

**PREDIKSI SUSUT ENERGI PENYULANG 20 KV BWN11 DAN
PENENTUAN WAKTU PEMBANGUNAN PENYULANG BARU
BERBASIS METODE REGRESI LINIER BERGANDA**

Tesis S-2

Untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik
Program Studi Magister Teknik Elektro



Dianjukan oleh :

Ade Setiawan

20602300001

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2024**

HALAMAN PENGESAHAN
TESIS

PREDIKSI SUSUT TEKNIS PENYULANG 20 kV BWN11 DAN
PENENTUAN WAKTU PEMBANGUNAN PENYULANG BARU
BERBASIS METODE REGRESI LINIER BERGANDA

yang dipersiapkan dan disusun oleh
Ade Setiawan
NIM : 20602300001

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 06 Juni 2024

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing I

Penguji


Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN : 0618066301


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.
NIDN : 0618066301

Pembimbing II


Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si.
NIDN : 0620026501

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Magister Teknik


Tanggal
Ketua Program Studi Magister teknik Elektro
Dr. Hj. Sri Artini Dwi Prasetyowati, M.Si
NIDN : 0620026501

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ade Setiawan
NIM : 20602300001
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata dua (S2) Magister Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul " **Prediksi Susut Teknis Penyulang 20 kV BWN11 Dan Penentuan Waktu Pembangunan Penyulang Baru Berbasis Metode Regresi Linier Berganda**" adalah hasil (original) dan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tesis tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saa bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 06 Juni 2024

Penulis



Ade Setiawan

NIM : 20602300001

PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ade Setiawan
NIM : 20602300001
Program Studi : Magister Elektro
Fakultas : FTI

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi* dengan judul :

Prediksi Susut Teknis Penyulang 20 kV BWN11 Dan Penentuan Waktu Pembangunan Penyulang Baru Berbasis Metode Regresi Linier Berganda

dan menyetujuinya menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 6 Juni 2024

Yang menyatakan,



(Ade Setiawan)

*Coret yang tidak perlu

PRAKATA

Alhamdulillah ‘segala puji bagi Allah penulis panjatkan karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyusun Tesis dengan judul ” PREDIKSI SUSUT TEKNIS PENYULANG 20 kV BWN11 DAN PENENTUAN WAKTU PEMBANGUNAN PENYULANG BARU BERBASIS METODE REGRESI LINIER BERGANDA”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana S-2 pada program studi Magister Teknik Elektro Universitas Sultan Agung Semarang. Terwujudnya tulisan ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan banyak pihak. Untuk itu, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

- 1) Bapak, Ibu, Istri dan keluarga, yang tanpa putus mendoakan, memberikan semangat, motivasi serta dukungan baik moril maupun materil.
- 2) Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T. sebagai pembimbing I.
- 3) Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si. sebagai Ka. Program Studi Magister Teknik Elektro FTI sekaligus pembimbing II
- 4) Para dosen FTI Unissula, rekan-rekan perkuliahan dan rekan kerja di PT PLN (Persero) UP3 Salatiga yang selalu mendukung dan memberikan motivasi dalam pelaksanaan tugas dan pembelajaran selama ini.

Harapan penulis semoga tulisan ini dapat memberikan sumbangsih informasi tentang ilmu pengetahuan dalam masalah terkait dan dapat bermanfaat banyak. Akhir kata, penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran guna penyempurnaan bidang ilmu yang penulis dalami

Semarang, 06 Juni 2024

Ade Setiawan

MOTO

Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu: “Berlapang-lapanglah dalam majelis”, maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan: “Berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.” (QS. Surat Al-Mujadalah ayat: 11).

“Dan kami jadikan malam dan siang sebagai dua tanda, lalu Kami hapuskan tanda malam dan Kami jadikan tanda siang itu terang, agar kamu mencari kurnia dari Tuhanmu, dan supaya kamu mengetahui bilangan tahun-tahun dan perhitungan. Dan segala sesuatu telah Kami terangkan dengan jelas” (QS. Al-Israa’ : 12).

“Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga.” Hadist ini diriwayatkan oleh Muslim.

“Hendaknya kita mengukur ilmu bukan dari tumpukan buku yang kita habiskan. Bukan dari tumpukan naskah yang kita hasilkan. Bukan juga dari penatnya mulut dalam diskusi tak putus yang kita jalani. Tapi... dari amal yang keluar dari setiap desah nafas kita” (Ibnu Qoyyuum Aljauziyyah).

Barang siapa yang menginginkan kebahagiaan dunia, maka tuntutlah ilmu dan barang siapa yang ingin kebahagiaan akhirat, tuntutlah ilmu dan barangsiapa yang menginginkan keduanya, tuntutlah ilmu.

“Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga.” (HR. Muslim, no. 2699).

DAFTAR ISI

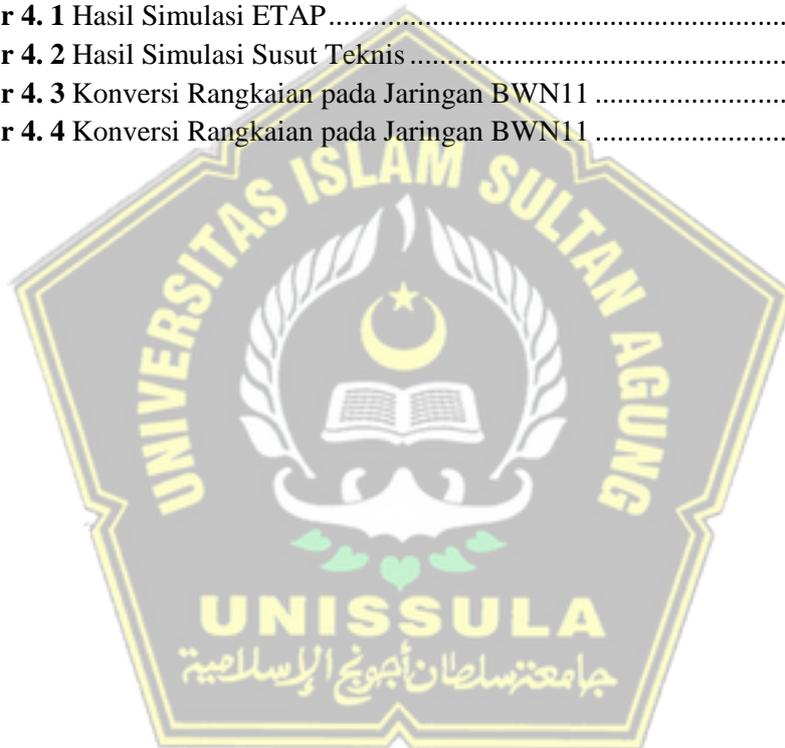
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH PUBLIKASI.....	iv
PRAKATA.....	v
MOTO.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
INTISARI.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Keaslian dan kedalaman Penelitian.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	8
2.1 Tinjauan Pustaka	8
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik	9
2.2.2 Sistem Jaringan Distribusi.....	10
2.2.3 Kualitas Daya Listrik.....	11
2.2.4 Konsep Segitiga Daya	12
2.2.5 Susut Jaringan	13
2.2.6 Tegangan Drop	14
2.2.7. Teori Rangkaian Listrik	15
2.2.7.1 Rangkaian Seri Resistor	16
2.2.7.2 Rangkaian Paralel Resistor.....	17
2.2.8 Pengertian Prediksi dan Metode Regresi Linier.....	18
2.2.9 Teknik Evaluasi Kesesuaian Model	22
2.2.10 Pengertian Aplikasi ETAP 12.6	23
BAB III METODELOGI PENELITIAN	25
3.1 Model Penelitian	25

3.2 Parameter Penelitian	28
3.3 ETAP (<i>Electric Transient and Analysis Program</i>).....	30
3.4 Regresi Linier Berganda.....	30
3.4 Diagram Alur Penelitian.....	32
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil Penelitian dan Pemodelan Regresi Linier Berganda.....	34
4.2 Perhitungan Presentasi MAPE	37
4.3 Prediksi Panjang Penghantar dengan Regresi Linier	38
4.2 Penentuan Waktu Pembangunan Penyulang Baru Memecah BWN11 39	
4.3 Penentuan Nilai Susut Energi.....	40
4.4. Penurunan Susut Energi Dengan Bangun Penyulang	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	xi



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik.....	9
Gambar 2. 2 Segitiga Daya.....	12
Gambar 2. 3. Rangkaian Seri RLC.....	16
Gambar 2. 4. Rangkaian Seri Resistor dan Rangkaian Ekivalen.....	17
Gambar 2. 5. Rangkaian Seri Resistor dan Rangkaian Ekivalen.....	17
Gambar 3. 1 Single Line Penyulang yang dilakukan Penelitian	26
Gambar 3. 2 Diagram Satu Garis Objek Penelitian.....	23
Gambar 3. 3 Tampilan Aplikasi Software ETAP.....	30
Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian	33
Gambar 4. 1 Hasil Simulasi ETAP.....	41
Gambar 4. 2 Hasil Simulasi Susut Teknis	42
Gambar 4. 3 Konversi Rangkaian pada Jaringan BWN11	43
Gambar 4. 4 Konversi Rangkaian pada Jaringan BWN11	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Range Nilai MAPE	23
Tabel 3. 1 Pengukuran Beban dan Panjang Penyulang BWN11	28
Tabel 3. 2 Panjang dan Spesifikasi Penyulang	29
Tabel 3. 3 Tabel Model Penelitian	31
Tabel 4. 1 Pemodelan Regresi Linier Berganda	34
Tabel 4. 2 Pemodelan Regresi Linier Untuk Mencari Panjang Penghantar	38



INTISARI

Permasalahan yang dihadapi oleh penyedia tenaga adalah terdapat penyulang distribusi yang memiliki nilai beban besar serta jarak penghantar yang panjang sehingga menyebabkan tegangan drop pada pengiriman energi listrik ke pelanggan dan mengalami kenaikan nilai susut energi pada penyalurannya. Penyulang yang mengalami kenaikan paling tinggi setiap bulan adalah penyulang 20 kV BWN11. Solusinya adalah memperbaiki penyulang yang mengalami tegangan drop dan susut energi yang besar dengan memecah beban pada penyulang baru, sehingga perlu dilakukan prediksi untuk pembangunan penyulang baru memecah beban dari penyulang tersebut.

Penelitian ini membahas tentang prediksi susut energi penyulang 20 kV BWN11 dan menentukan waktu pembangunan penyulang baru. Model penelitian ditetapkan sebagai sistem penyulang distribusi 20 kV dengan parameter adalah : besar beban, spesifikasi konduktor dan panjang saluran. Metode regresi linier berganda digunakan untuk menentukan prediksi waktu pembangunan penyulang baru dan prediksi nilai susut teknis pada penyulang tersebut. Sebagai objek penelitian difokuskan penyulang 20 kV BWN11 UP3 Salatiga berlokasi di Bawen Kabupaten Semarang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode regresi linier berganda mampu digunakan untuk menentukan prediksi waktu pembangunan penyulang baru memecah beban penyulang 20 kV BWN11 yaitu pada bulan ke 52 setelah di operasikannya penyulang tersebut (bulan Juli tahun 2026) dan mendapatkan nilai prediksi susut energi pada bulan ke 52 sebesar 216,4kW atau dalam satuan bulan sebesar 155.808 kWh dan akan terus meningkat setiap waktu.

Kata Kunci : Tegangan Drop, Susut Energi dan Regresi Linier Berganda

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Prinsip operasi sistem tenaga listrik bahwa penyaluran tenaga listrik perlu mempertimbangkan keamanan, keandalan, kualitas, dan ekonomis dari mulai sistem pembangkit, transmisi, gardu induk hingga distribusi [23]. Permasalahan umum yang sering dihadapi adalah terjadinya susut energi pada jaringan 20 kV meningkat dan terjadi tegangan drop sisi penyulang distribusi. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan energi listrik, bertambahnya penghantar jaringan dan penggunaan spesifikasi konduktor pada sisi penyulang distribusi [2].

Permasalahan utama adalah pada penyulang 20 kV terjadi pertumbuhan beban yang sangat tinggi dengan disertai bertambahnya panjang penghantar. Hal ini menyebabkan meningkatnya susut energi di jaringan distribusi dan tegangan drop pada sistem penyaluran jaringan distribusi. Pada bulan April 2020 besar susut energi adalah 95kWh dan tegangan sebesar 20,8kV sedangkan pada bulan Desember Tahun 2023 susut energi sebesar akan terus meningkat setiap bulan dan tegangan sebesar 20,696 kV.

Solusi dari permasalahan bertambahnya susut energi dan tegangan drop adalah dengan mengembalikan tegangan sesuai pada level standar sehingga susut energi akan berkurang, hal ini dapat dilakukan dengan cara membagi beban pada penyulang yang lain (rekonfigurasi jaringan) [32]. *uprating* konduktor [31], penyeimbangan beban antar fasa dan pembangunan penyulang baru [33]. Solusi yang tepat untuk permasalahan pada penyulang 20kV BWN11 adalah melakukan pembangunan penyulang baru disertai rekonfigurasi jaringan untuk mengurangi nilai susut energi pada sistem penyaluran JTM. Perlu dilakukannya prediksi waktu yang tepat untuk melakukan pembangunan penyulang memecah beban pada penyulang tersebut.

Metode prediksi yang dapat di gunakan untuk melakukan prediksi susut energi dan penentuan waktu pembangunan penyulang baru adalah prediksi

exponensial smoothing, lagram multiplayer, simple moving avarage, weighted moving average dan regresi linier berganda [6]. Regresi linier berganda digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel bebas terhadap variabel tidak bebas. Metode regresi linier berganda telah diterapkan untuk memprediksi nilai kebutuhan energi listrik jangka panjang [18], memprediksi kebutuhan energi dari tahun 2022 sampai 2026 [3] dan studi perkiraan kebutuhan energi listrik tahun 2021-2030 [25]. Fokus penelitian ini adalah Prediksi Susut Teknis Penyulang 20 kV BWN11 Dan Penentuan Waktu Pembangunan Penyulang Baru. Metode Regresi Linier Berganda digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan persamaan prediksi waktu pembangunan penyulang baru, sebagai objek penelitian ditentukan penyulang BWN11 di PLN UP3 Salatiga Jawa Tengah Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas, maka dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana memprediksi susut energi pada penyulang 20 kV BWN11
- 2) Bagaimana persamaan regresi linier berganda dalam menentukan prediksi pembangunan penyulang baru.
- 3) Kapan penyulang 20 kV BWN11 perlu dilakukan pemecahan beban.
- 4) Berapa persen eror nilai prediksi regresi linier berganda.

1.3 Tujuan

Pembahasan dan pemaparan materi dalam penelitian ini bertujuan untuk:

- 1) Dihasilkannya nilai susut energi pada penyulang 20 kV BWN11
- 2) Dihasilkannya persamaan regresi linier berganda memprediksi waktu pembangunan penyulang baru.
- 3) Dihasilkannya prediksi waktu pembangunan penyulang baru .
- 4) Mengetahui persen eror nilai prediksi dengan menggunakan metode regresi linier berganda

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan tulisan ini adalah sebagai berikut:

- 1) Lokasi penyulang yang menjadi objek penelitian adalah di UP3 Salatiga dan susut energi yang dianalisa dalam Penelitian ini hanya susut jaringan 20 kV penyulang BWN11 di lokasi Bawen Kabupaten Semarang.
- 2) Penelitian pencarian susut energi jaringan disimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 dengan trafo gardu induk yang digunakan adalah trafo kapasitas 60 MVA nilai impedansi transformator daya yang digunakan nilai tipikal yang diberikan perangkat lunak ETAP dan nilai nominal tegangan menengah adalah 21 kV
- 3) Besarnya beban berdasarkan data hasil ukur yang sudah di sediakan oleh bagian jaringan UP3 Salatiga, pengukuran beban diambil pada puncak di siang hari dengan titik pengukuran hulu ke hilir pada setiap *section* dan panjang penyulang berdasarkan data penambahan aset distribusi yang di sediakan oleh bagian *mapping* UP3 Salatiga
- 4) Spesifikasi penghantar sesuai dengan pemasangan dilapangan dengan menggunakan NYFGBY 240mm² dan A3C 240mm² dan penyulang yang di teliti dari gardu induk Ungaran, dengan penyulang utama pada penyulang BWN11 dan tambahan penyulang BWN1, BWN5, UGN7 dan UGN8 sebagai media tambahan.
- 5) Beban pada penyulang BWN1, BWN5, UGN7 dan UGN8 dibuat sama setiap bulannya supaya prediksi penelitian dapat fokus pada penyulang BWN11 yang akan di teliti.

1.5 Keaslian dan kedalaman Penelitian

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan judul pada tesis yang akan dibahas diantaranya :

- a. Metode Regresi Linier Berganda untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung) [18]. Penelitian menghasilkan prediksi kebutuhan energi listrik di Provinsi Lampung hingga Tahun 2028, sebagai masukan dalam melakukan perencanaan pembangunan

sistem tenaga listrik, Hasil Penelitian berupa prediksi daya listrik yang tersambung total pada tahun 2028 sebesar 2.841,78 MVA (rata-rata pertumbuhannya sebesar 2,38 %), dan konsumsi energi listrik pada tahun 2023 sebesar 5.934,98 Gwh (rata-rata pertumbuhannya sebesar 3,83 %).

- b. Analisis Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Unit Layanan Pelanggan (ULP) Rimbo Bujang Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda [3]. Penelitian menggunakan data jumlah pelanggan listrik, daya tersambung, pendapatan penjualan energi dan daya terjual dari tahun 2013-2022 yang didapatkan dari ULP Rimbo Bujang dan data jumlah penduduk dari BPS Kabupaten Tebo. Hasil dari penelitian ini bahwa metode regresi linier berganda merupakan metode yang baik digunakan untuk memprediksi kebutuhan energi listrik, dan dapat diketahui bahwa kebutuhan energi listrik dari 2022-2026 mengalami selisih peningkatan sebesar 22.827.406,632 kWh.
- c. Implementasi Metode Regresi Linier Berganda Untuk Proyeksi Kebutuhan Listrik Dalam Rangka Analisis Strategi Bisnis Di PT XYZ [24]. Penelitian menghasilkan prediksi kebutuhan listrik dari tahun 2018 hingga 2022 dengan variabel dependen yang digunakan adalah penggunaan energi listrik pada masing – masing sektor (industri, bisnis, perumahan dan umum) dan untuk variabel bebas nya adalah PDRB PT XYZ, Kurs Dollar, Produksi PT XA, Jumlah Konsumen, PDRB Cilegon, Laju Pertumbuhan, Daya Kontrak, Eskpor & Impor Cilegon, Pertumbuhan Ekonomi Indonesia. Hasil dari penelitian menggunakan analisa regresi linier berganda terjadi penurunan dalam penyerapan energi listrik sebesar 824,252 GWh atau turun sebesar 9,1% dari tahun 2017 sedangkan rata – rata beban dengan adanya rencana konsumen baru di tahun 2019 – 2021 maka total beban pada tahun 2022 adalah sebesar 158,61 MW.
- d. Studi Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik Dengan Metoda Regresi Linear Berganda Pada Kota Padang Panjang Tahun 2021-2030 [25]. Penelitian menghasilkan rencana kebutuhan maupun pengembangan penyediaan tenaga listrik setiap saat secara cukup dan baik serta terus menerus. Hasil

dari penelitian adalah perkiraan kebutuhan energi listrik meningkat dari tahun 2021 sebesar 69,98224221 GWh hingga tahun akhir 2030 sebesar 93,06838202 GWh . Kebutuhan energi listrik sektor rumah tangga dan umum dipengaruhi oleh jumlah penduduk, dan Produk Domestik Regional Bruto, sedangkan kebutuhan energi listrik sektor industri dan bisnis dipengaruhi oleh Produk Domestik Regional Bruto, dan jumlah pelanggan sektor industri dan bisnis

Perbedaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu yang serupa dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Perbandingan Penelitian yang Diambil dengan Penelitian Terdahulu

No	Judul	Hasil
1	Metode Regresi Linier Berganda untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung [18])	Prediksi daya listrik yang tersambung total pada tahun 2028 sebesar 2.841,78 MVA (rata-rata pertumbuhannya sebesar 2,38 %), dan konsumsi energi listrik pada tahun 2023 sebesar 5.934,98 Gwh (rata-rata pertumbuhannya sebesar 3, 83 %).
2	Analisis Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Unit Layanan Pelanggan (ULP) Rimbo Bujang Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda [3]	Metode regresi linier berganda merupakan metode yang baik digunakan untuk memprediksi kebutuhan energi listrik, dan dapat diketahui pula bahwa kebutuhan energi listrik dari 2022-2026 mengalami selisih peningkatan sebesar 22.827.406,632 kWh
3	Implementasi Metode Regresi Linier Berganda Untuk Proyeksi Kebutuhan Listrik Dalam Rangka Analisis Strategi Bisnis Di PT XYZ [24]	Terjadi penurunan dalam penyerapan energi listrik sebesar 824,252 GWh atau turun sebesar 9,1% dari tahun 2017 sedangkan rata – rata beban dengan adanya rencana konsumen baru di tahun 2019 – 2021 maka total beban pada tahun 2022 adalah sebesar 158,61 MW

Tabel 1.1. Perbandingan Penelitian yang Diambil dengan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Judul	Hasil
4	Studi Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik Dengan Metoda Regresi Linear Berganda Pada Kota Padang Panjang Tahun 2021-2030 [25]	Perkiraan kebutuhan energi listrik cenderung meningkat dari tahun perkiraan 2021 sebesar 69,98224221 GWh hingga tahun akhir perkiraan 2030 sebesar 93,06838202 GWh .
5	Prediksi Susut Teknis Penyulang 20 kV BWN11 Dan Menentukan Waktu Pembangunan Penyulang Baru Berbasis Metode Regresi Linier Berganda	PT PLN (Persero) UP3 Salatiga perlu melakukan pembangunan penyulang baru untuk membagi beban pada penyulang BWN11 bulan ke 52 setelah di operasikannya penyulang tersebut. Nilai susut energi yang diprediksi pada bulan ke 52 sebesar 155.808 kWh dalam satuan bulan

Tabel 1.1 menunjukkan bahwa penelitian yang menggunakan metode regresi linier berganda telah dilakukan oleh banyak peneliti terdahulu, namun dari berbagai judul penelitian belum ada yang melakukan penelitian tentang prediksi susut energi dan penentuan waktu pembangunan penyulang baru memecah beban pada penyulang yang lama. Penelitian ini memfokuskan pada Prediksi Susut Teknis Penyulang 20 kV BWN11 Dan Menentukan Waktu Pembangunan Penyulang Baru. Metode yang digunakan adalah regresi linier berganda dengan objek penelitian penyulang 20 kV BWN11 di UP3 Salatiga Kecamatan Bawen Kabupaten Semarang.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang serupa terkait penggunaan metode regresi linier dalam menentukan prediksi penelitiannya adalah sebagai berikut :

- a. Prediksi Potensi Sampah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Berbasis Metode Resgresi Linier Berganda [21]. Penelitian menghasilkan prediksi potensi kemungkinan pengembangan PLTSa di Kabupaten Jepara. Hasil dari penelitian adalah melalui regresi linier berganda mampu melakukan analisa potensi PLTSa dengan MAPE peramalan jumlah penduduk 0,15%, jumlah volume sampah sebesar 15,37% dan konsumsili listk 0%. Serta pemanfaatan sampah organic di Kabupaten Jepara dengan menggunakan teknologi pembakaran langsung atau insinerasi mampu menghasilkan daya keluaran generator dalam 25 tahun (2022-2048) maksimal hanya dapat mensupport rata-rata 35,72% dari konsumsi listrik.
- b. Analisis Regresi Linier Berganda Dalam Estimasi Produktivitas Tanaman Padi Di Kabupaten Karawang [29]. Penelitian menghasilkan persen faktor yang menyebabkan fluktuasi naik turun produktivitas tanaman padi di Kabupaten Karawang. Hasil penelitian adalah Berdasarkan model regresi yang didapat, sebesar 80,46% faktor-faktor produktivitas padi dapat dijelaskan oleh produksi, luas panen, luas tanam, curah hujan, dan hari hujan. Sedangkan sisanya 19,54% dapat dijelaskan oleh faktor-faktor lain yang tidak diteliti dalam penelitian ini. Variabel-variabel yang mempengaruhi peningkatan jumlah produktivitas padi yaitu variabel produksi dan curah hujan, sedangkan variabel-variabel yang mempengaruhi penurunan jumlah produktivitas yaitu variabel luas panen, luas tanam, dan hari hujan. Rata-rata 4,642%.
- c. Analisis Regresi Linear Berganda Untuk Melihat Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Kemiskinan di Provinsi Sumatera Barat [30]. Penelitian menghasilkan faktor yang menyebabkan fluktuasi kemiskinan secara

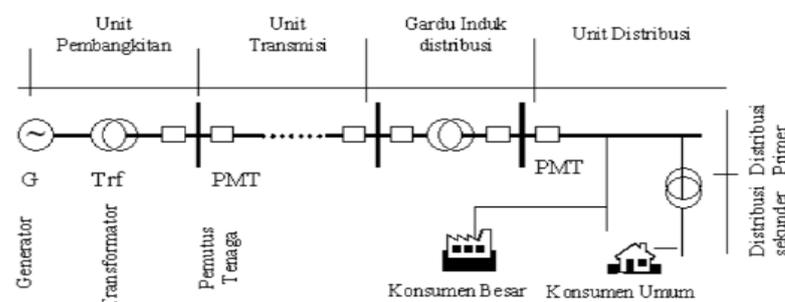
signifikan di Sumatera Barat. Hasil penelitian yaitu faktor yang mempengaruhi tingkat kemiskinan daerah penelitian secara signifikan adalah jumlah penduduk (x_1), indeks pembangunan manusia (x_4) dan umur harapan hidup (x_6) dengan taraf kesalahan 5% dan persamaan regresi linier berganda $\hat{y} = 203399 + 0,05178X_1 - 1040X_4 + 815X_6$

- d. Metode Regresi Linier Berganda Untuk Prediksi Omset Penyewaan Kamera Di Joe Kamera [26]. Penelitian memprediksi jumlah omzet dibulan selanjutnya dan memberikan rekomendasi keputusan unit kamera apa yang harus ditambah atau dikurangi jumlahnya. Hasil penelitian adalah data transaksi bulan Agustus 2021 hingga Oktober 2022, setelah didapatkan hasil prediksi, didapatkan selisih sebesar Rp.60.052,- dengan data omzet aktual bulan November 2022.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari peralatan –peralatan atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem. Semua komponen dalam sistem berusaha agar tenaga listrik yang dihasilkan dari pembangkit dapat diterima oleh pelanggan dengan optimal [14], adapun diagram sistem tenaga listrik dapat di lihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

Gambar 2.1 menunjukkan sistem penyaluran energi listrik diGambarkan lima bagian penting yaitu bagian unit pembangkitan, unit transmisi, gardu

induk distribusi, unit distribusi dan pelanggan. Semua bagian mempunyai peran masing-masing dalam proses penyaluran tenaga listrik dimulai dari awal pembangkitan sampai ke pelanggan.

2.2.2 Sistem Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan dari berbagai segi diantaranya [15].:

1. Berdasarkan nilai tegangan, jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibedakan pada dua sistem yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi skunder. Sistem distribusi primer terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer adalah 6kV, 10kV dan 20 kV (sesuai SPLN). Sistem jaringan distribusi skunder atau sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR), merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar untuk jaringan distribusi skunder ini adalah 220/380V
2. Berdasarkan ukuran arus listrik maka sistem jaringan distribusi dapat dibedakan dalam dua macam yaitu jaringan distribusi arus bolak balik (AC) dan jaringan distribusi arus searah (DC). Di Indonesia sendiri PLN sebagai penyedia tenaga listrik hanya menyediakan jaringan distribusi AC, karena mempertimbangkan kemudahan pengoperasian, penyaluran, perawatan, perbaikan dan kemudahan dalam meningkatkan kehandalan serta keamanan pada sistem distribusi.
3. Berdasarkan sistem penyalurannya, jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground cable*)

2.2.3 Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik didefinisikan sebagai tolak ukur kemampuan sistem untuk memberikan pelayanan daya listrik kepada pengguna sehingga peralatan-peralatan yang digunakan pengguna dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi dari peralatan tersebut secara kontinyu. Beberapa penyebab berkurangnya kualitas daya sistem antara lain adalah petir (*lightning*), *switching* beban dengan daya besar, *starting* motor, beban tak seimbang, harmonisa, *power factor* rendah dan *noise* (*Electromagnetic interference, EMI*). Dampak terhadap sistem itu sendiri adalah terjadinya distorsi tegangan, distorsi arus, distorsi frekuensi, tegangan lebih (*over voltage*), tegangan turun (*under voltage*), ketidakseimbangan tegangan sistem dan ketidakseimbangan beban sehingga munculnya tegangan antara titik bintang dengan tanah. Semua dampak-dampak tersebut sangat merugikan [22]. Sehingga perlu dilakukannya perubahan serta usaha untuk meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik.

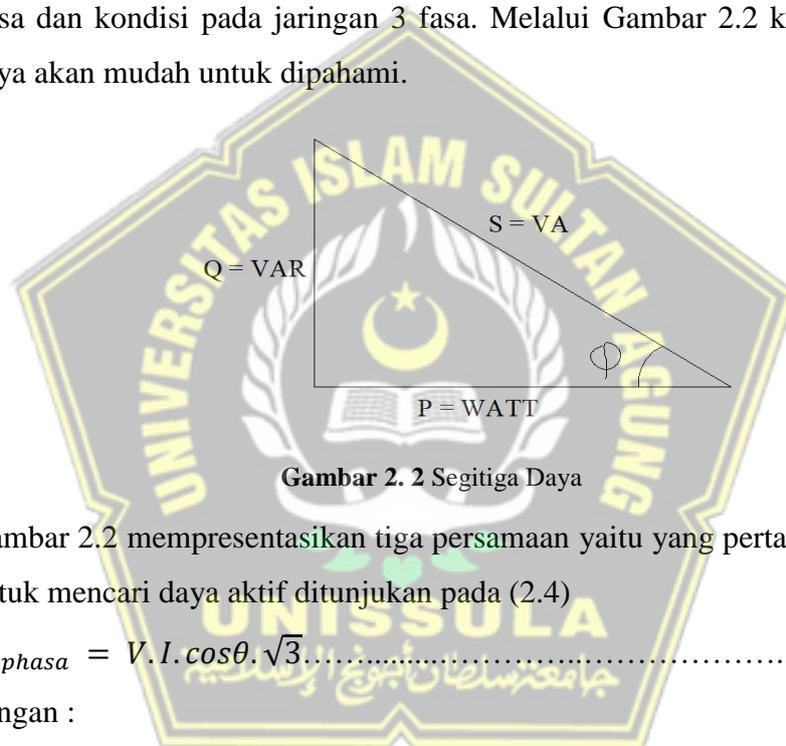
Prinsip operasi sistem tenaga listrik yaitu aman, kualitas, andal, dan ekonomis. Kualitas dimaknai dengan listrik yang dihasilkan harus memiliki nilai yang sesuai standar, seperti tegangan dan frekuensi. Andal dimaknai dengan transfer energi listrik dari pembangkit hingga ke beban mengalami keberhasilan tanpa pemadaman. Sedangkan ekonomis yaitu menjalankan operasi sistem tenaga listrik dengan biaya yang ekonomis. Salah satu penyebab biaya operasi yang tinggi yaitu besarnya rugi-rugi daya pada saluran. Semakin besar rugi daya tersebut, artinya semakin besar pula daya yang terbuang. Oleh karena itu meminimalkan rugi-rugi daya menjadi perlu untuk dilakukan [23]. Melalui dasar ini PLN UP3 Salatiga selalu fokus melakukan perubahan dan inovasi untuk menurunkan nilai susut energi pada jaringan distribusi.

Upaya PLN UP3 Salatiga dalam menjaga kualitas daya listrik salah satunya adalah dengan membangun penyulang baru, melakukan rekonfigurasi jaringan dan menghubungkan setiap penyulang 20 kV dengan sistem jaringan lingkaran (*loop*) untuk meningkatkan *recovery* menangani padam karena gangguan dan pemeliharaan serta supaya jaringan penyulang 20 kV semakin handal dengan kualitas daya yang terjaga dengan baik. Bila ada satu gangguan

maka akan di manuver ke sumber tegangan yang lain sehingga konsumen masih tetap bisa menikmati tenaga Listrik [27]

2.2.4 Konsep Segitiga Daya

Hal pokok yang harus dipahami adalah dengan memahami konsep segitiga daya melalui persamaan maupun perhitungan daya,. Konsep tersebut dapat di jelaskan dengan Gambar 2.2 yang disertai penjelasan persamaanya [17]. Konsep segitiga daya terdapat dua persamaan yaitu untuk kondisi jaringan 1 Fasa dan kondisi pada jaringan 3 fasa. Melalui Gambar 2.2 konsep segitiga daya akan mudah untuk dipahami.



Gambar 2. 2 Segitiga Daya

Gambar 2.2 mempresentasikan tiga persamaan yaitu yang pertama persamaan untuk mencari daya aktif ditunjukkan pada (2.4)

$$P_{3 \text{ fasa}} = V \cdot I \cdot \cos\theta \cdot \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan :

P = Daya nyata (W)

V = Tegangan 3 fasa (volt)

I = Arus (ampere)

Persamaan untuk mencari daya reaktif ditunjukkan pada persamaan (2.5)

$$Q_{3 \text{ fasa}} = V \cdot I \cdot \sin\theta \cdot \sqrt{3} \dots \dots \dots (2. 5)$$

dengan :

Q = Daya reaktif (VAR)

$\sin\theta$ = Faktor kerja untuk daya reaktif

Persamaan untuk mencari daya semu ditunjukkan pada persamaan (2.6) dan (2.7) :

$$S_{3 \text{ phasa}} = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (2.6)$$

atau

$$S_{3 \text{ phasa}} = V.I.\sqrt{3} \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan :

S = daya semu (VA)

2.2.5 Susut Jaringan

Susut jaringan distribusi berdasarkan penyebab timbulnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu susut teknis dan non teknis. Energi listrik yang hilang dalam perjalanan baik di saluran transmisi maupun di saluran distribusi disebut dengan rugi-rugi atau susut teknis. Sedangkan susut non teknis bukan diakibatkan kesalahan sistem, dalam arti penyebab susut energi non teknis adalah dari luar sistem atau yang disebabkan oleh masalah-masalah berkaitan dengan pengukuran pemakaian energi listrik di sisi pelanggan [2].

Susut jaringan yang dibahas dalam penelitian ini adalah susut teknis atau susut yang tergantung pada kondisi beban yang selalu berubah, sehingga untuk perhitungannya perlu dilakukan pada setiap kondisi beban [16]. Susut teknis ini berdasarkan susut daya pada komponen yang diakibatkan ada kesalahan pada komponen tersebut. Sehingga berdasarkan persamaan dasar susut daya, besar susut pada penghantar dapat di tunjukan dengan menggunakan persamaan (2.8):

$$P_{kond} = I^2 \cdot R_{sal} \dots \dots \dots (2.8)$$

dengan :

P_{kond} = Susut daya pada penghantar (W)

R_{sal} = Resistansi total penghantar (Ω)

I = Arus beban rata-rata (A)

Jarak penyaluran beban yang terlalu panjang dan pembagian beban yang tidak merata pada penyulang menjadi penyebab besarnya susut teknis pada jaringan saluran energi listrik.

2.2.6 Tegangan Drop

Tegangan jatuh atau *drop voltage* adalah suatu kondisi jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima persis penerimanya (beban listrik). Jatuh tegangan pada saluran adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga Listrik [16]. Untuk memahami adanya tegangan drop dapat di Gambarkan melalui persamaan (2.9) dan (2.10) untuk menentukan tegangan akibat reaktansi induktif saluran.

$$\Delta V = V_s - V_r \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan :

ΔV = Jatuh tegangan (Volt)

V_s = Tegangan pangkal pengiriman (Volt)

V_r = Tegangan ujung perimaan (Volt)

Penurunan tegangan terdiri dari dua komponen :

a) $I.R_s$ yaitu rugi tegangan akibat tahanan saluran

b) $I.X_1$ yaitu rugi tegangan akibat reaktansi induktif saluran

$$\Delta V = I.Z \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan :

ΔV = Jatuh tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

Z = $R+jX$ = impedansi saluran (Ohm).

Untuk perhitungan jatuh tegangan, resistansi dan reaktansi kedua hal tersebut pada konduktor perlu diperhitungkan. Kombinasi antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi (Z) yang dinyatakan dalam satuan ohm pada persamaan (2.11)

$$Z = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan:

Z = Impedansi Saluran (Ohm)

R = Tahanan Saluran (Ohm)

X = Reaktansi (Ohm)

Apabila rangkaian listrik terdapat nilai Resistansi, Induktansi dan Kapasitansi maka untuk mencari nilai impedansi dengan persamaan (2.12)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan:

X_L = Reaktansi Induktansi

X_C = Reaktansi Kapasitansi

Resistor adalah komponen yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam satu rangkaian (tahanan saluran). Menurut hukum Ohm resistansi berbanding terbalik dengan jumlah arus yang mengalir melaluinya [33]. Nilai resistor tergantung dari hambatan jenis bahan resistor itu sendiri (tergantung dari bahan pembuatnya), panjang dari resistor itu sendiri dan luas penampang dari resistor itu sendiri hal tersebut dapat di lihat dari persamaan (2.13) :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} (\Omega) \dots \dots \dots (2.13)$$

dengan :

R = nilai resistensi (Ω)

A = luas penampang penghantar (m^2)

ρ = resistivitas bahan (Ω/m)

L = panjang penghantar (m)

2.2.7. Teori Rangkaian Listrik

Rangkaian listrik dapat didefinisikan sebagai sambungan dari bermacam-macam elemen listrik pasif seperti resistor, kapasitor, induktor, transformator, sumber tegangan, sumber arus, dan saklar (switch). Pada umumnya rangkaian listrik merupakan susunan elemen/komponen listrik secara seri maupun paralel [34].

Rangkaian seri RLC pada arus bolak-balik terdiri dari resistor (R), induktor (L) dan kapasitor (C) yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC dan disusun secara seri. Hambatan yang dihasilkan oleh resistor disebut resistansi, hambatan yang dihasilkan oleh induktor disebut reaktansi induktif (X_L), dan hambatan yang dihasilkan oleh kapasitor disebut reaktansi kapasitif (X_C). Ketiga besar hambatan tersebut ketika digabungkan dalam disebut impedansi (Z) atau hambatan total. Rangkaian seri RLC dapat dilihat pada Gambar 2.3.



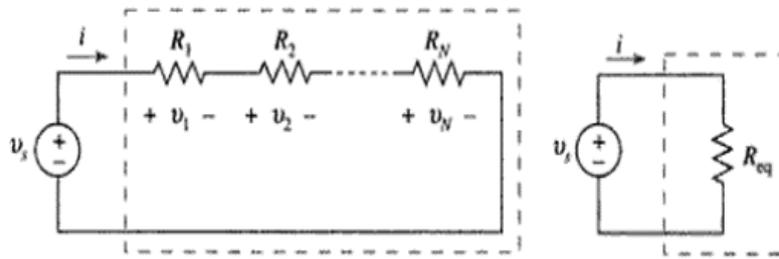
Gambar 2. 3. Rangkaian Seri RLC

Rangkaian seri RLC memiliki beberapa kemungkinan:

1. Nilai $X_L < X_C$: rangkaian bersifat kapasitor, tegangan tertinggal terhadap arus
2. Nilai $X_L > X_C$: rangkaian bersifat induktor, tegangan mendahului arus
3. Nilai $X_L = X_C$: besar impedansi rangkaian sama dengan nilai hambatannya ($Z=R$)

2.2.7.1 Rangkaian Seri Resistor

Rangkaian seri resistor adalah rangkaian dua buah resistor atau lebih yang disusun secara berurutan. Dua buah resistor atau lebih apabila dirangkai secara seri maka nilai hambatannya totalnya akan bertambah besar [34]. Rangkaian seri resistor dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Rangkaian Seri Resistor dan Rangkaian Ekivalen

Gambar 2.4 menunjukkan tegangan pada kedua resistor adalah jumlah yang terukur pada masing-masing tegangan resistor dengan persamaan (2.14)

$$V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) \dots\dots\dots(2.14)$$

Kemudian untuk mencari nilai arus (I) dapat menggunakan persamaan (2.15)

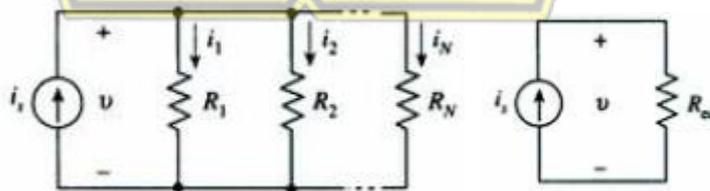
$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(2.15)$$

Untuk mengetahui nilai tegangan pada R₂ dapat menggunakan persamaan (2.16)

$$V_2 = I \cdot R_2 = \left(\frac{V}{R_1 + R_2} \right) R_2 \dots\dots\dots(2.16)$$

2.2.7.2 Rangkaian Paralel Resistor

Rangkaian paralel resistor adalah rangkaian dua buah resistor atau lebih yang disusun secara sejajar sehingga nilai hambatan totalnya menjadi lebih kecil dari nilai resistor yang membentuknya [35]. Rangkaian parallel resistor dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5. Rangkaian Seri Resistor dan Rangkaian Ekivalen

Gambar 2.4 menunjukkan arus pada kedua resistor adalah jumlah arus yang terukur pada masing-masing resistor dengan persamaan (2.17)

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \frac{V}{R_{eq}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Untuk mencari nilai arus (I_2) yang mengalir pada R_2 dapat dicari menggunakan persamaan (2.18)

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \dots \dots \dots (2.18)$$

Untuk mencari nilai arus (I_1) yang mengalir pada R_1 dapat dicari menggunakan persamaan (2.19)

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \dots \dots \dots (2.19)$$

Untuk mengetahui nilai R_{eq} dapat menggunakan persamaan (2.20)

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \dots \dots \dots (2.20)$$

2.2.8 Pengertian Prediksi dan Metode Regresi Linier

Prediksi (*forecasting*) merupakan proses untuk memprakirakan kejadian/hal pada masa yang akan datang. Prediksi berdasarkan jangka waktu dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang. Prediksi jangka pendek meliputi jangka waktu jam, hari hingga tiga bulan. Prediksi jangka menengah atau intermediate umumnya mencakup hitungan tiga bulan hingga dua tahun. Prediksi jangka panjang umumnya untuk perencanaan masa dua tahun atau lebih [5].

Metode regresi merupakan sebuah metode statistik yang melakukan prediksi menggunakan pengembangan hubungan matematis antara variabel, yaitu variabel dependen (Y) dengan variabel independen (X). Variabel dependen merupakan variabel akibat atau variabel yang dipengaruhi, sedangkan variabel independen merupakan variabel sebab atau variabel yang mempengaruhi. Prediksi terhadap nilai variabel dependen dapat dilakukan jika variabel independennya diketahui [6]. Metode regresi linier berdasarkan variabel independen dibagi menjadi 2 yaitu :

2.2.8.1 Regresi Linier Sederhana

Metode regresi linier sederhana merupakan metode statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara variabel independent (X) terhadap variabel dependent (Y). Metode ini digunakan dalam melakukan prediksi produksi tentang karakteristik kualitas maupun kuantitas, model persamaan regresi linier sederhana dapat dilihat pada persamaan (2.21) [3].

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(2.21)$$

Koefisien a dan b adalah koefisien regresi dimana nilai a dan b dapat dicari menggunakan persamaan (2.22) dan (2.23)

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i - b(\sum_{i=1}^n x_i))}{n} \dots\dots\dots(2.23)$$

dengan :

y = *Variable response* atau variabel dependent

x = *Variable predictor* atau variabel independent

a = Konstanta

b = Koefisien regresi (kemiringan)

n = Jumlah data

2.2.8.2 Regresi Linier Berganda

Perbedaan antara regresi linier sederhana dengan berganda adalah apabila jumlah variabel bebas hanya ada satu disebut sebagai regresi linier sederhana, sedangkan terdapat lebih dari 1 variabel bebas disebut sebagai regresi linier berganda. Adapun rumus untuk regresi linear sederhana untuk mencari nilai Y ditunjukkan pada persamaan (2.24) [22].

$$Y = a + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n \dots\dots\dots(2.24)$$

dengan :

Y = Variabel Prediksi

x = *Variable predictor* atau variabel independent

b = Koefisien

a = Konstanta

n = Jumlah data

Apabila variabel bebas hanya menggunakan 2 variabel maka untuk mencari nilai variable tak bebas (Y) dapat dilihat pada persamaan (2.25) kemudian untuk mencari nilai koefisien b_1 dan b_2 dapat dilihat pada persamaan (2.26) dan (2.27) serta untuk mencari nilai konstanta a maka dapat menggunakan persamaan (2.28).

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 \dots\dots\dots(2.25)$$

$$b_1 = \frac{(\sum_{i=1}^n X_2^2)(\sum_{i=1}^n X_1Y) - (\sum_{i=1}^n X_1X_2)(\sum_{i=1}^n X_2Y)}{(\sum_{i=1}^n X_1^2)(\sum_{i=1}^n X_2^2) - (\sum_{i=1}^n X_1X_2)^2} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$b_2 = \frac{(\sum_{i=1}^n X_1^2)(\sum_{i=1}^n X_2Y) - (\sum_{i=1}^n X_1X_2)(\sum_{i=1}^n X_1Y)}{(\sum_{i=1}^n X_1^2)(\sum_{i=1}^n X_2^2) - (\sum_{i=1}^n X_1X_2)^2} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n Y) - (b_1 \sum_{i=1}^n X_1) - (b_2 \sum_{i=1}^n X_2)}{n} \dots\dots\dots(2.28)$$

Matriks adalah himpunan skalar yang disusun menurut baris dan kolom selain istilah matriks terdapat determinan matriks, pengertian dari determinan matriks adalah suatu susunan bilangan dalam bentuk bujur sangkar yang berada dalam tanda harga mutlak (dua garis tegak). Determinan Matriks hanya ada pada matriks bujur sangkar (matriks dengan jumlah baris dan jumlah kolom yang sama). Matriks dan determinan banyak digunakan dalam menyelesaikan sistem persamaan linier[28]. Terdapat metode alternatif, yaitu metode matriks (metode kuadrat terkecil) dapat digunakan untuk menentukan nilai a , b_1 dan b_2 . Metode ini dilakukan dengan cara membuat dan menyusun suatu persamaan (2.29) sampai (2.31) [21].

$$an + b_1 \sum_{i=1}^n X_1 + b_2 \sum_{i=1}^n X_2 = \sum_{i=1}^n Y \dots\dots\dots(2.29)$$

$$a \sum_{i=1}^n X_1 + b_1 \sum_{i=1}^n X_1^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_1X_2 = \sum_{i=1}^n X_1Y \dots\dots\dots(2.30)$$

$$a \sum_{i=1}^n X_2 + b_1 \sum_{i=1}^n X_1X_2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_2^2 = \sum_{i=1}^n X_2Y \dots\dots\dots(2.31)$$

Dasar dari persamaan matrik ordo 3x3 (3 persamaan dan 3 variabel) ditunjukkan pada persamaan (2.32) kemudian akan dirubah menjadi persamaan matrik (2.33)

$$\begin{aligned} m_{11} a + m_{12} b_1 + m_{13} b_2 &= h_1 \\ m_{21} a + m_{22} b_1 + m_{23} b_2 &= h_2 \dots\dots\dots(2.32) \\ m_{31} a + m_{32} b_1 + m_{33} b_2 &= h_3 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.33)$$

Melalui susunan persamaan (2.33) selanjutnya kita dapat melakukan substitusi persamaan (2.29) sampai (2.31) sehingga dapat membentuk persamaan matriks ordo 3x3 yaitu persamaan (2.34).

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_1^2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 & \sum_{i=1}^n X_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y \\ \sum_{i=1}^n X_1 Y \\ \sum_{i=1}^n X_2 Y \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.34)$$

Untuk mendapat nilai persamaan regresi linier berganda pada konstanta a, serta variabel b₁ dan b₂ dapat menggunakan persamaan determinan melalui persamaan (2.35) sampai (2.38).

$$a = \frac{\det M_1}{\det M} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$b_1 = \frac{\det M_2}{\det M} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$b_2 = \frac{\det M_3}{\det M} \dots\dots\dots(2.37)$$

Persamaan determinan dari matriks ordo 3x3 dapat diketahui melalui persamaan (2.39) sampai (2.42).

$$\det M = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.39)$$

$$\det M_1 = \begin{vmatrix} h_1 & m_{12} & m_{13} \\ h_2 & m_{22} & m_{23} \\ h_3 & m_{32} & m_{33} \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$\det M_2 = \begin{vmatrix} m_{11} & h_1 & m_{13} \\ m_{21} & h_2 & m_{23} \\ m_{31} & h_3 & m_{33} \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$\det M_3 = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & h_1 \\ m_{21} & m_{22} & h_2 \\ m_{31} & m_{32} & h_3 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.42)$$

Persamaan (2.39) sampai (2.42) selanjutnya akan dilakukan perubahan dengan melakukan substitusi persamaan matriks ordo 3x3 yaitu persamaan (2.34) sehingga menghasilkan persamaan (2.43) sampai (2.46)

$$\det M = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_1^2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 & \sum_{i=1}^n X_2^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.43)$$

$$\det M_1 = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n Y & \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_1 Y & \sum_{i=1}^n X_1^2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_2 Y & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 & \sum_{i=1}^n X_2^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$\det M_2 = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n Y & \sum_{i=1}^n X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_1 Y & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_2 & \sum_{i=1}^n X_2 Y & \sum_{i=1}^n X_2^2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$\det M_3 = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n Y \\ \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_1^2 & \sum_{i=1}^n X_1 Y \\ \sum_{i=1}^n X_2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 & \sum_{i=1}^n X_2 Y \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.46)$$

2.2.9 Teknik Evaluasi Kesesuaian Model

Dalam melakukan suatu prediksi maka hal yang harus diperhatikan adalah mengukur kesesuaian hasil prediksi dengan data yang akan digunakan. Dalam memilih suatu metode untuk meramalkan harus diperhatikan ketepatan prediksi yang akan dijadikan dasar dalam memilih suatu metode prediksi yang akan digunakan. MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengukur ketepatan suatu hasil prediksi Metode ini akan mengukur selisih antara data asli dengan hasil prediksi dan kemudian melakukan perhitungan. Setelah mendapatkan selisihnya maka data yang ada akan di absolutekan, dan akan dihitung nilai persentase selisih tersebut terhadap data asli. MAPE memiliki ukuran kinerja yang dapat dijadikan dasar

untuk mengetahui apakah hasil prediksi memiliki kinerja yang baik atau tidak berdasarkan hasil persentase yang telah didapatkan [12]. Terdapat analisa tentang nilai MAPE sebagaimana yang tertulis pada Tabel 2.1 [21].

Tabel 2. 1 Range Nilai MAPE

No	Range MAPE	Arti Nilai
1	<10%	Kemampuan Model Prediksi Sangat Baik
2	10-20%	Kemampuan Model Prediksi Baik
3	20-50%	Kemampuan Model Prediksi Layak
4	>50%	Kemampuan Model Prediksi Buruk

Tabel 2.1 menunjukkan arti nilai presentasi pada MAPE, dengan nilai MAPE jika melebihi 50% maka model prediksi tidak dapat digunakan. Cara menghitung MAPE adalah dengan melakukan penjumlahan secara keseluruhan dengan melebihi dahulu melakukan pengurangan nilai data aktual dengan data prediksi kemudian membaginya dengan data aktual dan dikalikan 100 kemudian dibagi dengan banyaknya data. Absolut artinya jika nilainya negatif tetap bernilai positif seperti persamaan (2.47) [21].

$$MAPE = \frac{(A_t - F_t)}{A_t} \times 100\% \dots \dots \dots (2.47)$$

dengan :

A_t = Data aktual pada periode ke-t

F_t = Data prediksi pada periode ke-t

$MAPE$ = Mean Absolute Percentage Error

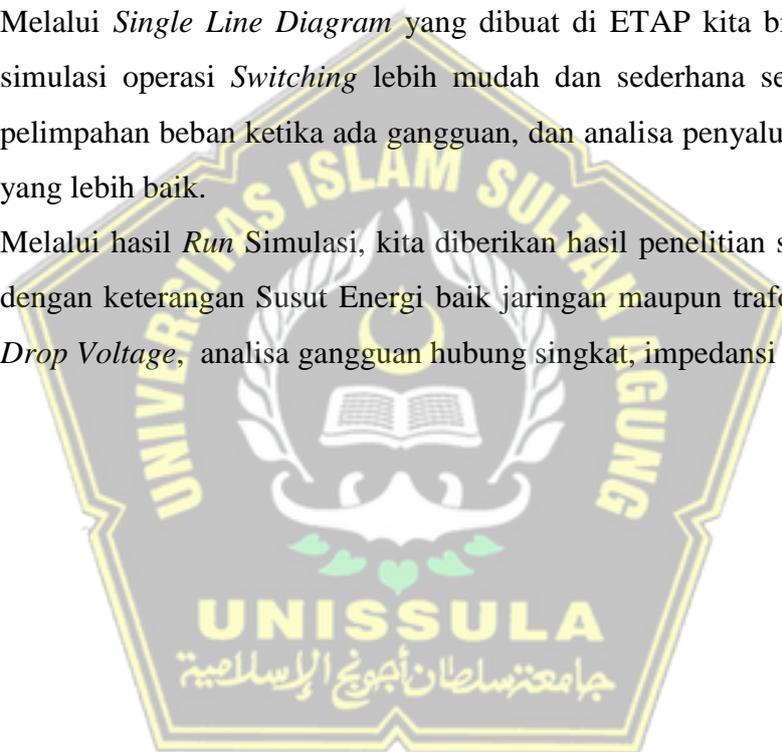
2.2.10 Pengertian Aplikasi ETAP 12.6

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan perencanaan system kelistrikan yang ada di suatu industri atau wilayah. *Software* ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisis yang sangat membantu untuk mempermudah pekerjaan. Dalam perancangan dan analisis sebuah sistem tenaga listrik, sebuah

software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik [13].

Adapun keunggulan menggunakan ETAP penerapan dalam laporan ini adalah [19] :

1. Melalui analisa *Load Flow Circuit* maka kita dapat melihat secara langsung tegangan drop pada setiap *Buz* dari pangkal sampai ujung pelanggan beserta impedansi dalam setiap kabel pada jaringan.
2. Melalui *Single Line Diagram* yang dibuat di ETAP kita bisa melakukan simulasi operasi *Switching* lebih mudah dan sederhana seperti simulasi pelimpahan beban ketika ada gangguan, dan analisa penyaluran penyulang yang lebih baik.
3. Melalui hasil *Run Simulasi*, kita diberikan hasil penelitian secara lengkap dengan keterangan Susut Energi baik jaringan maupun trafo yang terjadi, *Drop Voltage*, analisa gangguan hubung singkat, impedansi setiap saluran

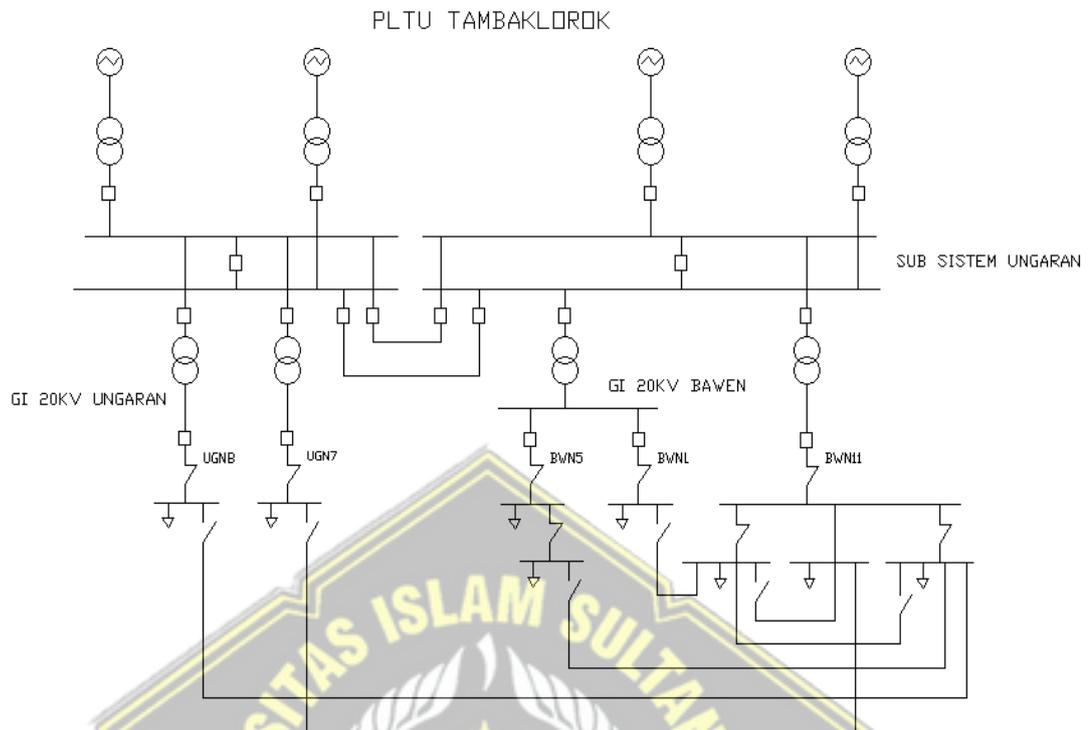


BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

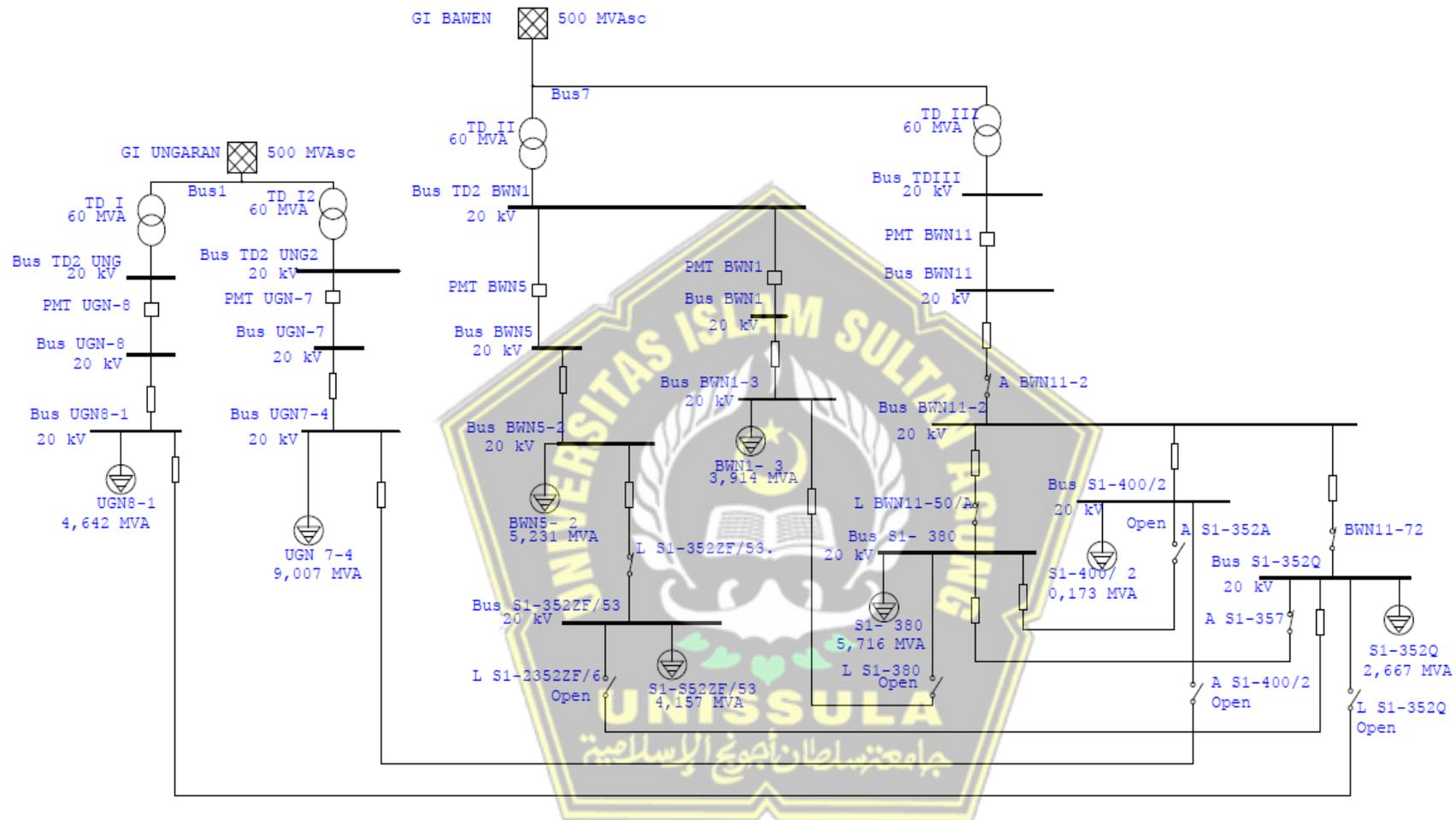
Penyulang yang menjadi objek penelitian adalah BWN11 lokasi di UP3 Salatiga Kecamatan Bawen Kabupaten Semarang, penyulang tersebut saling terhubung dengan penyulang lain melalui konsep metode konfigurasi jaringan *loop*. Penyulang yang dapat terhubung dengan BWN11 adalah BWN1, BWN5, UGN8 dan UGN7. Apabila terjadi gangguan atau diperlukannya manuver maka BWN11 akan di limpahkan pada salah satu penyulang tersebut. Gambar 3.1 memperlihatkan bahwa penyulang BWN11 bersumber dari Trafo II 60MVA Gardu Induk 150kV/20 kV Bawen, penyulang BWN5 dan BWN1 bersumber dari Trafo I 60MVA Gardu Induk 150kV/20 kV Bawen, penyulang UGN7 bersumber dari Trafo II 60MVA Gardu Induk 150kV/20 kV Ungaran dan UGN8 bersumber dari Trafo I Gardu Induk 150kV/20 kV Ungaran. Jumlah *real* penyulang pada Gardu Induk Bawen terdapat 12 penyulang sedangkan pada Gardu Induk Ungaran terdapat 14 penyulang. Objek penelitian yang diambil adalah penyulang yang berkaitan dengan BWN11 saja sehingga pada Gambar 3.1 menunjukkan Gambar *single line* penelitian dan Gambar 3.2 merupakan *single line* simulasi pada aplikasi ETAP sebagai *tools* dengan menampilkan 5 penyulang saja.

Gardu Induk Bawen berasal dari saluran transmisi dengan sub sistem Tanjungjati sedangkan Gardu Induk Ungaran berasal dari saluran transmisi dengan sub sistem Ungaran, sumber transformator step up yang menyuplai Gardu Induk Bawen adalah GT2 dengan daya 100MW sedangkan yang menyuplai Gardu Induk Ungaran adalah GT1.3 dengan daya 100MW namun keduanya tetap dari sumber pembangkit yang sama yaitu Pembangkit Tenaga Uap (PLTU) Tambaklorok. Model penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Single Line Penyulang yang dilakukan Penelitian

Model penelitian pada Gambar 3.1 selanjutnya akan dibuat *design* simulasi ETAP dapat dilihat Gambar 3.2 Diagram Satu Garis Penelitian. Data yang menjadi acuan dalam pembuatan simulasi satu garis penelitian adalah pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 sehingga simulasi dapat dibuat seperti Gambar 3.2. Melalui simulasi ETAP tersebut akan dilakukan *Running Test* sehingga dapat diketahui apakah diagram nya eror atau tidak, jika berhasil maka nilai susut energi akan di tampilkan melalui hasil simulasi yang sudah dilakukan dengan *Single Line* Gambar 3.2. Sebelum melakukan simulasi, dilakukan pencarian prediksi terkait beban penyulang dan prediksi panjang penyulang BWN11 terlebih dahulu. Setelah selesai maka akan dilakukan simulasi sehingga hasil dari simulasi tersebut yang akan menjadi acuan prediksi susut teknis.



Gambar 3. 2 Diagram Satu Garis Objek Penelitian

3.2 Parameter Penelitian

Parameter penelitian yang akan digunakan yaitu pengumpulan data yang digunakan sebagai materi pada Tabel 3.1 hasil pengukuran beban 3 Fasa pada masing-masing Fasa yaitu RST dan penambahan jarak penyulang pada tahun 2022 – 2023 dengan dipilih pengukuran beban melalui data beban puncak pada siang hari.

Tabel 3. 1 Pengukuran Beban dan Panjang Penyulang BWN11

No	Bulan	Tahun	Beban Siang (A)			Rata-rata (A)	Jarak Penyulang (KMS)
			R	S	T		
1	April	2022	79	65	80	75	14,10
2	Mei	2022	81	65	83	76	14,10
3	Juni	2022	85	69	85	80	14,16
4	Juli	2022	85	74	86	82	14,16
5	Agustus	2022	86	77	88	84	14,38
6	September	2022	90	82	92	88	14,38
7	Oktober	2022	95	82	99	92	14,52
8	November	2022	98	86	102	95	14,52
9	Desember	2022	99	86	103	96	14,70
10	Januari	2023	100	96	102	99	14,70
11	Februari	2023	100	87	101	96	14,80
12	Maret	2023	101	88	102	97	14,80
13	April	2023	102	99	105	102	14,85
14	Mei	2023	102	91	106	100	14,85
15	Juni	2023	103	98	106	102	15,02
16	Juli	2023	104	103	110	106	15,02
17	Agustus	2023	106	101	108	105	15,10
18	September	2023	107	104	111	107	15,10
19	Oktober	2023	109	106	113	109	15,10
20	November	2023	111	111	118	113	15,12
21	Desember	2023	111	116	116	114	15,12

Tabel 3.1 menunjukkan data beban dan panjang penyulang BWN11 yang menjadi parameter penelitian dalam pembuatan persamaan regresi linier berganda. Data besar beban yang akan diambil pada Tabel 4.1 adalah Rata-rata beban (A) dengan kolom yang di tulis menjadi nilai X_1 Sedangkan untuk nilai X_2 yang digunakan pada Tabel 3.3 mengambil data dari kolom jarak penyulang KMS pada Tabel 3.1.

Data selanjutnya panjang penyulang diambil dari laporan aset distribusi UP3 Salatiga yang terlihat juga data rekap panjang 4 penyulang lain pada Tabel 3.2, dengan data tersebut akan di gunakan untuk membuat *single line diagram* simulasi ETAP 12.6.0.

Tabel 3. 2 Panjang dan Spesifikasi Penyulang

No	Penyulang	Panjang Jaringan (kms)	Keterangan
1	BWN11	15,12	1 kms (NYFGbY) 14,12 kms A3C 240mm ²
2	UGN8	7,55	1,1 kms (NYFGbY) 6,45 kms A3C 240mm ²
3	BWN1	5,07	0,9 kms (NYFGbY) 4,17 kms A3C 240mm ²
4	BWN5	43,18	0,9 kms (NYFGbY) 42,09 kms A3C 240mm ²
5	UGN7	12,20	1,2 kms (NYFGbY) 11,00 kms A3C 240mm ²

Tabel 3.2 menunjukkan tabel panjang penyulang sebagai objek penelitian *single line diagram* Gambar 3.2 menjadi parameter dalam pembuatan persamaan regresi linier berganda.

Tahapan penelitian yang di lakukan setelah mengumpulkan data adalah membuat model regresi linier berganda yaitu dengan bantuan pada Tabel 3.3 selanjutnya dilakukan perhitungan melalui Tabel 4.1 bertujuan untuk melakukan perhitungan persamaan regresi linier berganda dalam menentukan waktu rekonfigurasi ulang penyulang 20 kV BWN11, dalam menentukan prediksi waktu kita dapat melakukan prediksi panjang penyulang terlebih dahulu dengan metode regresi linier melalui penentuan besar beban jaringan

20 kV sebesar 220A, dengan telah ditentukannya besar beban dan panjang penyulang pada bulan yang di prediksi selanjutnya melakukan simulasi menggunakan ETAP sehingga prediksi susut energi pada bulan yang telah ditentukan dapat dilakukan pencarian.

3.3 ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*)

Alat penelitian yang digunakan untuk mencari besar susut energi setelah diketahui beban yang dicari dan prediksi terhadap panjang jaringan pada penyulang BWN11 adalah laptop dan *Software* ETAP 12.6.0 terlihat pada Gambar 3.1 untuk melakukan simulasi dan membuat *single line* diagram sebagai bahan yang akan di lakukan penelitian. Kemudian dokumen berupa laporan pengukuran pembebanan dan panjang penyulang pada tahun 2022 hingga 2023 Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 yang akan dimasukkan ke dalam data aplikasi ETAP selanjutnya di simulasikan sehingga dapat menampilkan data berupa tegangan ujung dan susut energi. Adapun tampilan aplikasi ETAP dapat id lihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 3 Tampilan Aplikasi *Software* ETAP

3.4 Regresi Linier Berganda

Metode yang di gunakan dalam penelitian tesis adalah Regresi Linier Berganda dengan tujuan mencari variabel bulan dan konstanta panjang saluran jika beban $>200A$. Analisis regresi merupakan model persamaan yang menjelaskan hubungan satu variabel tak bebas (Y) dengan dua atau lebih variable bebas (X_1, X_2, \dots, X_n) Tujuan Regresi Linier Berganda adalah untuk memprediksi nilai variabel tak bebas yaitu (Y), apabila nilai-nilai variabel bebasnya (X_1, X_2, \dots, X_n) diketahui[21]. Berdasarkan Tabel 3.1 Variabel (Y) pada Tabel tersebut adalah dalam tulisan bulan, dengan mengganti tulisan

bulan dari huruf menjadi angka supaya metode regresi linier berganda dapat di terapkan seperti contoh April 2022 menjadi 1, Mei 2022 menjadi 2, Juni 2022 menjadi 3 dan seterusnya. Setelah itu untuk variable X_1 adalah beban rata-rata (A) dan untuk variable X_2 adalah Jarak Penyulang (KMS) adapun konversi dari Tabel 3.1 menjadi Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Tabel Model Penelitian

No	Y (Bulan)	X_1 (Beban rata-rata A)	X_2 (Panjang Penghantar kMs)
1	1	75	14,10
2	2	76	14,10
3	3	80	14,16
4	4	82	14,16
5	5	84	14,38
6	6	88	14,38
7	7	92	14,52
8	8	95	14,52
9	9	96	14,70
10	10	99	14,70
11	11	96	14,80
12	12	97	14,80
13	13	102	14,85
14	14	100	14,85
15	15	102	15,02
16	16	106	15,02
17	17	105	15,10
18	18	107	15,10
19	19	109	15,10
20	20	113	15,12
21	21	114	15,12

Tabel 3.3 merepresentasikan proses mencari persamaan regresi linier berganda. Melalui Tabel 3.3 tersebut akan menjadi pemodelan awal yang dikembangkan Tabel model bantu yaitu menjadi Tabel 4.1 pemodelan regresi linier berganda dengan angka pada Tabel 4.1 akan di substitusikan pada persamaan matriks (2.34).

Untuk mencari persamaan regresi linier berganda menggunakan teknik persamaan matriks ordo 3×3 (3 persamaan dan 3 variabel) supaya mempermudah dalam proses pembuatan perhitungan regresi linier berganda yaitu persamaan (2.34) selanjutnya melakukan substitusi angka dengan bantuan pada Tabel 4.1 Pemodelan Regresi Linier Berganda di dapatkan persamaan regresi linier berganda yang akan menjadi persamaan untuk penelitian.

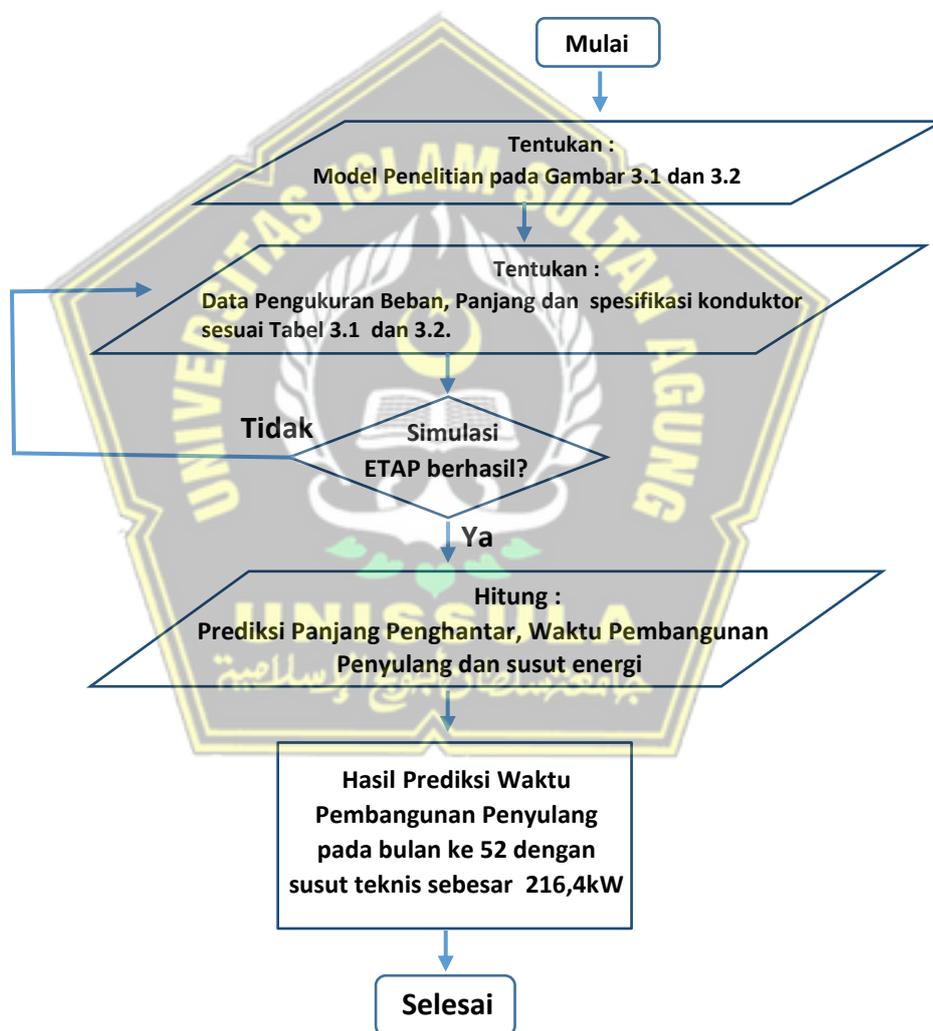
Selain metode Regresi Linier Berganda untuk mendukung dalam pembuatan deskripsi penelitian maka metode deskripsi merupakan metode tambahan yang digunakan untuk menjabarkan suatu analisis. Pengertian dari metode deskriptif analisis adalah suatu metode yang berfungsi untuk mendeskripsikan atau memberi Gambaran terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa melakukan analisis dan membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum[20].

3.4 Diagram Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.4, alur penelitian yang akan di lakukan adalah sebagai berikut :

1. Membuat model *single line* diagram pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.
2. Menentukan data pengukuran penyulang, panjang penyulang serta jenis kabel yang di gunakan untuk spesifikasi pada pembuatan *single line* diagram Tabel 3.1 dan 3.2
3. Selanjutnya melakukan simulasi yang sudah di buat untuk di uji coba, apabila masih ada eror dan tidak memunculkan data maka proses akan di ulang ke tahap pertama, apabila simulasi berhasil memunculkan data susut teknis dari jaringan maka akan di lanjutkan pada tahap selanjutnya

4. Membuat rumus prediksi regresi linier berganda dari *variable dependent* berupa bulan yang akan di cari serta *variable independent* berupa beban dan jarak penyulang. Selanjutnya jika sudah di tentukan rumus maka akan dilakukan perhitungan dan simulasi untuk menentukan susut energi dan prediksi waktu penyulang untuk dilakukan rekonfigurasi.
5. Hasil prediksi sudah mencapai beban >200A dengan hasil penelitian bulan ke 52 penyulang BWN11 perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan baru serta susut teknis sebesar 216,4kW.



Gambar 3. 4 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian dan Pemodelan Regresi Linier Berganda

Dengan merujuk pada model penelitian sesuai Gambar 3.1 dan 3.2 serta data pada Tabel 3.1 serta Tabel 3.2. Maka akan dibuat model penelitian sebagai data masukan menghasilkan Tabel 4.1. Data yang diambil untuk mempermudah dalam proses perhitungan dengan Teknik matriks menerapkan pada persamaan (2.34) dan persamaan determinan (2.35) sampai (2.37) mencari nilai koefisien a , variabel b_1 dan b_2 maka cukup mengambil sampel 10 contoh data pertama yang menjadi pemodelan regresi linier berganda menentukan nilai yang perlu di substitusi ke dalam persamaan (2.34).

Tabel 4. 1 Pemodelan Regresi Linier Berganda

No	Y (Bulan)	X ₁ (A)	X ₂ (KMs)	X ₁ Y	X ₂ Y	X ₁ X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²
1	1	75	14,10	75	14,1	1057,5	5625	198,81
2	2	76	14,10	152	28,2	1071,6	5776	198,81
3	3	80	14,16	240	42,48	1132,8	6400	200,5056
4	4	82	14,16	328	56,64	1161,12	6724	200,5056
5	5	84	14,38	420	71,9	1207,92	7056	206,7844
6	6	88	14,38	528	86,28	1265,44	7744	206,7844
7	7	92	14,52	644	101,64	1335,84	8464	210,8304
8	8	95	14,52	760	116,16	1379,4	9025	210,8304
9	9	96	14,70	864	132,3	1411,2	9216	216,09
10	10	99	14,70	990	147	1455,3	9801	216,09
JML	55	867	143,72	5001	796,7	12478,12	75831	2066,041

Tabel 4.1 menghasilkan nilai yang akan dilanjutkan dengan mencari konstanta a , koefisien b_1 dan koefisien b_2 melalui persamaan (2.34) dan persamaan determinan (2.35), sampai (2.37).

Persamaan (2.34)

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_1^2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 & \sum_{i=1}^n X_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y \\ \sum_{i=1}^n X_1 Y \\ \sum_{i=1}^n X_2 Y \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 10 & 867 & 143,72 \\ 867 & 75831 & 12478,12 \\ 143,72 & 12478,12 & 2066,041 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 55 \\ 5001 \\ 796,7 \end{bmatrix}$$

Persamaan (2.35) sampai (2.37) dapat diterapkan setelah melalui 4 langkah mencari nilai dari determinan M , M_1 , M_2 dan M_3 .

Langkah pertama mencari nilai determinan M dengan menerapkan persamaan (2.43) pada nilai Tabel 4.1.

$$M = \begin{vmatrix} 10 & 867 & 143,72 \\ 867 & 75831 & 12478,12 \\ 143,72 & 12478,12 & 2066,041 \end{vmatrix}$$

$$\det M = \begin{vmatrix} 10 & 867 & 143,72 \\ 867 & 75831 & 12478,12 \\ 143,72 & 12478,12 & 2066,041 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 10 & 867 \\ 867 & 75831 \\ 143,72 & 12478,12 \end{vmatrix}$$

$$\det M = [(10)(75831)(2066,041) + (867)(12478,12)(143,72) + (143,72)(867)(12478,12)] - [(143,72)(75831)(143,72) + (10)(12478,12)(12478,12) + (867)(867)(2066,041)]$$

$$\det M = [1.566.699.550,71 + 1.554.839.137,3488 + 1.554.839.137,3488] - [1.566.322.549,3104 + 1.557.034.787,344 + 6.063.154.293,249]$$

$$\det M = [4.676.377.825,4076] - [4.676.377.629,9034] = 195,5042$$

Langkah kedua mencari nilai determinan M_1 dengan menerapkan persamaan (2.44) pada nilai Tabel 4.1

$$M_1 = \begin{bmatrix} 55 & 867 & 143,72 \\ 5001 & 75831 & 12478,12 \\ 796,7 & 12478,12 & 2066,041 \end{bmatrix}$$

Maka nilai dari determinan M_1 adalah -9.756,4036

Langkah ketiga mencari nilai determinan M_2 dengan menerapkan persamaan (2.45) pada nilai Tabel 4.1

$$M_2 = \begin{bmatrix} 10 & 55 & 143,72 \\ 867 & 5001 & 12478,12 \\ 143,72 & 796,7 & 2066,041 \end{bmatrix}$$

Maka nilai dari determinan M_2 adalah 57,9066

Langkah keempat mencari nilai determinan M_3 dengan menerapkan persamaan (2.46) pada nilai Tabel 4.1

$$M_3 = \begin{bmatrix} 10 & 867 & 55 \\ 867 & 75831 & 5001 \\ 143,72 & 12478,12 & 796,7 \end{bmatrix}$$

Maka nilai dari determinan M_3 adalah 2,068190861

Setelah mendapat nilai dari determinan M , M_1 , M_2 dan M_3 , Langkah selanjutnya mencari nilai konstanta a , koefisien b_1 dan koefisien b_2 dengan menerapkan persamaan (2.35) sampai (2.37)

$$a = \frac{\det M_1}{\det M} = \frac{-9.756,4036}{195,5042} = -49,90380565$$

$$b_1 = \frac{\det M_2}{\det M} = \frac{57,9066}{195,5042} = 0,296191079$$

$$b_2 = \frac{\det M_3}{\det M} = \frac{101.998.369.745,04}{195,5042} = 2,068190861$$

Melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.34) teknik matriks dan teknik determinan persamaan (2.35) sampai (2.37) menghasilkan persamaan regresi linier berganda (1).

$$Y = -49,90380565 + 0,296191079X_1 + 2,068190861X_2 \dots\dots(1)$$

4.2 Perhitungan Presentasi MAPE

Untuk melakukan perhitungan presentasi MAPE terlebih dahulu persamaan (1) dilakukan substitusi dengan salah satu nilai yang ada pada Tabel 3.3, pada pembahasan ini nilai yang akan diambil adalah pada kolom nomor 6 yaitu dengan nilai dari $X_1 = 88$ dan $X_2 = 14,38$, selanjutnya dengan di tentukannya nilai variabel maka untuk mencari nilai Y dapat di lakukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Y &= -49,90380565 + 0,296191079X_1 + 2,068190861X_2 \\ &= -49,90380565 + 0,296191079(88) + 2,068190861(14,38) \\ &= -49,90380565 + 26,06481495 + 29,74058458 \\ &= 5,90159388 \end{aligned}$$

Setelah mendapat nilai Y untuk prediksi bulan maka selanjutnya dilakukan perhitungan MAPE dengan menggunakan persamaan (2.47)

$$\begin{aligned} MAPE &= \frac{(A_t - F_t)}{A_t} \times 100\% \\ &= \frac{6 - 5,90159388}{6} \times 100\% = 1,64\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan nilai MAPE sebesar 1,64% melalui Tabel 2.1 maka dapat disimpulkan bahwa prediksi waktu penentuan pembangunan penyulang baru dengan menggunakan persamaan (1) memiliki nilai kemampuan model prediksi sangat baik.

4.3 Prediksi Panjang Penghantar dengan Regresi Linier

Panjang penghantar dalam penelitian ini perlu dilakukan prediksi terlebih dahulu karena berdasarkan persamaan (2.25) variabel yang perlu di cari selain arus (X_1) adalah panjang penghantar (X_2), untuk menentukan panjang penghantar pada beban $>200A$ maka dapat menggunakan persamaan regresi linier yaitu persamaan (2.21). Untuk menggunakan persamaan (2.21) sebelumnya perlu menentukan nilai koefisien b melalui persamaan (2.22) dan untuk mencari nilai konstanta a melalui persamaan (2.23). Tabel 4.2 merupakan model yang dapat mempermudah menentukan persamaan regresi linier untuk mencari nilai panjang penghantar (Y) koefisien b dan konstanta a jika beban yang dicapai $>200A$.

Tabel 4. 2 Pemodelan Regresi Linier Untuk Mencari Panjang Penghantar

No	Y (KMs)	X (A)	XY	Y ²	X ²
1	14,1	75	1057,5	198,81	5625
2	14,1	76	1071,6	198,81	5776
3	14,16	80	1132,8	200,506	6400
4	14,16	82	1161,12	200,506	6724
5	14,38	84	1207,92	206,784	7056
6	14,38	88	1265,44	206,784	7744
7	14,52	92	1335,84	210,83	8464
8	14,52	95	1379,4	210,83	9025
9	14,7	96	1411,2	216,09	9216
10	14,7	99	1455,3	216,09	9801
JML	143,72	867	12478,12	2066,041	75831

Dengan hasil pemodelan Tabel 4.2, selanjutnya dapat diterapkan metode substitusi menggunakan persamaan (2.22) dengan tujuan untuk mencari nilai koefisien b berdasarkan nilai dari hasil pemodelan yang akan mempermudah pada tahap selanjutnya.

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\
 &= \frac{10(12.478,12) - ((867) \times (143,72))}{10(75.831) - (867)^2} \\
 &= \frac{(124.781,2) - (124.605,24)}{(758.310) - (751.689)} \\
 &= \frac{175,96}{6.621} = 0,026576
 \end{aligned}$$

Setelah nilai dari koefisien b diketahui sebesar 0,026576, langkah selanjutnya melakukan substitusi pada persamaan (2.23) dengan tujuan untuk mencari nilai konstanta a.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(\sum_{i=1}^n y_i - b(\sum_{i=1}^n x_i))}{n} \\
 &= \frac{143,72 - (0,026576 \times 867)}{10} \\
 &= \frac{143,72 - 23,041392}{10} \\
 &= \frac{120,678608}{10} \\
 &= 12,0678608
 \end{aligned}$$

Jika nilai koefisien b dan konstanta a sudah diketahui melalui perhitungan metode substitusi, maka selanjutnya kita dapat melakukan metode tersebut kembali pada persamaan (2.21) sehingga dapat menghasilkan persamaan (2) untuk regresi linier dalam mencari nilai panjang penghantar.

$$Y = 12,0678608 + 0,026576X \dots \dots \dots (2)$$

4.2 Penentuan Waktu Pembangunan Penyulang Baru Memecah BWN11

Penentuan waktu pembangunan penyulang baru dengan memecah beban pada penyulang BWN11 menggunakan regresi linier berganda dalam penelitian ini dapat dilakukan prediksi melalui dua tahap, yang pertama melakukan perhitungan prediksi pada panjang penyulang apabila beban

>200A. Dalam permasalahan ini di tentukan nilai beban penyulang harus dilakukan pemecahan adalah 220A, maka panjang penyulang BWN11 pada waktu beban tersebut dapat di tentukan dengan melakukan substitusi pada persamaan (2) dengan arus yang sudah di tentukan.

$$\begin{aligned}
 Y &= 12,0678608 + 0,026576X \\
 &= 12,0678608 + 0,026576(220) \\
 &= 12,0678608 + 5,84672 \\
 &= 17,9145808 \approx 17,91 \text{ kMs}
 \end{aligned}$$

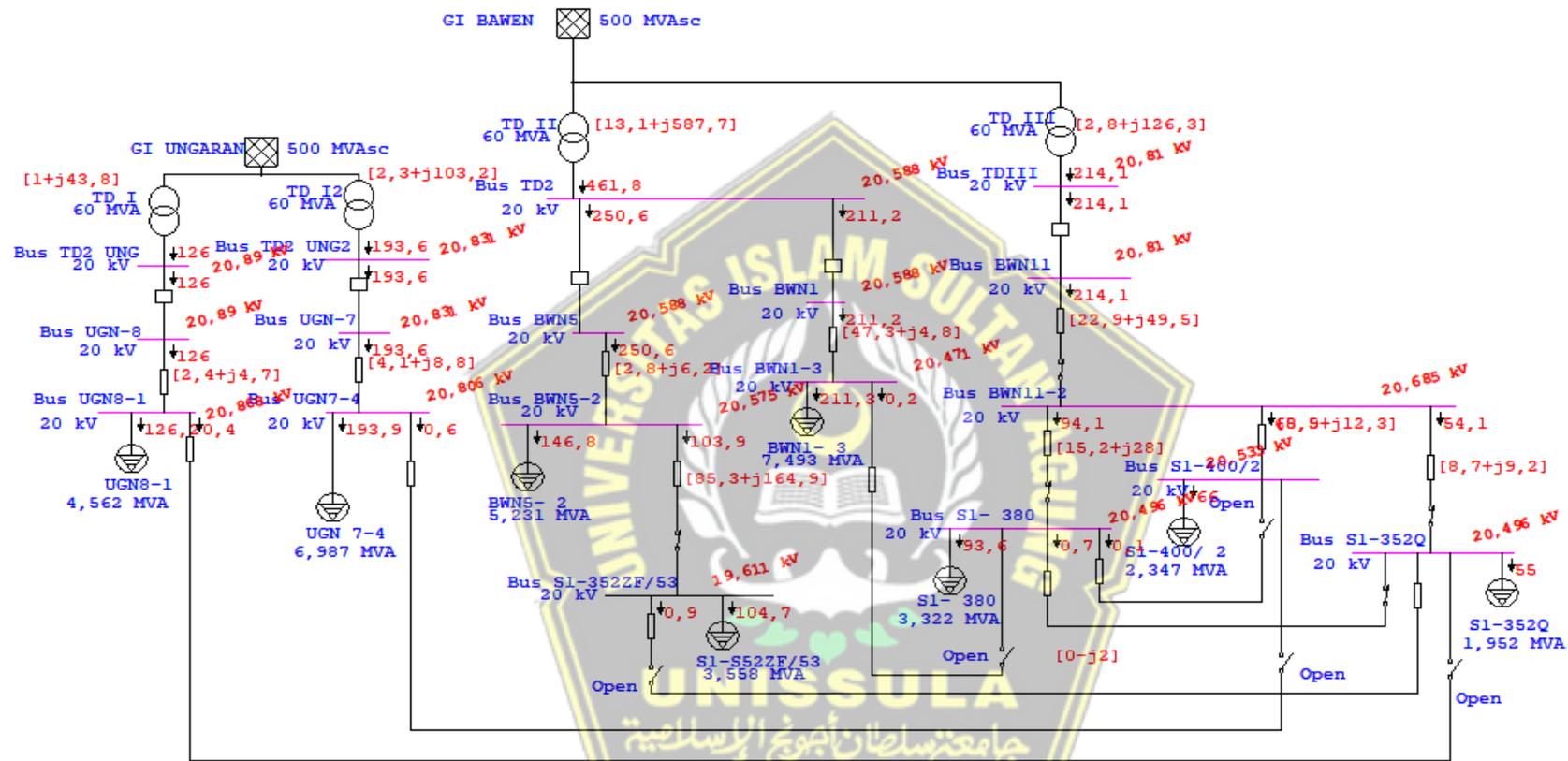
Tahap ke dua menentukan waktu pembangunan penyulang dengan persamaan (1), sehingga menghasilkan perhitungan

$$\begin{aligned}
 Y &= -49,90380565 + 0,296191079X_1 + 2,068190861X_2 \\
 &= -49,90380565 + 0,296191079(220) + 2,068190861(17,91) \\
 &= -49,9047 + 65,16203738 + 37,041429832 \\
 &= 52,2986357 \approx \text{bulan ke } 52
 \end{aligned}$$

Jika penelitian bulan pertama dimulai pada bulan April tahun 2022, maka bulan ke 52 dihitung berdasarkan kalender adalah bulan Juli tahun 2026.

4.3 Penentuan Nilai Susut Energi

Perhitungan nilai susut energi menggunakan simulasi pada ETAP berdasarkan Gambar 3.2 *single line* diagram objek penelitian dengan menggunakan data prediksi arus dan panjang penyulang yang sudah di ketahui yaitu beban penyulang BWN11 sebesar 220A dan panjang penyulang 17,91kMs pada bulan ke 52 sehingga nilai susut teknis dapat di ketahui melalui hasil simulasi pada Gambar 4.1 dan hasil susut teknis Gambar 4.2



Gambar 4. 1 Hasil Simulasi ETAP

Branch Losses Summary Report

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
C BWN 1-3	6.416	3.943	-6.369	-3.939	47.3	4.8	102.9	102.4	0.59
C S1- 380	0.000	-0.009	0.000	0.000	0.0	-8.6	102.4	97.5	0.00
C BWN 5-2	7.558	4.769	-7.555	-4.763	2.8	6.2	102.9	102.9	0.07
C S1-S52ZF/53	3.109	2.007	-3.024	-1.842	85.3	164.9	102.9	98.1	4.82
C BWN 11-2	6.533	4.107	-6.510	-4.058	22.9	49.5	104.1	103.4	0.63
C BWN 11-50/2	2.861	1.786	-2.846	-1.758	15.2	28.0	103.4	102.5	0.94
C BWN 11-50/7	2.003	1.248	-1.995	-1.236	8.5	12.3	103.4	102.7	0.76
C BWN 11-72	1.646	1.024	-1.637	-1.014	8.7	9.2	103.4	102.5	0.95
C S1- 357	-0.022	-0.012	0.022	0.010	0.0	-2.0	102.5	102.5	0.00
C S1-352ZF/6	0.000	-0.002	0.000	0.000	0.0	-1.7	102.5	97.6	0.00
C S1-S52ZF/4	0.000	-0.032	0.000	0.000	0.0	-31.7	98.1	93.4	0.03
C S1-352A	0.000	-0.002	0.000	0.000	0.0	-2.5	102.5	97.6	0.00
TD II	-13.975	-8.712	13.988	9.300	13.1	587.7	102.9	100.0	2.06
TD I	-3.880	-2.395	3.881	2.439	1.0	43.8	104.5	100.0	0.55
TD I2	-5.943	-3.668	5.945	3.771	2.3	103.2	104.2	100.0	0.85
TD III	-6.533	-4.107	6.536	4.234	2.8	126.3	104.1	100.0	0.95
C UGN7-4	5.943	3.668	-5.939	-3.659	4.1	8.8	104.2	104.0	0.12
C S1-400/2	0.000	-0.021	0.000	0.000	0.0	-21.3	104.0	99.1	0.01
C UGN8-1	3.880	2.395	-3.878	-2.390	2.4	4.7	104.5	104.3	0.11
C S1-344	0.000	-0.013	0.000	0.000	0.0	-12.9	104.3	99.4	0.00
					216.4	1068.7			

Gambar 4. 2 Hasil Simulasi Susut Teknis

Berdasarkan hasil dari simulasi ETAP yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 nilai susut teknis pada perhitungan prediksi beban dan panjang penyulang BWN11 pada bulan ke 52 adalah sebesar 216,4kW. Jika dihitung dalam satuan bulan sebesar 155.808 kWh, kemudian mengikuti rupiah harga perKWh tarif listrik adjusmen PT PLN (Persero), bila di konversi dengan harga satuan kWh Rp 1.444,70 menjadi Rp225.095.800 potensi kerugian yang akan ditimbulkan oleh penyulang BWN11 pada bulan ke 52 dan cenderung akan terus meningkat seiring dengan penambahan beban dan panjang penyulang, sehingga perlu dilakukan perencanaan pembangunan penyulang baru untuk memecah beban pada penyulang BWN11 tersebut guna mengurangi nilai susut teknis yang perlu dilakukan pada bulan ke 52 yaitu bulan Juli tahun 2026.

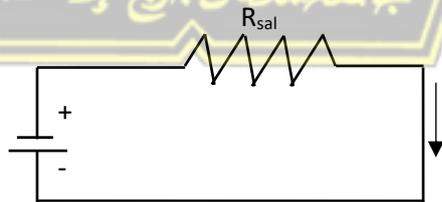
4.4. Penurunan Susut Energi Dengan Bangun Penyulang

Perhitungan diawali dengan telah diketahuinya nilai susut energi (P_{kond}) pada kondisi bulan ke 52 adalah 216,4 kW dengan beban (I) sebesar 220A. Sehingga didapatkan nilai hambatan melalui persamaan (2.8) dengan konversi jaringan menjadi rangkaian listrik pada Gambar 4.3.

$$P_{kond} = I^2 \cdot R_{sal}$$

$$216.400 = (220)^2 \cdot R_{sal}$$

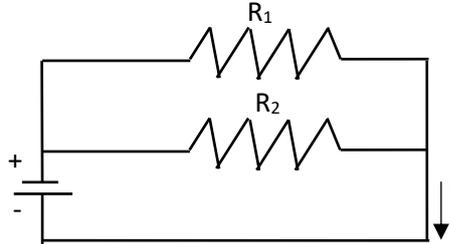
$$R_{sal} = \frac{216.400}{(220)^2} = 4,47107 \text{ ohm}$$



Gambar 4. 3 Konversi Rangkaian pada Jaringan BWN11

Perhitungan susut energi (P_{kond}) setelah dilakukannya pembangunan penyulang baru adalah dengan konversi pada Gambar 4.4. adapun untuk R_1 adalah R_{sal} yang sudah di ketahui nilainya sebanyak 4,47107 Ohm, dengan I_{total} sebesar 220A dan asumsi dari R_2 untuk penyulang baru adalah setengahnya dari R_1

yaitu sebesar 2,235535 Ohm sehingga untuk menerapkan persamaan (2.8) perlu dilakukan pencarian nilai R_{paralel} dengan menggunakan persamaan (2.20)



Gambar 4. 4 Konversi Rangkaian pada Jaringan BWN11

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{eq}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \\ &= \frac{1}{4,47107} + \frac{1}{2,235535} \\ &= \frac{3}{4,47107} = \frac{1}{1,490357} \end{aligned}$$

$$R_{eq} = 1,490357$$

$$\begin{aligned} P_{kond} &= I^2 \cdot R_{sal} \\ &= 220^2 \cdot 1,490357 \\ &= 72,133279 \text{ kW} \approx 72,13 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan melakukan perhitungan simulasi menghasilkan pembangunan penyulang baru dapat menurunkan nilai susut energi semula sebesar 216,4 kW menjadi 72,13 kW

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa dan pembahasan dalam penelitian prediksi susut teknis penyulang BWN11 menggunakan metode regresi linier berganda untuk penentuan waktu pembangunan penyulang baru di UP3 Salatiga dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

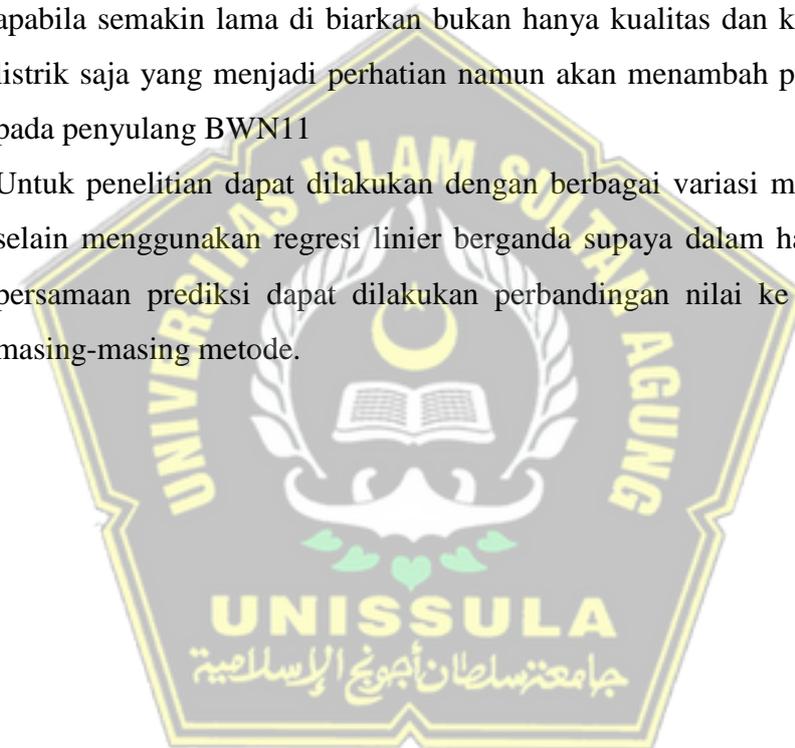
1. Untuk memprediksi waktu yang tepat melakukan tindakan rekonfigurasi atau pembangunan penyulang baru guna memecah beban penyulang BWN11 di UP3 Salatiga dapat menerapkan persamaan regresi linier berganda yaitu $Y = -49,9047 + 0,2962X_1 + 2,0682X_2$ dengan sebelumnya telah melakukan perhitungan prediksi nilai variabel X_2 berupa panjang penyulang menggunakan persamaan regresi linier $Y = 12,0678608 + 0,026576X$
2. Berdasarkan hasil simulai ETAP dengan menggunakan beban penyulang sebesar 220A dan panjang penyulang hasil perhitungan prediksi sepanjang 17,91kMs dapat menghasilkan susut energi sebesar 216,4kW. Jika dihitung dalam satuan bulan sebesar 155.808 kWh dan bila di konversi dengan harga satuan kWh Rp1.444,70 menjadi Rp225.095.800 potensi kerugian yang akan ditimbulkan oleh penyulang BWN11 pada bulan ke 52 dan cenderung akan terus meningkat apabila tidak segera ditindaklanjuti untuk melakukan pembangunan penyulang baru
3. Melalui persamaan $Y = -49,9047 + 0,2962X_1 + 2,0682X_2$ dengan nilai X_1 sebesar 220A dan X_2 sepanjang 17,91kMs waktu yang tepat untuk melakukan pembangunan penyulang baru memecah beban dari BWN11 adalah pada bulan ke 52 bila di konversi dalam satuan bulan jatuh pada bula Juli Tahun 2026.
4. Nilai MAPE menggunakan metode Regresi Linier Berganda sebesar 1,64% sehingga dapat disimpulkan bahwa prediksi waktu penentuan pembangunan

penyulang baru dengan menggunakan metode tersebut memiliki nilai kemampuan model prediksi yang sangat baik.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah disampaikan, maka saran peneliti adalah sebagai berikut :

1. Untuk PLN (Persero) UP3 Salatiga supaya segera dalam melakukan tindaklanjut perbaikan kenaikan susut teknis pada penyulang BWN11 karena apabila semakin lama di biarkan bukan hanya kualitas dan keandalan daya listrik saja yang menjadi perhatian namun akan menambah pada keamanan pada penyulang BWN11
2. Untuk penelitian dapat dilakukan dengan berbagai variasi metode prediksi selain menggunakan regresi linier berganda supaya dalam hasil penentuan persamaan prediksi dapat dilakukan perbandingan nilai ke akuratan dari masing-masing metode.



DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Yusuf dan Muh Irsyad. 2019. *Analisis Peramalan Masa Pakai Transformator Berdasarkan Beban Menggunakan Metode Regresi Linier*. Unismuh Makassar: Makassar.
- [2]. Ayu Masyitha K. 2016. *Analisa Uprating Transformator Daya Dan Rekonfigurasi Jaringan Terhadap Potensi Penurunan Susut Energi Menggunakan Etap*. Unissula: Semarang.
- [3]. Irfan Taufik. 2022. *Analisis Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Unit Layanan Pelanggan (ULP) Rimbo Bujang Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda*. UNJA: Jambi
- [4]. Agus Rifais. 2018. *Prediksi Konsumsi Energi Listrik Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Recurrent di PLN APJ Salatiga*. UNNES: Semarang
- [5]. Desi Kurniawati. 2018. *Prediksi Energi Listrik Dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Menggunakan Matlab Untuk Kota Semarang Tahun 2019 – 2024*. UNNES: Semarang.
- [6]. Ghebyla Najla Ayuni dan Devi Fitriana. 2021. *Penerapan Metode Regresi Linear Untuk Prediksi Penjualan Properti pada PT XYZ*. UMB Jakarta : Jakbar.
- [7]. Anthony A., Hairani dkk. 2022. *Prediksi Penjualan Produk Unilever Menggunakan Metode Regresi Linear*. UBG: Mataram.
- [8]. Yeni Oktavia K. 2021. *Analisa Keandalan Sistem Distribusi Menggunakan Metode Section Technique Di PT PLN (Persero) UP3 Salatiga*. UMS: Surakarta
- [9]. Arysandi, R. 2017. *Evaluasi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV pada Penyulang SL4 dengan Menggunakan Metode sectiontechnique di PLN Area Bangka*. UBB : Bangka Belitung.
- [10]. Ni Putu, Achmad, dkk. 2021. *Analisis Dan Simulasi Desain Penambahan Penyulang Pada Gardu Induk Kebasen – Tegal*. Unimus : Semarang.
- [11]. NN. 2015. *Tinjauan Yuridis Tentang Perlindungan Hukum Terhadap Konsumen Listrik PT. PLN Semarang (Studi Pada Pemadaman Listrik Sepihak)*. Unissula: Semarang
- [12]. Indriyanni. 2020. *Metode Regresi Linier Untuk Menentukan Jumlah Pemesanan Obat*. UIN Suska: Riau.
- [13]. Irnandar P., Junas H., dkk. 2021. *Analisis Pengaruh Penambahan Penyulang dan Pemisah Beban Terhadap Susut Daya Menggunakan Metode Simple Branch Exchange (Studi Kasus PT PLN ULP Lima Puluh, Sumatera Utara)*. Unib: Bengkulu.
- [14]. Sugiyanto dan Puspa U. 2019. *Studi Susut Energi Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Melalui Analisis Pengukuran Dan Perhitungan*. ISTN: Jakarta.
- [15]. Wira Septiana. 2014. *Rancang Bangun Modul Praktikum Simulator Arus Gangguan Hubung Singkat SKTM pada Sistem Jaringan Radial*. Polban: Bandung.

- [16]. Muhammad F. Wahyudianto, Sardono Sarwito, DKK. 2016. *Analisa Tegangan Jatuh pada Sistem Distribusi Listrik di Kapal Penumpang dengan Menggunakan Metode Simulasi*. ITS: Surabaya
- [17]. Adib Agustian N. 2015. *Analisa Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT. Asia Fasifik Fibers TBK Kendal Menggunakan Software Etap Power Station 4.0*. Unnes: Semarang
- [18]. M. Syrafuddin, Lukmanul Hakim dkk. NT. *Metode Regresi Linier untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung)*. UNILA: Lampung
- [19]. Muhammad F. Wahyudianto, Sardono Sarwito, DKK. 2016. *Analisa Tegangan Jatuh pada Sistem Distribusi Listrik di Kapal Penumpang dengan Menggunakan Metode Simulasi*. ITS: Surabaya
- [20]. William D. Stevenson, Jr, Alih Bahasa : Budiono Mismail. 1983, *Analisa Sistem Tenaga*. Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya: Malang.
- [21]. Innieke Ulya R. 2023. *Prediksi Potensi Sampah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Berbasis Metode Regresi Linier Berganda*. Unissula: Semarang
- [22]. Ferdian Ronilaya. Nt. *Penilaian Kualitas Daya Sistem Kelistrikan PT Sai-Pasuruan*. Polinema: Malang
- [23]. Fredi Prima S dan Jimmy Trio P. 2019. *Optimal Reactive Power Dispatch untuk Meminimalkan Rugi Daya Menggunakan Flower Pollination Algorithm*. UGM: Yogyakarta
- [24]. Fadli Farsha. 2019. *Implementasi Metode Regresi Linier Berganda Untuk Proyeksi Kebutuhan Listrik Dalam Rangka Analisis Strategi Bisnis Di PT XYZ*. Sekolah Tinggi Teknik PLN: Jakarta
- [25]. Nopia Rahmi dan Ir. Cahayahati, M.T. 2020. *Studi Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik Dengan Metode Regresi Linear Berganda Pada Kota Padang Panjang Tahun 2021-2030*. Universitas Bung Hatta: Padang
- [26]. Aditya Anggara, Karina Auliasari dkk. 2023. *Metode Regresi Linier Berganda Untuk Prediksi Omset Penyewaan Kamera Di Joe Kamera*. Institut Teknologi Nasional: Malang
- [27]. Ade Siti R. 2006. *Pengaman Sistem Tenaga Listrik*. Undip: Diponegoro
- [28]. Sujarwo. 2019. *Penyelesaian Persamaan Regresi Linier Berganda Dengan Menggunakan Determinan Matriks Dan Aplikasi Komputer*. PULMED: Medan
- [29]. Tesa Nur Padilah dan Riza Ibnu Adam. 2019. *Analisis Regresi Linier Berganda Dalam Estimasi Produktivitas Tanaman Padi Di Kabupaten Karawang*. UNSIKA: Karawang
- [30]. Rahmadani Agung Prasetyo dan Helma. 2022. *Analisis Regresi Linear Berganda Untuk Melihat Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Kemiskinan di Provinsi Sumatera Barat*. UNP: Padang.
- [31]. Erhaneli, Zuriman Anthony, dkk. 2020. *Perbaikan Nilai Susut Teknis Jaringan Tegangan Menengah Penyulang 5 Matur PT PLN Rayon Koto Tuo*. ITP: Padang
- [32]. Dana Dwi Yanuarta, Suprihadi Prasetyono. 2015. *Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Daya Listrik Pada Penyulang Pakusari Untuk Mengurangi*

- Rugi-Rugi Daya Dengan Metode Ant Colony Optimization (Aco)*. UNEJ: Jember
- [33]. Syarif Hidayat, Supridi Legino dkk. 2018. *Penyeimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi Cd 33 Penyulang Sawah Di PT Pln (Persero) Area Bintaro*. STT-PLN: Jakarta
- [34]. Yosi Apriani dan Taufik Barlian. 2018. *Inverter Berbasis Accumulator Sebagai Alternatif Penghemat Daya Listrik Rumah Tangga*. UM: Palembang
- [35]. Nelly Safitri, Suryati dkk. 2017. *Analisa Rangkaian Listrik*. PNL: Aceh

