

Studi Aliran Daya pada Saluran Distribusi 20 kV Di Kota Bandung

Agytia Indrajaya¹, Nasrun Hariyanto², Teguh Arfianto³

¹Institut Teknologi Nasional

Jalan PH.H. Mustofa No.23, Neglasari, Cibeunying Kaler, Neglasari, Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat 40124, (022) 7272215

^{2,3}Institut Teknologi Nasional

Jalan PH.H. Mustofa No.23, Neglasari, Cibeunying Kaler, Neglasari, Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat 40124, (022) 7272215

agytiaindrajaya@gmail.com¹, runhrt@gmail.com², teguh.arfianto@gmail.com³

Abstrak - Pertumbuhan konsumsi energi listrik di Indonesia sangat pesat, begitu pula yang terjadi di kota Bandung dengan jumlah penduduk yang mencapai \pm 3 juta jiwa. Sehingga bisa dipastikan jika pemenuhan kebutuhan listrik di kota Bandung sangatlah penting. Oleh karena pentingnya sistem tenaga listrik harus beroperasi dengan baik, maka harus dilakukan studi aliran daya yang dapat mengetahui besaran daya, rugi-rugi, dan tegangan. Penelitian ini dilakukan dengan cara menghitung besarnya daya dan rugi-rugi pada sebuah jaringan, sehingga bisa dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan aplikasi ETAP. Penelitian ini difokuskan pada trafo 10 dengan penyulang CMC yang terdiri dari 5 gardu distribusi. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi total masih berada pada batas aman sesuai dengan S-PLN d3002-1;2007 yaitu $<5\%$ untuk total daya sebesar 780 kW dan total rugi-rugi sebesar 10,5 kW.

Kata Kunci: Aliran daya, distribusi tegangan menengah, arus beban, Standard PLN (SPLN).

1. Latar Belakang

Perhitungan aliran daya pada suatu sistem tenaga biasanya dilakukan dengan mengasumsikan sistem tersebut dalam kondisi seimbang pada ketiga fasanya. Perhitungan aliran daya merupakan studi untuk mengetahui besaran daya, tegangan, dan rugi-rugi saluran.

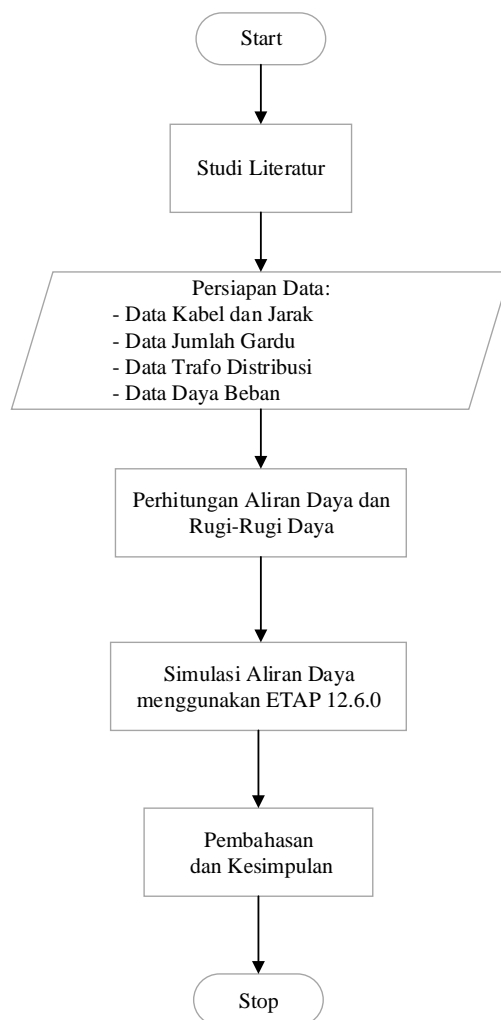
Pertumbuhan konsumsi energi listrik di Indonesia sangat pesat begitu pula yang terjadi di kota Bandung apalagi dengan jumlah penduduk yang mencapai \pm 3 juta jiwa, maka oleh karena itu bisa dipastikan jika kebutuhan listrik di kota Bandung sangatlah penting. Oleh karena pentingnya sistem tenaga listrik harus beroperasi dengan baik sehingga mampu menyediakan tenaga listrik yang seekonomis mungkin dengan memperhatikan mutu dan keandalan, maka harusnya dilakukan studi-studi terkait yang dapat mendukung kelancaran operasi sistem tenaga listrik. Salah satu studi yang perlu dilakukan adalah perhitungan aliran daya.

Perhitungan aliran daya pada suatu sistem tenaga biasanya dilakukan dengan mengasumsikan sistem tersebut dalam kondisi seimbang pada ketiga fasanya. Perhitungan aliran daya merupakan studi untuk mengetahui besaran daya, tegangan, dan rugi-rugi saluran.

Dengan studi aliran daya ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan operasional sistem tenaga listrik serta pengembangan sistemnya untuk lebih meningkatkan kualitas energi listrik dan efisiensi yang baik saat kondisi normal maupun saat terjadi kegagalan ataupun saat perawatan peralatan daya elektrik, khususnya di wilayah kota Bandung.

2. Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian merupakan uraian tahapan yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian. Secara umum metode pengerjaan penelitian ini dari awal hingga akhir adalah sebagai berikut.



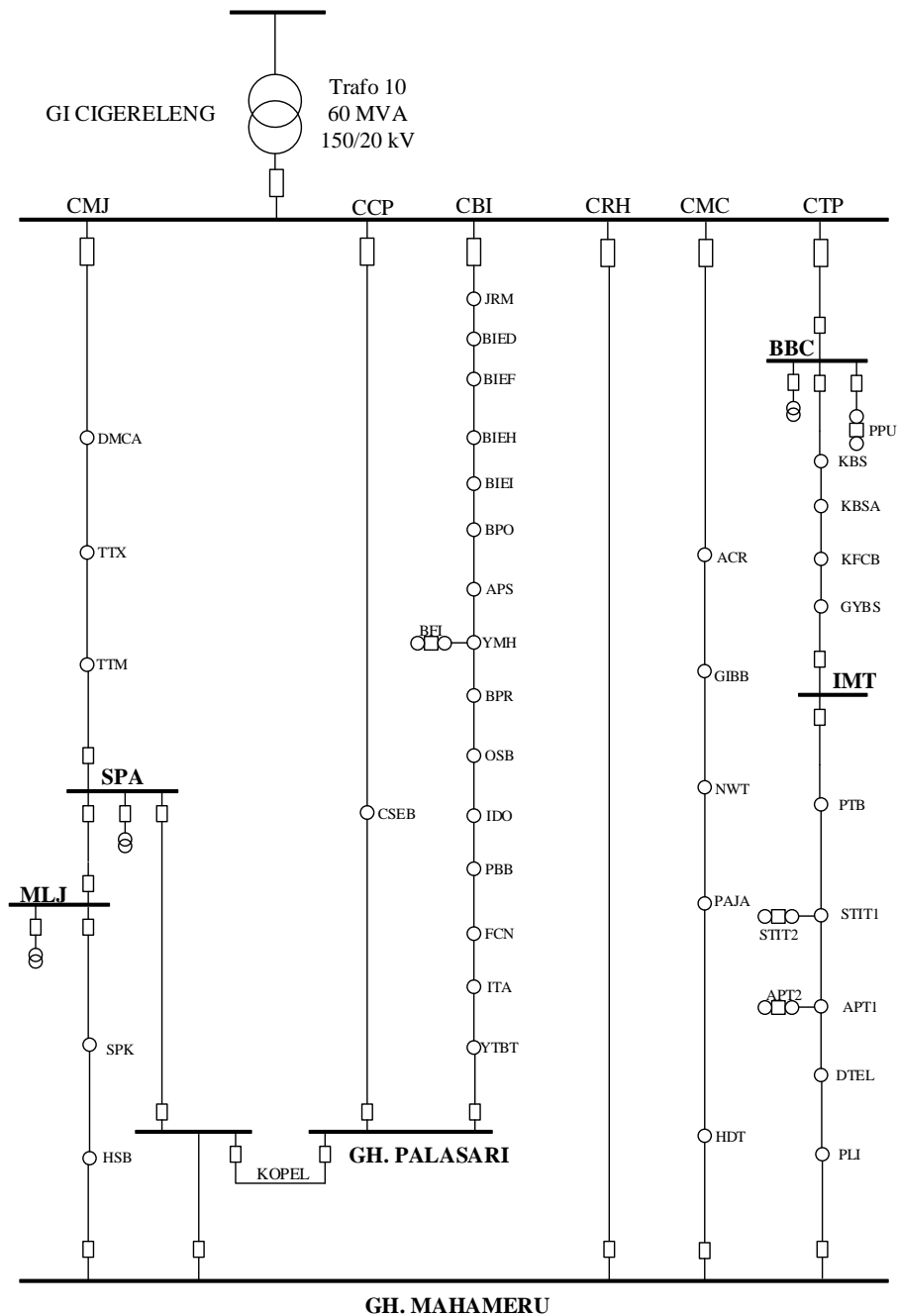
Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Pada Gambar 1 menjelaskan tentang langkah-langkah penelitian mengenai studi aliran daya pada saluran distribusi. Langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur dengan mempelajari buku referensi dan bahan kuliah yang mendukung dalam penyelesaian topik penelitian ini. Kemudian mengumpulkan data yang diperlukan dari tempat yang bersangkutan, data-data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

1. Data Kabel (jenis, ukuran, dan jarak)
2. Data Beban
3. Data Trafo Distribusi
4. Jumlah Gardu

Sebagian besar rugi-rugi yang terjadi pada jaringan distribusi primer adalah pada saluran distribusi dan trafo distribusi. Faktor lain yang mempengaruhi besarnya rugi-rugi di jaringan adalah ketidakseimbangan beban, karakteristik beban, dan faktor kerja beban.

3. Pembahasan dan Analisa



Gambar 2. Jaringan Spindel GI Cigereleng – GH Mahameru

Jaringan menengah 20 kV spindel antara GI Cigereleng GH mahameru mempunyai 6 penyulang. Jaringan ini mendapat suplai dari GI Cigereleng melalui sebuah trafo daya 150/20 kV, 60 MVA.

Penyulang yang terdapat pada jalur tersebut yaitu penyulang CMJ, CCP, CBI, CRH, CMC dan CTP. Diagram jaringan spindel tersebut ditunjukkan pada gambar 2.

Pada keadaan operasi normal, semua saklar daya pada Gardu Hubung Palasari dan Mahameru dalam keadaan terbuka, sehingga struktur jaringan adalah radial. Sebagian besar beban yang digunakan pada jaringan spindel tersebut adalah beban industri.

Pada masalah ini penyulang yang akan dibahas adalah pada penyulang CMC yang terdiri dari 5 Gardu Distribusi. Pada keadaan operasi normal, semua saklar daya pada Gardu Hubung Palasari dan Mahameru dalam keadaan terbuka, sehingga struktur jaringan adalah radial. Sebagian besar beban yang digunakan pada jaringan spindel tersebut adalah beban industri.

3.1. Data Beban

Data beban pada penyulang CMC ini merupakan besarnya pemakaian listrik (arus) yang didapatkan dari pengukuran setiap gardu distribusi oleh pihak PLN.

Tabel 1. Data Pengukuran Arus

| JAM | ARUS (AMPERE) | | | TEGANGAN (VOLT) | | |
|-------|---------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
| | I FASA 1 | I FASA 2 | I FASA 3 | V FASA 1 | V FASA 2 | V FASA 3 |
| 00.00 | 346 | 307 | 381 | 223 | 222 | 221 |
| 01.00 | 343 | 308 | 382 | 220 | 219 | 218 |
| 02.00 | 340 | 305 | 379 | 221 | 220 | 219 |
| 03.00 | 339 | 304 | 378 | 222 | 221 | 220 |
| 04.00 | 341 | 306 | 380 | 223 | 222 | 221 |
| 05.00 | 338 | 303 | 377 | 219 | 218 | 217 |
| 06.00 | 342 | 307 | 381 | 220 | 219 | 218 |
| 07.00 | 340 | 305 | 379 | 221 | 220 | 219 |
| 08.00 | 338 | 303 | 377 | 218 | 217 | 216 |
| 09.00 | 341 | 306 | 380 | 216 | 215 | 214 |
| 10.00 | 344 | 309 | 383 | 214 | 213 | 212 |
| 11.00 | 346 | 311 | 385 | 217 | 216 | 215 |
| 12.00 | 346 | 311 | 385 | 217 | 216 | 215 |
| 13.00 | 346 | 311 | 385 | 217 | 216 | 215 |
| 14.00 | 348 | 313 | 387 | 217 | 216 | 215 |
| 15.00 | 344 | 309 | 383 | 217 | 217 | 211 |
| 16.00 | 347 | 312 | 386 | 225 | 226 | 226 |
| 17.00 | 345 | 310 | 384 | 226 | 227 | 227 |
| 18.00 | 350 | 315 | 389 | 212 | 215 | 215 |
| 19.00 | 351 | 316 | 390 | 228 | 228 | 228 |
| 20.00 | 350 | 311 | 385 | 222 | 221 | 220 |
| 21.00 | 345 | 306 | 380 | 223 | 222 | 221 |
| 22.00 | 351 | 312 | 386 | 224 | 223 | 222 |
| 23.00 | 349 | 310 | 384 | 222 | 221 | 220 |
| 00.00 | 346 | 307 | 381 | 223 | 222 | 221 |

3.2. Data Jaringan

Spesifikasi jaringan bisa dilihat pada Tabel 2 sedangkan data saluran impedansi bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Spesifikasi Tabel

| Jenis | Ukuran (mm ²) | R (Ω /Km) | L (mH/Km) |
|----------|---------------------------|-------------------|-----------|
| NA2XSEBY | 3 x 240 | 0.162 | 0.297 |
| | 3 x 300 | 0.130 | 0.289 |

Tabel 3. Data Saluran

| Nama Antar Gardu | Tipe Kabel | Jarak | R | X |
|------------------|------------------|-------|---------|----------|
| | | (m) | (Ohm) | (Ohm) |
| E - ACR | NA2XSEBY 3 X 300 | 2178 | 0,28314 | 0,197744 |
| ACR - GIBB | NA2XSEBY 3 X 240 | 3535 | 0,57267 | 0,329833 |
| GIBB - NWT | NA2XSEBY 3 X 300 | 542 | 0,07046 | 0,049209 |
| NWT - PAJA | NA2XSEBY 3 X 300 | 5534 | 0,71942 | 0,502442 |
| PAJA - HDT | NA2XSEBY 3 X 300 | 2677 | 0,34801 | 0,24305 |

3.3. Data Transformator Distribusi

Data transformator distribusi ini diambil dari data trafo yang digunakan oleh pihak PLN dan Power Faktor yang biasa digunakan oleh pihak PLN antara 80-85%. Diasumsikan Power Faktor sebesar 80% karena semakin kecil Power Faktor maka semakin besar pula *losses* yang terjadi.

Tabel 4. Data Kapasitas Trafo

| Gardu | Kapasitas Transformator (KVA) | Rugi Besi (Watt) | Tahanan Tembaga (Ohm) | % pf |
|-------|-------------------------------|------------------|-----------------------|------|
| ACR | 250 | 600 | 20,8 | 80 |
| GIBB | 630 | 1300 | 6,55 | 80 |
| NWT | 400 | 930 | 11,4 | 80 |
| PAJA | 630 | 1300 | 6,55 | 80 |
| HDT | 630 | 1300 | 6,55 | 80 |

3.4. Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan yang menggunakan contoh pada pada gardu PAJA adalah sebagai berikut:

Data Beban Gardu PAJA (Sisi Tegangan Rendah):

$$I_{TR} = 351 \text{ A}$$

$$V_{TR} = 228 \text{ V}$$

Data Beban Gardu PAJA (Sisi Tegangan Menengah):

$$I_{TM}' = \frac{V_2}{V_1} I_{TR} = \frac{400}{20000} 351 = 7,02 \text{ A}$$

$$V_{TM}' = \frac{V_1}{V_2} V_{TR} = \frac{20000}{400} 228 = 11400 \text{ V}$$

$$S_{TM}' = I_{TM}' \times V_{TM}' = 7,02 \times 11400 = 80,028 \text{ kVA}$$

$$P_{TM}' = S_{TM}' \times \cos\theta = 80,028 \times 0,8 = 64,022 \text{ kW}$$

Data Transformator Gardu PAJA:

$$K_{\text{Transformator}} = 630 \text{ kVA}$$

$$P_{\text{Fe 3 fasa}} = 1300 \text{ Watt}$$

$$R_{Cu} = 6,55 \Omega$$

$$\text{Rugi Besi per fasa} = \frac{1300}{3} = 433,333 \text{ Watt}$$

$$P_{Cu \text{ 1 fasa}} = I_{TM}'^2 \times R_{Cu} = (7,02^2) \times 6,55 = 322,72 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{Trafo}} = 433,333 + 322,72 = 756,053 \text{ Watt}$$

$$S_{\text{Trafo}} = \left(\frac{756,053}{0,8} \right) = 0,945 \text{ kVA}$$

Daya Pada Sisi Tegangan Menengah:

$$S_{TM} = 80,028 + 0,945 = 80,973 \text{ kVA}$$

Arus Pada Sisi Tegangan Menengah:

$$I_{TM} = \frac{80,973 \text{ kVA}}{11400 \text{ V}} = 7,1 \text{ Ampere}$$

Data Saluran antara titik NWT – PAJA:

Jenis Saluran = SKTM

$l = 5,534 \text{ km}$

$r = 0,13 \ \Omega/\text{km}$

Rugi saluran antara NWT – PAJA:

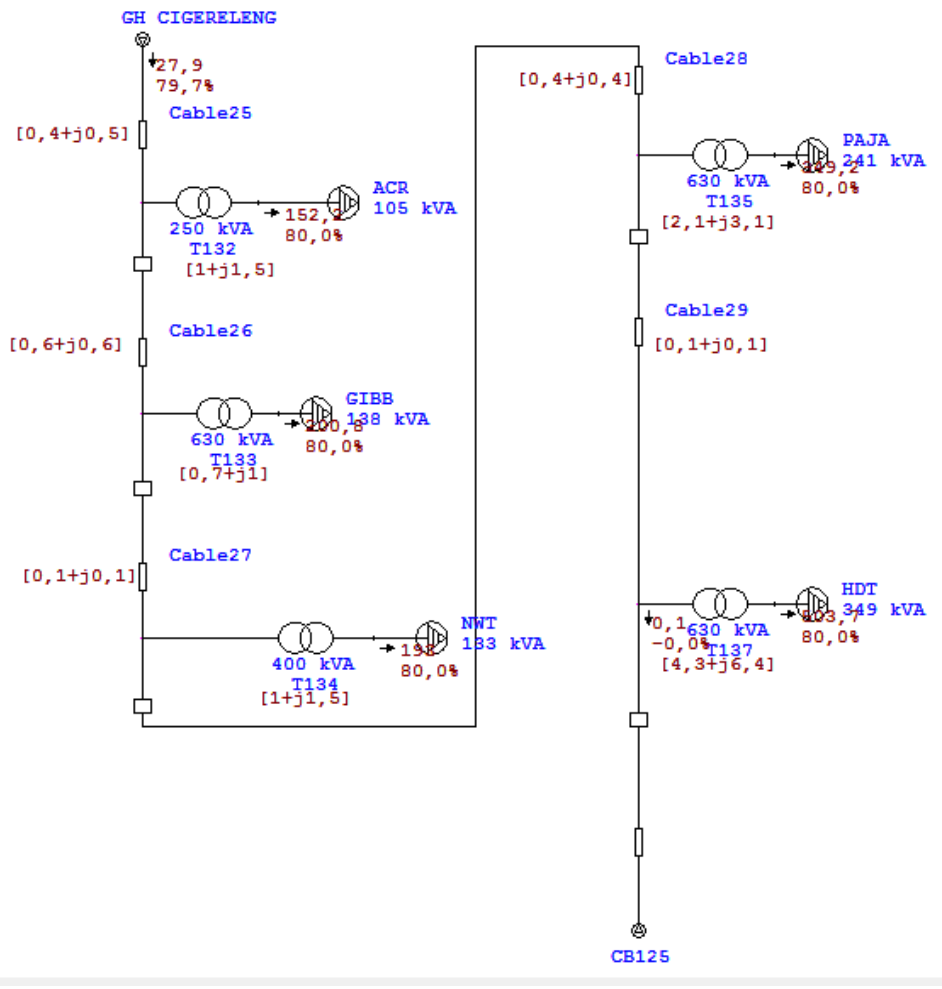
$$P_{\text{saluran}} = I_{\text{TM}}^2 \times r \times l = (7,1)^2 \times 0,13 \times 5,534 = 36,26 \text{ Watt}$$

$$S_{\text{saluran}} = \frac{36,26}{0,8} = 45,325 \text{ VA}$$

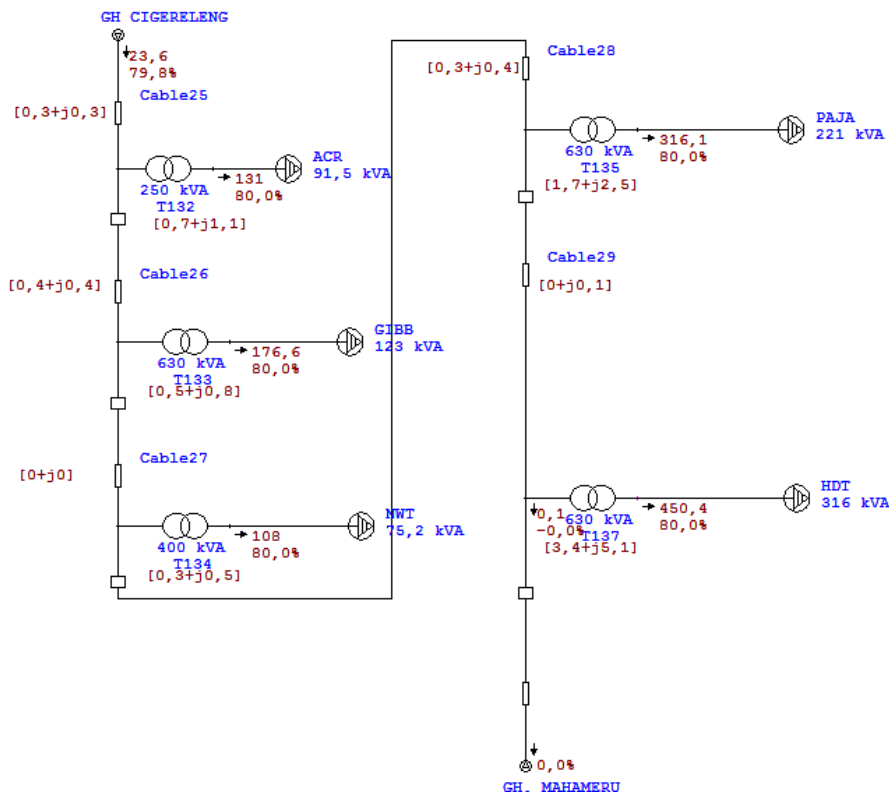
$$\% \text{ Rugi Saluran} = \frac{36,26}{80,973 \times 10^3} \times 100\% = 0,0004\%$$

3.6 Hasil Simulasi

Hasil perhitungan aliran daya menggunakan ETAP 12.6 pada saat kondisi beban maksimum dan minimum pada setiap gardu distribusi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. dan Gambar 4. dibawah ini:



Gambar 3. Simulasi Pada Saat Beban Maksimum



Gambar 4. Simulasi Pada Saat Beban Minimum

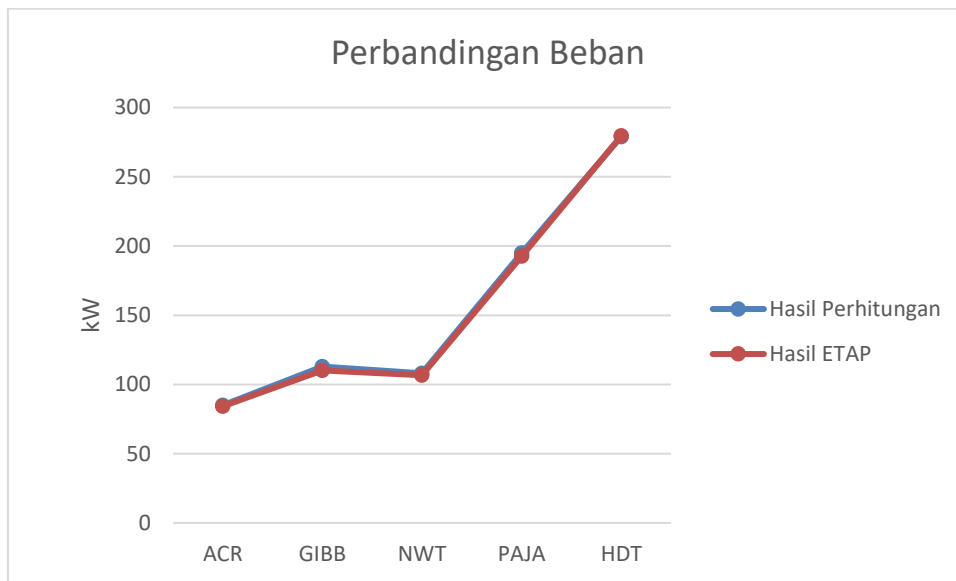
Dari hasil simulasi sehingga didapatkan hasil perbandingan antara nilai perhitungan dan nilai simulasi seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini. Pada saat kondisi beban maksimum:

Tabel 5. Hasil Aliran Daya dengan Simulasi Etap

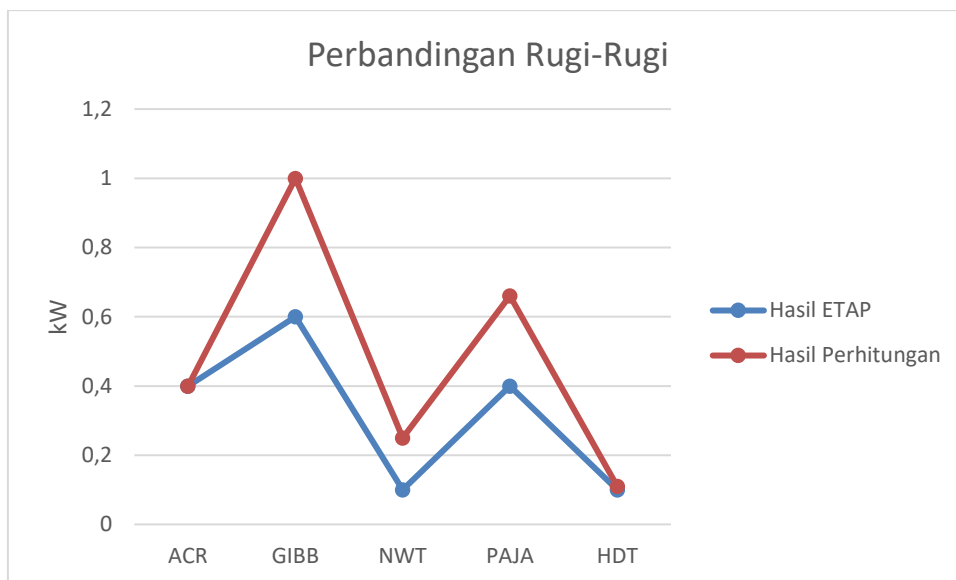
| Saluran | | Maksimum | | | | | |
|---------|------|----------|---------|-----------|--------|-------|----|
| | | Beban | | Rugi-Rugi | | Arus | PF |
| Dari | Ke | (kWatt) | (kVVAR) | (kWatt) | (kVAR) | (A) | % |
| E | ACR | 85 | 61 | 0,4 | 0,5 | 152,2 | 80 |
| ACR | GIBB | 113 | 81 | 0,6 | 0,6 | 200,8 | 80 |
| GIBB | NWT | 108 | 78 | 0,1 | 0,1 | 193 | 80 |
| NWT | PAJA | 195 | 140 | 0,4 | 0,4 | 349,2 | 80 |
| PAJA | HDT | 279 | 210 | 0,1 | 0,1 | 503,7 | 80 |

Tabel 6. Hasil Aliran Daya dengan Perhitungan

| Saluran | | Maksimum | | | | | |
|---------|------|----------|--------|-----------|--------|-------|----|
| | | Beban | | Rugi-Rugi | | Arus | PF |
| Dari | Ke | (kWatt) | (kVAR) | (kWatt) | (kVAR) | (A) | % |
| E | ACR | 84,288 | 63,3 | 0,4 | 0,5 | 150,6 | 80 |
| ACR | GIBB | 110,136 | 82,6 | 1 | 1,25 | 198,6 | 80 |
| GIBB | NWT | 106,704 | 80 | 0,25 | 0,3125 | 195 | 80 |
| NWT | PAJA | 192,792 | 144,4 | 0,66 | 0,825 | 352 | 80 |
| PAJA | HDT | 279,536 | 209,6 | 0,11 | 0,1375 | 517 | 80 |



Gambar 5. Perbandingan Beban



Gambar 6. Perbandingan Rugi-Rugi

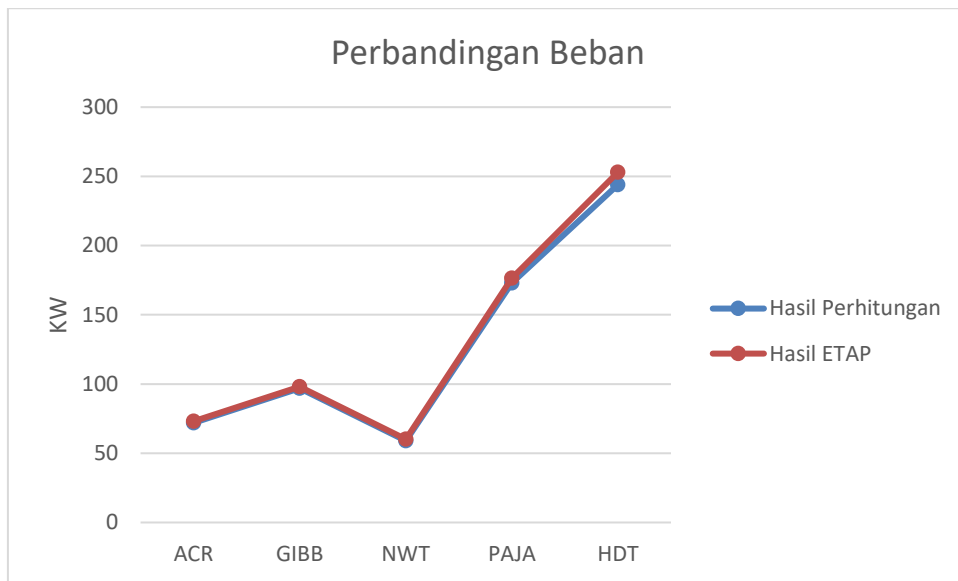
Pada saat kondisi beban minimum:

Tabel 7. Hasil Aliran Daya dengan Simulasi Etap

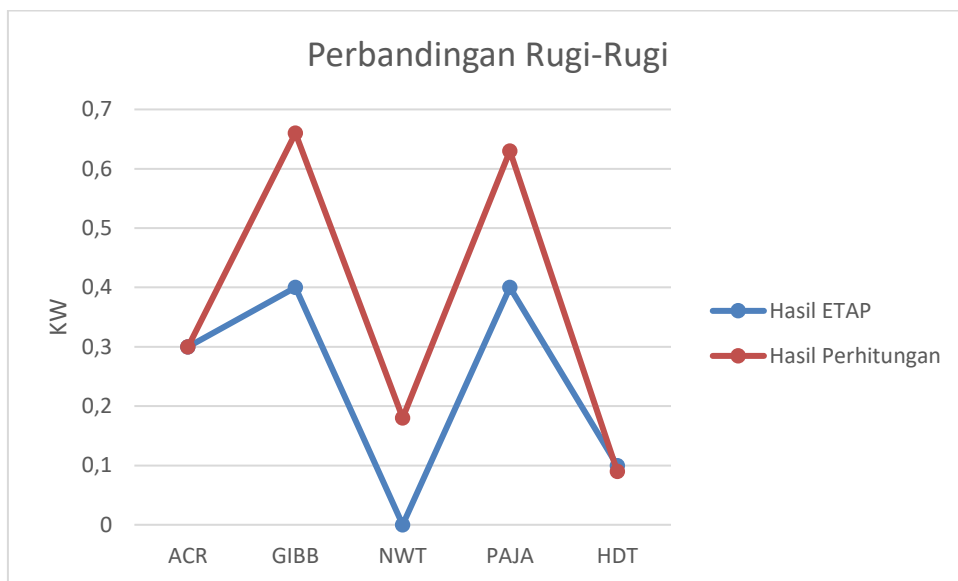
| Saluran | | Minimum | | | | | |
|---------|------|---------|--------|-----------|--------|-------|----|
| | | Beban | | Rugi-Rugi | | Arus | PF |
| Dari | Ke | (kWatt) | (kVAR) | (kWatt) | (kVAR) | (A) | % |
| E | ACR | 72 | 54 | 0,3 | 0,3 | 131 | 80 |
| ACR | GIBB | 97 | 73 | 0,4 | 0,4 | 176,6 | 80 |
| GIBB | NWT | 59 | 45 | 0 | 0 | 108 | 80 |
| NWT | PAJA | 173 | 129 | 0,4 | 0,4 | 316,1 | 80 |
| PAJA | HDT | 244 | 184 | 0,1 | 0,1 | 450 | 80 |

Tabel 8. Hasil Aliran Daya dengan Perhitungan

| Saluran | | Minimum | | | | | |
|---------|------|---------|--------|-----------|--------|--------|----|
| | | Beban | | Rugi-Rugi | | Arus | PF |
| Dari | Ke | (kWatt) | (kVAR) | (kWatt) | (kVAR) | (A) | % |
| E | ACR | 73,2 | 54,9 | 0,3 | 0,375 | 1444,6 | 80 |
| ACR | GIBB | 98,0136 | 73,5 | 0,66 | 0,825 | 185,6 | 80 |
| GIBB | NWT | 60,1552 | 45,11 | 0,18 | 0,225 | 117,6 | 80 |
| NWT | PAJA | 176,496 | 132,3 | 0,63 | 0,7875 | 345,3 | 80 |
| PAJA | HDT | 252,96 | 189,72 | 0,09 | 0,1125 | 517,6 | 80 |



Gambar 7. Perbandingan Beban



Gambar 8. Perbandingan Rugi-Rugi

Tabel 9. Kondisi Tegangan

| Nama Gardu | Operasi (kV) | Persentase % | Kondisi |
|------------|--------------|--------------|---------|
| ACR | 19,96 | 99,8 | Normal |
| GIBB | 19,94 | 99,7 | Normal |
| NWT | 19,94 | 99,7 | Normal |
| PAJA | 19,92 | 99,6 | Normal |
| HDT | 19,91 | 99,5 | Normal |

Tabel 9. menunjukkan hasil simulasi kondisi tegangan *bus* saat kondisi beban maksimum, diperoleh bahwa kondisi *busbar* dalam keadaan batas normal $\pm 10\%$.

Dari hasil perhitungan aliran daya yang dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 5 sampai Tabel 8, terdapat perbedaan rugi-rugi saluran antara perhitungan dan ETAP dikarenakan terdapatnya perbedaan resistansi. Resistansi yang digunakan pada ETAP menggunakan resistansi library yang tersedia pada aplikasi, sedangkan resistansi pada perhitungan menggunakan resistansi kabel yang sesuai dengan jenis kabel yang tersedia.

Tabel 10. Hasil Total Rugi Daya

| Nama Gardu | Beban (kW) | Rugi-Rugi (kW) | Persentase (%) |
|------------|------------|----------------|----------------|
| ACR | 85 | 1,4 | 1,6 |
| GIBB | 113 | 1,3 | 1,1 |
| NWT | 108 | 1,1 | 1 |
| PAJA | 195 | 2,4 | 1,2 |
| HDT | 279 | 4,3 | 1,5 |
| Total | 780 | 10,5 | 1,3 |

Pada Tabel diatas menunjukkan total rugi-rugi yang terjadi terhadap total daya pada penyulang CMC sebesar 1,3%. Hasil persentase masih berada dibawah Standard PT. PLN (SPLN) d3002-1;2007 sebesar +5%.

3.7 Kesimpulan

Hasil perhitungan dan simulasi aliran daya pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV dengan sumber Trafo 10 pada penyulang CMC terdiri dari 5 gardu distribusi.

Dari hasil simulasi aliran daya yang dilakukan penulis pada penyulang CMC dengan kondisi beban maksimum didapatkan hasil tiap-tiap Gardu Distribusi adalah beban Gardu Distribusi ACR sebesar 85 kW dan rugi-rugi 0,4 kW, beban Gardu Distribusi GIBB sebesar 113 kW dan rugi-rugi 0,6 kW, beban Gardu Distribusi NWT sebesar 108 kW dan rugi-rugi 0,1 kW, beban Gardu Distribusi PAJA sebesar 146 kW dan rugi-rugi 0,4 kW, beban Gardu Distribusi HDT sebesar 279 kW dan rugi-rugi 0,1 kW. Sedangkan dari hasil perhitungan untuk penyulang yang sama didapat hasil beban Gardu Distribusi ACR sebesar 84,28 kW dan rugi-rugi 0,4 kW, beban Gardu Distribusi GIBB sebesar 110,136 kW dan rugi-rugi 1 kW, beban Gardu Distribusi NWT sebesar 106,704 kW dan rugi-rugi

0,25 kW, beban Gardu Distribusi PAJA sebesar 192,792 kW dan rugi-rugi 0,66 kW, beban Gardu Distribusi HDT sebesar 279,536 kW dan rugi-rugi 0,11 kW.

Untuk hasil simulasi aliran daya yang dilakukan penulis pada penyulang CMC dengan kondisi beban minimum didapatkan hasil tiap-tiap Gardu Distribusi adalah beban Gardu Distribusi ACR sebesar 72 kW dan rugi-rugi 0,3 kW, beban Gardu Distribusi GIBB sebesar 97 kW dan rugi-rugi 0,4 kW, beban Gardu Distribusi NWT sebesar 59 kW dan rugi-rugi 0 kW, beban Gardu Distribusi PAJA sebesar 173 kW dan rugi-rugi 0,4 kW, beban Gardu Distribusi HDT sebesar 244 kW dan rugi-rugi 0,1 kW. Sedangkan dari hasil perhitungan untuk penyulang yang sama didapat hasil beban Gardu Distribusi ACR sebesar 73,2 kW dan rugi-rugi 0,3 kW, beban Gardu Distribusi GIBB sebesar 98,01 kW dan rugi-rugi 0,6 kW, beban Gardu Distribusi NWT sebesar 60,1 kW dan rugi-rugi 0,18 kW, beban Gardu Distribusi PAJA sebesar 176,4 kW dan rugi-rugi 0,63 kW, beban Gardu Distribusi HDT sebesar 252,9 kW dan rugi-rugi 0,09 kW.

Batasan maksimum dari nilai rugi-rugi yang ingin dicapai PT. PLN menurut (SPLN) d3002-1;2007 rugi total sekitar +5%. Menurut perhitungan nilai rugi-rugi total masih berada pada batas aman.

Pada saat terjadi *losses* yang cukup besar maka untuk mengantisipasi hal tersebut perlu ditambahkannya trafo distribusi yang sesuai dengan kebutuhan beban, serta penambahan tarikan disisi jaringan transmisi.

Daftar Rujukan

- [1]. Buku 1 (2010): *Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. PT. PLN.
- [2]. Dharmawan, Ari. (2000): *Perhitungan Rugi-Rugi Daya dan Energi Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV Dengan Metoda Gauss-Seidel*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- [3]. Saadat, H. (2002): *Power System Analysis, Second Editon*, McGraw-Hill Primis, Singapore.
- [4]. Sulistiyono, Dwi. (2011): *Perbandingan Metode Gauss-Seidel, Metode Newton Raphson Dan Metode Fast Decoupled Dalam Solusi Aliran Daya*. Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 8-11.
- [5]. Wibowo, Doni. (2008): *Studi Aliran Daya Pada Subsistem Bandung Selatan Menggunakan Metode Newton Raphson*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional. Bandung
- [6]. Zuhail. 1998. "*Dasar Teknik Listrik dan Elektronika Daya*". Jakarta : Gramedia
- [7]. Electric Machinery Fundamentals, by Stephen J. Chapman, second edition, Mcgraw-Hill International Edition. Electrical Engineering Series.