penambahan energi terbarukan sebesar 51,6 persen di seluruh negeri, lebih tinggi dari

penambahan energi fosil sebesar 48,4 persen. Temuan-temuan dari penelitian ini akan memainkan peran penting dalam meningkatkan perencanaan operasional dan manajemen integrasi energi terbarukan ke dalam jaringan listrik, yang pada akhirnya akan memfasilitasi integrasi sumber energi terbarukan yang lebih efisien dan dapat diandalkan[13]. Oleh karena itu, kita dapat mengantisipasi bahwa secara bertahap kita akan beralih ke penggunaan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

A. Energi

Energi adalah sumber daya yang dapat digunakan untuk berbagai proses, seperti listrik, bahan bakar, energi mekanik, dan panas. Menurut Undang-undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, Bab I Ketentuan Umum Pasal 1 angka (1), energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja seperti panas, cahaya, mekanika, kimia, atau elektromagnetika. Energi harus dimaksimalkan sebagai sumber daya alam, dan pengelolannya harus mengacu pada prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, sumber daya energi adalah sumber daya alam yang dapat digunakan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan energi. Sumber daya energi terbagi menjadi dua berdasarkan sumber didapatnya, yaitu:

- 1) Energi Tak Terbarukan; Energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang berusia jutaan tahun disebut energi tak terbarukan. Fakta bahwa sumber daya memerlukan waktu yang lama untuk diganti setelah digunakan membuat energi ini dianggap sebagai tak terbarukan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa proses pembentukan sumber daya ini membutuhkan waktu yang lama dan sangat bergantung pada kondisi geologi di sekitarnya. Adapun contoh dari energi tak terbarukan sebagai berikut:
 - a) Batu Bara
 - b) Minyak Bumi
 - c) Gas Bumi
- 2) Energi Terbarukan; Menurut UU no 30 tahun 2007 tentang energi, energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber-sumber terbarukan seperti panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perubahan suhu lapisan laut. Energi terbarukan berasal dari sumber energi yang ramah lingkungan, sehingga tidak mencemari lingkungan dan tidak berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Contoh dari energi terbarukan:
 - a) Tenaga Surya
 - b) Tenaga Angin
 - c) Tenaga Air
 - d) Biomassa
 - e) Panas Bumi
 - f) Energi Arus Laut

B. Potensi Energi Terbarukan di Sulawesi Utara

Dengan potensi panas bumi sebesar 700 MW yang tersebar di Lahendong, Tompasso, dan Kotamobagu di bawah gunung Ambang, Sulawesi Utara memiliki sumber energi terbarukan yang cukup besar. Sebagian besar potensi panas bumi ini, sebesar 78 MW di unit Lahendong 1, 2, 3 dan 4, telah dieksploitasi baru-baru ini, tetapi potensi pengembangan panas

bumi dan tenaga air masih dapat dikembangkan, termasuk potensi tenaga air. Namun, setelah terbitnya PP No. 10/2010 dan PP No. 28/2011, PLN dan lembaga terkait berencana mengajukan usulan kepada Menteri Kehutanan untuk mengubah sebagian cagar alam gunung Ambang menjadi Taman Wisata Alam. PLN akan memiliki kemampuan untuk mengembangkan sumber energi terbarukan di wilayah ini dengan perubahan status lahan ini. PLTA dapat dikembangkan di Poigar II (30 MW), Poigar III (20 MW), dan Poigar IV (14 MW).. Penggunaan tenaga angin dan radiasi matahari adalah sumber energi terbarukan yang tersedia di kepulauan. Karena karakteristik tenaga angin yang cenderung tidak kontinu dan efektifitas radiasi matahari yang rendah, pengembangan sistem pembangkit *photovoltaic* dan tenaga bayu memerlukan desain khusus. Untuk alasan ini, pengembangan pembangkit di kepulauan yang akan datang akan memprioritaskan penggunaan sistem hybrid, yang terhubung dengan PLTD yang sudah ada.

Saat ini, bauran energi terbarukan di Sulawesi Utara sudah mencapai hampir 40%, melampaui target nasional rata-rata sebesar 25% pada tahun 2025. Sumber daya yang berkelanjutan adalah segmen utama untuk kemajuan[15], hal ini menunjukkan bahwa pemerintah juga menyadari pentingnya mengadopsi energi yang lebih ramah lingkungan dan menjadikan energi terbarukan sebagai sumber energi utama serta menggantikan energi konvensional, yang saat ini bertanggung jawab atas perekonomian daerah.

C. Beban Dalam Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik digunakan oleh berbagai peralatan yang membutuhkan tenaga listrik. Peralatan ini biasanya termasuk penerangan (lampu), beban daya (untuk motor listrik), pemanas, dan sumber daya peralatan elektronik. Namun, berdasarkan pelanggan, jenis beban umumnya dapat dikategorikan dalam kategori berikut:

- 1) Rumah Tangga (domestik atau residen), termasuk beban penerangan, kipas angin, pemanas, lemari es, kompor listrik, dan alat rumah tangga lainnya.
- 2) Bisnis, mencakup beban penerangan dan alat listrik lainnya yang digunakan di toko, restoran, dan lain-lain.
- 3) Umum/publik, mencakup pemakai yang tidak termasuk dalam ketiga lainnya, seperti pemakai gedung pemerintahan, penerangan jalan umum, dan pemakai kepentingan sosial.
- 4) Industri, yang mencakup industri kecil hingga industri besar, biasanya memiliki beban untuk motor listrik.

Faktor-faktor yang menentukan karakteristik beban yaitu sebagai berikut:

- 1) Faktor kebutuhan adalah perbandingan antara kebutuhan sistem maksimum dan total beban yang terpasang atau terhubung. Faktor kebutuhan tergantung pada jenis dan kegiatan konsumen serta lokasi dan sistem tenaga.
- 2) Faktor beban adalah perbandingan beban rata-rata selama periode waktu tertentu yang direncanakan terhadap beban puncak selama periode tersebut. Faktor beban hanya mengukur variasi dan tidak menggambarkan kurva durasi yang tepat.

- 3) Faktor penggunaan adalah perbandingan antar beban maksimum (puncak) terhadap kapasitas terpasang.

D. Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik

Perkiraan atau peramalan pada dasarnya adalah dugaan atau perkiraan tentang apa yang akan terjadi di masa depan. Perkiraan dapat bersifat kualitatif (tanpa angka) atau kuantitatif. Karena variabel sangat mirip, perkiraan kualitatif sulit dilakukan untuk menghasilkan hasil yang baik. Perkiraan tunggal (*point forecast*) dan perkiraan selang (*interval forecast*) adalah dua bagian dari perkiraan kuantitatif. Sementara perkiraan selang terdiri dari beberapa nilai, perkiraan tunggal hanya terdiri dari satu nilai. Suatu (*interval*), atau perkiraan, dibatasi oleh nilai batas bawah (perkiraan batas bawah), dan batas atas (perkiraan tinggi). Salah satu kelemahan perkiraan tunggal adalah bahwa nilai yang diperoleh hanyalah representasi dari seberapa jauh nilai perkiraan atau nilai sebenarnya berbeda. Perkiraan selang digunakan untuk mengurangi kesalahan hasil perkiraan dibandingkan dengan keadaan sebenarnya.

Perkiraan/peramalan di bidang tenaga listrik pada dasarnya adalah peramalan kebutuhan tenaga listrik dan ramalan beban listrik; keduanya disebut sebagai *Demand and Load Forecasting*. Hasil peramalan ini digunakan untuk membuat rencana untuk memenuhi kebutuhan dan mengembangkan pasokan listrik yang memadai dan terus-menerus.

Dalam merencanakan kebutuhan listrik, kita tidak boleh mengabaikan faktor-faktor yang berpengaruh di luar industri listrik, termasuk pertumbuhan ekonomi, perkembangan penduduk, rencana pengembangan daerah, pertumbuhan industri, dan kebijakan pemerintah pusat dan daerah. Diharapkan bahwa hasil perkiraan akan mendekati kebenaran jika faktor-faktor tersebut dapat diperhitungkan secara menyeluruh. Namun, tidak semua faktor tersebut dibahas secara menyeluruh dan digunakan sebagai variabel perhitungan perkiraan.

1) Metode Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik

- a) Metode Analitis (*End Use*); Metode ini didasarkan pada data dan analisis penggunaan akhir dari setiap sektor pemasok tenaga listrik. Prinsip dasar metode analitis adalah menghitung pemakaian tenaga listrik setiap pelanggan secara menyeluruh. Oleh karena itu, metode ini dikenal sebagai *end use* karena metode ini memerlukan perhitungan penjualan tenaga listrik untuk mengetahui jenis dan jumlah peralatan listrik yang digunakan, serta konsumsi spesifik dari setiap jenis peralatan. Keuntungan dari metode ini adalah bahwa hasil perkiraan dapat dengan lebih akurat mensimulasikan penggunaan tenaga listrik di masyarakat, serta evolusi teknologi, dan kebiasaan pengguna. Keunggulannya terletak pada kemampuan untuk menyediakan sejumlah besar data, yang kadang-kadang tidak tersedia atau sulit diperoleh di pusat data.
- b) Metode Ekonometri; Metode ini didasarkan pada teori dan statistik ekonomi untuk menunjukkan bahwa energi listrik memiliki peran dalam mendorong kegiatan perekonomian. Dengan mempertimbangkan

ketersediaan data yang mendukung, model hubungan matematis yang menggambarkan asumsi di atas dengan metode ekonometri dapat dibuat. Hubungan matematis antara model diukur dan diuji menggunakan metode analisis regresi. Estimasi yang diperoleh dari analisis ini digunakan untuk membuat perkiraan.

- c) Metode Kecenderungan (Black Box); Metode ini juga dikenal sebagai metode tren, dan didasarkan pada kecenderungan data masa lalu tanpa mempertimbangkan faktor penyebabnya (teknologi, iklim, ekonomi, dan lain-lain). Karena data sebelumnya dibuat sebagai fungsi dari waktu menggunakan persamaan matematik, metode ini biasanya digunakan untuk perkiraan jangka pendek.
 - d) Metode Gabungan; dari ketiga metode, yaitu analitis, ekonometri, dan kecenderungan yang disebutkan sebelumnya, masing-masing memiliki keunggulan dan kekurangannya sendiri. Banyak perusahaan listrik mulai menggunakan metode kombinasi setelah mengetahui kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode. Untuk menemukan metode yang mampu beradaptasi dengan perubahan harga listrik, gaya penggunaan yang berbeda, kemajuan teknologi, keputusan pemerintah, dan faktor sosiogeografi, setiap saat, perkiraan tenaga listrik harus dikoreksi dan disesuaikan dengan kondisi pertumbuhan situasi yang sebenarnya.
- ##### 2) Parameter-Parameter Yang Diperkirakan
- Dalam penyusunan perkiraan kebutuhan energi listrik ini, parameter yang diperkirakan adalah sebagai berikut:
- a) Perkiraan jumlah penduduk dan jumlah rumah tangga,
 - b) Perkiraan jumlah pelanggan rumah tangga, komersial, publik, dan industri,
 - c) Perkiraan daya tersambung untuk pelanggan rumah tangga, komersial, publik, dan industri,
 - d) Perkiraan konsumsi energi untuk pelanggan rumah tangga, komersial, publik, dan industri.
 - e) Perkiraan kebutuhan energi total dan beban puncak.

E. Peramalan Beban

Peramalan biasanya diklasifikasikan berdasarkan jangka waktu yang akan datang. Terdapat berbagai kategori horizon waktu (Heizer dan Render, 2009).

- 1) Peramalan jangka pendek. Peramalan ini meliputi jangka waktu hingga satu tahun, tetapi umumnya kurang dari tiga bulan.
- 2) Peramalan jangka menengah. Peramalan jangka menengah atau intermediate umumnya mencakup hitungan bulan hingga tiga tahun.
- 3) Peramalan jangka panjang. Umumnya untuk perencanaan di atas satu tahun.

Tujuan peramalan bila dilihat dengan waktu:

- 1) Jangka Pendek (*Short Term*); menentukan berapa lama dan berapa banyak produk yang produksi. Biasanya diadakan setiap hari atau setiap minggu dan ditentukan oleh *Low Management*.
- 2) Jangka Menengah (*Medium Term*); mengacu pada kapasitas

untuk membuat produk dalam jumlah dan waktu yang tepat. Biasanya berlangsung setiap bulan atau setiap kuartal, dan keputusan dibuat oleh *Middle Management*.

- 3) Jangka Panjang (*Long Term*); merencanakan kuantitas dan waktu produksi. Biasanya berlangsung selama tahunan, 5 tahun, 10 tahun, atau 20 tahun, dan diputuskan oleh *Top Management*.

Pembangkit listrik harus "memikul" beban listrik. Beban listrik, dalam konteks aplikasi sehari-hari, adalah peralatan yang membutuhkan daya listrik untuk beroperasi. Untuk memperkirakan perubahan beban listrik yang diminta konsumen, perkiraan atau peramalan beban listrik menggunakan teori peramalan. Di bidang tenaga listrik, peramalan biasanya terdiri dari peramalan beban (*load forecasting*), yang mencakup peramalan beban puncak (MW) dan peramalan kebutuhan energi (*demand forecasting*). Rencana untuk memenuhi kebutuhan dan pengembangan penyediaan tenaga listrik yang cukup dan konsisten dibuat berdasarkan hasil perkiraan dan peramalan ini.

Tempat, jumlah penduduk, standar kehidupan, rencana pembangunan, dan pengembangan masa depan daerah memengaruhi jumlah tenaga listrik yang diperlukan. Dengan demikian, perkiraan dan peramalan yang tidak tepat dalam kebutuhan tenaga listrik dapat menyebabkan kapasitas pembangkitan tidak mencukupi untuk memenuhi permintaan konsumen. Sebaliknya, jika perkiraan permintaan terlalu besar, pembangkitan akan mengalami kelebihan, yang merupakan pemborosan.

F. Perhitungan Peramalan

- 1) Jumlah Penduduk

$$P_t = P_{t-1} \times (1 + i)^t \dots\dots\dots(2-1)$$

Dengan:

- P_t : jumlah penduduk tahun ke-t
- P(t-1) : jumlah penduduk tahun ke t-1
- i : pertumbuhan penduduk dalam %
- t : waktu dalam tahun

- 2) Jumlah Rumah Tangga

$$H_t = \frac{P_t}{Q} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan:

- H_t : jumlah rumah tangga pada tahun ke-t
- P_t : jumlah penduduk pada tahun ke t-1
- Q : jumlah penghuni per rumah tangga tahun ke t

- 3) Pelanggan Rumah Tangga

$$Pel.R_t = H_t \times RE_t \dots\dots\dots(2-3)$$

Dengan:

- Pel. R_t : pelanggan rumah tangga pada tahun ke-t
- H_t : jumlah rumah tangga pada tahun ke-t
- RE_t : Rasio Elektrifikasi pada tahun ke-t

- 4) Daya Tersambung Rumah Tangga

$$VAR_t = VAR_{t-1} + \Delta Pel.R_t \times VR \dots\dots\dots(2-4)$$

Dengan:

- VAR_t : daya tersambung rumah tangga tahun ke-t
- ΔPel. R_t : selisih penambahan pelanggan rumah tangga tahun ke-t
- VR : daya tersambung / pelanggan rumah tangga baru

- 5) Konsumsi Energi Rumah Tangga

$$EKR_t = \frac{\left\{ EKR_{t-1} \times \left(1 + \varepsilon ER \times \frac{G_T}{1000} \right) \right\} \times Pel.R_t + (\Delta Pel.R_t \times UR)}{Pel.R_t} \dots\dots\dots(2-5)$$

Dengan:

- EKR_t : rata-rata konsumsi / pelanggan pada tahun ke-t
- εER : elastisitas energi rumah tangga
- G_T : pertumbuhan PDRB total tahun ke-t
- ΔPel. R_t : selisih penambahan pelanggan rumah tangga tahun ke-t
- UR : konsumsi energi / pelanggan rumah tangga baru

- 6) Pelanggan Bisnis

$$Pel.B_t = Pel.B_{t-1} \times \left[1 + \frac{\left\{ \varepsilon Pel.B \times \left(\frac{Pel.R_t}{Pel.R_{t-1}} \right) \times 100 \right\}}{100} \right] \dots\dots\dots(2-6)$$

Dengan:

- Pel. B_t : pelanggan bisnis pada tahun ke-t
- εPel. B : elastisitas pelanggan bisnis
- Pel. B_{t-1} : pelanggan bisnis pada tahun ke t-1

- 7) Daya Tersambung Bisnis

$$VAB_t = VAB_{t-1} + (\Delta Pel.B_t \times VB) \dots\dots\dots(2-7)$$

Dengan:

- VAB_t : daya tersambung bisnis pada tahun ke-t
- VAB_{t-1} : daya tersambung bisnis pada tahun ke t-1
- ΔPel. B_t : selisih penambahan pelanggan bisnis pada tahun ke-t
- VB : daya tersambung / pelanggan bisnis baru

- 8) Konsumsi Energi Bisnis

$$EB_t = EB_{t-1} \times \left(1 + \varepsilon EB \times \frac{GB_t}{100} \right) \dots\dots\dots(2-8)$$

Dengan:

- EB_t : konsumsi energi bisnis pada tahun ke-t

EB_{t-1} : konsumsi energi bisnis pada tahun ke t-1
 εEB : elastisitas energi bisnis
 GB_t : pertumbuhan PDRB sektor bisnis pada tahun ke-t

VI_t : daya tersambung / pelanggan industri baru
 VKB_t : daya tersambung konsumen besar baru tahun ke-t
 $VCTO_t$: daya *captive power* yang diserap PLN pada tahun ke-t

9) Pelanggan Umum

$$Pel.U_t = Pel.U_{t-1} \times \left[1 + \frac{\left\{ \varepsilon Pel.U \times \left(\frac{Pel.R_t}{Pel.R_{t-1}} \right) \times 100 \right\}}{100} \right] \dots(2-9)$$

Dengan:
 $Pel.U_t$: pelanggan umum pada tahun ke-t
 $Pel.U_{t-1}$: pelanggan umum pada tahun ke t-1
 $\varepsilon Pel.U$: elastisitas pelanggan umum

10) Daya Tersambung Umum

$$VAU_t = VAU_{t-1} + (\Delta Pel.U_t \times VU) \dots\dots\dots(2-10)$$

Dengan:
 VAU_t : daya tersambung umum pada tahun k-t
 VAU_{t-1} : daya tersambung umum pada tahun ke t-1
 $\Delta Pel.U_t$: selisih penambahan pelanggan umum pada tahun ke-t
 VU : daya tersambung / pelanggan bisnis baru

11) Konsumsi Energi Umum

$$EU_t = EU_{t-1} \times \left(1 + \varepsilon EU \times \frac{GU_t}{100} \right) \dots\dots\dots(2-11)$$

Dengan:
 EU_t : konsumsi energi umum pada tahun ke-t
 EU_{t-1} : konsumsi energi umum pada tahun ke t-1
 εEU : elastisitas energi umum

12) Pelanggan Industri

$$Pel.I_t = Pel.I_{t-1} \times \left(1 + \varepsilon Pel.I \frac{GI_t}{100} \right) \dots\dots\dots(2-12)$$

Dengan:
 $Pel.I_t$: pelanggan industri pada tahun ke-t
 $Pel.I_{t-1}$: pelanggan industri pada tahun ke t-1
 GI_t : pertumbuhan PDRB sector industri tahun ke-t
 $\varepsilon Pel.I$: elastisitas energi industri

13) Daya Tersambung Industri

$$VAI_t = VAI_{t-1} + \Delta Pel.I_t + VKB_t + VCTO_t \dots\dots\dots(2-13)$$

Dengan:
 VAI_t : daya tersambung pada industri tahun ke-t
 VAI_{t-1} : daya tersambung pada industri tahun ke t-1
 $\Delta Pel.I_t$: selisih penambahan pelanggan industri pada tahun ke-t

Untuk memudahkan perhitungan (2-13), pelanggan besar dan kecil diabaikan perbedaannya. Selain itu, daya *captive* yang diserap PLN dianggap tidak ada, yang berarti pelanggan industri keseluruhannya menggunakan daya pasokan dari PLN. Akibatnya, parameter VKB_t dan VCO_t pada persamaan diatas dapat diabaikan.

14) Konsumsi Energi Industri

$$EI_t = EI_{t-1} \times \left(1 + \varepsilon EI \times \frac{GI_t}{100} \right) + ECTO_t \dots\dots(2-14)$$

Dengan:
 EI_t : konsumsi energi industri pada tahun ke-t
 EI_{t-1} : konsumsi energi industri pada tahun ke t-1
 εEI : elastisitas energi industri
 GI_t : pertumbuhan PDRB sektor industri pada tahun ke-t
 $ECTO_t$: energi *captive power* yang diserap PLN pada tahun ke-t

15) Konsumsi Energi Total

$$ET_t = ER_t + EB_t + EU_t + EI_t \dots\dots\dots(2-15)$$

Dengan:
 ET_t : total konsumsi energi listrik tahun ke-t
 ER_t : konsumsi energi sektor rumah tangga tahun ke-t
 EB_t : konsumsi energi sektor bisnis tahun ke-t
 EU_t : konsumsi energi sektor umum tahun ke-t
 EI_t : konsumsi energi sektor industri tahun ke-t

16) Rasio Elektrifikasi

$$RE_t = \frac{JP_t}{JR_t} \times 100\% \dots\dots\dots(2-16)$$

Dengan:
 RE_t : rasio elektrifikasi tahun t
 JP_t : jumlah pelanggan rumah tangga tahun t
 JR_t : jumlah rumah tangga tahun t

Untuk mencari nilai peramalan elektrifikasi suatu daerah dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$RE_t = RE_{t-1} \times \left(1 + \left(\frac{g_r}{100} \right) \right) \dots\dots\dots(2-17)$$

Dengan:
 RE_t : rasio elektrifikasi tahun t
 RE_{t-1} : rasio elektrifikasi tahun t-1
 g_r : laju pertumbuhan rata-rata rasio elektrifikasi

Untuk mencari laju pertumbuhan rasio elektrifikasi setiap tahun dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$G_t = \left(\frac{RE_t - RE_{t-1}}{RE_{t-1}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2-18)$$

Dengan:

RE_t : rasio elektrifikasi tahun t

RE_{t-1} : rasio elektrifikasi tahun t-1

G_t : laju pertumbuhan rasio elektrifikasi tahun t

Maka untuk mencari laju pertumbuhan rata-rata rasio elektrifikasi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$g_r = \frac{\Sigma G_t}{n} \dots\dots\dots(2-19)$$

Dengan:

g_r : laju pertumbuhan rata-rata rasio elektrifikasi

N : jumlah tahun

ΣG_t : penjumlahan laju pertumbuhan rasio elektrifikasi tahun t

17) Elastisitas Energi

$$eEX = \frac{Pel}{G_T} \dots\dots\dots(2-20)$$

Dengan:

eEX : elastisitas energi

Pel : jumlah pertumbuhan pelanggan per sektor

G_T : pertumbuhan PDRB

II. DATA DAN PERHITUNGAN

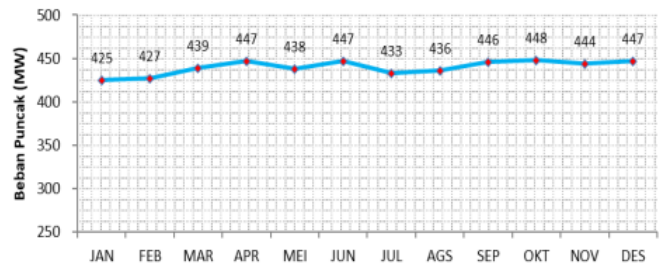
Berikut merupakan data pembangkit listrik energi terbarukan yang sudah mensuplai daya di Sistem Minahasa yang terdapat pada tabel I. Keseluruhan pembangkit tersebut sudah mensuplai daya dan membantu memikul beban tenaga listrik yang ada di Sistem Minahasa. Data yang ada diperoleh dari dokumen statistik PLN, dan juga dari ROT Sulawesi Utara yang diterbitkan oleh PT. PLN (Persero) yang digunakan oleh pihak UPDK Minahasa yang melayani pembangkitan yang ada di Sistem Minahasa.

TABEL I DATA PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN DI SISTEM MINAHASA

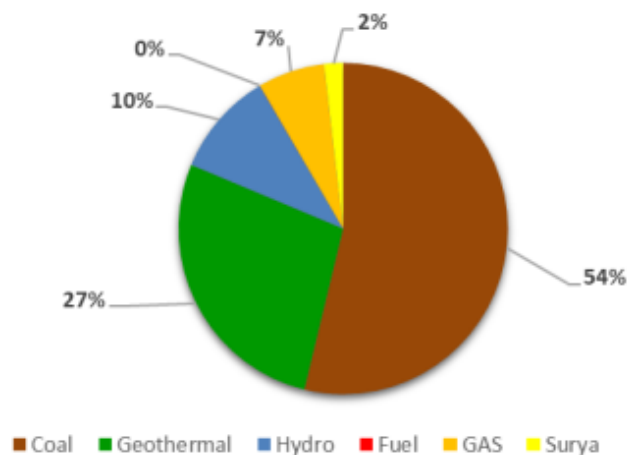
No.	Data Pembangkit	Daya Terpasang (KW)	Daya Mampu (KW)
1	PLTA Tonsealama	12.000	12.000
2	PLTA Tanggari 1	18.000	18.000
3	PLTA Tanggari 2	19.000	19.000
4	PLTP Lahendong 1	18.500	18.500

No.	Data Pembangkit	Daya Terpasang (KW)	Daya Mampu (KW)
5	PLTP Lahendong 2	19.100	19.200
6	PLTP Lahendong 3	18.400	19.000
7	PLTP Lahendong 4	18.900	19.100
8	PLTM Poigar	2.400	2.400
9	PLTM Mongango	1.200	1.050
10	PLTM Mobuya	3.000	3.000
11	PLTM Taludaa	5.000	5.000
12	PLTM Bonebolango	10.000	10.000
13	PLTP Lahendong 5	20.000	20.510
14	PLTP Lahendong 6	20.000	20.460
15	PLTS Likupang	15.000	15.000
16	PLTS Isimu	10.000	10.000
17	PLTS Sumalata	2.000	1.600
18	PLTM Tenga	250	200
19	PLTM Lobong	1.600	1.400
20	PLTS Pulubala	45	18

Gambar I dibawah merupakan data grafik kurva beban bulanan di tahun 2022, yang tertera seperti pada gambar bahwa beban puncak tertinggi nilainya adalah 448 MW yang terjadi pada bulan Oktober.



Gambar I Kurva Beban Puncak Bulanan Tahun 2022 Sumber: ROT Sulawesi Utara Tahun 2023



Gambar II Komposisi Pembebanan Per Jenis Pembangkit di Tahun 2022 Sumber: ROT Sulawesi Utara Tahun 2023

Gambar II diatas merupakan data grafik komposisi pembebanan per jenis pembangkit yang memikul beban di Sistem Minahasa di tahun 2022. Menurut data yang didapat pada gambar bahwa 54% pembebanan yang dipikul adalah dari pembangkit listrik yang menggunakan batubara, sedangkan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan totalnya hanya sebesar 39%.

Tabel II dibawah merupakan data jumlah penduduk yang ada di Sulawesi Utara dari tahun 2018 hingga tahun 2022 [2] yang akan digunakan dalam perhitungan peramalan hingga tahun 2050 nanti.

TABEL II JUMLAH PENDUDUK

Tahun	Jumlah Penduduk	Persentase Pertambahan Penduduk (%)
2018	2.484.392	-
2019	2.506.981	0,91
2020	2.621.923	4,58
2021	2.638.631	0,64
2022	2.659.643	0,80
Rata-Rata Laju Pertambahan Penduduk		1,73

TABEL III JUMLAH RUMAH TANGGA

Tahun	Jumlah Rumah Tangga	Rata Penghuni Rumah Tangga (%)
2018	635.243	3.7
2019	655.234	3.9
2020	681.465	3.7
2021	710.836	3.5
2022	735.374	3.5
Rata-Rata Jumlah Penduduk Perumah Tangga		3.66

TABEL IV JUMLAH PELANGGAN LISTRIK DI SULAWESI UTARA

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Umum	Industri	Jumlah
2018	618013	25759	19369	410	663551
2019	646300	26424	20376	439	693539
2020	676465	27078	21400	453	725396
2021	705888	27806	23398	501	757593
2022	730420	28596	24094	513	783623
Rata-rata	675417	27132	21727	463	724740

Tabel III diatas merupakan data jumlah rumah tangga yang ada di Sulawesi Utara dari tahun 2018 hingga tahun 2022[2] yang akan digunakan dalam perhitungan peramalan hingga tahun 2050 nanti. Tabel IV diatas merupakan data jumlah pelanggan listrik di Sulawesi Utara dari tahun 2018 hingga tahun 2022[2] yang juga akan digunakan dalam perhitungan peramalan hingga tahun 2050 nanti. Tabel V dibawah merupakan data jumlah daya tersambung di Sulawesi Utara dari tahun 2018 hingga tahun 2022[3] yang akan digunakan dalam perhitungan peramalan hingga tahun 2050 nanti.

TABEL V DAYA TERSAMBUNG DI SULAWESI UTARA

Tahun	Rumah Tangga (MVA)	Bisnis (MVA)	Umum (MVA)	Industri (MVA)	Jumlah
2018	545,74	257,6	94,57	112,18	1010,09
2019	587,01	269,17	101,67	120,39	1078,24
2020	642,34	270,91	110,9	132,33	1156,48
2021	693,45	281,29	120,45	14,66	1240,85
2022	732,69	289,47	131,16	150,14	1303,46
Rata-rata	640,246	273,688	111,75	132,14	1157,82

TABEL VI KONSUMSI ENERGI DI SULAWESI UTARA

Tahun	Rumah Tangga (GWh)	Bisnis (GWh)	Umum (GWh)	Industri (GWh)	Jumlah
2018	812.46	428.11	162.28	274.04	1676.89
2019	854.68	437.2	168.4	320.89	1781.17
2020	931.93	395.85	164.6	369.9	1862.28
2021	970.99	405.97	178.81	384.49	1940.26
2022	960.2	428.72	182.65	394.48	1966.05
Rata-rata	906.052	419.17	171.348	348.76	1845.33

TABEL VII PERTUMBUHAN EKONOMI PROVINSI SULAWESI UTARA

Tahun	Pertumbuhan PDRB
2018	6.00%
2019	5.65%
2020	-0.99%
2021	4.16%
2022	5.42%
Rata-Rata	4.05%

Tabel VI diatas merupakan data jumlah konsumsi energi yang ada di Sulawesi Utara dari tahun 2018 hingga tahun 2022[2] yang akan digunakan dalam perhitungan peramalan hingga tahun 2050 nanti. Tabel VII[2] diatas merupakan data pertumbuhan ekonomi di Sulawesi Utara yang akan digunakan dalam perhitungan sebagai salah satu faktor dalam melakukan perhitungan peramalan.

A. Perhitungan Peramalan Jumlah Penduduk

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah penduduk total dengan menggunakan persamaan (2-1). Dengan melihat tabel 2 data jumlah penduduk di Sulawesi Utara, maka nilai pertumbuhan penduduk adalah 1,73%. Berdasarkan data yang sudah diketahui maka perhitungan untuk mencari nilai perkiraan jumlah penduduk adalah sebagai berikut:

$$P_{2023} = P_{2022} \times (1+i)^{2023-2022}$$

$$P_{2023} = 265,943 \times (1+1.73\%)^1$$

$$P_{2023} = 2,705,706 \text{ Jiwa}$$

B. Perhitungan Peramalan Jumlah Rumah Tangga

Secara matematis untuk menentukan perkiraan jumlah rumah tangga adalah dengan menggunakan persamaan (2-2). Berdasarkan data yang sudah diketahui jumlah penghuni per rumah tangga yaitu adalah 4, maka perhitungan untuk mencari nilai perkiraan jumlah rumah tangga adalah sebagai berikut:

$$H_{2023} = \frac{P_{2023}}{Q}$$

$$H_{2023} = \frac{2705706}{3.66}$$

$$H_{2023} = 739264$$

C. Perhitungan Peramalan Pelanggan Setiap Sektor

1) Sektor Rumah Tangga

Sebelum mencari nilai jumlah pelanggan rumah tangga, terlebih dahulu harus mencari nilai rasio elektrifikasi di Sulawesi Utara. Untuk mencari nilai rasio elektrifikasi suatu daerah dapat menggunakan persamaan (2-16) sebagai berikut:

$$RE_{2018} = \frac{JP_{2018}}{JR_{2018}} \times 100\%$$

$$RE_{2018} = \frac{618.013}{635.243} \times 100\%$$

$$RE_{2018} = 97,29\%$$

Laju pertumbuhan rasio elektrifikasi setiap tahun dapat dicari menggunakan persamaan (2-18). Maka nilai laju pertumbuhan rasio elektrifikasi pada tahun 2019 adalah:

$$G_{2019} = \frac{RE_{2019} - RE_{2018}}{RE_{2018}} \times 100\%$$

$$G_{2019} = \frac{98.64 - 97.29}{97.29} \times 100\%$$

$$G_{2019} = 1.39\%$$

Maka laju pertumbuhan rata-rata rasio elektrifikasi adalah:

$$g_r = \frac{\sum G_t}{n}$$

$$g_r = \frac{(4.44 + 1.39 + 0.64 + 0.04 + 0.02)}{5}$$

$$g_r = 1.31\%$$

Setelah nilai yang dibutuhkan terpenuhi, maka untuk mencari nilai perkiraan rasio elektrifikasi di Sulawesi Utara dapat dihitung dengan persamaan (2-19). Maka nilai perkiraan rasio elektrifikasi tahun 2023-2027 dapat dilihat pada tabel VIII.

Jumlah pelanggan rumah tangga dapat dihitung berdasarkan rasio elektrifikasi yang telah diramalkan. Secara matematis, kita dapat menemukan perkiraan jumlah pelanggan rumah tangga pada tahun 2023 dengan menggunakan persamaan (2-3). Dengan demikian, perkiraan jumlah pelanggan rumah tangga pada tahun 2023 adalah:

TABEL VIII RASIO ELEKTRIFIKASI TAHUN 2023-2027

No.	Tahun	RE (%)
1	2023	99.34
2	2024	99.35
3	2025	99.37
4	2026	99.38
5	2027	99.39

$$Pel.R_{2023} = H_{2023} \times RE_{2023}$$

$$Pel.R_{2023} = 739264 \times 99.34\%$$

$$Pel.R_{2023} = 734380$$

2) Sektor Bisnis

Secara matematis untuk menentukan perkiraan jumlah pelanggan bisnis menggunakan persamaan (2-6). Sebelum itu kita perlu mencari nilai elastisitas untuk setiap sektor, dan untuk mencari nilai elastisitas setiap sektor pelanggan yang belum diketahui, dapat menggunakan persamaan (2-20). Maka elastisitas pelanggan setiap sektor adalah sebagai berikut:

Elastisitas pelanggan bisnis:

$$\varepsilon Pel.B = \frac{PPel.B}{G_t}$$

$$\varepsilon Pel.B = \frac{2.92\%}{4.05\%}$$

$$\varepsilon Pel.B = 0.72\%$$

Elastisitas pelanggan umum:

$$\varepsilon Pel.U = \frac{PPel.U}{G_t}$$

$$\varepsilon Pel.U = \frac{5.89\%}{4.05\%}$$

$$\varepsilon Pel.U = 1.45\%$$

Elastisitas pelanggan industri:

$$\varepsilon_{Pel.I} = \frac{PPel.I}{G_t}$$

$$\varepsilon_{Pel.I} = \frac{5.25\%}{4.05\%}$$

$$\varepsilon_{Pel.I} = 1.30\%$$

Setelah mendapatkan nilai elastisitas, untuk mencari nilai jumlah pelanggan bisnis maka dapat menggunakan persamaan (2-6) berikut:

$$Pel.B_{2023} = Pel.B_{2022} \times \left[1 + \frac{\left\{ \varepsilon_{Pel.B} \times \left(\frac{Pel.R_{2023}}{Pel.R_{2022}} \right) \times 100 \right\}}{100} \right]$$

$$Pel.B_{2023} = 28596 \times \left[1 + \frac{\left\{ 0.72 \times \left(\frac{734380}{730420} \right) \times 100 \right\}}{100} \right]$$

$$Pel.B_{2023} = 28804$$

3) Sektor Umum

Perkiraan/peramalan pelanggan publik ditentukan dengan persamaan (2-9). Berdasarkan persamaan diatas maka jumlah pelanggan publik dapat diketahui sebagai berikut:

$$Pel.U_{2023} = Pel.U_{2022} \times \left[1 + \frac{\left\{ \varepsilon_{Pel.U} \times \left(\frac{Pel.R_{2023}}{Pel.R_{2022}} \right) \times 100 \right\}}{100} \right]$$

$$Pel.U_{2023} = 24094 \times \left[1 + \frac{\left\{ 1.45 \times \left(\frac{734380}{730420} \right) \times 100 \right\}}{100} \right]$$

$$Pel.U_{2023} = 24622$$

4) Sektor Industri

Perkiraan pelanggan industri ditentukan dengan persamaan (2-12). Berdasarkan persamaan diatas maka jumlah pelanggan industri dapat diketahui sebagai berikut:

$$Pel.I_{2023} = Pel.I_{2022} \times \left[1 + \left\{ \varepsilon_{Pel.I} \times \frac{G_t}{100} \right\} \right]$$

$$Pel.I_{2023} = 513 \times \left[1 + \left\{ 1.30 \times \frac{4.05}{100} \right\} \right]$$

$$Pel.I_{2023} = 513$$

D. Perhitungan Peramalan Daya Tersambung Setiap Sektor

1) Sektor Rumah Tangga

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah daya tersambung pelanggan rumah tangga adalah dengan menggunakan persamaan (2-4), maka jumlah daya tersambung adalah sebagai berikut:

$$VAR_{2023} = VAR_{2022} + \Delta Pel.R_{2023-2022} \times VR$$

$$VAR_{2023} = 732.69MVA + (734380 - 730420) \times 0.000997698379$$

$$VAR_{2023} = 732.69MVA + (3960 \times 0.000997698379)$$

$$VAR_{2023} = 732.69MVA + 3.95088701$$

$$VAR_{2023} = 736.640887MVA$$

2) Sektor Bisnis

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah daya tersambung pelanggan bisnis adalah dengan menggunakan persamaan (2-7), maka jumlah daya tersambung adalah sebagai berikut:

$$VAB_{2023} = VAB_{2022} + \Delta Pel.B_{2023-2022} \times VB$$

$$VAB_{2023} = 289.47MVA + (28804 - 28596) \times 0.0100496459$$

$$VAB_{2023} = 289.47MVA + (208 \times 0.0100496459)$$

$$VAB_{2023} = 289.47MVA + 2.09032635$$

$$VAB_{2023} = 291.560326MVA$$

3) Sektor Umum

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah daya tersambung pelanggan umum adalah dengan menggunakan persamaan (2-10), maka jumlah daya tersambung adalah sebagai berikut:

$$VAU_{2023} = VAU_{2022} + \Delta Pel.U_{2023-2022} \times VU$$

$$VAU_{2023} = 131.16MVA + (24446 - 24094) \times 0.00536529494$$

$$VAU_{2023} = 131.16MVA + (352 \times 0.00536529494)$$

$$VAU_{2023} = 131.16MVA + 1.88858382$$

$$VAU_{2023} = 133.048584MVA$$

4) Sektor Industri

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah daya tersambung pelanggan industri adalah dengan menggunakan persamaan (2-13), maka jumlah daya tersambung adalah sebagai berikut:

$$VAI_{2023} = VAI_{2022} + \Delta Pel.I_{2023-2022} \times VI$$

$$VAI_{2023} = 150.14MVA + (513 - 513) \times 0.292670565$$

$$VAI_{2023} = 150.14MVA + (0 \times 0.292670565)$$

$$VAI_{2023} = 150.14MVA + 0$$

$$VAI_{2023} = 150.14MVA$$

E. Perhitungan Peramalan Konsumsi Energi Setiap Sektor

1) Sektor Rumah Tangga

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah konsumsi energi pelanggan rumah tangga adalah dengan menggunakan persamaan (2-5), maka jumlah konsumsi energi adalah sebagai berikut:

$$EKR_{2023} = \frac{\left[EKR_{2022} \times \left(1 + \varepsilon ER \times \frac{G_T}{1000} \right) \times Pel.R_{2023} + (\Delta Pel.R_{2023-2022} \times UR) \right]}{Pel.R_{2023}}$$

$$EKR_{2023} = \frac{\left[0.001040 \times \left(1 + 1.11 \times \frac{4.05}{1000} \right) \times 734380 + (3960 \times 0.001307) \right]}{734380}$$

$$EKR_{2023} = 970.6268552 GWh$$

2) Sektor Bisnis

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah konsumsi energi pelanggan bisnis adalah dengan menggunakan persamaan (2-8), maka jumlah konsumsi energi adalah sebagai berikut:

$$EB_{2023} = EB_{2022} \times \left(1 + \varepsilon EB \times \frac{G_T}{100} \right)$$

$$EB_{2023} = 428.72 \times \left(1 + 2.07 \times \frac{4.05}{100} \right)$$

$$EB_{2023} = 429.080 GWh$$

3) Sektor Umum

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah konsumsi energi pelanggan umum adalah dengan menggunakan persamaan (2-11), maka jumlah konsumsi energi adalah sebagai berikut:

$$EU_{2023} = EU_{2022} \times \left(1 + \varepsilon EU \times \frac{G_T}{100} \right)$$

$$EU_{2023} = 182.65 \times \left(1 + 1.66 \times \frac{4.05}{100} \right)$$

$$EU_{2023} = 182.773 GWh$$

4) Sektor Industri

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah konsumsi energi pelanggan industri adalah dengan menggunakan persamaan (2-14), maka jumlah konsumsi energi adalah sebagai berikut:

$$EI_{2023} = EI_{2022} \times \left(1 + \varepsilon EI \times \frac{G_T}{100} \right)$$

$$EI_{2023} = 394.48 \times \left(1 + 3.30 \times \frac{4.05}{100} \right)$$

$$EI_{2023} = 395.008 GWh$$

5) Konsumsi Energi Total

Secara matematis untuk menentukan peramalan jumlah konsumsi energi total adalah dengan menggunakan persamaan (2-15), maka jumlah konsumsi energi total adalah sebagai berikut:

$$ET_t = ER_t + EB_t + EU_t + EI_t$$

$$ET_{2023} = 970.63 + 429.08 + 182.77 + 395.01$$

$$ET_{2023} = 1977.49 GWh$$

III. HASIL DAN ANALISA

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan di bab sebelumnya, diperoleh hasil data pada tabel-tabel berikut ini:

A. Hasil Peramalan Jumlah Pelanggan Tiap Sektor

Tabel IX merupakan hasil perhitungan pertumbuhan pelanggan disetiap sektor yang terjadi dalam 5 tahun kedepan.

Berdasarkan perhitungan peramalan pertumbuhan jumlah pelanggan di Sulawesi Utara, maka diperoleh hasil nilai persentase pertumbuhannya seperti pada tabel X.

B. Hasil Peramalan Daya Tersambung Tiap Sektor

Tabel XI merupakan hasil perhitungan pertumbuhan daya tersambung disetiap sektor yang terjadi dalam 5 tahun kedepan.

Berdasarkan perhitungan peramalan pertumbuhan jumlah daya tersambung di Sulawesi Utara, maka diperoleh hasil nilai persentase pertumbuhannya seperti pada tabel XII.

TABEL IX PERTUMBUHAN PELANGGAN TIAP SEKTOR

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Umum	Industri
2023	734.380	28804	24446	513
2024	747.196	29015	24808	514
2025	760.236	29228	25174	514
2026	773.504	29443	25547	514
2027	787.003	29659	25924	514

TABEL X PERSENTASE PERTUMBUHAN TIAP SEKTOR

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Umum	Industri
2023	0.54%	0.73%	1.46%	0.05%
2024	1.75%	0.73%	1.48%	0.05%
2025	1.75%	0.73%	1.48%	0.05%
2026	1.75%	0.73%	1.48%	0.05%
2027	1.75%	0.73%	1.48%	0.05%
Rata-Rata	1.51%	0.73%	1.48%	0.05%
Rata-Rata Total 5 Tahun			0.94%	

Tabel X diatas merupakan persentase pertumbuhan pelanggan di setiap sektor yang diperkirakan akan terjadi dalam 5 tahun kedepan.

TABEL XI PERTUMBUHAN DAYA TERSAMBUNG TIAP SEKTOR

Tahun	Rumah Tangga (MVA)	Bisnis (MVA)	Umum (MVA)	Industri (MVA)
2023	736.64	291.56	133.05	150.14
2024	749.28	293.69	134.99	150.22
2025	762.13	295.83	136.95	150.30
2026	775.20	297.98	138.95	150.38
2027	788.50	300.16	140.97	150.46

TABEL XII PERTUMBUHAN PERSENTASE TIAP SEKTOR

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Umum	Industri
2023	0.54%	0.72%	1.44%	0.00%
2024	1.72%	0.73%	1.46%	0.05%
2025	1.72%	0.73%	1.46%	0.05%
2026	1.72%	0.73%	1.46%	0.05%
2027	1.72%	0.73%	1.46%	0.05%
Rata-Rata	1.48%	0.73%	1.45%	0.04%
Rata-Rata Total 5 Tahun			0.93%	

Tabel XI dan XII diatas merupakan hasil perhitungan pertumbuhan daya tersambung disetiap sektor yang terjadi dalam 5 tahun kedepan dan juga hasil nilai persentase pertumbuhannya dalam 5 tahun kedepan.

C. Hasil Peramalan Konsumsi Energi Tiap Sektor

Tabel XIII merupakan hasil perhitungan pertumbuhan konsumsi energi disetiap sektor yang terjadi dalam 5 tahun kedepan. Berdasarkan perhitungan peramalan pertumbuhan jumlah konsumsi energi di Sulawesi Utara, maka diperoleh hasil nilai persentase pertumbuhannya seperti pada tabel XIV.

TABEL XIII PERTUMBUHAN KONSUMSI ENERGI TIAP SEKTOR

Tahun	Rumah Tangga (GWh)	Bisnis (GWh)	Umum (GWh)	Industri (GWh)
2023	970.63	429.08	182.77	395.01
2024	1004.26	429.44	182.90	395.54
2025	1039.06	429.80	183.02	396.07
2026	1075.06	430.16	183.14	396.60
2027	1112.31	430.52	183.27	397.13

TABEL XIV PERSENTASE PERTUMBUHAN TIAP SEKTOR

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Umum	Industri
2023	1.09%	0.08%	0.07%	0.13%
2024	3.46%	0.08%	0.07%	0.13%
2025	3.47%	0.08%	0.07%	0.13%
2026	3.47%	0.08%	0.07%	0.13%
2027	3.46%	0.08%	0.07%	0.13%
Rata-rata	2.99%	0.08%	0.07%	0.13%
Rata-Rata Total 5 Tahun			0.82%	

Tabel XIII merupakan data hasil perhitungan pertumbuhan konsumsi energi di tiap sektor. Tabel XIV merupakan persentase pertumbuhan di tiap sektor dan rata-rata pertumbuhannya dalam 5 tahun kedepan. Berdasarkan perhitungan nilai persentase peramalan jumlah konsumsi energi di tabel XIV, maka diperoleh peramalan konsumsi energi total selama 5 tahun kedepan seperti pada tabel XV.

Berdasarkan perhitungan nilai persentase peramalan jumlah konsumsi energi di tabel XIV, maka diperoleh peramalan konsumsi energi total selama 5 tahun kedepan seperti pada tabel XV.

TABEL XV TOTAL KEBUTUHAN KONSUMSI ENERGI LISTRIK

Tahun	Total Kebutuhan Konsumsi Energi Listrik (GWh)
2023	1977.49
2024	2012.13
2025	2047.94
2026	2084.96
2027	2123.23

D. Hasil Peramalan Jumlah Pelanggan, Daya Tersambung, dan Konsumsi Energi Hingga Tahun 2028-2050

Berdasarkan dari perhitungan yang telah dilakukan di bab sebelumnya dengan mencari nilai rata-rata dalam 5 tahun kedepan, didapatkan nilai pertambahan yang akan digunakan untuk peramalan jumlah pelanggan, daya tersambung, serta konsumsi energi pada tahun 2028 sampai dengan 2050. Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan yang telah dilakukan yang terdapat pada tabel XVI, XVII, XVIII.

TABEL XVI PERAMALAN JUMLAH PELANGGAN SAMPAI TAHUN 2050

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Umum	Industri
2028	800738	29877	26308	515
2033	873092	30990	28311	516
2038	951984	32145	30467	517
2043	1038004	33343	32787	519
2048	1131798	34585	35284	520
2050	1171647	35095	36335	521

TABEL XVII PERAMALAN DAYA TERSAMBUNG SAMPAI TAHUN 2050

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Umum	Industri
2033	820.022	302.344	143.028	150.535
2033	873.977	313.527	153.757	150.930
2038	952.949	325.124	165.290	151.327
2043	1039.057	337.149	177.688	151.725
2048	1132.946	349.619	191.016	152.123
2050	1172.835	354.735	196.623	152.283

TABEL XVIII PERAMALAN KONSUMSI ENERGI SAMPAI TAHUN 2050

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Umum	Industri	Total Konsumsi
2028	1150.85	430.88	183.39	397.66	2162.78
2033	1364.55	432.7	184.01	400.33	2381.59
2038	1617.92	434.51	184.63	403.01	2640.07
2043	1918.33	436.34	185.25	405.71	2945.63
2048	2274.53	438.18	185.88	408.44	3307.03
2050	2434.89	438.91	186.13	409.53	3469.46

E. Hasil Peramalan Beban Puncak Hingga Tahun 2050

Berdasarkan Gambar II, diketahui bahwa Pembangkit Listrik Energi Terbarukan menanggung beban di Sistem Minahasa sebesar 39% di tahun 2022 dari total keseluruhan pembebanan per jenis pembangkit. Berikut adalah total pembebanan dari Pembangkit Listrik Energi Terbarukan di tahun 2022 yang dapat dilihat pada tabel XIX.

TABEL XIX BEBAN PEMBANGKIT ENERGI TERBARUKAN DAN TOTAL BEBAN PUNCAK DI TAHUN 2022

BULAN	ENERGI TERBARUKAN (MW)	TOTAL BEBAN PUNCAK (MW)
JAN	165.75	425
FEB	166.53	427
MAR	171.21	439
APR	174.33	447
MEI	170.82	438
JUN	174.33	447
JUL	168.87	433
AGS	170.04	436
SEP	173.94	446

BULAN	ENERGI TERBARUKAN (MW)	TOTAL BEBAN PUNCAK (MW)
OKT	174.72	448
NOV	173.16	444
DES	174.33	447

TABEL XX PERKIRAAN BEBAN PUNCAK HINGGA TAHUN 2030 SUMBER: RUPTL 2021-2030

Tahun	Beban Puncak (MW)
2021	400
2022	436
2023	469
2024	502
2025	543
2026	571
2027	603
2028	629
2029	663
2030	691
Pertumbuhan	6,9%

Berdasarkan tabel XX diketahui bahwa pertumbuhan beban puncak dalam 10 tahun diperkirakan adalah sebesar **6,9%**. Dengan menerapkan asumsi-asumsi yang digunakan, maka dapat kita cari untuk pertumbuhan beban puncak sampai tahun 2040 dan 2050 adalah seperti pada tabel XXI dibawah.

Dari tabel XXII dibawah, dapat diketahui bahwa beban puncak tahun 2040 adalah sebesar **1347 MW** dan beban puncak tahun 2050 adalah sebesar **2624 MW**.

TABEL XXI PERKIRAAN BEBAN PUNCAK TAHUN 2040 DAN 2050

Tahun	Beban Puncak (MW)
2021	400
2022	436
2023	469
2024	502
2025	543
2026	571
2027	603

Tahun	Beban Puncak (MW)
2028	629
2029	663
2030	691
2040	1347
2050	2624

TABEL XXII DATA PERSENTASE PEMBEBANAN PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN

Tahun	Beban Puncak (MW)	Energi Terbarukan (MW)	Persentase (%)
2022	436	170.04	39%
2023	469	170.06	36.26%
2024	502	170.03	33.87%
2025	543	170.01	31.31%
2026	571	170.04	29.78%
2027	603	170.05	28.20%
2028	629	170.02	27.03%
2029	663	170.06	25.65%
2030	691	170.06	24.61%
2040	1347	170.04	12.62%
2050	2624	170.04	6.48%

Dengan data yang diketahui sekarang ini bahwa beban yang dipikul oleh pembangkit listrik energi terbarukan adalah sebesar 39%. Jika tidak dilakukan penambahan kapasitas pembangkit energi terbarukan hingga tahun 2030, maka nanti yang awalnya 39% akan turun menjadi 24,61% total beban yang bisa ditangani oleh pembangkit listrik energi terbarukan. Seiring dengan pertumbuhannya beban per tahun, angka ini masih masuk dalam target yang diberikan dalam KEN dan RUEN yaitu minimal sebesar 23% di tahun 2025. Tapi apabila kita memperkirakannya hingga tahun 2040 dan 2050, dimana beban yang diperkirakan adalah sebesar 1347 MW di tahun 2040 dan 2624 MW di tahun 2050, maka hasilnya adalah 12.62% beban yang ditanggung di tahun 2040 dan 6.48% beban yang ditanggung di tahun 2050 seperti yang tertera pada tabel 22, itu sangat jauh nilainya dari target yang diberikan dalam KEN dan RUEN. Maka perlu dilakukannya penambahan kapasitas pembangkit listrik energi terbarukan hingga minimal di tahun 2040 bauran energinya mencapai 30% atau 404.1 MW dan di tahun 2050 bauran energinya mencapai 30% atau 787.2 MW.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- 1) Dari data yang diperoleh, untuk tahun 2022 jumlah pembangkit listrik energi terbarukan adalah berjumlah 20, dan seiring dengan RUPTL dapat diketahui bahwa masih akan ada penambahan kapasitas pembangkit energi terbarukan hingga tahun 2030 nanti.
- 2) Dari data yang diketahui bahwa pembangkit energi terbarukan memikul beban sebesar 39% di Sistem Minahasa di tahun 2022, dan angka tersebut sudah melampaui nilai yang ditentukan oleh RUEN dan KEN yaitu sebesar 25% untuk tahun 2025 dan 31% untuk tahun 2050.
- 3) Dari data yang diperoleh, di tahun 2030 jika tidak ada penambahan kapasitas maka beban yang ditanggung pembangkit energi terbarukan turun menjadi 24,61%. Dan dengan data peramalan beban untuk tahun 2040 dan 2050, maka beban yang ditanggung oleh pembangkit energi terbarukan menjadi 12,62% dan 6,48%. Hasil di tahun 2040 dan 2050 sudah jauh dari ketentuan yang dituangkan dalam RUEN dan KEN, oleh karena itu diperlukan upaya lebih lanjut untuk memastikan pertumbuhan energi terbarukan yang berkelanjutan di Sistem Minahasa.

B. Saran

- 1) Masih diperlukannya kajian kembali untuk rencana penambahan kapasitas pembangkit listrik energi terbarukan di Sistem Minahasa karena hasil perkiraan/peramalan yang dianalisa menunjukkan bahwa adanya ketidakcukupan bauran energi terbarukan yang telah ditentukan oleh KEN dan RUEN yang akan terjadi di tahun 2040 dan 2050.
- 2) Penelitian ini sebenarnya dapat dilakukan dengan perangkat lunak lain selain Microsoft Excel yaitu dengan menggunakan perangkat lunak LEAP. Karena LEAP sangat luas dan lengkap, penelitian ini hanya menggunakan sebagian kecil kemampuan dan fasilitas dari perangkat lunak LEAP.

V. KUTIPAN

- [1]Afriyanti, Yulia, et al. "Analisis Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan di Indonesia." *Dinamic*, vol. 2, no. 3, 2020, pp. 865-884, doi:10.31002/dinamic.v2i3.1428.
- [2]"Badan Pusat Statistik," Jun. 24, 2022. <https://sulut.bps.go.id/statictable/2022/06/24/201/jumlah-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-sulawesi-utara-2000-2022.html>
- [3]I. Kholiq, "Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM," *Media Komunikasi Teknologi Jurnal IPTEK*, Dec.2015, Published, doi:<https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2015.v19i2.12>.

- [4]J. Sih Setyono, F. Hari Mardiansjah, and M. Febrina Kusumo Astuti, "POTENSI PENGEMBANGAN ENERGI BARU DAN ENERGI TERBARUKAN DI KOTA SEMARANG," *Jurnal RIPTEK BAPPEDA Kota Semarang*, Dec.2019, Published, doi: <https://doi.org/10.35475/ripteck.v13i2.68>.
- [5]J. Li, S. Feng, T. Zhang, L. Ma, X. Shi and X. Zhou, "Study of Long-Term Energy Storage System Capacity Configuration Based on Improved Grey Forecasting Model," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 34977-34989, 2023, doi: [10.1109/ACCESS.2023.3265083](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3265083).
- [6]M. Azhar, and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," *Administrative Law and Governance Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 398-412, Nov. 2018. <https://doi.org/10.14710/alj.v1i4.398-412>
- [7]R. R. Al Hakim, "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energi Terbarukan untuk Ketahanan Energi di Indonesia: Sebuah Ulasan," *ANDASIH Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 1, Apr. 2020, doi: [10.57084/andasih.v1i1.374](https://doi.org/10.57084/andasih.v1i1.374).
- [8]S. G. Ramadhan, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti," *Seminar Nasional Cendekiawan*, Aug. 2016, Published, doi: <https://doi.org/10.25105/semnas.v0i0.905>.
- [9]Shindell, D., Smith, C.J. Climate and air-quality benefits of a realistic phase-out of fossil fuels. *Nature* 573, 408–411 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1554-z>
- [10]Statistik PLN. Jakarta, Jakarta, Indonesia: Sekretariat Perusahaan PT.PLN (Persero), 2023. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2023/10/Statistik-PLN-2022-ENG-20.6.pdf>
- [11]Y. Cheng, N. Zhang, B. Zhang, C. Kang, W. Xi and M. Feng, "Low-Carbon Operation of Multiple Energy Systems Based on Energy-Carbon Integrated Prices," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 11, no. 2, pp. 1307-1318, March 2020, doi: [10.1109/TSG.2019.2935736](https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2935736).
- [12]A. N. Mizard, D. R. Aryani, A. Verdianto and C. Hudaya, "Design and Implementation Study of 3.12 kWp On – Grid Rooftop Solar PV System," 2019 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), Bandung, Indonesia, 2019, pp. 465-470, doi: [10.1109/ICEEI47359.2019.8988862](https://doi.org/10.1109/ICEEI47359.2019.8988862).
- [13] K. Okoli and Y. A. Bekeneva, "Accurate Neural Prophecy for Short-Term Load Forecasting of Optimal Renewable Energy," 2023 V International Conference on Control in Technical Systems (CTS), Saint Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 196-198, doi: [10.1109/CTS59431.2023.10288952](https://doi.org/10.1109/CTS59431.2023.10288952).
- [14] A. Kwangkaew, T. Racharak and C. Charoenlarnopparat, "Toward Forecast Techniques in Optimal Sizing of Energy Storage System with Volatile Energy Sources for Hybrid Renewable Energy System," 2020 International Conference on Smart Grids and Energy Systems (SGES), Perth, Australia, 2020, pp. 390-395, doi: [10.1109/SGES51519.2020.00075](https://doi.org/10.1109/SGES51519.2020.00075).
- [15] S. M. Noman, I. Salehin, M. M. Hasan, Baki-UI-Islam, O. Haque and I. Haque, "A Dynamic Study on Energy Forecasts and The Potential of Renewable Energy Sources," 2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON), New Delhi, India, 2022, pp. 1-6, doi: [10.1109/DELCON54057.2022.9753136](https://doi.org/10.1109/DELCON54057.2022.9753136).



Anggra Eliezer Hery Marjono, lahir di Manado pada tanggal 14 September 2001. Di tahun 2018 penulis mengenyam pendidikan kuliah di Universitas Sam Ratulangi Manado dengan jurusan Teknik Elektro, dan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik. Selama berkuliah di Universitas Sam Ratulangi, penulis juga melakukan magang kurang lebih 3 bulan di PT. Angkasa Pura I (Persero) Bandara Udara Sam Ratulangi-Manado pada bulan Februari-April 2022 dan pernah tergabung dalam organisasi kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Elektro (HME), dan Badan Tadzkir Fakultas Teknik (BTFT).