PERCOBAAN 3 – TUGAS BESAR

Ahmad Aziz (13220034)

Rafid Ahmad Rabbani (13222004)

Chessy Anggraini Putri Hendarsyah (13222084)

Farhan Revandi Suhirman (13222096)

Rafi Ananta Alden (13222087)

Asisten: Ganesha Indrayana Kusuma, Yoga Wijanarko

Tanggal Percobaan: 19/05/2025

EL3017 – Sistem Tenaga Elektrik

Laboratorium Dasar Teknik Elektro - Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB

Abstrak

Abstrak menjelaskan secara singkat percobaan apa yang telah dilakukan, bagaimana percobaan tersebut dilakukan dan hasil (kesimpulan) yang diperoleh. Tiga hingga lima kata/ kelompok kata penting yang menjadi subjek bahasan di dalam laporan ini dituliskan pada Kata kunci.

Kata kunci: Laporan, format, panduan.

1. Pendahuluan

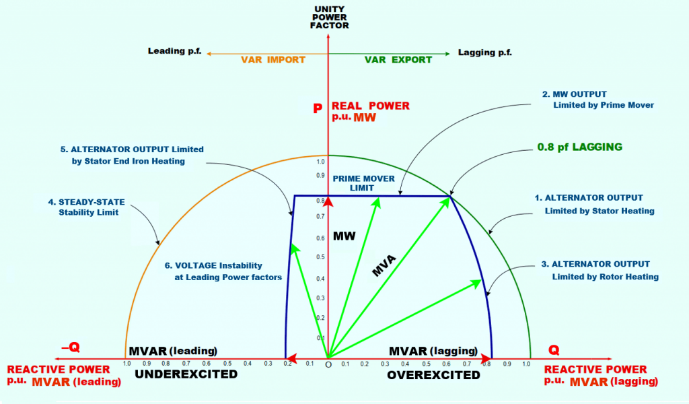
Pada Modul Tubes Besar, dilakukan perancangan dan simulasi sistem tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan beban di suatu kota dengan mempertimbangkan berbagai parameter dan batasan yang telah ditentukan. Percobaan dalam modul ini dilakukan dengan menggunakan MATLAB Simulink dan SimPowerSystems™ untuk memodelkan jaringan distribusi, menganalisis aliran daya (*load flow*), serta mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi normal dan darurat. Modul ini bertujuan untuk memahami karakteristik pembangkit listrik (PLTP, PLTU, PLTA, PLTB), distribusi beban berdasarkan waktu operasional, serta teknik-teknik optimasi untuk menjaga stabilitas tegangan dan faktor daya dalam sistem yang dirancang.

Fokus percobaan dalam modul ini meliputi penjadwalan beban, penentuan kapasitas saluran dan trafo, serta analisis gangguan simetris untuk mengantisipasi gangguan pada sistem. Selain itu, praktikan akan merancang strategi operasi pembangkit dalam berbagai skenario, terutama kondisi darurat ketika hanya beban prioritas yang disuplai. Melalui praktikum ini, praktikan diharapkan agar mampu memahami prinsip perencanaan sistem tenaga listrik, menerapkan studi aliran daya, dan mengembangkan solusi berbasis simulasi sebagai bekal dalam memecahkan permasalahan rekayasa di dunia nyata, terutama mengenai sistem tenaga elektrik.

1. Studi Pustaka

## Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya, umumnya dikenal sebagai studi aliran beban, adalah perhitungan penting dalam perencanaan, penjadwalan ekonomi, dan kontrol sistem tenaga listrik yang ada serta perencanaan ekspansinya di masa depan [1]. Studi ini bertujuan menentukan besaran dan sudut fasa tegangan pada setiap bus serta aliran daya aktif dan reaktif pada setiap jalur dalam sistem tenaga listrik dalam kondisi operasi tunak (*steady state*). Informasi yang diperoleh dari studi aliran daya sangat dibutuhkan guna mengevaluasi performansi sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan atau pun pembebanan. Permasalahan mendasar yang dipecahkan adalah menemukan aliran daya pada setiap saluran dan transformator di jaringan, serta besar tegangan dan sudut fasa pada setiap busbar setelah data konsumsi daya pada titik-titik beban dan produksi daya pada sisi generator diketahui.



Gambar 2-1-1 Kurva Kapabilitas Daya [2]

Pada setiap bus dalam sistem tenaga listrik, terdapat empat besaran utama:

1. Daya aktif (P) dengan satuan Megawatt (MW).
2. Daya reaktif (Q) dengan satuan Megavolt-Ampere-Reaktif (MVAR).
3. Harga skalar tegangan (∣V∣).
4. Sudut fasa tegangan (θ).

Dalam studi aliran daya, pada setiap bus hanya dua dari empat besaran ini yang ditentukan, sementara dua besaran lainnya merupakan hasil perhitungan, [3].

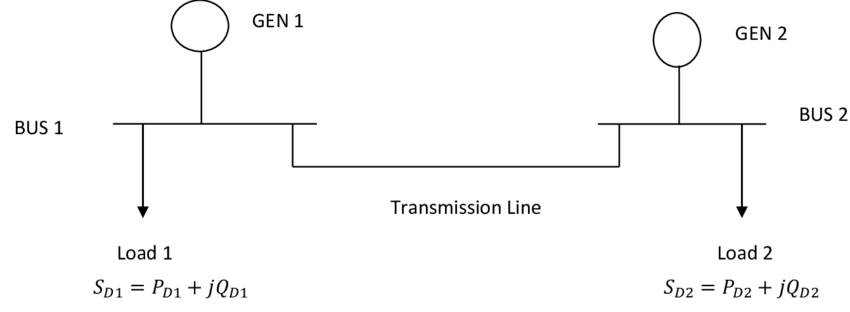
Hubungan antara daya, tegangan, dan arus dalam bentuk kompleks dapat dinyatakan sebagai:

di mana S adalah daya semu (kompleks), V adalah tegangan kompleks, dan I∗ adalah konjugat arus kompleks.

Dalam analisis sistem tenaga listrik, busbar diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan besaran yang diketahui:

1. ***Slack Bus* (*Swing Bus* atau Bus Referensi):** Pada bus ini, besaran tegangan (∣V∣) dan sudut fasa tegangan (θ) ditentukan. *Slack bus* berfungsi sebagai penyeimbang sistem yang menyuplai kekurangan atau menyerap kelebihan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), termasuk rugi-rugi daya pada saluran transmisi, karena rugi-rugi ini baru diketahui setelah solusi aliran daya diperoleh.
2. **Bus Generator (PV Bus atau *Voltage Controlled Bus*):** Pada bus ini, daya aktif (P) dan harga skalar tegangan (∣V∣) ditentukan. Daya reaktif (Q) dan sudut fasa tegangan (θ) dihitung. Bus ini biasanya mewakili terminal generator yang mengontrol tegangan pada bus tersebut.

**Bus Beban (PQ Bus atau *Load Bus*):** Pada bus ini, daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang dikonsumsi beban ditentukan (biasanya bernilai negatif dalam persamaan aliran daya karena daya mengalir keluar dari bus). Harga skalar tegangan (∣V∣) dan sudut fasa tegangan (θ) dihitung.



Gambar 2-3-1 Bus Ganda dalam STE [3]

## Hubung Singkat

Hubung singkat (short circuit) adalah kondisi dalam rangkaian listrik di mana arus listrik mengalir melalui jalur dengan hambatan paling kecil atau arus listrik mengalir pada jalur yang tidak diinginkan dan lebih pendek, alih-alih mengikuti jalur rangkaian yang semestinya [4]. Pada studi analisis short circuit diamati perubahan besar arus-arus yang mengalir melalui saluran-saluran pada sistem tenaga pada saat sebuah gangguan hubung singkat terjadi hingga besar arus tersebut mencapai kondisi mantapnya [1].

Studi analisis short circuit penting untuk merancang sistem proteksi yang dapat mendeteksi, memutus, dan mengisolasi gangguan untuk memastikan bahwa sistem tenaga dapat mengatasi gangguan secara aman tanpa merusak peralatan atau membahayakan keselamatan manusia. Cara menanggulangi kejadian short circuit yang terjadi pada suatu sistem tenaga adalah dengan memutuskan sirkuit saat terjadi gangguan dan mengisolasi gangguan secepat mungkin. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kerusakan besar pada peralatan. Terdapat beberapa peragkat yang dapat digunakan seperti:

* Pemutus sirkuit (circuit breaker) untuk memutus arus saat gangguan.
* Relay proteksi untuk mendeteksi gangguan lebih cepat.
* Sekring (fuse) untuk perlindungan tambahan.
* Perangkat Proteksi Daya Petir (Lighting Power Protection Devices) untuk melindungi sistem dari sambaran petir dan lonjakan tegangan.

Symmetrical Fault

Ganngguan simetris (Symmetrcical fault) adalah gangguan yang semua fasa mengalami hubung singkat satu sama lain, sehingga gagguinan jenis ini seimbang dalam arti sistem tetap simetris atau dapat dikatakan salauran bergeser dengan sudut yang sama (yaitu 120° pada saluran tiga fasa) [5]. Gangguan simetris biasanya disebabkan oleh kondisi ekstrem atau kerusakan serius dalam sistem tenaga Listrik, seperti peti yang menyambar langsung ke saluran transmisi, kerusakan besar pada perakatan seperti trafo atau generator, dan kecelakaan mekanis seperti tiang tumbang atau kabel saling menyentuh antar fasa.

Jenis-jenis Symmetrical Fault

1. L – L – L Fault (Gangguan Tiga Fasa)

Gangguan ini merupakan gangguan simetris, artinya sistem tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Meskipun jarang terjadi, gangguan ini termasuk yang paling parah karena menghasilkan arus hubung singkat terbesar [6].

Unsymmetrical Fault

Gangguan tak simetris (Unsymmetrical faults) adalah gangguan yang hanya memengaruhi satu atau dua fasa dalam sistem tenaga listrik, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan pada saluran tiga fasa [7].

Jenis-jenis unsymmetrical fault

1. Single Line-to-Ground (L – G) Fault

Gangguan satu fasa ke tanah terjadi saat satu konduktor menyentuh tanah secara langsung, misalnya karena kabel putus dan jatuh ke tanah.

1. Line-to-Line (L – L) Fault

Gangguan antar dua fasa ini terjadi ketika dua konduktor saling bersentuhan, biasanya karena angin kencang atau kondisi lingkungan ekstrem.

1. Double Line-to-Ground (L – L – G) Fault

Pada jenis gangguan ini, dua konduktor (fasa) bersentuhan dengan tanah secara bersamaan, baik secara langsung maupun melalui media penghantar seperti pohon, air, atau struktur logam.

1. Perancangan Sistem

## Langkah Percobaan

## Batasan

1. Kota terbagi menjadi 4 Region berdasarkan jenis bebannya.
2. Kota memiliki 4 gardu yang masing-masing terhubung dengan setiap region beban. Gardu 1 terhubung dengan beban 1. Gardu 2 terhubung dengan beban 2. Gardu 3 terhubung dengan beban 3. Gardu 4 terhubung dengan beban 4.
3. Tegangan keluaran untuk semua gardu adalah 20 kV.
4. Setiap Beban dengan V=380 V, memiliki jarak 3km dari gardu awal Tegangan 20kV.
5. Setiap Beban dengan V=20 kV, diasumsikan tidak berjarak dari Gardu awal Tegangan 20kV.
6. Untuk Beban 1,3,4 = V min 0,96 pu.
7. Untuk Beban 2 = V min 0,98 pu dengan PF > 0.85.
8. Boleh menempatkan Capacitor Bank pada Jaringan Tegangan 20 kV.

## Parameter Komponen

### Generator

Tabel 3-2-1-1 Parameter Generator

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Generator** | **Kapasitas (MW)** | **Mode Operasi** | **Waktu** | | |
| **05.00-17.00** | **17.00-22.00** | **22.00-05.00** |
| PLTP | 80 | Swing | ON | ON | ON |
| PLTU | 100 | PV | ON | ON | ON |
| PLTA | 30 | Swing | OFF | ON | ON |
| PLTB | 10 | PV | OFF | ON | ON |

### Transformator

Tabel 3-2-2-1 Parameter Trafo

|  |  |
| --- | --- |
| **Trafo** | **Jenis Trafo** |
|  |
| Trafo 20 kV/ 70kV | Wye - Delta /250 MVA |  |
| Trafo 70 kV/ 230kV | Delta – Wye /250 MVA |  |
| Trafo 230 kV/ 70kV | Wye – Delta/250 MVA |  |
| Trafo 70 kV/ 20kV | Delta – Wye/ 250 MVA |  |
| Trafo 20 kV/ 0.38kV | Wye-Wye/ 250 MVA |  |

### Saluran Transmisi

Tabel 3-2-3-1 Prameter Saluran Transmisi

|  |  |
| --- | --- |
| **Saluran Transmisi** | **Jarak (km)** |
| *Line* PLTP – Gardu 1 | 100 |
| *Line* PLTU – Gardu 2 | 100 |
| *Line* PLTA – Gardu 3 | 50 |
| *Line* PLTB – Gardu 4 | 20 |

### Saluran Transmisi Antargardu

Tabel 3-2-3-2 Prameter Saluran Transmisi Antargardu

|  |  |
| --- | --- |
| **Saluran Transmisi** | **Jarak (km)** |
| *Line* Gardu 1 – Gardu 2 | 20 |
| *Line* Gardu 1 – Gardu 4 | 20 |
| *Line* Gardu 2 – Gardu 4 | 20 |
| *Line* Gardu 1 / Gardu 2 / Gardu 3 – Gardu 4 | 5 |

### Beban

1. Rumah Tangga

* Tegangan 380 V
* Beban ini diasumsikan digunakan secara konstan pada rentang waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00).
* Perbandingan Beban RT : 20 : 40 : 17 : 7 : 6

Tabel 3-2-5-1 Beban Rumah Tangga

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Televisi** | **Lampu** | **Kulkas** | **AC** | **Dispenser** | **Pemanas Air** | **PC** |
| Beban  RT-1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Beban  RT-2 | 2 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Beban  RT-3 | 2 | 10 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Beban  RT-4 | 3 | 15 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| Beban  RT-5 | 4 | 20 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |

1. Industri & Komersial

* Tegangan 20 kV
* Beban ini diasumsikan digunakan secara konstan pada rentang waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00).

Tabel 3-2-5-2 Beban Industri dan Komersial

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Beban** | **Jumlah Pelanggan** | **Daya (VA)** |
| Industri Kecil | 3000 | 2200 |
| Industri Sedang | 1000 | 50000 |
| Industri Besar | 50 | 200000 |
| UKM | 5000 | 13000 |
| Restoran - Toko | 1000 | 5000 |
| Mall dan Hotel | 20 | 50000 |

1. Prioritas

* Tegangan 20 kV
* Beban ini beroperasi selama 24 jam

Tabel 3-2-5-3 Beban Prioritas

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Beban** | **Jumlah Pelanggan** | **Daya (VA)** |
| Rumah Sakit | 20 | 50000 |
| Pusat Server Data | 5 | 5000 |
| Kantor Lembaga Negara | 10 | 100000 |
| Istana Negara | 1 | 1000000 |
| Pangkalan Militer | 3 | 750000 |

1. Publik & Sosial

* Tegangan 380 V
* Beban ini diasumsikan digunakan secara konstan pada rentang waktu tertentu: (05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00).

Tabel 3-2-5-4 Beban Pubik dan Sosial

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Beban** | **Jumlah Pelanggan** | **Daya (VA)** |
| Rumah Ibadah | 200 | 6600 |
| Sekolah dan Universitas | 100 | 10000 |
| Penerangan Jalan Umum | 20000 | 100 |

1. Hasil dan Analisis

## Pertanyaan 1 – Perbandingan KK

Tabel 4-1-1 Perbandingan Beban RT – Jumlah KK

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Keterangan** | **Perbandingan** | **Daya Total (W)** | **Faktor** | **Jumlah KK Ternormalisasi** |
| 1 | RT 1 | 20 | 215 | 0,093 | 5009 |
| 2 | RT 2 | 40 | 545 | 0,073 | 3953 |
| 3 | RT 3 | 17 | 970 | 0,018 | 944 |
| 4 | RT 4 | 7 | 1625 | 0,004 | 232 |
| 5 | RT 5 | 6 | 2800 | 0,002 | 116 |
| 6 | Total | 90 | 6155 | 0,19 | 10254 |

Pada perancangan sistem tenaga listrik kota B, jumlah pelanggan (KK) untuk beban RT tidak diketahui, sehingga jumlah KK beban RT perlu dihitung terlebih dahulu. Jumlah KK beban RT sesuai dengan perbandingan yang telah ditentukan. Perbandingan beban RT-1 : RT-2 : RT-3 : RT-4 : RT-5 yang digunakan adalah 20 : 40 : 17 : 7 : 6. Untuk menghitung jumlah KK setiap RT, dilakukan perhitungan nilai pengali terlebih dahulu karena setiap RT memiliki daya total yang berbeda. Nilai pengali (faktor) diperoleh dari perbandingan setiap RT dibagi dengan daya total masing-masing RT. Kemudian, nilai pengali (faktor) tersebut dinormalisasi, sehingga diperoleh nilai KK ternomalisasi. Dengan demikian, diperoleh jumlah KK beban RT berdasarkan hasil perhitungan adalah 10254.

Berikut hasil *load flow analysis* dengan menggunkan jumlah beban RT sesuai dengan hasil perhitungan.

Tabel 4-1-2 Hasil Simulasi Load Flow Analysis Rentang Waktu 05.00-17.00

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Beban** | **V (pu)** | **Fasa (°)** | **P (MW)** | **Q (MVAr)** |
| 1 | Industri besar | 1.0244 | -9.3247 | 9.4445 | 4.5753 |
| 2 | Industri kecil | 1.0245 | -9.3269 | 6.2343 | 3.0227 |
| 3 | Industri sedang | 1.0235 | -9.2998 | 47.1376 | 22.8356 |
| 4 | Istana negara | 1.0085 | -7.8247 | 0.9153 | 0.4434 |
| 5 | Kantor lembaga | 1.0085 | -7.8247 | 0.9153 | 0.4434 |
| 6 | Mall & hotel | 1.0246 | -9.3304 | 0.9448 | 0.4577 |
| 7 | Pangkalan militer | 1.0084 | -7.8239 | 2.0644 | 0.9976 |
| 8 | Penerangan jalan | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | Pusat server data | 1.0085 | -7.8253 | 0.0229 | 0.0111 |
| 10 | Restoran-toko | 1.0245 | -9.3279 | 4.7233 | 2.2882 |
| 11 | RT 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | RT 2 | 1.1001 | -4.6418 | 0.9588 | 0.4636 |
| 13 | RT 3 | 1.1384 | -5.5496 | 0.3669 | 0.1775 |
| 14 | RT 4 | 1.1552 | -5.9494 | 0.0929 | 0.045 |
| 15 | RT 5 | 1.1552 | -5.95 | 0.0924 | 0.0448 |
| 16 | Rumah ibadah | 1.0277 | -6.3887 | 1.257 | 0.6074 |
| 17 | Rumah sakit | 1.0085 | -7.8247 | 0.9153 | 0.4434 |
| 18 | UKM | 1.0245 | -9.3269 | 6.1399 | 2.9702 |
| 19 | Universitas dan sekolah | 1.0475 | -6.8675 | 0.9875 | 0.4784 |

Tabel 4-1-3 Hasil Simulasi Load Flow Analysis Rentang Waktu 17.00-22.00

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Beban** | **V (pu)** | **Fasa (°)** | **P (MW)** | **Q (MVAr)** |
| 1 | Industri besar | 1.0232 | -0.5017 | 9.4225 | 4.5647 |
| 2 | Industri kecil | 1.0233 | -0.5038 | 6.2198 | 3.0157 |
| 3 | Industri sedang | 1.0223 | -0.4767 | 47.0278 | 22.7823 |
| 4 | Istana negara | 0.9997 | 2.6549 | 0.8994 | 0.4357 |
| 5 | Kantor lembaga | 0.9997 | 2.6549 | 0.8994 | 0.4357 |
| 6 | Mall dan hotel | 1.0234 | -0.5073 | 0.9426 | 0.4567 |
| 7 | Pangkalan militer | 0.9996 | 2.6556 | 2.0285 | 0.9803 |
| 8 | Penerangan jalan | 0.9699 | 12.0525 | 1.6932 | 0.8203 |
| 9 | Pusat server data | 0.9997 | 2.6542 | 0.0225 | 0.0109 |
| 10 | Restoran-toko | 1.0233 | -0.5048 | 4.7123 | 2.2828 |
| 11 | RT 1 | 1.0567 | 3.5721 | 1.2025 | 0.5824 |
| 12 | RT 2 | 0.9867 | 5.2545 | 2.097 | 1.0185 |
| 13 | RT 3 | 1.0265 | 17.7424 | 0.9646 | 4.669 |
| 14 | RT 4 | 1.1072 | 2.352 | 0.462 | 0.2235 |
| 15 | RT 5 | 1.1112 | 2.253 | 0.3989 | 0.1928 |
| 16 | Rumah ibadah | 1.0085 | 11.0858 | 1.2103 | 0.5848 |
| 17 | Rumah sakit | 0.9997 | 2.6549 | 0.8994 | 0.4357 |
| 18 | UKM | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | Universitas dan sekolah | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 4-1-3 Hasil Simulasi Load Flow Analysis Rentang Waktu 22.00-05.00

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Beban** | **V (pu)** | **Fasa (°)** | **P (MW)** | **Q (MVAr)** |
| 1 | Industri besar | 1.0296 | 0.1155 | 9.5414 | 4.6223 |
| 2 | Industri kecil | 1.0297 | 0.1134 | 6.2983 | 3.0537 |
| 3 | Industri sedang | 1.0287 | 0.1405 | 47.6212 | 23.0698 |
| 4 | Istana negara | 1.0039 | 3.079 | 0.907 | 0.4394 |
| 5 | Kantor lembaga | 1.0039 | 3.079 | 0.907 | 0.4394 |
| 6 | Mall dan hotel | 1.0298 | 0.1099 | 0.9545 | 0.4624 |
| 7 | Pangkalan militer | 1.0038 | 3.0798 | 2.0456 | 0.9885 |
| 8 | Penerangan jalan | 0.9734 | 12.7524 | 1.7055 | 0.8262 |
| 9 | Pusat server data | 1.0039 | 3.0784 | 0.0227 | 0.011 |
| 10 | Restoran-toko | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | RT 1 | 1.1356 | 3.3009 | 0.3882 | 0.1883 |
| 12 | RT 2 | 1.0655 | 4.9694 | 1.4304 | 0.6959 |
| 13 | RT 3 | 1.1355 | 3.3009 | 0.3894 | 0.1883 |
| 14 | RT 4 | 1.1483 | 2.9984 | 0.1833 | 0.0889 |
| 15 | RT 5 | 1.1473 | 3.0201 | 0.1988 | 0.0961 |
| 16 | Rumah ibadah | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | Rumah sakit | 1.0039 | 3.079 | 0.907 | 0.4394 |

Berdasarkan hasil simulasi, dapat diamati bahwa diperoleh tegangan (pu) pada beban lebih dari 0.96 pu untuk beban 1, beban 3, dan beban 4. Hasil tersebut sesuai dengan spesifikasi. Kemudian, pada beban 2, yang merupakan beban prioritas, diperoleh nilai tagangan (pu) lebih dari 0.98 pu. Hasil tersebut juga sesuai dengan spesifikasi.

Namun, dapat diamati bahwa terdapat beberapa tegangan yang mengalami *overvoltage* pada beban 1, yaitu beban rumah tangga. Overvoltage adalah gangguan tegangan dimana nilai tegangan naik lebih dari 110% tegangan nominal [8]. *Overvoltage* ini dapat disebabkan oleh penggunaan kapasitor bank pada jaringan tegangan 20 kV. Kapasitor bank digunakan karena beban 1, 2, 3, dan 4 mengalami *undervoltage*, terutama saat rentang waktu di siang hari (05.00-17.00). Penggunaan kapasitor bank menyebabkan nilai tegangan (pu) semakin meningkat dan besar sudut fasa semakin kecil, karena kapasitor bank berfungsi untuk meningkatkan faktor daya pada sistem kelistrikan () [9].

Selain itu, hal lain yang dapat menyebabkan nilai tegangan (pu) pada beban 1 mengalami *overvoltage* adalah jumlah daya total pada beban 1. *Overvoltage* dapat disebabkan oleh pembebanan yang kurang pada sistem [10]. Dengan demikian, salah satu cara untuk mengatasi kondisi *overvoltage* pada beban 1 adalah dengan menambah jumlah KK untuk beban RT.

Salah satu cara untuk mengatasi kondisi *overvoltage* adalah menggunakan *reactor shunt.* Fungsi utama *reactor shunt* adalah untuk menyerap kelebihan daya reaktif yang dihasilkan dari reaktansi induktif saluran transmisi [11]. Dengan demikian, reactor shunt dapat digunakan untuk mengontrol tegangan berlebih (*overvoltage*) di jalur transmisi.

## Pertanyaan 2 – Jadwal Beban

Tabel 4-2-1 Jadwal Setiap Beban

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Beban** | | **Waktu** | | |
| **05.00 - 17.00** | **17.00 - 22.00** | **22.00 - 05.00** |
|  |
| **Beban Rumah Tangga** | Televisi | OFF | ON | ON |  |
| Lampu | OFF | ON | OFF |  |
| Kulkas | ON | ON | ON |  |
| AC | OFF | ON | ON |  |
| Dispenser | OFF | ON | OFF |  |
| Pemanas Air | ON | ON | OFF |  |
| PC | OFF | ON | OFF |  |
| **Beban Industri dan Komersial** | Industri Kecil | ON | ON | ON |  |
| Industri Sedang | ON | ON | ON |  |
| Industri Besar | ON | ON | ON |  |
| UKM | ON | OFF | OFF |  |
| Restoran - Toko | ON | ON | OFF |  |
| Mall dan Hotel | ON | ON | ON |  |
| **Beban Prioritas** | Rumah Sakit | ON | ON | ON |  |
| Pusat Server Data | ON | ON | ON |  |
| Kantor Lembaga Negara | ON | ON | ON |  |
| Istana Negara | ON | ON | ON |  |
| Pangkalan Militer | ON | ON | ON |  |
| **Beban Publik dan Sosial** | Rumah Ibadah | ON | ON | OFF |  |
| Sekolah dan Universitas | ON | OFF | ON |  |
| Penerangan Jalan Umum | OFF | OFF | ON |  |

Pada Tabel 4-2-1 dapat dilihat jadwal penggunaan seluruh beban pada rentang waktu 05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00. Penjadwalan beban dibuat sesuai dengan batasan dan spesifikasi. Pada beban rumah tangga, beban industri dan komersial, serta beban publik dan sosial diasumsikan digunakan secara konstan pada rentang waktu tertentu. Sementara, pada beban prioritas digunakan sepanjang hari. Semua, beban diasmusikan memiliki *power factor* = 0.9.

Tabel 4-2-2 Jadwal Operasi Generator Periode 05.00 – 17.00

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Generator** | **Kapasitas (MW)** | **Daya Total (MVA)** |
| 1 | PLTP | 80 | 72 |
| 2 | PLTU | 100 | 90 |
| 3 | PLTA | 0 | 0 |
| 4 | PLTB | 0 | 0 |
| 5 | Total | 180 | 162 |

Tabel 4-2-3 Jadwal Operasi Generator Periode 17.00 – 22.00

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Generator** | **Kapasitas (MW)** | **Daya Total (MVA)** |
| 1 | PLTP | 80 | 72 |
| 2 | PLTU | 100 | 90 |
| 3 | PLTA | 30 | 27 |
| 4 | PLTB | 10 | 9 |
| 5 | Total | 220 | 198 |

Tabel 4-2-4 Jadwal Operasi Generator Periode 22.00 – 05.00

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Generator** | **Kapasitas (MW)** | **Daya Total (MVA)** |
| 1 | PLTP | 80 | 72 |
| 2 | PLTU | 100 | 90 |
| 3 | PLTA | 30 | 27 |
| 4 | PLTB | 10 | 9 |
| 5 | Total | 220 | 198 |

Tabel 4-2-5 Jadwal Beban Periode 05.00 – 17.00

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Beban** | **S (VA)** | **P (W)** | **Q (VAR)** |
| 1 | Rumah tangga | 1,74E+07 | 1,57E+07 | 7,59E+06 |
| 2 | Industri-komersial | 7,91E+07 | 7,12E+07 | 3,45E+07 |
| 3 | Prioritas | 5,28E+06 | 4,75E+06 | 2,30E+06 |
| 4 | Publik & sosial | 2,32E+06 | 2,09E+06 | 1,01E+06 |
| 5 | Total | 1,04E+08 | 9,37E+07 | 4,54E+07 |

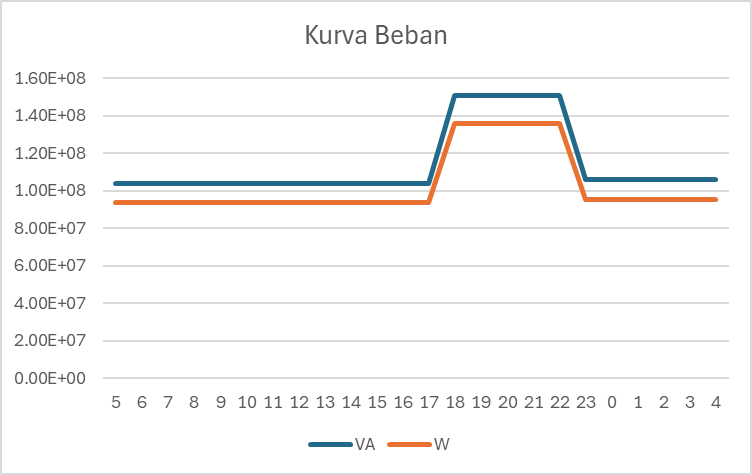
Tabel 4-2-6 Jadwal Beban Periode 17.00 – 22.00

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Beban** | **S (VA)** | **P (W)** | **Q (VAR)** |
| 1 | Rumah tangga | 6,95E+07 | 6,25E+07 | 3,03E+07 |
| 2 | Industri-komersial | 7,26E+07 | 6,53E+07 | 3,16E+07 |
| 3 | Prioritas | 5,28E+06 | 4,75E+06 | 2,30E+06 |
| 4 | Publik & sosial | 3,32E+06 | 2,99E+06 | 1,45E+06 |
| 5 | Total | 1,51E+08 | 1,36E+08 | 6,57E+07 |

Tabel 4-2-7 Jadwal Beban Periode 22.00 – 05.00

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Beban** | **S (VA)** | **P (W)** | **Q (VAR)** |
| 1 | Rumah tangga | 3,09E+07 | 2,78E+07 | 1,35E+07 |
| 2 | Industri-komersial | 6,76E+07 | 6,08E+07 | 2,95E+07 |
| 3 | Prioritas | 5,28E+06 | 4,75E+06 | 2,30E+06 |
| 4 | Publik & sosial | 2,00E+06 | 1,80E+06 | 8,72E+05 |
| 5 | Total | 1,06E+08 | 9,52E+07 | 4,61E+07 |

Pada Tabel 4-2-2, Tabel 4-2-3, dan Tabel 4-2-4, dapat dilihat jumlah kapasitas setiap generator pada rentang waktu 05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00 sesuai dengan batasan dan spesifikasi. Sementara, pada Tabel 4-2-2, Tabel 4-2-3, dan Tabel 4-2-4 adalah hasil perhitungan daya aktif, daya reaktif, dan daya semu pada beban.



Grafik 4-2-1 Kurva Beban

Pada rentang waktu 05.00-17.00, jumlah beban yang digunakan adalah 93.7 MW. Beban tersebut merupakan *base load*, yaitu jumlah minimum permintaan listrik yang diperlukan selam periode waktu 24 jam [12]. Beban tersebut disuplai oleh dua buah generator, yaitu PLTU dan PLTP dengan total kapasitas maksimum adalah 180 MW. PLTU dan PLTP ini merupakan pembangkit *base load.* Pembangkit jenis ini biasanya menghasilkan dan memasok energi listrik secara terus-menerus sepanjang tahun [13]. Oleh karena itu, kedua pembangkit ini digunakan sepanjang hari. Total beban pada rentang waktu ini tidak melebihi kapasitas maksimum generator. Dengan demikian, generator dapat menyuplai daya sesuai dengan kebutuhan pada rentang waktu 05.00-17.00.

Pada rentang waktu 17.00-22.00, jumlah beban yang digunakan adalah 136 MW. Jumlah beban pada rentang ini merupakan *peak load,* yaitu jumlah maksimum permintaan kelistrikan pada periode tertemtu, seperti 1 hari [14]. Beban ini disuplai oleh empat generator, yaitu PLTU, PLTP, PLTA, dan PLTB dengan total kapasitas maksimum adalah 220 MW. PLTA dan PLTB merupakan pembangkit *peak load.* Pembangkit jenis ini hanya beroperasi pada jam-jam beban punacak permintaan listrik [13]. Oleh karena itu, PLTA dan PLTB hanya digunakan pada malam hari, yaitu *peak load.* Total beban pada rentang waktu ini tidak melebihi kapasitas maksimum generator. Dengan demikian, generator dapat menyuplai daya sesuai dengan kebutuhan pada rentang waktu 17.00-22.00.

Pada rentang waktu 22.00-05.00, jumlah beban yang digunakan adalah 95.2 MW. Jumlah beban pada rentrang waktu ini adalah *intermediate load,* jumlah permintaan kelistrikan yang lebih tinggi dibandingkan *base load,* tetapi lebih rendah dari permintaan *peak load* [15]*.* Beban ini disuplai oleh empat generator, yaitu PLTU, PLTP, PLTA, dan PLTB dengan total kapasitas maksimum adalah 220 MW. Dengan demikian, generator dapat menyuplai daya sesuai dengan kebutuhan pada rentang waktu 22.00-17.00.

## Pertanyaan 3 – Kapasitas *Line* dan Trafo

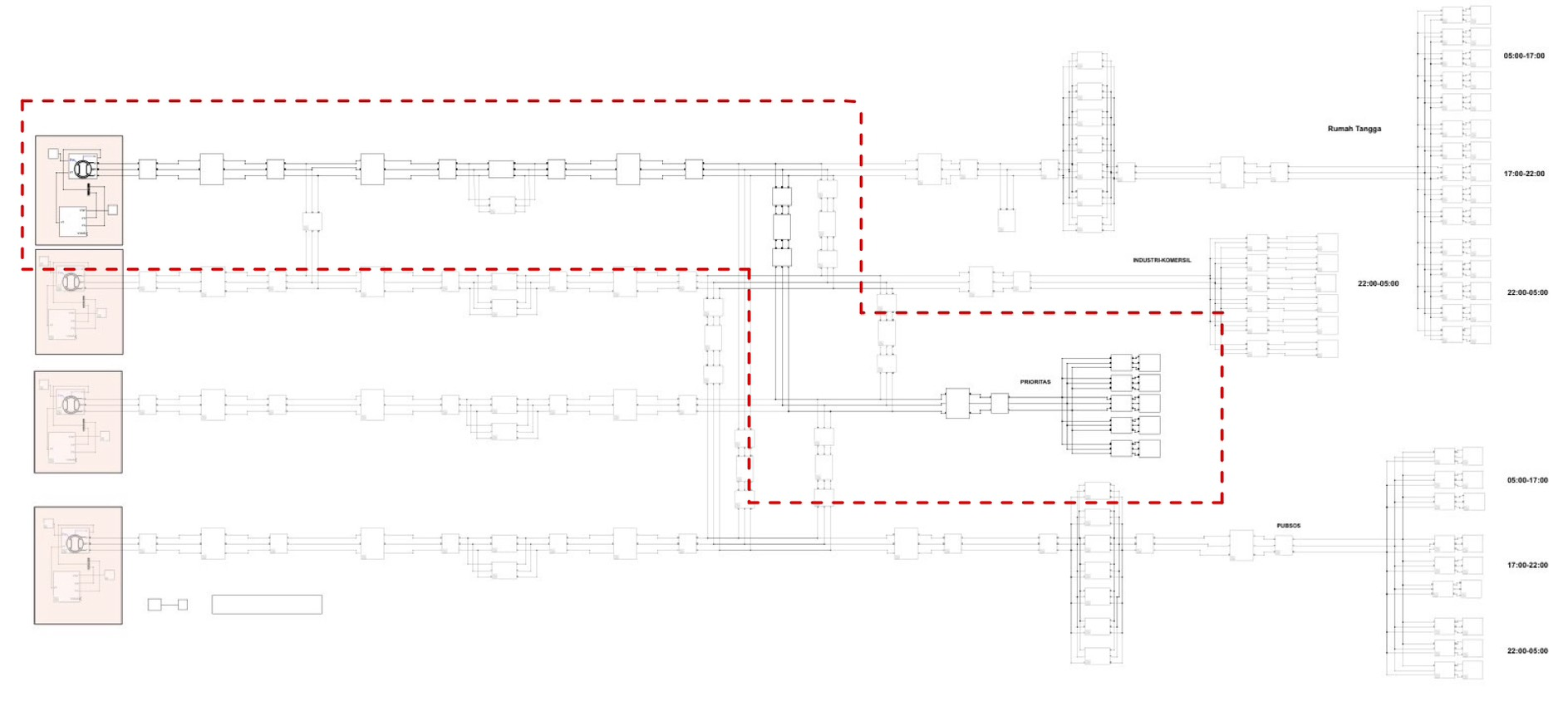
Parameter Trafo dan Line dapat dilihat pada bagian Tabel 3-2-2-1 Parameter Trafo, Tabel 3-2-3-1 Parameter Saluran Transmisi, dan Tabel 3-2-3-2 Parameter Saluran Transmisi Antargardu. Pada perancangan sistem tenaga listrik untuk kota B digunakan jenis buah jenis trafo, yaitu Trafo 20 kV/ 70 kV, Trafo 70 kV/ 230 kV, Trafo 230 kV/ 70 kV, Trafo 70 kV/ 20 kV, dan Trafo 20 kV/ 380V.

Trafo 20 kV/ 70 kV diletakkan setelah generator untuk meningkat tegangan yang dihasilkan oleh generator, yaitu 20 kV menjadi 70 kV untuk kebutuhan tegangan line sesuai dengan batasan. Kemudian, tegangan 70 kV ditingkatkan menjadi 230 kV menggunakan trafo 70 kV/ 230 kV. Peningkatan tegangan pada jalur transmisi dilakukan untuk meminimalkan kehilangan daya selama pengiriman [16]. Lalu, tegangan 230 kV diturunkan menjadi 70 kV menggunakan trafo 230 kV/ 70 kV. Selanjutnya, tegangan 70 kV diturunkan kembali oleh gardu distribusi (trafo 70 kV/ 20 kV) untuk disalurkan ke beban. Pada sistem tenaga listrik kota B, terdapat empat buah gardu yang masing-masing terhubung dengan setiap beban. Pada beban 2 dan beban 3 dibutuhkan tegangan 20 kV, sehingga tegangan tersebut langsung dialurkan ke beban. Sementara, pada beban 1 dan beban 4 dibutuhkan tegangan 380 V, sehingga digunakan trafo 20 kV/ 380 V sebelum tegangan disalurkan ke beban. Pada trafo ini digunakan konfigurasi Wye-Wye untuk kebutuhan ground pada bagian beban 1 dan 4. Daya nonimal untuk semua trafo digunakan 250 MVA untuk menyesuaikan dengan kapasitas daya pada generator.

Pada perancangan sistem tenaga listrik kota B, digunakan parameter jarak pada line sesuai dengan batasan dan spesifikasi. Pada saluran 20 kV, jenis kabel yang dapat digunakan adalah N2XSY 12/20 kV dengan parameter R = 0.0283 Ω/km dan L = 0.286 mH/ km [17]. Sedangkan, pada saluran 70 kV jenis kabel yang dapat digunakan adalah N2XC(AL)2Y/NA2XC(AL)2Y 87/150(170) kV dengan parameter R = 0.0247 Ω/km dan L = 0.556 mH/ km. Pada rangkaian simulasi, terdapat line yang dipasang secara paralel. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi hambatan.

## Pertanyaan 4 – Kasus Darurat

Pada kasus darurat, yaitu hanya beban prioritas yang disupply. Berikut adalah desain minimal penggunaan pembangkit yang digunakan.



Gambar 4-4-1 Desain Rangkaian pada Kasus Darurat.

Dapat dilihat pada Gambar 4-4-1, desain rangkaian pada kasus darurat saat hanya beban prioritas yang disuplai hanya mengaktifkan generator PLTP. Hal ini karena generator PLTP merupakan pemabngkit *base load.* Pembangkit PLTP ini menyediakan tenaga listrik secara terus-menerus sepanjang tahun dan beroperasi selama 24 jam [13]. Oleh karena itu, pembangkit PLTP dapat menyuplai beban prioritas sepanjang hari. Selain itu, pembangkit PLTP berfungsi sebagai generator dengan mode *swing.* Generator *swing* akan berusaha memenuhi kekurangan aliran daya pada sistem di mana nilai sudut tegangan terminal generator akan dijaga tetap berada pada nilai operasi tertentu. Dengan demikian, generator PLTP dapat menyesuaikan daya keluarannya secara instan sesuai dengan kebutuhan beban prioritas.

Berikut adalah hasil simulasi *load flow analysis* untuk kasus darurat.

Tabel 4-4-1 Hasil Simulasi *Load Flow Analysis* Kasus Darurat

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Beban** | **V (pu)** | **Fasa (°)** | **P (MW)** | **Q (MVAr)** |
| 1 | Rumah sakit | 1.0214 | -1.9356 | 0.939 | 0.4549 |
| 2 | Pusat server data | 1.0215 | -1.9362 | 0.0235 | 0.0114 |
| 3 | Kantor lembaga | 1.0214 | -1.9356 | 0.939 | 0.4549 |
| 4 | Istana negara | 1.0214 | -1.9356 | 0.939 | 0.4549 |
| 5 | Pangkalan militer | 1.0214 | -1.9348 | 2.1178 | 1.0234 |

Berdasarkan hasil simulasi *load flow analysis,* diperoleh nilai tegangan (pu) yang berada dalam kondisi normal, tidak mengalami *overvolatge* maupun *undervoltage*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tegangan pada setiap beban prioritas berada pada nilai nominal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa generator PLTP menyuplai daya secara stabil dan menjaga tegangan pada beban prioritas tetap sesuai dengan kebutuhan.

## Pertanyaan 5 – Desain *Line* dan Trafo pada setiap Feeder jika ada kemungkinan 2 dari 3 Line tersebut putus

## Pertanyaan 6 – Analisis *Symmetrical Fault*

Simulasi symmetrical fault dilakukan pada sistem tenaga listrik

## Pertanyaan 7 – Desain Kapasitas Pembangkit Lain (Kondisi 1)

## Pertanyaan 8 – Desain Kapasitas Pembangkit Lain (Kondisi 2)

## Pertanyaan 9 – Desain Kapasitas Pembangkit Lain (Kondisi 1 & 2)

1. Kesimpulan

## Pertanyaan 1 – Perbandingan KK

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah KK beban rumah tangga (RT) adalah 10254. Pada hasil simulasi *load flow analysis* diperoleh nilai tegangan (pu) sesuai dengan spesifikasi, yaitu lebih dari 0.96 pu untuk beban 1, 3, dan 4 dan lebih dari 0.98 pu untuk beban 2. Namun, tejadi kondisi *overvoltage* pada beban 1 akibat dari penambahan kapasitor bank untuk mengatasi *undervoltage* terutama saat waktu siang hari (05.00-17.00). Dengan demikian, perlu digunakan *reactor shunt* untuk untuk menyerap kelebihan daya reaktif yang dihasilkan dari reaktansi induktif saluran transmisi.

## Pertanyaan 2 – Jadwal Beban

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh total daya reaktif, daya aktif, dan daya semu untuk semua setiap rentang waktu 05.00-17.00 ; 17.00-22.00 ; 22.00-05.00. Berdasrkan kurva beban, rentang waktu 05.00-17.00 merupakan *base load,* rentang waktu 17.00-22.00 merupakan *peak load,* dan rentang waktu 22.00-05.00 merupakan *intermediate load.* Total beban pada semua rentang waktu tidak melebihi kapasitas maksimum generator. Dengan demikian, generator dapat menyuplai daya sesuai dengan kebutuhan sepanjang hari.

## Pertanyaan 3 – Kapasitas *Line* dan Trafo

## Pertanyaan 4 – Kasus Darurat

Pada kasus darurat dimana hanya beban prioritas yang disuplai, dirancang desain rangkaian minimal, yaitu hanya digunakan generator PLTP. Generator PLTP dipilih karena bekerja sepanjang hari dan berfungsi sebagai generator mode *swing,* sehingga dapat memenuhi kebutuhan beban prioritas*.* Berdasarkan hasil simulasi *load flow anlysis* diperoleh nilai tegangan (pu) dalam kondisi normal yang menunjukkan bahwa generator PLTP menyuplai daya secara stabil dan menjaga tegangan pada beban prioritas tetap sesuai dengan kebutuhan.

## Pertanyaan 5 – Desain *Line* dan Trafo

## Pertanyaan 6 – Analisis *Symmetrical Fault*

## Pertanyaan 7 – Desain Kapasitas Pembangkit Lain (Kondisi 1)

Tabel Jawaban Pertanyaan 7 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 05.00 – 17.00

Tabel Jawaban Pertanyaan 7 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 17.00 – 22.00

Tabel Jawaban Pertanyaan 7 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 22.00 – 05.00

## Pertanyaan 8 – Desain Kapasitas Pembangkit Lain (Kondisi 2)

Tabel Jawaban Pertanyaan 8 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 05.00 – 17.00

Tabel Jawaban Pertanyaan 8 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 17.00 – 22.00

Tabel Jawaban Pertanyaan 8 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 22.00 – 05.00

## Pertanyaan 9 – Desain Kapasitas Pembangkit Lain (Kondisi 1 & 2)

Tabel Jawaban Pertanyaan 9 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 05.00 – 17.00

Tabel Jawaban Pertanyaan 9 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 17.00 – 22.00

Tabel Jawaban Pertanyaan 9 – Hasil Simulasi *Load Flow* Periode 22.00 – 05.00

Daftar Pustaka

[1] “Modul EL3217 STE Terbaru.pdf.”

[2] “What is Generator Capability Curve?” Diakses: 18 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://electengmaterials.com/what-is-generator-capability-curve/

[3] “Two-bus electric power system | Download Scientific Diagram.” Diakses: 18 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/figure/Two-bus-electric-power-system\_fig1\_284511404

[4] L. C. L. C. is an electrical contractor with 36 years of experience in residential, light commercial electrical wiring H. worked as an electronic technician, dan later as an engineer for the I. C. H. is also a member of T. S. H. I. R. B. L. more about T. S. R. Board, “What Is a Short Circuit, and What Causes One?,” The Spruce. Diakses: 14 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.thespruce.com/what-causes-short-circuits-4118973

[5] A. T, “What are Symmetrical & Unsymmetrical Faults?,” Circuit Globe. Diakses: 14 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://circuitglobe.com/symmetrical-and-unsymmetrical-faults.html

[6] T. Agarwal, “Types of Faults in Electrical Power Systems and Their Effects,” ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students. Diakses: 14 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.elprocus.com/what-are-the-different-types-of-faults-in-electrical-power-systems/

[7] Electricalampere, “What are Symmetrical & Unsymmetrical Faults?,” Electrical Ampere. Diakses: 15 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://electricalampere.com/symmetrical-and-unsymmetrical-faults/

[8] M. Farhan, “PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP ARUS EKSITASI GENERATOR UNIT 2 PLTMH CURUG,” *J. SIMETRIK*, vol. 11, no. 1, hlm. 398–403, Agu 2021, doi: 10.31959/js.v11i1.653.

[9] “Apa Itu Kapasitor Bank dan Mengapa Anda Membutuhkannya?” Diakses: 28 April 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.jualkomponenlistrik.com/blog/apa-itu-kapasitor-bank-dan-mengapa-anda-membutuhkannya

[10] KL, “5 Cara Mengatasi Genset Over Voltage dan Faktor Penyebabnya,” Kawan Lama Group. Diakses: 18 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.kawanlama.com/blog/tips/cara-mengatasi-genset-over-voltage

Lampiran

1. *Logbook* 1 -Status Kehadiran dalam Diskusi/Asistensi

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Nama (NIM) | Pertemuan 1 | Pertemuan 2 | Pertemuan 3 |
| 1 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |
| 5 | Rafi Ananta Alden | Hadir |  |  |

1. *Logbook* 2 – Topik Diskusi

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pertemuan ke- | Waktu Pelaksanaan | Hasil Diskusi |
| 1 | 14/05/25 | Pertemuan perdana (pendalaman spesifikasi tugas, *brainstorm* prosedur pengerjaan tugas, pembagian *jobdesk* perdana: merancang sistem untuk tiap rentang waktu) |
|  |  |  |
|  |  |  |

1. *Logbook* 3 – Pembagian Tugas per Anggota

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No. | Nama | NIM | Peran |
| 1 |  |  |  |
| 2 |  |  |  |
| 3 |  |  |  |
| 4 |  |  |  |
| 5 | Rafi Ananta Alden | 13222087 |  |