

Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Wirobrajan 07 (WBN07) sebagai Pemecah Beban Lebih (*Overload*) Penyulang Wirobrajan 01 (WBN01) di PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta

Astri Sumartopo¹, Yuris Mulya Saputra^{1*}

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada;

*Korespondensi: ym.saputra@ugm.ac.id

Abstract – Increased electrical energy consumption can result in an increase in the load current value of a feeder. In January 2023, the WBN01 feeder has a maximum load current value of 345 A which exceeds the standard recommended by PT PLN (Persero) namely 250 A. The standard aims to maintain of the power system quality, is needed to maneuvering operations, voltage drop, power losses, transformer lifetime, and conductor damage. The solution to overcome the WBN01 feeder overload introduced in this research is to plan the new construction of WBN07 feeder to break the load of the WBN01 feeder with a simulation method using ETAP 12.6 software and mathematical calculations. Furthermore, it analyzes maneuvering operations, voltage drop, power losses, energy losses, and economic losses of the WBN01 feeder. This research shows that the WBN01 feeder can accept load transfer from other feeders from ± 63 A to ± 139 A after load splitting. In addition, the simulation reach out WBN01 feeder experienced a decrease in the fall value voltage is 0.056 kV, power loss is 37.5 kW, and energy loss is 24,558.12 kWh and based on the results of mathematical calculations, the value of the WBN01 feeder voltage drop is 0.019 kV, power loss is 22.345 kW, and energy loss is 15,068.306 kWh. This decrease increases the amount of rupiah that can be saved, namely Rp41,737,261.683/month based on simulation results or Rp25,609,038.096/month based on mathematical calculation results.

Keywords – load current, network maneuver, voltage drop, power loss, energy loss

Intisari – Peningkatan konsumsi energi listrik dapat mengakibatkan peningkatan nilai arus beban sebuah penyulang. Pada bulan Januari 2023, penyulang WBN01 memiliki nilai arus beban maksimal sebesar 345 A di mana telah melebihi standar yang disarankan PT PLN (Persero) yaitu 250 A. Standar tersebut bertujuan untuk menjaga kualitas sistem tenaga listrik, yaitu operasi manuver jaringan, jatuh tegangan, susut daya, *lifetime* transformator, dan kerusakan konduktor. Solusi untuk mengatasi *overload* penyulang WBN01 yang diperkenalkan dalam penelitian ini yaitu merencanakan pembangunan penyulang baru WBN07 untuk memecah beban penyulang WBN01 dengan metode simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6 dan perhitungan matematis. Selanjutnya, dilakukan analisis operasi manuver jaringan, jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis penyulang WBN01. Penelitian ini menunjukkan bahwa penyulang WBN01 dapat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain yang semula sebesar ± 63 A menjadi ± 139 A setelah pemecahan beban. Selain itu, berdasarkan hasil simulasi penyulang WBN01 mengalami penurunan nilai jatuh tegangan sebesar 0,056 kV, susut daya sebesar 37,5 kW, serta susut energi sebesar 24.558,12 kWh dan berdasarkan hasil perhitungan matematis nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 turun sebesar 0,019 kV, susut daya sebesar 22,345 kW, dan susut energi sebesar 15.068,306 kWh. Penurunan tersebut meningkatkan besarnya rupiah yang dapat disimpan yaitu Rp41.737.261,683/bulan berdasarkan hasil simulasi atau Rp25.609.038,096/bulan berdasarkan hasil perhitungan matematis.

Kata kunci – arus beban, jatuh tegangan, manuver jaringan, susut daya, susut energi

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yaitu generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban listrik sehingga membentuk sebuah sistem untuk menghasilkan energi listrik [1]. Laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan industri di Indonesia yang semakin pesat berpengaruh terhadap kebutuhan energi listrik yang ikut meningkat [2][3][4]. Fenomena tersebut telah terjadi di Kota Yogyakarta. Menurut PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta, peningkatan konsumsi energi listrik ini dapat menyebabkan nilai arus beban pada sebuah penyulang juga meningkat dan mempengaruhi keandalan distribusi energi listrik di Kota Yogyakarta.

Penyulang Wirobrajan 01 (WBN01) merupakan salah satu penyulang yang menyuplai energi listrik di wilayah Kota Yogyakarta di mana telah termasuk dalam kategori *overload*. Penyulang ini memiliki jumlah pelanggan sebanyak 16.315 pelanggan. Adapun nilai arus beban terukur penyulang WBN01 pada siang hari sebesar 342 A, pada malam hari

sebesar 251 A, dan arus beban maksimal sebesar 345 A serta pengukuran arus beban tiap *section* secara langsung sebesar 337 A. Nilai tersebut telah melebihi standar yang disarankan oleh PT PLN (Persero) menurut SPLN D3.016-1: 2010 yaitu sebesar 250 A. Atau dengan kata lain arus beban penyulang WBN01 telah $\pm 34,8$ % lebih besar dibandingkan kapasitas arus beban yang diizinkan menurut SPLN D3.016-1: 2010. Kondisi ini dapat mempengaruhi operasi manuver jaringan penyulang WBN01 dalam menerima pelimpahan beban dari penyulang lain di mana nilai arus bebannya tidak boleh melebihi nilai *setting* arus pengenal pemutus (PMT) yaitu sebesar 400 A. Apabila hal tersebut terjadi, maka dapat menyebabkan PMT *trip* sehingga terjadi pemadaman pada pelanggan. Selain itu, kondisi tersebut dapat memperpendek *lifetime* dari transformator daya dan menyebabkan kerusakan pada konduktor.

Upaya pemecahan beban penyulang WBN01 terhadap penyulang baru WBN07 bertujuan untuk menghindari terjadinya *overload* saat dilakukan operasi manuver jaringan. Manuver jaringan merupakan kegiatan modifikasi terhadap

operasi normal jaringan akibat adanya gangguan atau pekerjaan untuk mencapai kondisi penyaluran listrik yang maksimal [5],[6]. Selain itu, upaya ini juga bertujuan untuk meningkatkan kualitas jaringan distribusi penyalang WBN01 dengan menekan nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomisnya. Pada sebuah sistem tenaga listrik, jatuh tegangan adalah kondisi di mana jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima oleh beban [7]. Sementara itu, daya merupakan energi yang digunakan untuk melakukan sebuah usaha [8]. Menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, keandalan sistem distribusi ditentukan oleh besarnya nilai jatuh tegangan yaitu kurang dari 5% dan susut daya kurang dari 2,3% untuk jaringan dengan konfigurasi *open loop*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan simulasi pemecahan sebagian beban penyalang WBN01 pada penyalang WBN07 untuk mengetahui bagaimana operasi manuver jaringan, nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis yang dialami penyalang WBN01 sebelum dan setelah dilakukan pemecahan beban. Selain itu, pada penelitian ini juga akan dibahas mengenai pemilihan konstruksi dan material untuk pembangunan penyalang baru WBN07.

Terdapat beberapa tinjauan pustaka yang dijadikan sebagai bahan referensi dalam pelaksanaan penelitian. Menurut penelitian [9] nilai *drop* tegangan dan susut daya pada sebuah penyalang dapat turun pasca dilakukan perencanaan pembangunan penyalang baru sehingga nilainya memenuhi standar yang ditetapkan PT PLN (Persero). Sementara itu, pada penelitian [10] menyebutkan bahwa perencanaan pembangunan penyalang baru dapat menekan nilai susut tegangan secara optimal pada sebuah penyalang yang telah mengalami *overload*. Selanjutnya, pada penelitian [11] disebutkan bahwa nilai *drop* tegangan dan susut teknis sebuah penyalang dapat mengalami penurunan pasca dilakukan pembangunan penyalang baru. Pada penelitian [12] diperoleh hasil bahwa nilai jatuh tegangan dan *losses* sebuah penyalang dapat mengalami penurunan pasca dilakukannya pemecahan beban menuju penyalang baru.

Pada penelitian ini, pembangunan penyalang baru WBN07 bertujuan untuk membagi sebagian arus beban penyalang WBN01 yang telah mengalami *overload* sehingga dapat mempermudah upaya manuver jaringan saat terjadi gangguan maupun saat dilakukan pemeliharaan jaringan. Penelitian dilakukan dengan metode simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6. Dari hasil simulasi tersebut, diharapkan

dapat mengetahui besarnya nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis jaringan distribusi penyalang WBN01 sebelum dan sesudah dilakukan pemecahan beban. Selain dengan metode simulasi, penulis juga akan melakukan analisis perhitungan nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis penyalang WBN01 menggunakan rumus matematis untuk membuktikan hasil yang diperoleh dari metode simulasi.

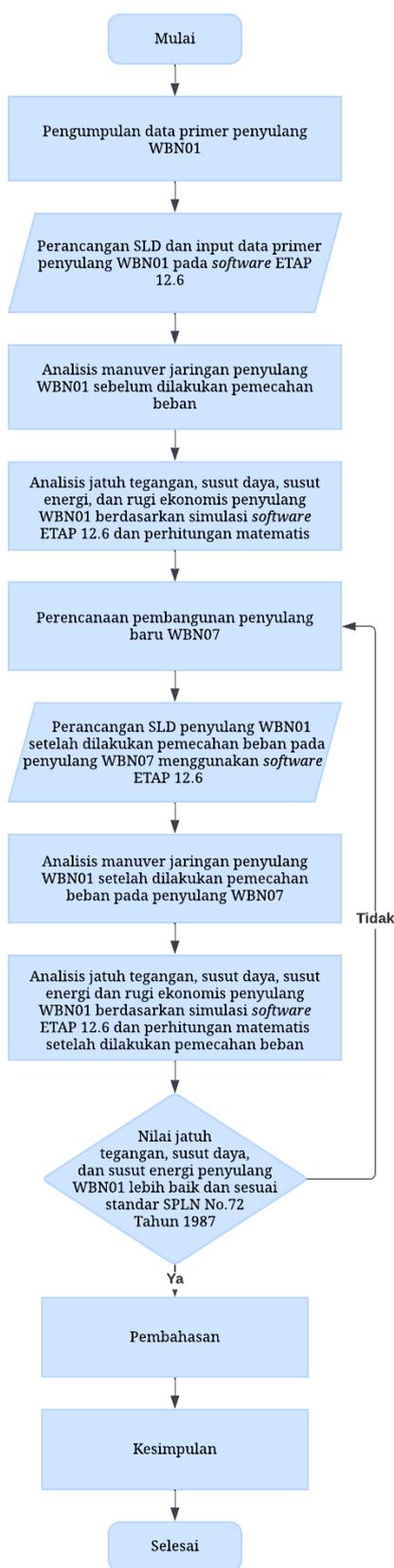
II. METODOLOGI

Pada penelitian berjudul “Perencanaan Pembangunan Penyalang Baru Wirobrajan 07 (WBN07) sebagai Pemecah Beban Lebih (*overload*) Penyalang Wirobrajan 01 (WBN01) di PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta” ini dibutuhkan beberapa data dan peralatan pendukung. Adapun data yang diperlukan berupa data primer penyalang WBN01 yang meliputi profil gardu induk (GI) Wirobrajan, spesifikasi transformator daya, *single line diagram* (SLD), total panjang jaringan, pola jaringan, spesifikasi penghantar, data pengukuran beban penyalang WBN01 siang dan malam, data pengukuran beban penyalang WBN01 setiap *section*. Dalam mencari informasi terkait data-data di atas, penulis menggunakan 2 jenis metode pengambilan data yaitu studi literatur dan wawancara secara langsung dengan salah satu staf PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta.

Tabel 1 menunjukkan data pengukuran arus beban penyalang WBN01 pada siang dan malam hari. Sementara itu, untuk peralatan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian meliputi komputer PC Lenovo 80E1 dan *software* ETAP 12.6. Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang dapat digambarkan pada sebuah diagram alir. Gambar 1 menunjukkan diagram alir dalam pelaksanaan penelitian ini. Berdasarkan tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 1, tahapan penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data primer penyalang WBN01 yang dilakukan dengan 2 metode, yaitu wawancara dan studi literatur. Selanjutnya, dilakukan perancangan SLD sekaligus *input* data primer penyalang WBN01 pada *software* ETAP 12.6 untuk melakukan simulasi *load flow analysis*. Dari hasil simulasi yang diperoleh, dilakukan analisis terkait operasi manuver jaringan, nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis penyalang WBN01 untuk mengetahui kondisi penyalang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban. Selain menggunakan data yang diperoleh dari simulasi, analisis juga dilakukan dengan metode perhitungan menggunakan rumus matematis.

Tabel 1. Data hasil pengukuran arus beban penyalang WBN01 siang dan malam

Feeder	Arus Beban Penyalang (A)										Beban Max
	Jam 10.00					Jam 19.00					
	R	S	T	AVE	MVA	R	S	T	AVE	MVA	
WBN01	341	341	342	342	12,47	342	12,47	342	251	9,13	345



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Kemudian dilakukan perencanaan pemecahan sebagian beban penyulang WBN01 terhadap penyulang WBN07 dengan menentukan titik pemecahan arus beban penyulang WBN01 serta besarnya arus beban yang akan dipecah. Dari perencanaan tersebut, berikutnya dilakukan pemodelan SLD penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban dilanjutkan simulasi *load flow analysis* pada *software* ETAP 12.6. Berikutnya dilakukan analisis terkait operasi manuver jaringan, nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis penyulang WBN01 setelah pemecahan beban berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis* dan perhitungan menggunakan rumus matematis. Apabila hasil yang diperoleh telah memenuhi standar SPLN No. 72 Tahun 1987, maka penelitian selesai. Apabila hasilnya masih belum sesuai dengan standar, maka penelitian kembali ke tahapan perencanaan pemecahan beban penyulang WBN01.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

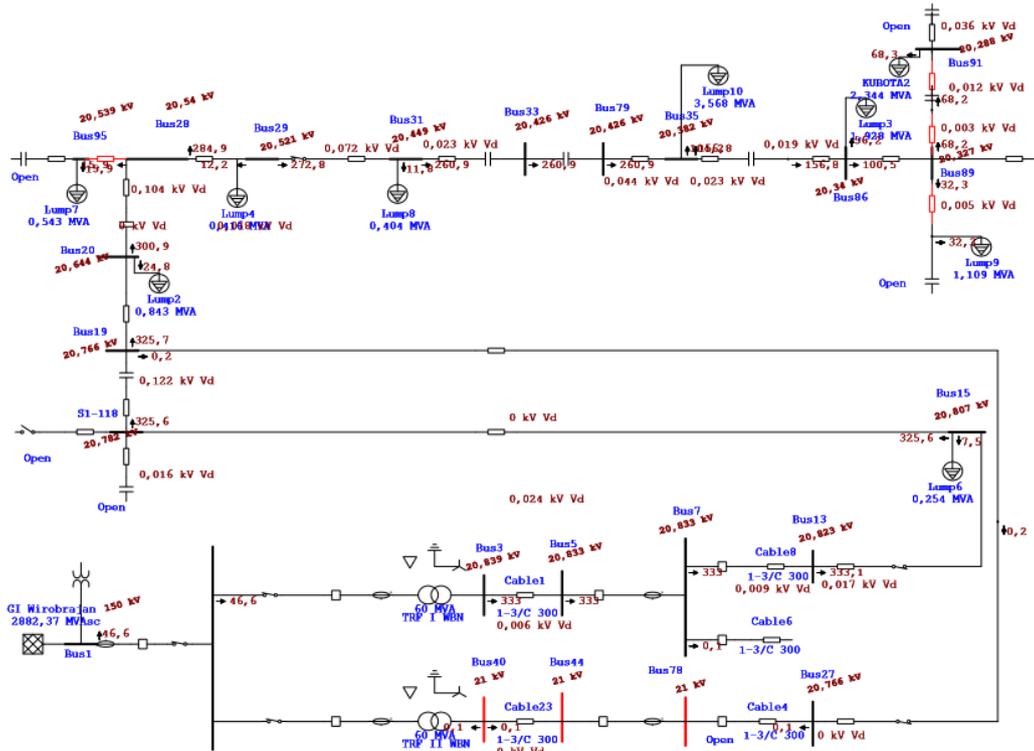
A. Kondisi Penyulang WBN01 Sebelum Pemecahan Beban

Untuk mengetahui kondisi penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban, perlu dilakukan pemodelan SLD penyulang WBN01 pada *software* ETAP 12.6 untuk melakukan simulasi *load flow analysis*. Gambar 2 menampilkan desain SLD penyulang WBN01 pada *software* ETAP 12.6 sebelum dilakukan pemecahan beban.

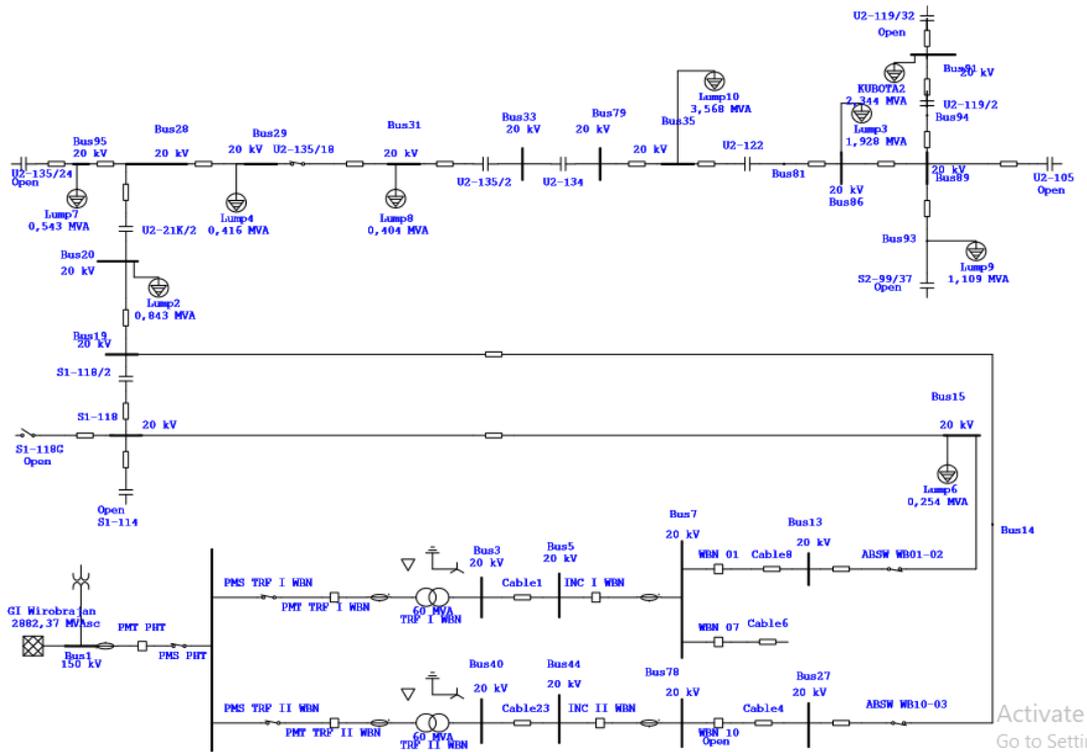
1) *Analisis Operasi Manuver Jaringan Penyulang WBN01 Sebelum Dilakukan Pemecahan Beban*: Perencanaan pemecahan beban penyulang WBN01 bertujuan agar operasi manuver jaringan penyulang ini dapat berjalan dengan optimal di mana nilai arus bebannya tidak melebihi nilai *setting* arus pengenal PMT, yaitu sebesar 400 A saat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain. Tabel 2 menampilkan prediksi nilai arus beban penyulang WBN01 saat dilakukan operasi manuver jaringan sebelum pemecahan beban. Tabel 2 menunjukkan bahwa penyulang WBN01 memiliki nilai arus beban yang melebihi batas maksimum sebesar 400 A saat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain, yaitu berkisar antara 499 A hingga 628 A.

Tabel 2. Prediksi arus beban penyulang WBN01 saat operasi manuver jaringan sebelum pemecahan beban

Nama Penyulang	WBN01 (337 A)	Memenuhi/ Tidak Memenuhi (≤ 400 A)
KTN05 (291 A)	628 A	Tidak Memenuhi
GDN01 (205 A)	542 A	Tidak Memenuhi
WBN06 (162 A)	499 A	Tidak Memenuhi
BNL01 (242 A)	579 A	Tidak Memenuhi
BNL02 (227 A)	564 A	Tidak Memenuhi
GJN16 (204 A)	541 A	Tidak Memenuhi
WBN08 (215 A)	552 A	Tidak Memenuhi



Gambar 2. Desain *single line diagram* penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban



Gambar 3. Simulasi *load flow analysis* penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban

2) Analisis Nilai Jatuh Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, dan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Sebelum Dilakukan Pemecahan Beban Berdasarkan Hasil Simulasi dengan Software ETAP 12.6: Berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis* menggunakan software ETAP 12.6, diperoleh nilai jatuh tegangan dan susut daya penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai jatuh tegangan dan susut daya penyulang WBN01

Parameter	Nilai
Tegangan pangkal fase-fase (V_{FF}) - kV	20,839
Tegangan di ujung beban - kV	20,288
Jatuh tegangan - kV	0,551
Susut daya - kW	162
Susut daya - kVAr	559,8

Dari data yang ditampilkan pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa dengan metode simulasi *load flow analysis* menggunakan software ETAP 12.6, diperoleh nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban sebesar 0,551 kV dan nilai susut daya sebesar 162 kW. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai susut energi dan kerugian ekonomis menggunakan (1) yaitu perhitungan susut energi.

$$\begin{aligned} \text{Load factor} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \\ \text{Load factor} &= \frac{329,3 \text{ A}}{337 \text{ A}} \\ \text{Load factor} &= 0,98 \\ \text{LF} &= (0,3 \times \text{load factor}) + (0,7 \times (\text{load factor}^2)) \\ \text{LF} &= (0,3 \times 0,98) + (0,7 \times (0,98^2)) \\ \text{LF} &= 0,294 + 0,672 \\ \text{LF} &= 0,966 \end{aligned} \quad (1)$$

Sehingga dapat diperoleh nilai susut energi penyulang WBN01 seperti pada (2).

$$\begin{aligned} E_{\text{LOSS}} &= H \times 24 \times \text{kW}_{\text{LOSS}} \times \text{LF} \\ E_{\text{LOSS}} &= 30 \times 24 \times 162 \text{ kW} \times 0,966 \\ E_{\text{LOSS}} &= 112.674,24 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (2)$$

Dari perhitungan pada (1) dan (2), diketahui besarnya nilai susut energi penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban berdasarkan simulasi *load flow analysis* yaitu sebesar 112.674,24 kWh. Kemudian perhitungan kerugian ekonomis ditunjukkan pada (3).

$$\begin{aligned} \text{Rupiah Lost} &= E_{\text{LOSS}} \times \text{harga listrik per kWh} \\ &= 112.674,24 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.699,53/\text{kWh} \\ &= \text{Rp}191.493.251,107. \end{aligned} \quad (3)$$

Berdasarkan perhitungan pada persamaan 3 diperoleh hasil kerugian ekonomis penyulang WBN01 dalam 1 bulan sebelum dilakukan pemecahan beban berdasarkan simulasi *load flow analysis* yaitu sebesar Rp191.493.251,107 dengan jenis pelanggan rumah tangga daya 3.500 VA s/d 5.500 VA.

3) Perhitungan Nilai Jatuh Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, dan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Sebelum Dilakukan Pemecahan Beban Berdasarkan Data Primer Penyulang : yang pertama ialah Perhitungan Jatuh Tegangan Penyulang WBN01 Sebelum Pemecahan Beban Untuk melakukan perhitungan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01, digunakan data pengukuran arus beban penyulang tiap *section* untuk fase T karena nilai arus pada fase ini relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai arus pada fase R dan fase S. Selain itu, pada perhitungan ini nilai arus pada fase T dianggap seimbang terhadap 2 fase yang lain. Adapun besarnya tegangan pangkal fase-netral (V_{FN}) dari penyulang WBN01, didapat dengan (4) dan (5).

$$V_{FF} = 21 \text{ kV} \quad (4)$$

$$V_{FN} = \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{FN} = \frac{21}{\sqrt{3}} \text{ kV} \quad (5)$$

$$V_{FN} = 12,12 \text{ kV}$$

Pada SPLN No. 72 Tahun 1987 diatur besarnya batas toleransi jatuh tegangan sebuah penyulang dengan sistem konfigurasi jaringan *open loop* yaitu kurang dari 5%. Sehingga nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, seperti pada persamaan 6.

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{SPLN}} &= \frac{5}{100} \times V_{FN} \\ \Delta V_{\text{SPLN}} &= \frac{5}{100} \times 12,12 \text{ kV} \\ \Delta V_{\text{SPLN}} &= 0,61 \text{ kV} \end{aligned} \quad (6)$$

Sehingga besarnya tegangan fase-netral (V_{FN}) penyulang WBN01 menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, seperti pada persamaan 7.

$$\begin{aligned} V_{\text{FNSPLN}} &= V_{FN} - \Delta V_{\text{SPLN}} \\ V_{\text{FNSPLN}} &= 12,12 \text{ kV} - 0,61 \text{ kV} \\ V_{\text{FNSPLN}} &= 11,51 \text{ kV} \end{aligned} \quad (7)$$

Sementara itu, untuk nilai jatuh tegangan fase-fase (V_{FF}) penyulang WBN01 menurut SPLN No. 72 Tahun 1987, dapat dilihat pada persamaan 8.

$$\begin{aligned} V_{\text{FFSPLN}} &= \sqrt{3} \times V_{\text{FNSPLN}} \\ V_{\text{FFSPLN}} &= \sqrt{3} \times 11,51 \text{ kV} \\ V_{\text{FFSPLN}} &= 19,93 \text{ kV} \end{aligned} \quad (8)$$

Dari perhitungan pada (8), dapat diketahui batas minimum nilai tegangan penyulang WBN01 yang diperbolehkan menurut SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu sebesar 19,93 kV.

Analisis nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 setiap *section* sebelum dilakukan pemecahan beban, dapat dihitung menggunakan (9).

$$\Delta V = I \times (R \cos\theta + X \sin\theta) \times \ell_{\text{sal}} \quad (9)$$

dengan,

- ΔV : jatuh tegangan (kV)
- I : arus yang mengalir (A)
- R : resistansi saluran (Ω)
- X : reaktansi saluran (Ω)
- θ : sudut faktor daya beban ($^\circ$)
- ℓ_{sal} : panjang saluran (KM)

Tabel 4 menunjukkan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 pada setiap *section* berdasarkan data primer penyulang.

Tabel 4. Nilai jatuh tegangan setiap section penyulang WBN01 sebelum pemecahan beban

No.	Section	Jatuh Tegangan (V)
1.	PMT s/d LBS S1-118/2	0,879
2.	LBS S1-118/2 s/d REC U2-21K/2	4,299
3.	REC U2-21K/2 s/d LBS U2-135/24	3,095
4.	LBS U2-135/24 s/d ABSW U2-135/18	0,823
5.	ABSW U2-135/18 s/d LBS U2-135/2	2,117
6.	LBS U2-135/2 s/d LBS U2-122	15,443
7.	LBS U2-122 s/d LBS U2-105/2	9,693
8.	LBS U2-119 s/d LBS U2-119/2	0
9.	LBS U2-119/2 s/d LBS U2-119/32	20,591
10.	LBS U2-119 s/d LBS S1-99/37	2,375
Total Beban		59,315

Dari Tabel 4, dapat diketahui besarnya nilai tegangan beban paling ujung dari penyulang WBN01, seperti pada (10) dan (11).

$$V_{FN(WBN01)} = V_{FN} - \sum \Delta V_{(WBN01)} = 12,12 \text{ kV} - 0,059 \text{ kV} = 12,061 \text{ kV} \quad (10)$$

$$V_{FF(WBN0)} = V_{FN(WBN01)} \times \sqrt{3} = 12,061 \text{ kV} \times \sqrt{3} = 20,89 \text{ kV} \quad (11)$$

Dari perhitungan menggunakan (10) dan (11), dapat diketahui besarnya nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban yaitu sebesar 59,315 V atau 0,059 kV (ΔV_{FN}) atau 0,102 kV (ΔV_{FF}), sehingga nilai tegangan pada beban paling ujung yaitu sebesar 20,89 kV. Perhitungan Susut Daya Penyulang WBN01 Sebelum Pemecahan Beban dapat dilihat pada (12) menghasilkan nilai susut daya penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban sebesar 60,996 kW.

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{\text{sumber}} - P_{\text{beban}} \\ &= (\sqrt{3} \times V_s \times I \times \cos \phi) - (\sqrt{3} \times V_L \times I \times \cos \phi) \\ &= (\sqrt{3} \times 21.000 \text{ V} \times 337 \text{ A} \times 0,95) - (\sqrt{3} \times 20.890 \text{ V} \times 337 \text{ A} \times 0,95) \\ &= 11.644.837,386 \text{ Watt} - 11.583.840,619 \text{ Watt} \\ &= 60.996,77 \text{ Watt} \\ &= 60,996 \text{ kW} \end{aligned} \quad (12)$$

Perhitungan Susut Energi Penyulang WBN01 Sebelum Pemecahan Beban dilakukan dengan (13) dan (14) diperoleh nilai susut energi penyulang WBN01 setiap bulan sebelum dilakukan pemecahan beban sebesar 42.423,937 kWh.

$$\begin{aligned} \text{Load factor} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \\ \text{Load factor} &= \frac{329,3 \text{ A}}{337 \text{ A}} \\ \text{Load factor} &= 0,98 \\ LF &= (0,3 \times \text{load factor}) + (0,7 \times (\text{load factor}^2)) \\ LF &= (0,3 \times 0,98) + (0,7 \times (0,98^2)) \\ LF &= 0,294 + 0,672 \\ LF &= 0,966 \\ E_{LOSS} &= H \times 24 \times \text{kW}_{LOSS} \times LF \\ E_{LOSS} &= 30 \times 24 \times 60,996 \text{ kW} \times 0,966 \end{aligned} \quad (13)$$

$$E_{LOSS} = 42.423,937 \text{ kWh}$$

Perhitungan (15) menunjukkan besarnya kerugian ekonomis penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban dalam 1 bulan yaitu sebesar Rp72.100.753,649 dengan jenis pelanggan rumah tangga daya 3.500 VA s/d 5.500 VA.

$$\begin{aligned} \text{Rupiah Lost} &= E_{LOSS} \times \text{harga listrik per kWh} \\ &= 42.423,937 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.699,53/\text{kWh} \\ &= \text{Rp}72.100.753,649 \end{aligned} \quad (15)$$

B. Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru WBN07 untuk Memecah Beban Penyulang WBN01

Pada perencanaan pemecahan beban penyulang WBN01, besarnya arus beban penyulang yang akan dibagi menuju penyulang WBN07 yaitu sebesar 76 A. Tabel 5 menampilkan data arus beban penyulang WBN01 setiap *section* sebelum dan sesudah pemecahan beban.

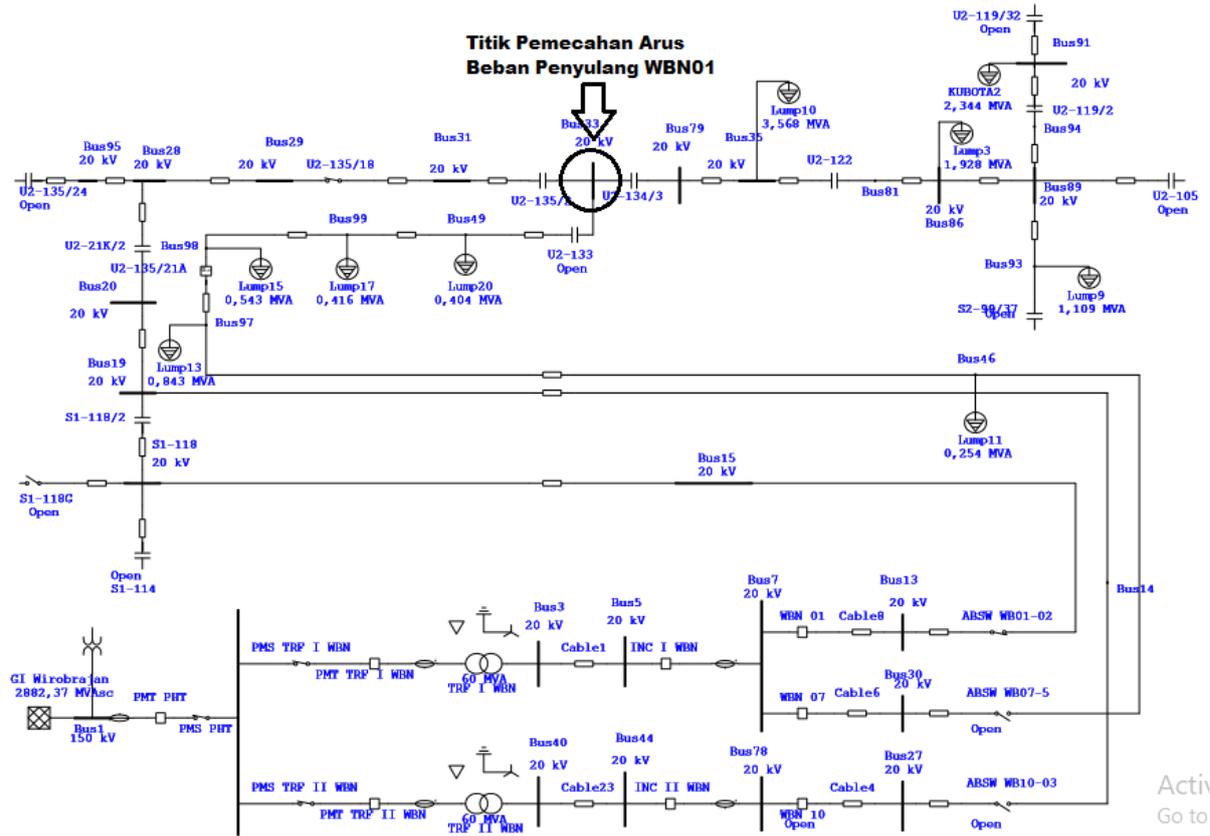
Tabel 5. Rencana pemecahan arus beban penyulang WBN01

No.	Section	Beban Penyulang sebelum Pemecahan Beban (A)	Beban Penyulang setelah Pemecahan Beban (A)
1.	PMT s/d LBS S1-118/2	9	0
2.	LBS S1-118/2 s/d REC U2-21K/2	25	0
3.	REC U2-21K/2 s/d LBS U2-135/24	16	0
4.	LBS U2-135/24 s/d ABSW U2-135/18	13	0
5.	ABSW U2-135/18 s/d LBS U2-135/2	13	0
6.	LBS U2-135/2 s/d LBS U2-122	105	105
7.	LBS U2-122 s/d LBS U2-105/2	56	56
8.	LBS U2-119/2 s/d LBS U2-119/32	65	65
9.	LBS U2-119 s/d LBS S1-99/37	35	35
Total Beban		337	261

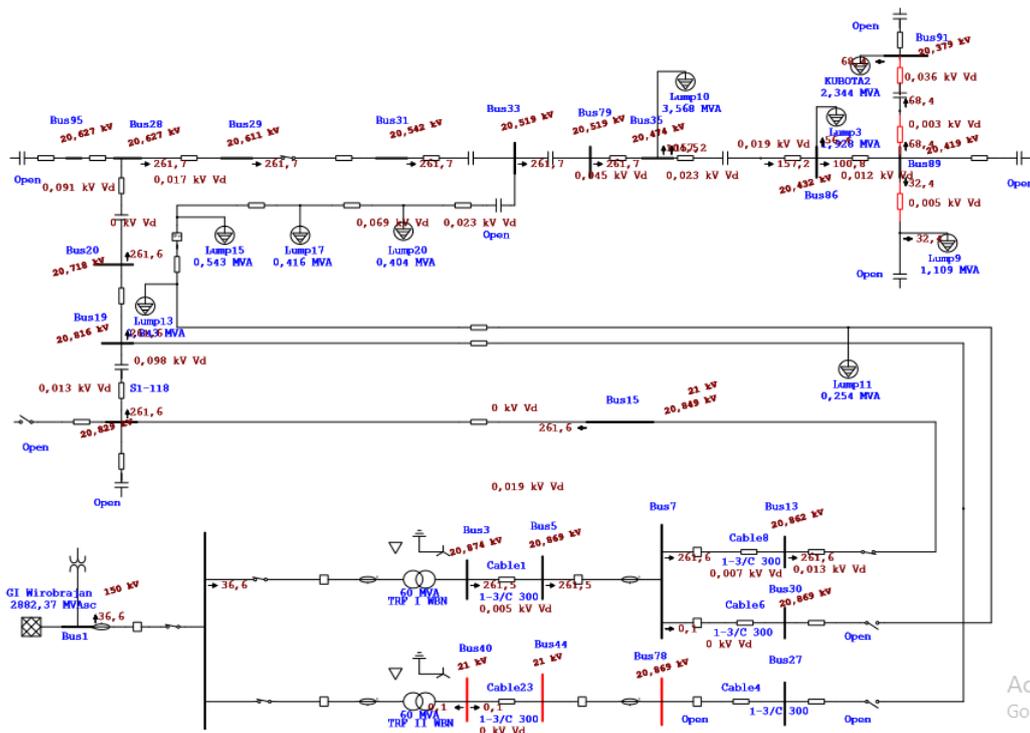
Dari Tabel 5, diketahui perencanaan pemecahan sebagian arus beban penyulang WBN01 dilakukan pada titik LBS U2-135/2. Sehingga penyulang WBN01 yang semula menyuplai seluruh beban dari LBS S1-118/2 hingga LBS U2-105/2, kini hanya menyuplai beban dari LBS U2-135/2 hingga LBS U2-105/2 dengan total nilai arus beban yang semula 337 A berkurang menjadi 261 A.

C. Kondisi Penyulang WBN01 Setelah Pemecahan Beban

Setelah dilakukan perencanaan pemecahan beban penyulang WBN01 terhadap penyulang WBN07, selanjutnya dilakukan pemodelan SLD penyulang WBN01 setelah pemecahan beban pada *software* ETAP 12.6. Gambar 4 menunjukkan desain SLD penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban. Setelah dilakukan pemodelan SLD penyulang WBN01 setelah pemecahan beban pada *software* ETAP 12.6, selanjutnya dapat dilakukan simulasi *load flow analysis* dari desain SLD yang telah dibuat. Gambar 5 menampilkan hasil simulasi *load flow analysis* penyulang WBN01 setelah pemecahan beban.



Gambar 4. Desain SLD penyulang WBN01 setelah pemecahan beban



Gambar 5. Simulasi load flow analysis penyulang WBN01 setelah pemecahan beban

1) Analisis Operasi Manuver Jaringan Penyulang WBN01 Setelah Dilakukan Pemecahan Beban: Adapun besarnya arus beban penyulang WBN01 yang akan dipecah menuju penyulang WBN07 yaitu sebesar 76 A. Sehingga penyulang WBN01 memiliki arus beban sebesar 261 A setelah pemecahan beban. Dengan nilai tersebut menyebabkan penyulang ini dapat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain dengan nilai yang lebih besar dibandingkan sebelum dilakukan pemecahan beban. Tabel 6 menampilkan prediksi dari besarnya arus beban penyulang WBN01 saat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain setelah dilakukan pemecahan beban.

Tabel 6. Prediksi arus beban penyulang WBN01 saat operasi manuver jaringan setelah pemecahan beban

Nama Penyulang	WBN01 (261 A)	Memenuhi/ Tidak Memenuhi (≤ 400 A)
KTN05 (291 A)	552 A	Tidak Memenuhi
GDN01 (205 A)	466 A	Tidak Memenuhi
WBN06 (162 A)	423 A	Tidak Memenuhi
BNL01 (242 A)	503 A	Tidak Memenuhi
BNL02 (227 A)	488 A	Tidak Memenuhi
GJN16 (204 A)	465 A	Tidak Memenuhi
WBN08 (215 A)	476 A	Tidak Memenuhi

Dari data yang ditampilkan pada Tabel 6, dapat diketahui nilai arus beban penyulang WBN01 saat menerima pelimpahan beban dari penyulang lain berkisar antara 423 A hingga 552 A setelah dilakukan pemecahan beban. Nilai tersebut masih melebihi batas maksimum yaitu 400 A.

Namun, pada operasi manuver jaringan biasanya hanya melimpahkan sebagian kecil dari total arus beban yang dimiliki sebuah penyulang, umumnya hanya yang terdapat pada *section-section* tertentu baik yang sedang mengalami gangguan maupun sedang dilakukan pemeliharaan. Oleh sebab itu, saat nilai arus beban penyulang WBN01 sebesar 261 A dapat dilakukan operasi manuver jaringan yang lebih optimal dibandingkan saat nilai arus beban penyulang ini sebesar 337 A.

2) Analisis Nilai Jatuh Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, dan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Setelah Dilakukan Pemecahan Beban Berdasarkan Hasil Simulasi dengan Software ETAP 12.6: Berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis* menggunakan software ETAP 12.6, diperoleh nilai jatuh tegangan dan susut daya penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai jatuh tegangan dan susut daya penyulang WBN01

Parameter	Nilai
Tegangan pangkal fase-fase (V_{FF}) - kV	20,874
Tegangan di ujung beban - kV	20,379
Jatuh tegangan - kV	0,495
Susut daya - kW	124,5
Susut daya - kVAr	394,9

Dari data yang ditampilkan pada Tabel 7, dapat diketahui bahwa dengan metode simulasi *load flow analysis* menggunakan software ETAP 12.6, diperoleh nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban sebesar 0,495 kV dan susut daya sebesar 124,5 kW. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai susut energi dan kerugian ekonomis. Susut energi dihitung dengan menggunakan (16) dan (17).

$$\begin{aligned}
 \text{Load factor} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \\
 \text{Load factor} &= \frac{258,3 \text{ A}}{261 \text{ A}} \\
 \text{Load factor} &= 0,99 \\
 \text{LF} &= (0,3 \times \text{load factor}) + (0,7 \times (\text{load factor}^2)) \\
 \text{LF} &= (0,3 \times 0,99) + (0,7 \times (0,99^2)) \\
 \text{LF} &= 0,297 + 0,686 \\
 \text{LF} &= 0,983 \\
 E_{LOSS} &= H \times 24 \times kW_{LOSS} \times \text{LF} \\
 E_{LOSS} &= 30 \times 24 \times 124,5 \text{ kW} \times 0,983 \\
 E_{LOSS} &= 88.116,12 \text{ kWh}
 \end{aligned} \tag{17}$$

Dari perhitungan pada (17), diketahui besarnya nilai susut energi penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban dalam 1 bulan berdasarkan data *report* susut daya yaitu sebesar 88.116,12 kWh. Nilai ini menunjukkan penurunan susut energi setiap bulan penyulang WBN01 sebesar 24.558,12 kWh dari kondisi sebelum dilakukan pemecahan beban berdasarkan simulasi *load flow analysis*. Selanjutnya menghitung hasil rugi ekonomis dengan (18).

$$\begin{aligned}
 \text{Rupiah Lost} &= E_{LOSS} \times \text{harga listrik per kWh} \\
 &= 88.116,12 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.699,53/\text{kWh} \\
 &= \text{Rp}149.755.989,424
 \end{aligned} \tag{18}$$

Dari perhitungan (18), diperoleh hasil rugi ekonomis penyulang WBN01 setiap bulan setelah dilakukan pemecahan beban yaitu sebesar Rp149.755.989,424 dengan jenis pelanggan rumah tangga daya 3.500 VA s/d 5.500 VA. Sehingga dapat dihitung besarnya rupiah yang dapat diselamatkan pasca dilakukan pemecahan sebagian beban penyulang WBN01 setiap bulan yaitu sebesar Rp41.737.261,683 berdasarkan simulasi *load flow analysis*.

3) Perhitungan Nilai Jatuh Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, dan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Setelah Dilakukan Pemecahan Beban Berdasarkan Data Primer Penyulang: Sebelum melakukan perhitungan jatuh tegangan penyulang WBN01 setelah pemecahan beban, perlu diketahui besarnya tegangan pangkal fase-netral (V_{FN}) dari penyulang WBN01, yaitu seperti pada (19) dan (20).

$$\begin{aligned}
 V_{FF} &= 21 \text{ kV} \\
 V_{FN} &= \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}} \\
 V_{FN} &= \frac{21}{\sqrt{3}} \text{ kV} \\
 V_{FN} &= 12,12 \text{ kV}
 \end{aligned} \tag{19}$$

Menurut standar SPLN No. 72 Tahun 1987, batas maksimum jatuh tegangan sebuah penyulang dengan sistem konfigurasi jaringan *open loop* yaitu kurang dari 5%. Oleh sebab itu, batas maksimum nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 seperti pada (21).

$$\begin{aligned}\Delta V_{SPLN} &= \frac{5}{100} \times V_{FN} \\ \Delta V_{SPLN} &= \frac{5}{100} \times 12,12 \text{ kV} \\ \Delta V_{SPLN} &= 0,61 \text{ kV}\end{aligned}\quad (21)$$

Dari standar nilai jatuh tegangan menurut SPLN No. 72 Tahun 1987 tersebut, dapat diperoleh nilai tegangan fase-netral (V_{FN}) penyulang WBN01 menggunakan (22).

$$\begin{aligned}V_{FNSPLN} &= V_{FN} - \Delta V_{SPLN} \\ V_{FNSPLN} &= 12,12 \text{ kV} - 0,61 \text{ kV} \\ V_{FNSPLN} &= 11,51 \text{ kV}\end{aligned}\quad (22)$$

Dan tegangan fase-fase (V_{FF}) penyulang WBN01 menggunakan (23).

$$\begin{aligned}V_{FFSPLN} &= \sqrt{3} \times V_{FNSPLN} \\ V_{FFSPLN} &= \sqrt{3} \times 11,51 \text{ kV} \\ V_{FFSPLN} &= 19,93 \text{ kV}\end{aligned}\quad (23)$$

Dari perhitungan (22) dan (23), dapat diketahui batas minimum nilai tegangan penyulang WBN01 yang diperbolehkan menurut SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu sebesar 19,93 kV. Untuk mengetahui nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 setiap *section* setelah dilakukan pemecahan beban, dapat menggunakan rumusan matematis seperti pada (24).

$$\Delta V = I \times (R \cos\theta + X \sin\theta) \times \ell_{sal} \quad (24)$$

dengan,

- ΔV : jatuh tegangan (kV)
- I : arus yang mengalir (A)
- R : resistansi saluran (Ω)
- X : reaktansi saluran (Ω)
- θ : sudut faktor daya beban ($^\circ$)
- ℓ_{sal} : panjang saluran (KM)

Tabel 8 menunjukkan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 pada setiap *section* berdasarkan data primer penyulang setelah dilakukan pemecahan beban.

Tabel 8. Nilai jatuh tegangan setiap *section* penyulang WBN01 setelah pemecahan beban

No.	Section	Jatuh Tegangan (V)
1.	LBS U2-135/2 s/d LBS U2-122	15,443
2.	LBS U2-122 s/d LBS U2-105/2	9,693
3.	LBS U2-119 s/d LBS U2-119/2	0
4.	LBS U2-119/2 s/d LBS U2-119/32	20,591
5.	LBS U2-119 s/d LBS S1-99/37	2,375
Total Beban		48,102

Sehingga besarnya nilai tegangan beban paling ujung dari penyulang WBN01, dapat dihitung seperti pada (25) dan (26).

$$\begin{aligned}V_{FN(WBN01)} &= V_{FN} - \sum \Delta V_{(WBN01)} \\ &= 12,12 \text{ kV} - 0,048 \text{ kV} \\ &= 12,072 \text{ kV}\end{aligned}\quad (25)$$

$$\begin{aligned}V_{FF(WBN01)} &= V_{FN(WBN01)} \times \sqrt{3} \\ &= 12,072 \text{ kV} \times \sqrt{3} \\ &= 20,91 \text{ kV}\end{aligned}\quad (26)$$

Dari perhitungan pada (25) dan (26), dapat diketahui besarnya nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban yaitu sebesar 48,102 V atau 0,048 kV (ΔV_{FN}) atau 0,083 kV (ΔV_{FF}), sehingga nilai tegangan pada beban paling ujung yaitu 20,91 kV. Jika dibandingkan dengan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 sebelum dilakukan pemecahan beban menggunakan rumus matematis, maka nilai jatuh tegangan setelah pemecahan beban ini mengalami penurunan sebesar 0,02 kV. Perhitungan Susut Daya Penyulang WBN01 Setelah Pemecahan Beban dihitung menggunakan (27).

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_{sumber} - P_{beban} \\ &= (\sqrt{3} \times V_s \times I \times \cos\phi) - (\sqrt{3} \times V_L \times I \times \cos\phi) \\ &= (\sqrt{3} \times 21.000 \text{ V} \times 261 \text{ A} \times 0,95) - (\sqrt{3} \times 20.910 \text{ V} \times 261 \text{ A} \times 0,95) \\ &= 9.018.701,952 \text{ Watt} - 8.980.050,372 \text{ Watt} \\ &= 38.651,58 \text{ Watt} \\ &= 38,651 \text{ kW}\end{aligned}\quad (27)$$

Dari perhitungan (27), diperoleh nilai susut daya penyulang WBN01 setelah pemecahan beban sebesar 38,651 kW. Nilai ini menunjukkan penurunan susut daya penyulang WBN01 sebesar 22,345 kW pasca pemecahan beban. Perhitungan Susut Energi Penyulang WBN01 Setelah Pemecahan Beban ditunjukkan pada (28) dan (29).

$$\begin{aligned}\text{Load factor} &= \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \\ \text{Load factor} &= \frac{258,3 \text{ A}}{261 \text{ A}} \\ \text{Load factor} &= 0,99 \\ \text{LF} &= (0,3 \times \text{load factor}) + (0,7 \times (\text{load factor}^2)) \\ \text{LF} &= (0,3 \times 0,99) + (0,7 \times (0,99^2)) \\ \text{LF} &= 0,297 + 0,686 \\ \text{LF} &= 0,983 \\ E_{LOSS} &= H \times 24 \times kW_{LOSS} \times LF \\ E_{LOSS} &= 30 \times 24 \times 38,651 \text{ kW} \times 0,983 \\ E_{LOSS} &= 27.355,631 \text{ kWh}\end{aligned}\quad (28)$$

Dari perhitungan (29), diperoleh nilai susut energi penyulang WBN01 setiap bulan setelah dilakukan pemecahan beban sebesar 27.355,631 kWh. Nilai ini menunjukkan penurunan susut energi penyulang WBN01 sebesar 15.068,306 kWh setiap bulan pasca pemecahan beban. Perhitungan Kerugian Ekonomis Penyulang WBN01 Setelah Pemecahan Beban ditunjukkan pada (30).

$$\begin{aligned}\text{Rupiah Lost} &= E_{LOSS} \times \text{harga listrik per kWh} \\ &= 27.355,631 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.699,53/\text{kWh} \\ &= \text{Rp}46.491.715,553\end{aligned}\quad (30)$$

Dari perhitungan (30), diketahui besarnya kerugian ekonomis penyulang WBN01 setelah dilakukan pemecahan beban setiap bulan yaitu sebesar Rp46.491.715,553 dengan jenis pelanggan rumah tangga daya 3.500 VA s/d 5.500 VA. Sehingga dapat diketahui besarnya rupiah yang dapat diselamatkan pasca pemecahan beban penyulang WBN01 berdasarkan metode perhitungan menggunakan rumus matematis yaitu sebesar Rp25.609.038,096.

D. Analisis Pemilihan Jenis Konstruksi dan Material pada Pembangunan Penyulang Baru WBN07

Adapun jenis konstruksi yang digunakan pada pembangunan penyulang baru WBN07 berupa konstruksi penghantar udara yang ditandai dengan penggunaan penghantar berjenis saluran udara tegangan menengah (SUTM). Sementara itu, untuk jenis material yang dibutuhkan terdiri dari 2 jenis material, yaitu material distribusi utama (MDU) dan material *hardware*. Tabel 9 menampilkan data material untuk pembangunan penyulang baru WBN07 yang diperoleh melalui metode wawancara secara langsung dengan staf Divisi Perencanaan PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta.

Tabel 9. Rincian data material pembangunan penyulang WBN07

Uraian	Volume	Satuan
Tiang beton 12M-350 daN+E	4	batang
Tiang beton 14M-350 daN+E	58	batang
Kabel NA2XSEYBY 20 kV 3x300 mm ²	250	meter
Penghantar AAAC 240 mm ²	24.132	meter
Recloser	1	unit
LBS	2	unit

Dari data material pada Tabel 9, selanjutnya dapat dilakukan akumulasi total rencana anggaran belanja (RAB) pembangunan penyulang WBN07 yang digunakan sebagai perkiraan investasi yaitu ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perkiraan RAB pembangunan penyulang WBN07

No.	Jenis Pengeluaran	Rencana Anggaran Biaya (Rupiah)
1.	Material Distribusi Utama (MDU)	1.530.326.930
2.	Material <i>Hardware</i>	396.128.590
3.	Jasa	386.102.530
Total Rencana Anggaran Biaya		2.312.558.050

Dari Tabel 10 diketahui perkiraan total biaya yang digunakan untuk membangun penyulang baru WBN07 yaitu sebesar Rp2.312.558.050,00 atau berkisar 2,3 miliar rupiah dengan estimasi waktu investasi bagi PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta yaitu ± 4,6 tahun berdasarkan hasil simulasi atau ± 7,5 tahun berdasarkan hasil perhitungan matematis. Nilai Estimasi waktu berdasarkan hasil simulasi diperoleh melalui perhitungan pada (31) dan nilai estimasi waktu berdasarkan perhitungan matematis pada (32).

$$\begin{aligned}
 \text{Estimasi waktu} &= \frac{\text{Perkiraan RAB pembangunan penyulang WBN07}}{\text{Biaya tersimpan tiap bulan} \times 12 \text{ bulan}} \\
 &= \frac{\text{Rp}2.312.558.050,00}{\text{Rp}41.737.261,6836 \times 12} \quad (31) \\
 &= \frac{\text{Rp}2.312.558.050,00}{\text{Rp}500.847.140,2032} \\
 &= \pm 4,6 \text{ tahun} \\
 \text{Estimasi waktu} &= \frac{\text{Perkiraan RAB pembangunan penyulang WBN07}}{\text{Biaya tersimpan tiap bulan} \times 12 \text{ bulan}} \\
 &= \frac{\text{Rp}2.312.558.050,00}{\text{Rp}25.609.250,0275 \times 12} \quad (32) \\
 &= \frac{\text{Rp}2.312.558.050,00}{\text{Rp}307.311.000,33} \\
 &= \pm 7,5 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Dari analisis nilai jatuh tegangan, susut daya, susut energi, dan kerugian ekonomis yang dialami penyulang WBN01 sebelum dan sesudah dilakukan pemecahan beban diatas, dapat dibandingkan nilai yang diperoleh berdasarkan metode simulasi *load flow analysis* menggunakan *software* ETAP 12.6 dan metode perhitungan menggunakan rumus matematis pada Tabel 11, Tabel 12, dan Tabel 13.

Tabel 11. Perbandingan nilai jatuh tegangan penyulang WBN01

Parameter (V pangkal = 21 kV)	Kondisi				
	SPLN No. 72 1987	Sebelum pemecahan beban		Setelah pemecahan beban	
		Simulasi	Perhitungan Matematis	Simulasi	Perhitungan Matematis
Jatuh tegangan (kV)	1,07	0,551	0,102	0,495	0,083
Tegangan -an di beban ujung (kV)	19,93	20,288	20,89	20,379	20,91

Tabel 12. Perbandingan nilai susut daya, susut energi, dan rugi ekonomis penyulang WBN01

Parameter	Kondisi			
	Sebelum pemecahan beban		Setelah pemecahan beban	
	Simulasi	Perhitungan Matematis	Simulasi	Perhitungan Matematis
Susut daya (kW)	162	60,996	124,5	38,651
Susut energi (kWh)	112.674,24	42.423,937	88.116,12	27.355,631
Kerugian ekonomis (Rupiah)	191.493.251,107	72.100.753,649	149.755.989,424	46.491.715,553

Tabel 13. Perbandingan rupiah yang dapat disimpan dari pemecahan arus beban penyulang WBN01

Parameter	Kondisi	
	Simulasi	Perhitungan Matematis
Rupiah yang dapat diselamatkan	41.737.261,683	25.609.038,096

IV. SIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Upaya pemecahan beban penyulang WBN01 terhadap penyulang WBN07 dapat mengoptimalkan operasi manuver jaringan penyulang WBN01. Penyulang WBN01 yang semula hanya mampu menerima pelimpahan beban sebesar ± 63 A, setelah pemecahan beban mampu menerima pelimpahan beban sebesar ± 139 A.
2. Nilai jatuh tegangan, susut daya, dan susut energi penyulang WBN01 mengalami penurunan pasca dilakukan pemecahan sebagian beban penyulang. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6, nilai jatuh tegangan penyulang WBN01 turun sebesar 0,056 kV (10,16%), susut daya turun sebesar 37,5 kW (23,14%), dan susut energi turun sebesar 24.558,12 kWh dalam 1 bulan (21,79%). Sementara itu, berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus matematis, nilai jatuh tegangan turun sebesar 0,019 kV (18,62%), susut

daya turun sebesar 22,345 kW (36,63%), dan susut energi turun sebesar 15.068,306 kWh dalam 1 bulan (35,51%).

3. Penurunan nilai jatuh tegangan, susut daya, dan susut energi penyulang WBN01 menyebabkan terdapat rupiah yang dapat disimpan yaitu sebesar Rp41.737.261,683 berdasarkan hasil simulasi atau Rp25.609.038,096 berdasarkan hasil perhitungan matematis.
4. Pembangunan penyulang baru WBN07 merupakan solusi yang paling sesuai untuk mengatasi beban *overload* penyulang WBN01 dengan pertimbangan sebagai investasi PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta dan telah terpasangnya peralatan proteksi berupa PMT penyulang WBN07 di gardu induk.
5. Jenis konstruksi penghantar udara dipilih dalam pembangunan penyulang WBN07 dengan beberapa jenis material yang terdiri dari penghantar SKTM NA2XSEYBY 20 kV 3x300 mm², penghantar SUTM AAAC 240 mm², *recloser*, dan *load break switch* (LBS) serta material *hardware* yang terdiri dari tiang beton dengan tinggi 12 meter dan 14 meter.
6. Perkiraan rancangan anggaran biaya (RAB) dari pembangunan penyulang WBN07 yaitu sebesar Rp2.312.558.050,00 atau berkisar 2,3 miliar rupiah dengan estimasi waktu investasi selama ± 4,6 tahun berdasarkan hasil simulasi atau ± 7,5 tahun berdasarkan hasil perhitungan matematis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. R. Syahputra, *Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*. Yogyakarta: LP3M UMY Yogyakarta, 2017. doi: 10.1016/0024-6301(95)94318-s.
- [2] F. D. Safitri and H. Ananta, "Simulasi Penempatan Transformator Pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan Etap Power Station 12.6.0," *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 12–24, 2020, doi: 10.21831/jee.v4i1.29315.
- [3] M. A. Sobikin and H. Ananta, "Analisis Drop Tegangan dan Manuver Jaringan pada Penyulang SGN11 dan Penyulang SGN14 Menggunakan Software ETAP 16.0.0," *Cyclotron*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.30651/cl.v5i1.10638.
- [4] B. Winardi, H. Winarno, and K. R. Aditama, "Perbaikan Losses Dan Drop Tegangan Pwi 9 Dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru Pwi 11 Di Pt Pln (Persero) Area Semarang," *Transmisi*, vol. 18, no. 2, pp. 1–5, 2016.
- [5] A. Jamaah, "Analisa Beban Section untuk Menentukan Alternatif Manuver Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang BRG-3 PT PLN (Persero) Unit Layanan Salatiga," *JTET (Jurnal Tek. Elektro Ter.)*, vol. 2, no. 3, pp. 159–173, 2013, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/jtet/article/view/46%0Ahttps://jurnal.polines.ac.id/index.php/jtet/article/download/46/46>
- [6] N. Hidayah and A. Budi Muljono, "Analisis Manuver Jaringan Terhadap Keandalan Kontinuitas Penyaluran Tenaga Listrik Penyulang di Area Ampenan [Analysis of Network Maneuvers Toward Continuity Reliability of Feeders Electric Power Transmission in Ampenan Area]," vol. 3, no. 1, pp. 109–115, 2014.
- [7] F. Hermanto and T. Sukmadi, "Analisis Jatuh Tegangan Dan Arus Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah Pt Rum," *Transient*, vol. 2, no. 2302–9927, p. 8, 2013, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/4300>
- [8] D. A. Putra and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," vol. 8, no. 2, p. 9, 2020.
- [9] A. Saadah, M. I. Arsyad, and Junaidi, "Studi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Untuk Pembagian Beban Penyulang SAHANG 1 Dan RAYA 17 PT PLN (Persero) ULP Siantan," vol. 2, no. No 1, p. 14, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/43319>
- [10] W. B. E. P. Daya, Asmar, and T. Hendrawan, "Analisa Pecah Beban Penyulang KB5 di PLN Rayon Koba untuk Perbaikan Tegangan dan Susut," *Pros. Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Pada Masy.*, vol. 3, p. 5, 2017.
- [11] H. Eko, "Reduksi Drop Voltage Penyulang JPR05 dan JPR10 dengan Pembangunan Penyulang Baru," 2020, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/18833>
- [12] F. D. Prasetyo, "Analisa Perbaikan Losses dan Jatuh Tegangan Penyulang PTI 12 dengan Pelimpahan Beban ke Penyulang Baru PTI 17 menggunakan ETAP 12.6 di Rayon Juwana," 2019, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/16215>