

ANALISA INTERKONEKSI SISTEM MENGGUNAKAN *DlgSILENT* (STUDI KASUS PLTU PULANG PISAU KALIMANTAN TENGAH)

Christine Widyastuti¹, Heri Suyanto², Dyan Retno Febriani³)

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

¹christinewidyastuti@gmail.com

²heri.suyanto@yahoo.com

³dyanretno@gmail.com

Abstract : One of the planned areas to be implemented is the construction of a 2x60 MW coal-fired steam power plant in Pulang Pisau District, Central Kalimantan. The development of this steam power plant aims to meet the demand for electricity in Central Kalimantan which has been supplied using barito systems and isolated isolated systems generated from diesel generators. The 80% own barito system is concentrated in South Kalimantan with an electrical interconnection system using 150 KV and 70 KV transmission lines covering South and Central Kalimantan that are connected to hydro, coal and diesel power plants. The other 20% is produced from Central Kalimantan, specifically the capital of Palangkaraya and Katingan regency. Based on the simulation done using *DlgSILENT* software on barito system after the entry of PLTU Pulang Pisau shows the total change of power supply and the occurrence of voltage changes where the peak load time before PLTU Pulang Pisau enter the total power system generated by 395.18 MW and then after PLTU Pulang Pisau Entered into the total power generation system to 411.14 MW. This value is close to the limit of the operating voltage value but the barito system's transmission rate capability is still sufficient to overcome the change in voltage rise.

Keywords: *DlgSILENT*, Interconnection, Barito System, PLTU Pulang Pisau

Abstrak : Salah satu wilayah yang direncanakan akan dilaksanakan pembangunan pembangkit listrik tenaga uap yaitu PLTU batu bara berdaya 2x60 MW di Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. Pembangunan PLTU ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan daya listrik di Kalimantan Tengah yang selama ini dipasok menggunakan sistem barito dan sistem terisolasi terpusat yang dihasilkan dari pembangkit diesel. Sistem barito sendiri sebanyak 80% terkonsentrasi di Kalimantan Selatan dengan sistem interkoneksi listrik menggunakan line transmisi sebesar 150 KV dan 70 KV yang mencakup Kalimantan Selatan dan Tengah yang jaringan listrik tersebut terhubung ke pembangkit listrik tenaga hidro, batubara, dan diesel. Sedangkan 20% lainnya dihasilkan dari Kalimantan Tengah, khususnya Ibukota Palangka Raya dan Kabupaten Katingan. Berdasarkan simulasi yang dilakukan menggunakan software *DlgSILENT* pada sistem barito setelah masuknya PLTU Pulang Pisau menunjukkan adanya perubahan total daya pasok pembangkit dan terjadinya perubahan tegangan dimana waktu beban puncak sebelum PLTU Pulang Pisau masuk sistem daya total pembangkit yang dihasilkan sebesar 395.18 MW dan saat sesudah PLTU Pulang Pisau masuk kedalam sistem daya total pembangkitannya menjadi 411.14 MW. Nilai ini mendekati batas nilai operasi tegangan namun tingkat kemampuan transmisi sistem barito masih cukup untuk mengatasi perubahan kenaikan tegangan tersebut.

Kata Kunci : *DlgSILENT*, Interkoneksi, Sistem Barito, PLTU Pulang Pisau

1. PENDAHULUAN

Pulau Kalimantan dibagi menjadi tiga wilayah pemasaran listrik PLN, yaitu Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah, Kalimantan barat, Kalimantan Timur. Permintaan tenaga listrik di Kalimantan barat rata-rata 8,65% per tahun. Beban puncak sistem kelistrikan Kalimantan Barat telah mencapai 175,85 MW pada tahun 2003 dan kapasitas terpasang 296,40 MW yang sebagian besar terdiri dari PLTD. Sedangkan di Kalimantan Timur jenis pembangkit yang banyak dikelola adalah PLTD dengan daya terpasang 296 MW.

Interkoneksi sistem Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah disebut sebagai sistem Barito. Listrik di Kalimantan Tengah terutama dipasok oleh sistem Barito dan oleh sistem terisolasi terpencar yang ditenagai pembangkit diesel yang merupakan sistem interkoneksi yang terhubung melalui jaringan SUTT 150 kV saluran udara tegangan tinggi 150 kV dan 70 kV. Sistem Barito saat ini disuplai dari PLTU Asam-Asam, PLTD Trisakti, PLTA Ir. PM Noor, *ExcessPower*, dan beberapa unit pembangkit termal dengan bahan bakar minyak.

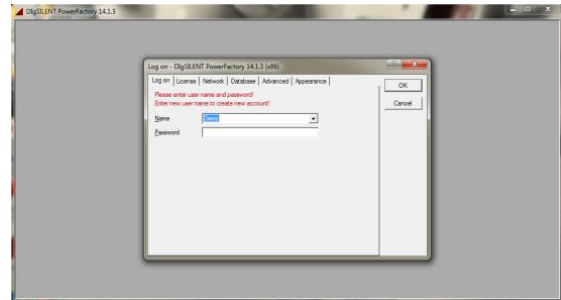
Tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah untuk menganalisa tegangan pada operasi sistem interkoneksi Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah dengan penambahan 2 unit PLTU Pulang Pisau serta melihat pengaruhnya terhadap tegangan sistem Barito menggunakan *software DigSILENT*.

2. LANDASAN TEORI

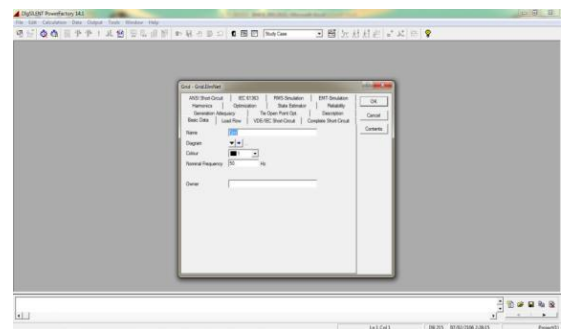
2.1. *DigSILENT PowerFactory*

Program perhitungan *DigSILENT PowerFactory*, adalah *software* rekayasa yang berguna untuk analisis industri, utilitas, dan analisis sistem tenaga listrik. *DigSILENT* (*Digital SimuLation and Electrical NeTwork calculation program*) Versi 7 merupakan perangkat lunak analisis sistem tenaga yang pertama di dunia yang terintegrasi dengan grafis antar muka satu baris, diagram satu baris interaktif juga termasuk fungsi meng-

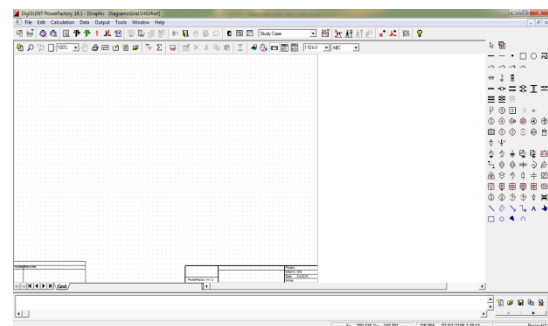
gambar, kemampuan mengedit dan semua relevan statis dan dinamis fitur perhitungan. Beberapa fungsi yang tersedia dalam *DigSILENT PowerFactory* adalah analisis aliran beban (*loadflow analysis*), perhitungan arus pendek (*short-circuit calculation*), analisis harmonik (*harmonic analysis*), koordinasi proteksi (*protection coordination*), perhitungan stabilitas (*stability calculation*) dan analisis modal (*modal analysis*).



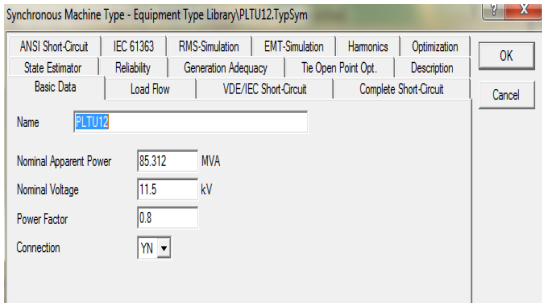
Gambar 2.1. Tampilan Awal *DigSILENT*



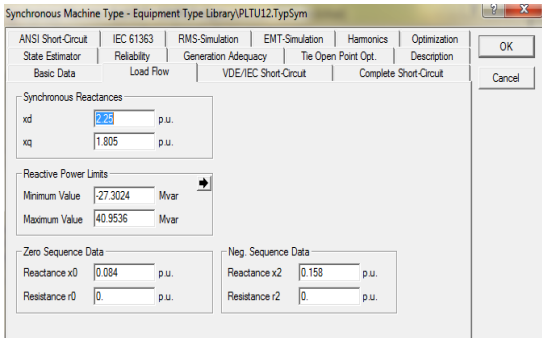
Gambar 2.2 Pengisian *Basic Data* Sistem



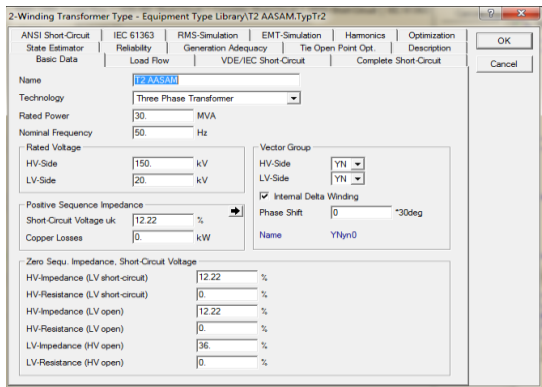
Gambar 2.3 Tampilan Menggambar *Single Line Diagram*



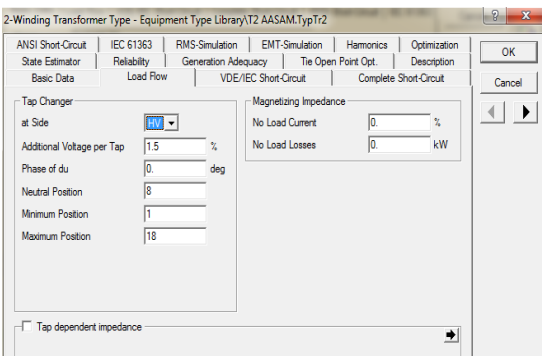
Gambar 2.4 Pengisian Basic Data Generator



Gambar 2.5 Pengisian Load Flow Generator



Gambar 2.6 Pengisian Basic Data Transformator



Gambar 2.7 Pengisian Load Flow Transformator

2.2 Perhitungan Aliran Daya

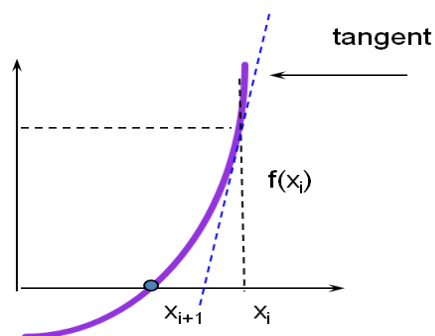
Perhitungan aliran daya pada dasarnya adalah menghitung besaran

tegangan $|V|$ dan sudut fasa tegangan δ pada setiap GI pada kondisi tunak dan ketiga fasa seimbang. Hasil perhitungan ini digunakan untuk menghitung besar aliran daya aktif P dan daya reaktif Q di setiap peralatan transmisi, besarnya daya aktif P dan daya reaktif Q yang harus dibangkitkan setiap pusat pembangkit serta jumlah rugi-rugi di sistem. Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya metode tegangan *node* banyak digunakan pada analisa sistem tenaga. Ada dua perhitungan analisa sistem tenaga yang menggunakan metode tersebut yaitu Gauss – Seidel dan Newton Raphson. Sedangkan untuk mendapatkan persamaan tegangan *node* dapat diperoleh dari penyelesaian *nodal* berdasarkan hukum arus Kirchoff dengan mengubah impedan menjadi admitan.

2.3 Metode Newton-Raphson

Salah satu metoda untuk menghitung aliran daya yang terjadi adalah metode Newton-Raphson. Metode Newton-Raphson memiliki perhitungan lebih baik untuk sistem tenaga yang lebih besar dan tidak linier dikarenakan lebih efisien dan praktis serta jumlah iterasi yang dibutuhkan juga sedikit. Selain itu, metode ini lebih disukai karena konvergensinya jauh lebih cepat dan persamaan aliran dayanya dirumuskan dalam bentuk polar. Metode Newton Raphson digunakan untuk mencari akar dari suatu persamaan. Konsep dasarnya yaitu :

- Bila perkiraan awal dari akar adalah x_i , suatu garis singgung dapat dibuat dari titik $(x_i, f(x_i))$.
- Titik di mana garis singgung tersebut memotong sumbu x biasanya memberikan perkiraan yang lebih dekat dari nilai akar.



$$\text{tangent} = \frac{dy}{dx} = f'$$

$$f'(x_i) = \frac{f(x_i) - 0}{x_i - x_{i+1}}$$

rearrange

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)}$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Data Load Flow

Data Sistem Barito Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah dimasukkan setelah *single line* diagram direpresentasikan ke dalam program *DlgSILENT*. Data yang dibutuhkan adalah data-data primer yang berasal dari Generator (pembangkit), Transmisi dan Transformator.

3.2. Data Generator (pembangkit)

Data generator (pembangkit) yang diperlukan adalah *rating* generator pada pembangkit yang kemudian *DlgSILENT* dapat dengan otomatis mengkalkulasi data *rating* tersebut menjadi data-data lain yang diperlukan untuk pengisian *basic* data berupa kapasitas, tegangan dan *power factor*, seperti pada Tabel 3.1. berikut ini :

Tabel 3.1 Data Parameter Generator

| Name | Pembangkit | Tag [Pgn] | Tag [Sgn] | H [Sgn] | H [Pgn] | Mech. Damp | rstr | xl | xrl |
|-------------------------|---|-----------|-----------|---------|---------|------------|-------|------|------|
| | | s | s | s | s | p.u. | p.u. | p.u. | p.u. |
| 40 MVA ST MSW | PLTU MSW #1 | 10 | 8 | 4 | 5 | 0 | 0,002 | 0,1 | 0 |
| PLTA 11 MVA | PLTA PM NOOR #1, #2, #3 | 10,99 | 10 | 5 | 5,495 | 0 | 0 | 0,1 | 0 |
| PLTD 1.823 MVA 1500 rpm | PLTD AEP Kapuas, AEP Praya, AEP Trisakti, K | 1,176 | 1 | 0,5 | 0,588 | 0 | 0 | 0,1 | 0 |
| PLTD 15.5 MVA 428.6 rpm | PLTD SWD 9TM #7, #8, #9, #10 | 5 | 4 | 2 | 2,5 | 0 | 0 | 0,1 | 0 |
| PLTU 34 | PLTU Asam-Asam #3, #4 | 12,94 | 11 | 5,5 | 6,471 | 0 | 0 | 0,1 | 0 |
| PLTU12 | PLTU Asam-Asam #1, #2 | 13,75 | 11 | 5,5 | 6,875 | 0 | 0 | 0,1 | 0 |
| WIJAYA 11 MVA 3000 rpm | PLTG Blok TAP, Wijaya | 5 | 4 | 2 | 2,5 | 0 | 0 | 0,1 | 0 |

| Name | Td0" | Tq0" | xd' | xq' | SG12 | x0 | r0 | x2 | r2 | Td" | xd | xq |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | s | s | p.u. | p.u. | p.u. | p.u. | p.u. | p.u. | p.u. | s | p.u. | p.u. |
| 40 MVA ST MSW | 0,03 | 0,05 | 0,24 | 0,39 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,20 | 0,04 | 0,02 | 2,54 | 2,31 |
| PLTA 11 MVA | 0,06 | 0,50 | 0,30 | 0,30 | 0,50 | 0,10 | 0,00 | 0,23 | 0,00 | 0,05 | 2 | 2 |
| PLTD 1.823 MVA 1500 rpm | 0,08 | 0,08 | 0,35 | 0,30 | 0,00 | 0,06 | 0,00 | 0,26 | 0,00 | 0,05 | 1,4 | 0,8 |
| PLTD 15.5 MVA 428.6 rpm | 0,10 | 0,20 | 0,41 | 0,30 | 0,40 | 0,06 | 0,00 | 0,29 | 0,00 | 0,06 | 1,305 | 0,8 |
| PLTU 34 | 0,02 | 0,08 | 0,24 | 0,30 | 0,38 | 0,08 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,01 | 1,925 | 1,805 |
| PLTU12 | 0,05 | 0,08 | 0,22 | 0,30 | 0,38 | 0,08 | 0,00 | 0,16 | 0,00 | 0,03 | 2,25 | 1,805 |
| WIJAYA 11 MVA 3000 rpm | 0,06 | 0,08 | 0,35 | 0,30 | 0,40 | 0,06 | 0,00 | 0,26 | 0,00 | 0,05 | 0,997 | 0,8 |

| Name | Main Flux Sat. | xd" | xq" | SG10 | Td' | Tq' | Td0' | Tq0' | Type | Tq'' |
|-------------------------|----------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | | p.u. | p.u. | p.u. | s | s | s | s | | s |
| 40 MVA ST MSW | No Saturation | 0,18 | 0,19 | 0,00 | 0,64 | 0,64 | 6,86 | 3,77 | 1,00 | 0,02 |
| PLTA 11 MVA | SG10/SG12 | 0,23 | 0,20 | 0,11 | 6,00 | 0,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 |
| PLTD 1.823 MVA 1500 rpm | No Saturation | 0,20 | 0,20 | 0,00 | 5,50 | 1,00 | 22,00 | 2,67 | 1,00 | 0,05 |
| PLTD 15.5 MVA 428.6 rpm | SG10/SG12 | 0,24 | 0,20 | 0,10 | 1,04 | 0,00 | 3,34 | 0,00 | 0,00 | 0,05 |
| PLTU 34 | SG10/SG12 | 0,15 | 0,20 | 0,17 | 0,11 | 1,00 | 0,83 | 6,02 | 1,00 | 0,05 |
| PLTU12 | SG10/SG12 | 0,14 | 0,20 | 0,17 | 0,99 | 1,00 | 9,98 | 6,02 | 1,00 | 0,05 |
| WIJAYA 11 MVA 3000 rpm | SG10/SG12 | 0,26 | 0,20 | 0,10 | 5,50 | 0,00 | 15,67 | 0,00 | 1,00 | 0,05 |

3.3. Data Transmisi

Data transmisi (*line*) yang diperlukan adalah *rating* transmisi dari kawat penghantar yang dipakai untuk menghantarkan daya, seperti pada tabel 3.2. berikut ini yang kemudian *DlgSILENT* dapat dengan otomatis mengkalkulasi data *rating* tersebut menjadi data-data lain yang diperlukan untuk pengisian *basic* data seperti *positif sequence* impedansi Z1, *positif sequence* sudut, *positif/zero sequence* reaktansi X0/X1.

Tabel 3.2 Data Nilai Impedansi Jaringan Transmisi

| Name | Rtd. Vltg kV | Length km | Irated kA | Z1 Ohm | R1 Ohm | X1 Ohm | R0 Ohm | X0 Ohm |
|-------------------|--------------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BRKINS-TAINGS 1 | 150 | 59.76 | 1.20 | 18.06 | 3.59 | 17.70 | 15.60 | 73.58 |
| BRKINS-TAINGS 2 | 150 | 59.76 | 1.20 | 18.06 | 3.59 | 17.70 | 15.60 | 73.58 |
| MTUILS-AASAMS 1 | 150 | 110.00 | 1.20 | 33.24 | 6.60 | 32.58 | 28.72 | 135.44 |
| MTUILS-AASAMS 2 | 150 | 110.00 | 1.20 | 33.24 | 6.60 | 32.58 | 28.72 | 135.44 |
| MTUILS-CMPKAS 1 | 150 | 26.16 | 0.40 | 7.90 | 1.57 | 7.75 | 6.83 | 32.21 |
| MTUILS-CMPKAS 2 | 150 | 26.16 | 0.40 | 7.90 | 1.57 | 7.75 | 6.83 | 32.21 |
| TRSTS-MTUILS 1 | 150 | 15.15 | 0.80 | 4.58 | 0.91 | 4.49 | 3.96 | 18.66 |
| TRSTS-MTUILS 2 | 150 | 15.15 | 0.80 | 4.58 | 0.91 | 4.49 | 3.96 | 18.66 |
| AASAMS-CMPKAS | 150 | 88.60 | 0.60 | 35.39 | 8.42 | 34.38 | 25.61 | 115.81 |
| AASAMS-PLHRIS | 150 | 59.07 | 0.60 | 23.60 | 5.61 | 22.92 | 17.07 | 77.20 |
| PLHRIS-CMPKAS | 150 | 32.80 | 0.60 | 13.10 | 3.12 | 12.73 | 9.48 | 42.87 |
| AMTAUS-BRKINS 1 | 150 | 30.72 | 0.65 | 13.02 | 3.63 | 12.50 | 9.86 | 40.15 |
| AMTAUS-BRKINS 2 | 150 | 30.72 | 0.65 | 13.02 | 3.63 | 12.50 | 9.86 | 40.15 |
| CMPKAS-BRKINS | 150 | 106.25 | 0.65 | 45.03 | 12.57 | 43.24 | 34.11 | 138.87 |
| CMPKAS-RNTAUS | 150 | 46.82 | 0.65 | 19.84 | 5.54 | 19.05 | 15.03 | 61.19 |
| PPSAUS-SELATS | 150 | 38.52 | 0.59 | 16.32 | 4.56 | 15.68 | 12.36 | 50.35 |
| PRAYAS-PPSAUS | 150 | 84.98 | 0.59 | 36.01 | 10.05 | 34.58 | 27.28 | 111.07 |
| PRAYAS-SELATS | 150 | 123.50 | 0.59 | 52.34 | 14.61 | 50.26 | 39.64 | 161.41 |
| RNTAUS-BRKINS | 150 | 45.82 | 0.65 | 19.42 | 5.42 | 18.65 | 14.71 | 59.89 |
| SEBARAS-KYTING5 1 | 150 | 18.35 | 0.65 | 7.78 | 2.17 | 7.47 | 5.89 | 29.98 |
| SEBARAS-KYTING5 2 | 150 | 18.35 | 0.65 | 7.78 | 2.17 | 7.47 | 5.89 | 29.98 |
| SEBARAS-SELATS 1 | 150 | 41.77 | 0.40 | 17.70 | 4.94 | 17.00 | 13.41 | 54.60 |
| SEBARAS-SELATS 2 | 150 | 41.77 | 0.40 | 17.70 | 4.94 | 17.00 | 13.41 | 54.60 |
| TRSTS-SEBARAS 1 | 150 | 5.34 | 0.32 | 2.26 | 0.63 | 2.17 | 1.71 | 6.98 |
| TRSTS-SEBARAS 2 | 150 | 5.34 | 0.32 | 2.26 | 0.63 | 2.17 | 1.71 | 6.98 |
| TINGA-MSW4 1 | 70 | 5.00 | 0.65 | 2.12 | 0.59 | 2.03 | 1.61 | 6.71 |
| TINGA-MSW4 2 | 70 | 5.00 | 0.65 | 2.12 | 0.59 | 2.03 | 1.61 | 6.71 |
| TRST04-ULINA 1 | 70 | 10.82 | 0.40 | 4.58 | 1.28 | 4.40 | 3.47 | 14.52 |
| TRST04-ULINA 2 | 70 | 10.82 | 0.40 | 4.58 | 1.28 | 4.40 | 3.47 | 14.52 |
| CMPKAA-PLTA 1 | 70 | 19.09 | 0.20 | 9.22 | 4.53 | 8.03 | 5.90 | 25.88 |
| CMPKAA-PLTA 2 | 70 | 19.09 | 0.20 | 9.22 | 4.53 | 8.03 | 5.90 | 25.88 |
| CMPKAA-ULINA 1 | 70 | 31.63 | 0.15 | 15.28 | 7.51 | 13.31 | 9.78 | 42.89 |
| CMPKAA-ULINA 2 | 70 | 31.63 | 0.15 | 15.28 | 7.51 | 13.31 | 9.78 | 42.89 |
| BR7-BK5 | 20 | 13.00 | 585.00 | 4.46 | 1.75 | 4.11 | 3.67 | 20.84 |
| PL7-AM2 | 20 | 5.00 | 585.00 | 1.72 | 0.67 | 1.58 | 1.41 | 8.02 |

3.4. Data Transformator

Data transformator yang diperlukan adalah *rating* transformator pada gardu induk atau pun dalam sistem pembangkit, seperti pada Tabel 3.3 sampai dengan Tabel 3.7 berikut ini. Kemudian *DlgSILENT* dapat dengan otomatis mengkalkulasi data *rating* tersebut menjadi data-data lain yang diperlukan untuk pengisian *basic* data seperti kapasitas, *positif sequence* atau pun *zero sequence* pada transformator.

Tabel 3.3 Data Nilai Impedansi Trafo Gardu Induk

| Lokasi | Unit | Merek | Kapasitas (MVA) | V. Group | Impedansi [%] | Tegangan (kV) | Impedansi (ohm) |
|--------------|------|-------------|-----------------|----------|---------------|---------------|-----------------|
| CEMPAKA 70 | 1 | TAKAOKA | 3 | Yd5 | 6.60 % | 70.0 / 6.6 | 107.80 |
| | 2 | TAKAOKA | 6 | Yd5 | 6.60 % | 70.0 / 20.0 | 53.90 |
| | 3 | OSAKA | 10 | Yy0y0 | 10.20 % | 70.0 / 20.0 | 49.98 |
| | 4 | PASTI | 10 | Yyn0d1 | 9.37 % | 70.0 / 20.0 | 45.91 |
| CEMPAKA 150 | 1 | SAVOISIENNE | 31 | Ynd5 | 12.10 % | 150.0 / 70.0 | 87.82 |
| | 5 | UNINDO | 60 | Yyn0d1 | 12.50 % | 150.0 / 20.0 | 46.88 |
| | 2 | AEG | 6 | Yd5 | 6.62 % | 70.0 / 6.0 | 54.06 |
| | 3 | TAKAOKA | 6 | Yy0 | 6.62 % | 70.0 / 20.0 | 54.06 |
| | 4 | UNINDO | 10 | Yyn0 | 6.00 % | 70.0 / 20.0 | 29.40 |
| TRISAKTI 70 | 5 | PASTI | 20 | Yyn0d1 | 12.95 % | 70.0 / 20.0 | 31.73 |
| | 1 | TAKAOKA | 6 | Yd5 | 6.74 % | 70.0 / 20.0 | 55.04 |
| | 2 | TAKAOKA | 6 | Yd5 | 6.74 % | 70.0 / 20.0 | 55.04 |
| | 3 | TAKAOKA | 6 | Yd5 | 6.60 % | 70.0 / 6.0 | 53.90 |
| | 4 | UNINDO | 27 | Ynd5 | 6.00 % | 70.0 / 20.0 | 10.89 |
| | 5 | UNINDO | 10 | Yyn0 | 6.00 % | 70.0 / 20.0 | 29.40 |
| | 6 | UNINDO | 10 | YN yno | 6.00 % | 70.0 / 20.0 | 29.40 |
| | 7 | UNINDO | 15 | Ynd5 | 5.65 % | 70.0 / 20.0 | 18.46 |
| | 8 | UNINDO | 31 | Ynd5 | 12.27 % | 150.0 / 70.0 | 46.14 |
| | 1 | UNINDO | 16 | Ynd5 | 10.58 % | 6.3 / 150.0 | 0.26 |
| TRISAKTI 150 | 2 | UNINDO | 16 | Ynd5 | 10.58 % | 6.3 / 150.0 | 0.26 |
| | 3 | UNINDO | 16 | Ynd5 | 10.58 % | 6.3 / 150.0 | 0.26 |
| | 4 | UNINDO | 16 | Ynd5 | 10.58 % | 6.3 / 150.0 | 0.26 |
| | 5 | UNINDO | 60 | Yyn0d1 | 12.27 % | 150.0 / 20.0 | 46.01 |
| | 6 | ASEA | 31 | Ynd5 | 12.27 % | 150.0 / 70.0 | 89.06 |
| SEBAR | 7 | SAVOISIENNE | 31 | Ynd5 | 12.27 % | 150.0 / 70.0 | 89.06 |
| | 1 | UNINDO | 20 | Yyn0 | 10.77 % | 150.0 / 20.0 | 121.16 |
| SELAT | 2 | UNINDO | 20 | Yyn0 | 10.77 % | 150.0 / 20.0 | 121.16 |
| | 1 | PASTI | 20 | Yyn0d1 | 12.52 % | 150.0 / 20.0 | 140.86 |
| PALANGKARAYA | 2 | PASTI | 30 | Yyn0d1 | 12.98 % | 150.0 / 20.0 | 97.35 |
| | 1 | UNINDO | 30 | Yyn0d5 | 11.67 % | 150.0 / 20.0 | 87.53 |
| BARIKIN | 2 | UNINDO | 30 | Yyn0d5 | 11.67 % | 150.0 / 20.0 | 87.53 |
| | 1 | PASTI | 30 | Yyn0d5 | 13.21 % | 150.0 / 20.0 | 99.07 |
| MANTUL | 2 | UNINDO | 30 | Yyn0 | 12.77 % | 150.0 / 20.0 | 95.78 |
| | 1 | ABB | 30 | Yyn0d11 | 12.70 % | 150.0 / 20.0 | 95.25 |
| ASAM ASAM | 2 | PAUWELS | 30 | Yyn0D11 | 12.22 % | 150.0 / 20.0 | 91.62 |
| | 1 | ELECTRO Vtr | 10 | Yyn0 | 10.30 % | 150.0 / 20.0 | 231.75 |
| PULANG PISAU | 2 | PAUWELS | 30 | Yyn0D11 | 12.22 % | 150.0 / 20.0 | 91.62 |
| | 1 | MEIDEN | 10 | Yy0d1 | 10.24 % | 150.0 / 20.0 | 230.40 |
| PELAHARI | 1 | UNINDO | 30 | Yyn0d5 | 11.67 % | 150.0 / 20.0 | 87.53 |
| | 1 | PAUWELS | 30 | Yyn0d1 | 12.29 % | 150.0 / 20.0 | 92.18 |
| RANTAU | 1 | PAUWELS | 30 | Yyn0D11 | 12.51 % | 150.0 / 20.0 | 93.80 |
| TANJUNG | 1 | PAUWELS | 30 | Yyn0D11 | 12.51 % | 150.0 / 20.0 | 93.80 |
| KAYUTANGI | 1 | PAUWELS | 10 | Yy0d1 | 10.30 % | 150.0 / 20.0 | 231.75 |
| AMUNTAI | 1 | PAUWELS | 10 | Yy0d1 | 10.30 % | 150.0 / 20.0 | 231.75 |

| Lokasi | Unit | Merek | Imp _{dasar} | Impedansi (pu) | Impedansi Nol (pu) |
|--------------|------|-------------|----------------------|----------------|--------------------|
| CEMPAKA 70 | 1 | TAKAOKA | 49 | 2.20000 | 6.60000 |
| | 2 | TAKAOKA | 49 | 1.10000 | 3.30000 |
| | 3 | OSAKA | 49 | 1.02000 | 3.06000 |
| | 4 | PASTI | 49 | 0.93700 | 2.81100 |
| CEMPAKA 150 | 1 | SAVOISIENNE | 225 | 0.39032 | 0.39032 |
| | 5 | UNINDO | 225 | 0.20833 | 0.62500 |
| | 2 | AEG | 49 | 1.10333 | 3.31000 |
| | 3 | TAKAOKA | 49 | 1.10333 | 3.31000 |
| | 4 | UNINDO | 49 | 0.60000 | 6.00000 |
| TRISAKTI 70 | 5 | PASTI | 49 | 0.64750 | 1.94250 |
| | 1 | TAKAOKA | 49 | 1.12333 | 3.37000 |
| | 2 | TAKAOKA | 49 | 1.12333 | 3.37000 |
| | 3 | TAKAOKA | 49 | 1.10000 | 3.30000 |
| | 4 | UNINDO | 49 | 0.22222 | 0.22222 |
| | 5 | UNINDO | 49 | 0.60000 | 6.00000 |
| | 6 | UNINDO | 49 | 0.60000 | 1.80000 |
| | 7 | UNINDO | 49 | 0.37667 | 0.37667 |
| TRISAKTI 150 | 8 | UNINDO | 49 | 0.94167 | 0.94167 |
| | 1 | UNINDO | 225 | 0.00117 | 0.00117 |
| | 2 | UNINDO | 225 | 0.00117 | 0.00117 |
| | 3 | UNINDO | 225 | 0.00117 | 0.00117 |
| | 4 | UNINDO | 225 | 0.00117 | 0.00117 |
| | 5 | UNINDO | 225 | 0.20450 | 0.61350 |
| | 6 | ASEA | 225 | 0.39581 | 0.39581 |
| | 7 | SAVOISIENNE | 225 | 0.39581 | 0.39581 |
| SEBAR | 1 | UNINDO | 225 | 0.53850 | 5.38500 |
| | 2 | UNINDO | 225 | 0.53850 | 5.38500 |
| SELAT | 1 | PASTI | 225 | 0.62605 | 1.87815 |
| | 2 | PASTI | 225 | 0.43267 | 1.29800 |
| PALANGKARAYA | 1 | UNINDO | 225 | 0.38900 | 1.16700 |
| | 2 | UNINDO | 225 | 0.38900 | 1.16700 |
| BARIKIN | 1 | PASTI | 225 | 0.44030 | 1.32090 |
| | 2 | UNINDO | 225 | 0.42567 | 4.25667 |
| MANTUL | 1 | ABB | 225 | 0.42333 | 1.27000 |
| | 2 | PAUWELS | 225 | 0.40720 | 1.22160 |
| ASAM ASAM | 1 | ELECTRO Vtr | 225 | 1.03000 | 10.30000 |
| | 2 | PAUWELS | 225 | 0.40720 | 1.22160 |
| PULANG PISAU | 1 | MEIDEN | 225 | 1.02400 | 3.07200 |
| PELAHARI | 1 | UNINDO | 225 | 0.38900 | 1.16700 |
| RANTAU | 1 | PAUWELS | 225 | 0.40970 | 1.22910 |
| TANJUNG | 1 | PAUWELS | 225 | 0.41687 | 1.25060 |
| KAYUTANGI | 1 | PAUWELS | 225 | 1.03000 | 3.09000 |
| AMUNTAI | 1 | PAUWELS | 225 | 1.03000 | 3.09000 |

| Lokasi | Unit | Merek | Imp. Sisi Sek. | NGR 20 kV (ohm) | R0 20 kV (pu) | Sistem Pendingin |
|--------------|------|-------------|----------------|-----------------|---------------|------------------|
| CEMPAKA 70 | 1 | TAKAOKA | 1.00 | 0.00 | 0.00 | OIS |
| | 2 | TAKAOKA | 1.00 | 40.00 | 120.00 | OIS |
| | 3 | OSAKA | 1.00 | 40.00 | 120.00 | ONAN |
| | 4 | PASTI | 1.00 | 40.00 | 120.00 | ONAN |
| CEMPAKA 150 | 1 | SAVOISIENNE | 1.00 | 0.00 | 0.00 | FOAT |
| | 5 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| | 2 | AEG | 1.00 | 0.00 | 0.00 | OIS |
| | 3 | TAKAOKA | 1.00 | 0.00 | 0.00 | OIS |
| | 4 | UNINDO | 18.37 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| TRISAKTI 70 | 5 | PASTI | 18.37 | 40.00 | 6.53 | ONAF |
| | 1 | TAKAOKA | 1.00 | 40.00 | 120.00 | OIS |
| | 2 | TAKAOKA | 1.00 | 0.00 | 0.00 | OIS |
| | 3 | TAKAOKA | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| | 4 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| | 5 | UNINDO | 18.37 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| | 6 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| | 7 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| TRISAKTI 150 | 8 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| | 1 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| | 2 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| | 3 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| | 4 | UNINDO | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| | 5 | UNINDO | 4.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| | 6 | ASEA | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| SEBAR | 7 | SAVOISIENNE | 1.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| | 1 | UNINDO | 4.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| | 2 | UNINDO | 4.00 | 40.00 | 30.00 | ONAF |
| SELAT | 1 | PASTI | 4.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| | 2 | PASTI | 4.00 | 0.00 | 0.00 | ONAN/ONAF |
| PALANGKARAYA | 1 | UNINDO | 4.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| | 2 | UNINDO | 4.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| BARIKIN | 1 | PASTI | 4.00 | 40.00 | 30.00 | ONAF |
| | 2 | UNINDO | 4.00 | 40.00 | 30.00 | ONAF |
| MANTUL | 1 | ABB | 4.00 | 40.00 | 30.00 | |
| | 2 | PAUWELS | 4.00 | 40.00 | 30.00 | |
| ASAM ASAM | 1 | ELECTRO Vtr | 4.00 | 40.00 | 30.00 | ONAN |
| | 2 | PAUWELS | 4.00 | 40.00 | 30.00 | |
| PULANG PISAU | 1 | MEIDEN | 1.00 | 40.00 | 120.00 | ONAN |
| PELAHARI | 1 | UNINDO | 4.00 | 0.00 | 0.00 | ONAF |
| RANTAU | 1 | PAUWELS | 4.00 | 40.00 | 30.00 | ONAN |
| TANJUNG | 1 | PAUWELS | 4.00 | 40.00 | 30.00 | ONAN |
| KAYUTANGI | 1 | PAUWELS | 1.00 | 40.00 | 120.00 | ONAN |
| AMUNTAI | 1 | PAUWELS | 1.00 | 40.00 | 120.00 | ONAN |

4. HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1. Hasil Aliran Daya Sistem Barito Sebelum Masuknya PLTU Pulang Pisau

Dari hasil simulasi aliran daya dengan menggunakan *software DigSILENT* pada saat kondisi waktu beban puncak dan kondisi lewat waktu beban puncak tegangan besarnya tegangan pada masing-masing bus. Tegangan mempunyai batasan nilai operasi yaitu maksimum tegangan sebesar 157.5 kV dan 73.5 kV sedangkan minimum tegangan sebesar 135.0 kV dan 63.0 kV.

Tabel 4.1 Nilai Tegangan Saat WBP tanpa PLTU Pulang Pisau

| Saluran Transmisi | Nom. Volt KV | UI, Magnitude KV | u, Magnitude p.u |
|-------------------|--------------|------------------|------------------|
| Bangkanai | 150 | 155.10 | 1.03 |
| Asam-asam12 | 150 | 152.15 | 1.01 |
| Asam-asam34 | 150 | 153.55 | 1.03 |
| Amuntai | 150 | 151.95 | 1.01 |
| Batulicin | 150 | 152.74 | 1.02 |
| Barikin | 150 | 152.20 | 1.01 |
| Buntok | 150 | 154.39 | 1.03 |
| Cempaka5 | 150 | 150.23 | 1.00 |
| Cempaka4 | 70 | 69.68 | 0.99 |
| Kasongan | 150 | 151.67 | 1.01 |
| Kayutangi | 150 | 149.64 | 1.00 |

| | | | |
|---------------|-----|--------|------|
| Mantuil | 150 | 150.33 | 1.00 |
| Muarateweh | 150 | 154.74 | 1.03 |
| Palangkaraya | 150 | 150.09 | 1.00 |
| Pangkalan Bun | 150 | 153.53 | 1.02 |
| Pelehari | 150 | 150.48 | 1.00 |
| Pulang Pisau | 150 | 149.79 | 1.00 |
| Rantau | 150 | 151.03 | 1.01 |
| Sampit | 150 | 152.92 | 1.02 |
| Sebar | 150 | 149.82 | 1.00 |
| Selat | 150 | 149.65 | 1.00 |
| Tanjung | 150 | 153.41 | 1.02 |
| Trisakti | 70 | 69.74 | 1.00 |
| Trisakti 150 | 150 | 149.94 | 1.00 |
| Ulin | 70 | 68.95 | 0.99 |

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan dengan Tabel 4.1 diatas menunjukkan bahwa tegangan pada Gardu Induk Bangkanai mendekati batas maksimum nilai operasi tegangan yang diperbolehkan.

Tabel 4.2 Nilai Tegangan Saat LWBP tanpa PLTU Pulang Pisau

| Saluran Transmisi | Nom. Volt KV | UI, Magnitude KV | u, Magnitude p.u |
|-------------------|--------------|------------------|------------------|
| Bangkanai | 150 | 153.96 | 1.03 |
| Asam-asam12 | 150 | 151.57 | 1.01 |
| Asam-asam34 | 150 | 152.97 | 1.02 |
| Amuntai | 150 | 150.82 | 1.01 |
| Batulicin | 150 | 152.16 | 1.02 |
| Barikin | 150 | 151.07 | 1.01 |
| Buntok | 150 | 153.25 | 1.02 |
| Cempaka5 | 150 | 149.13 | 0.99 |
| Cempaka4 | 70 | 69.05 | 0.99 |
| Kasongan | 150 | 150.63 | 1.00 |
| Kayutangi | 150 | 148.47 | 0.99 |
| Mantuil | 150 | 149.23 | 0.99 |
| Muarateweh | 150 | 153.60 | 1.02 |
| Palangkaraya | 150 | 148.99 | 0.99 |
| Pangkalan Bun | 150 | 152.71 | 1.02 |
| Pelehari | 150 | 149.54 | 1.00 |
| Pulang Pisau | 150 | 148.65 | 0.99 |
| Rantau | 150 | 149.92 | 1.00 |
| Sampit | 150 | 151.94 | 1.01 |
| Sebar | 150 | 148.64 | 0.99 |
| Selat | 150 | 148.50 | 0.99 |
| Tanjung | 150 | 152.27 | 1.02 |
| Trisakti | 70 | 68.59 | 0.98 |
| Trisakti 150 | 150 | 148.77 | 0.99 |
| Ulin | 70 | 67.90 | 0.97 |

Dari Tabel 4.2 yang merupakan hasil dari simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan pada tiap Gardu Induk masih aman dan belum mendekati batas nilai maksimum.

4.2. Hasil Tegangan Sistem Barito Sesudah Masuknya Pulang Pisau

Setelah masuknya PLTu Pulang Pisau kedalam sistem dengan simulasi maka dapat dilihat hasil tegangan pada masing-masing bus sebagai berikut :

Tabel 4.3 Nilai Tegangan Saat WBP dengan PLTU Pulang Pisau

| Saluran Transmisi | Nom. Volt KV | UI, Magnitude KV | u, Magnitude p.u |
|-------------------|--------------|------------------|------------------|
| Bangkanai | 150 | 158.73 | 1.06 |
| Asam-asam12 | 150 | 153.36 | 1.02 |
| Asam-asam34 | 150 | 155.52 | 1.04 |
| Amuntai | 150 | 155.53 | 1.04 |
| Batulicin | 150 | 154.72 | 1.03 |
| Barikin | 150 | 155.78 | 1.04 |
| Buntok | 150 | 158.03 | 1.05 |
| Cempaka5 | 150 | 153.73 | 1.02 |
| Cempaka4 | 70 | 71.10 | 1.02 |
| Kasongan | 150 | 159.27 | 1.06 |
| Kayutangi | 150 | 154.09 | 1.03 |
| Mantuil | 150 | 154.10 | 1.03 |
| Muarateweh | 150 | 158.38 | 1.06 |
| Palangkaraya | 150 | 158.03 | 1.05 |
| Pangkalan Bun | 150 | 152.71 | 1.02 |
| Pelehari | 150 | 149.54 | 1.00 |
| Pulang Pisau | 150 | 148.65 | 0.99 |
| Rantau | 150 | 154.59 | 1.03 |
| Sampit | 150 | 151.94 | 1.01 |
| Sebar | 150 | 154.26 | 1.03 |
| Selat | 150 | 156.37 | 1.04 |
| Tanjung | 150 | 157.02 | 1.05 |
| Trisakti | 70 | 71.48 | 1.02 |
| Trisakti 150 | 150 | 154.08 | 1.03 |
| Ulin | 70 | 70.62 | 1.01 |

= nilai yang hampir mendekati
 = nilai yang sudah melewati batas maksimal yang diperbolehkan

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa hasil dari simulasi menunjukkan tegangan di beberapa bus atau Gardu Induk nilainya hampir mendekati bahkan melebihi batas maksimal yang ditentukan.

Tabel 4.8 Nilai Tegangan Saat LWBP dengan PLTU Pulang Pisau

| Saluran Transmisi | Nom. Volt KV | UI, Magnitude KV | u, Magnitude p.u |
|-------------------|--------------|------------------|------------------|
| Bangkanai | 150 | 158.07 | 1.05 |
| Asam-asam12 | 150 | 153.20 | 1.02 |
| Asam-asam34 | 150 | 155.18 | 1.03 |
| Amuntai | 150 | 154.87 | 1.04 |
| Batulicin | 150 | 154.37 | 1.03 |
| Barikin | 150 | 155.12 | 1.03 |

| | | | |
|---------------|-----|--------|------|
| Buntok | 150 | 157.36 | 1.05 |
| Cempaka5 | 150 | 153.09 | 1.02 |
| Cempaka4 | 70 | 70.50 | 1.01 |
| Kasongan | 150 | 158.87 | 1.06 |
| Kayutangi | 150 | 153.40 | 1.02 |
| Mantuil | 150 | 153.43 | 1.02 |
| Muarateweh | 150 | 157.71 | 1.05 |
| Palangkaraya | 150 | 157.68 | 1.05 |
| Pangkalan Bun | 150 | 159.18 | 1.06 |
| Pelehari | 150 | 152.83 | 1.02 |
| Pulang Pisau | 150 | 157.71 | 1.05 |
| Rantau | 150 | 153.93 | 1.03 |
| Sampit | 150 | 159.71 | 1.06 |
| Sebar | 150 | 153.57 | 1.02 |
| Selat | 150 | 155.86 | 1.04 |
| Tanjung | 150 | 156.36 | 1.04 |
| Trisakti | 70 | 70.46 | 1.01 |
| Trisakti 150 | 150 | 153.37 | 1.02 |
| Ulin | 70 | 69.68 | 1.00 |

Dari hasil simulasi yang telah dijalankan didapatkan bahwa berdasarkan hasil simulasi *single line* diagram menunjukkan bahwa saat kondisi Waktu Beban Puncak (WBP) sebelum masuknya PLTU Pulang Pisau total daya pembangkit sebesar 395.18 MW dan sesudah masuknya PLTU Pulang Pisau kedalam sistem total daya pembangkit sebesar 411.14 MW. Selain itu juga, dari hasil simulasi *single line* diagram menunjukkan bahwa saat kondisi Lewat Waktu Beban Puncak (LWBP) sebelum masuknya PLTU Pulang Pisau total daya pembangkit sebesar 394.03 MW dan sesudah masuknya PLTU Pulang Pisau kedalam sistem total daya pembangkit sebesar 410.43 MW.

5. KESIMPULAN

1. Saat simulasi waktu beban puncak sebelum PLTU Pulang Pisau masuk kedalam sistem daya total pembangkit yang dihasilkan sebesar 395.18 MW dan saat sesudah PLTU Pulang Pisau masuk kedalam sistem daya total pembangkitannya adalah 411.14 MW.
2. Saat simulasi lewat waktu beban puncak sebelum PLTU Pulang Pisau masuk kedalam sistem daya total pembangkit yang dihasilkan sebesar 394.03 MW dan saat sesudah PLTU Pulang Pisau masuk kedalam sistem daya total pembangkitannya adalah 410.43 MW.

3. Tegangan sistem barito mempunyai batas nilai operasi tegangan yaitu +5% dan -10%. Dari hasil simulasi dengan ditambahkan PLTU Pulang Pisau, nilai tegangan di beberapa bus (Gardu Induk) seperti pada GI Bangkanai, GI Buntok, GI Kasongan, GI Muarateweh, GI Palangkaraya, GI Pangkalanbun, GI Pulang Pisau, GI Tanjung dan GI Sampit mendekati batas nilai operasi tetapi tingkat kemampuan transmisi sistem Barito masih cukup untuk kenaikan tegangan tersebut.

6. REFERENSI

1. Ackermann, Thomas dan Goran Andersson dan Lennart Soder.2000. "Distributed Generation: a definition" *Electrical Power System Research* 57 (2001) 195-204.
2. D, William. dan Stevenson. Jr. 1990. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Bandung: Erlangga.
3. Hasannuddin, Teuku. *Analisa Tanggapan Frekuensi Akibat Masuknya Distributed Generation Pada Sistem Interkoneksi Jamali*. Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe.
4. Guseynov, A., M., dan Akhundov, B., S. 2006. *Defining Impact of Distributed Generation on Power System Stability*. Azerbaijan Scientific Research Institute of Energetic And Energy Design.
5. Meliopoulos, A. P. S., kokkinides, G., Huang, R., Farantatos, E., Choi, S., Lee, Y., Yu, X, 2001. *Smart grid technologies for autonomous operation and control*. *IEEE Transaction on Smart Grid*. March 2011, 2(1): 1-10.
6. Mahendra, Miko.2011."Tugas Akhir: Pengaruh Penambahan PLTU Teluk Sirih 100 MW pada Sistem Interkoneksi Sumatera". Padang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas
7. Syafii, dan Ricky Maulana, 2012. "Program Aliran Daya Untuk Analisis Sistem Distribusi Dengan Penambahan Photovoltaic Model".

Jurnal Nasional Teknik Elektro Vol.1,
No.1 September 2011.

8. http://www.ee.washington.edu/research/pstca/pf14/pg_tca14bus.htm
diakses Rabu 14 Agustus 2013 pukul
20:30 WIB [9] P. A. N. Garcia, J. L. R.
Pereira, and S. Carneiro Jr, "Voltage
control devices models for distribution
power flow analysis", IEEE Trans. on
power systems, vol. 16, no. 4 pp. 586-
594, Januari 2015.