

OPTIMALISASI PENYALURAN DAYA PLTN DI PULAU BANGKA UNTUK SISTEM KELISTRIKAN SUMATERA

Citra Candranurani* dan Iwa Garniwa**

* Mahasiswa pascasarjana teknik elektro UI, Depok, email: citra@batan.go.id.

** Dosen Teknik Elektro, Universitas Indonesia.

Masuk: 5 Maret 2012

Direvisi: 26 April 2012

Diterima: 31 Mei 2012

ABSTRAK

ANALISA PENYALURAN DAYA PLTN DI PULAU BANGKA UNTUK SISTEM KELISTRIKAN SUMATERA. Target bauran energi yang tertuang dalam perpres No. 5 Tahun 2006 mentargetkan sebesar 2 % dari total kebutuhan energi nasional di tahun 2025 akan bersumber dari energi nuklir. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) selaku promotor untuk persiapan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) telah membuat roadmap jangka panjang, dimana pada tahun 2024 di rencanakan PLTN dari pulau Bangka sudah masuk ke dalam sistem kelistrikan Sumatera. Untuk menunjang hal tersebut maka dilakukan persiapan perencanaan sistem dan jaringan di Sumatera. Perencanaan ini dibuat dengan bantuan perangkat lunak Electrical Transient Analyzer Program (ETAP). Asumsi pada penelitian ini ada tiga, yaitu pertumbuhan beban sebesar 10,2% pertahun hingga tahun 2024, penambahan PLTN dengan kapasitas 2x1000 MW di pulau Bangka, serta pembuatan sistem dan jaringan transmisi untuk penyaluran daya PLTN pada sistem interkoneksi Sumatera. Dari hasil penelitian diperoleh optimalisasi penyaluran daya PLTN pada sistem Sumatera yang terbaik adalah melalui sub sistem Sumatera Utara yaitu melalui IBT Seirotan atau Paya geli. Nilai losses keseluruhan sistem pada penyaluran ini adalah 157 MW atau 1,646 %. Penyaluran daya PLTN pada IBT ini memberikan perbaikan kondisi tegangan IBT yang terbaik yaitu sejumlah 43,4%.

Kata kunci: Optimalisasi, losses, sistem tenaga listrik, PLTN.

ABSTRACT

ANALYSIS OF NPP POWER DISTRIBUTION IN BANGKA ISLAND FOR ELECTRICITY SYSTEM OF SUMATERA. Energy diffusion target on the regulation No. 5, 2006, says that 2 % of total national energy need is come from nuclear energy. National Nuclear Energy Agency (BATAN) as the promoter of the development Nuclear Power Plant(NPP), has made a long term roadmap, whereas in the year of 2024, Nuclear Power Plant from Bangka Island will be injected to the Sumatera interconnection system. For the system and transmission planning preparation, the simulation has been made with Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) Software. The are three assumption in this research, 10,2 % annual load growth until 2024, enhancement of NPP with 2 x 1000 MW capacity at Bangka island, and improvement of the system and transmission line to deliver the power from NPP to Sumatera interconnection system. The research result gives that the optimum power distribution by north sumatera sub system through IBT Seirotan or Paya Geli. Total losses whole system of this distribution is 157 MW or 1,646%, and improvement total IBT condition voltage as many as 43,4 %.

Keywords: Optimization, losses, electrical power system, nuclear power plant.

1. PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kualitas hidup merupakan faktor utama yang mempengaruhi peningkatan kebutuhan energi listrik setiap tahunnya. Agar peningkatan kebutuhan listrik sebanding dengan pertumbuhan pembangkit, maka diperlukan teknik perencanaan sistem sehingga ketersediaan sumber tenaga listrik yang kontinu dan andal dapat terwujud. Target bauran energi yang tertuang dalam perpres No. 5 Tahun 2006 sebesar 2 % dari total kebutuhan energi nasional di tahun 2025 akan bersumber dari energi nuklir^[1,2]. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) selaku promotor untuk persiapan pembangunan PLTN telah membuat *roadmap* jangka panjang, dimana pada tahun 2024 di rencanakan PLTN mulai beroperasi di pulau Bangka. Selain untuk memenuhi kebutuhan listrik di pulau Bangka, produksi listrik PLTN juga akan disalurkan ke Sumatera guna memenuhi kebutuhan listrik di daerah Sumatera. Untuk menunjang rencana tersebut, perlu dilakukan perencanaan jaringan transmisi untuk mengetahui kesiapan sistem dan transmisi di Sumatera apabila PLTN beroperasi. Perencanaan sistem dan transmisi diantaranya adalah pemilihan tegangan transmisi dan analisis penyaluran daya. Perencanaan sistem dan transmisi Sumatera dari tahun 2011 hingga 2020 telah dilakukan^[3,4]. Untuk membuat perencanaan sistem dan transmisi dari tahun 2020 hingga 2024, perlu dilakukan studi aliran daya di sistem sumatera.

Penelitian studi aliran daya dalam sebuah sistem tenaga listrik perlu dilakukan agar parameter penting dalam sistem dapat diketahui sehingga kondisi di dalam sistem dapat diketahui. Parameter tersebut diantaranya adalah aliran daya nyata (MW) dan daya reaktif (MVAR) di setiap percabangan dalam jaringan, tegangan pada masing-masing busbar/rel, pengaruh penataan ulang dan penambahan jaringan baru pada sistem yang sedang beroperasi, pengaruh kehilangan sementara pembangkit dan jaringan transmisi pada sistem yang sedang beroperasi, meminimalkan susut/rugi-rugi jaringan, dan perbaikan akibat perubahan ukuran konduktor dan tegangan sistem^[5].

Dalam penelitian ini akan dilakukan studi aliran daya dalam sistem sumatera dari tahun 2020 hingga 2024, sehingga diperoleh data mengenai nilai rugi-rugi daya (*losses*) dalam sistem transmisi, unjuk kerja sistem dalam hal ini tegangan pada masing-masing Gardu Induk (GI) dan inter bus transformer (IBT) serta penyaluran daya PLTN yang maksimal. Dengan melihat hasil *losses*, unjuk kerja sistem dan daya kelauran PLTN yang maksimal maka dapat dibuat pemilihan jalur transmisi untuk penyaluran daya dari PLTN di pulau Bangka menuju ke sistem kelistrikan Sumatera.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan membuat konfigurasi sistem kelistrikan Sumatera dari tahun 2011 hingga 2020, kemudian dilakukan simulasi perhitungan aliran daya di sistem sumatera dari tahun 2020 hingga 2024. Penelitian dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) 6.0.0.

2.1. Dasar Teori^[6,7,8]

Perhitungan aliran daya dalam kondisi tunak umumnya menggunakan metode Gauss-Seidel (GS), Newton-Raphson (NR) dan Fast Decoupled (FD). Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode FD. Keunggulan metode FD dibanding metode Newton Raphson (NR) adalah jumlah iterasi yang lebih sedikit yaitu seperlima jumlah iterasi NR^[6]. Perhitungan aliran daya adalah menentukan nilai dari masing-masing titik percabangan (bus/rel) dalam sistem tenaga listrik yaitu nilai daya reaktif (P), daya aktif (Q), sudut fasa tegangan (δ) dan magnitudo tegangan (V). Daya injeksi pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots\dots\dots(2.1)$$

Hubungan antara perubahan daya nyata (ΔP_i) dan daya reaktif (ΔQ_i), terhadap perubahan magnitud tegangan (ΔV_i) dan sudut fasa tegangan ($\Delta \delta_i$) dapat dituliskan dalam matriks berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.1)$$

Perubahan kecil pada V tidak akan memberi pengaruh terhadap P. Demikian pula sebaliknya, perubahan kecil pada δ tidak akan mempengaruhi Q. Sehingga elemen [N] dan [J] pada matriks Jacobian dapat diabaikan. Dasar inilah yang digunakan pada metode FD dalam menyelesaikan persamaan aliran daya dalam suatu sistem tenaga listrik.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

$$\Delta P = [H] \Delta \delta$$

$$\Delta Q = [L] \Delta V$$

Untuk setiap elemen matriks [H] dan [L] adalah:

$$H_{ij} = L_{ij} = -|V_i V_j| \sin(\delta_j - \delta_i). B_{ij} ; \quad H_{ii} = -|V_i|^2 . B_{ii} - Q_i \quad ; \quad L_{ii} = -|V_i|^2 . B_{ii} + Q_i$$

dimana: $B_{ij} = Y_{ij} \sin \theta_{ij}$, $B_{ij} = Y_{ij} \sin \theta_{ij}$ dan $Q_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin (\delta_j - \delta_i + \theta_{ij})$

2.2. Alur Penelitian

Pemanfaatan perangkat lunak ETAP sangat dibutuhkan dan memudahkan dalam membuat potret aliran daya pada sebuah sistem tenaga listrik yang besar. Aplikasi penggunaan ETAP diantaranya untuk studi aliran daya, harmonik aliran daya, dan studi analisa motor-starting^[9]. Untuk melakukan studi aliran daya dengan menggunakan perangkat lunak ETAP, ada beberapa data utama yang dibutuhkan yaitu^[10]:

1. Busbar
 Busbar dapat mewakili IBT ataupun GI dalam sistem. Parameter yang harus di isi adalah menentukan tegangan nominal dari bus yang akan terhubung dengan jaringan ataupun perangkat yang lain.
2. Transformator
 Parameter data masukan yang diperlukan dalam data transformator adalah tegangan nominal disisi sekunder dan primer (kV), kapasitas transformator (MVA) dan impedansi.
3. Jaringan Transmisi
 Konfigurasi jaringan transmisi dalam sistem, memerlukan parameter masukan berupa titik awal dan akhir transmisi, panjang transmisi (km), dan data kabel yang digunakan (impedansi per fasa R, X, Y pada sisi positif, negatif dan zero).
4. Generator
 Pembangkit listrik dalam ETAP diwakili oleh generator.
5. Jenis Beban

Pembebanan atau data kebutuhan listrik dalam sebuah IBT yang akan disuplai oleh pembangkit dimasukkan satu per satu ke dalam sistem dengan menghubungkan beban dengan transformator di IBT.

Seluruh data yang dibutuhkan untuk membuat konfigurasi awal sistem kelistrikan Sumatera dengan perangkat lunak ETAP diperoleh dari PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Sumatera (P3BS).

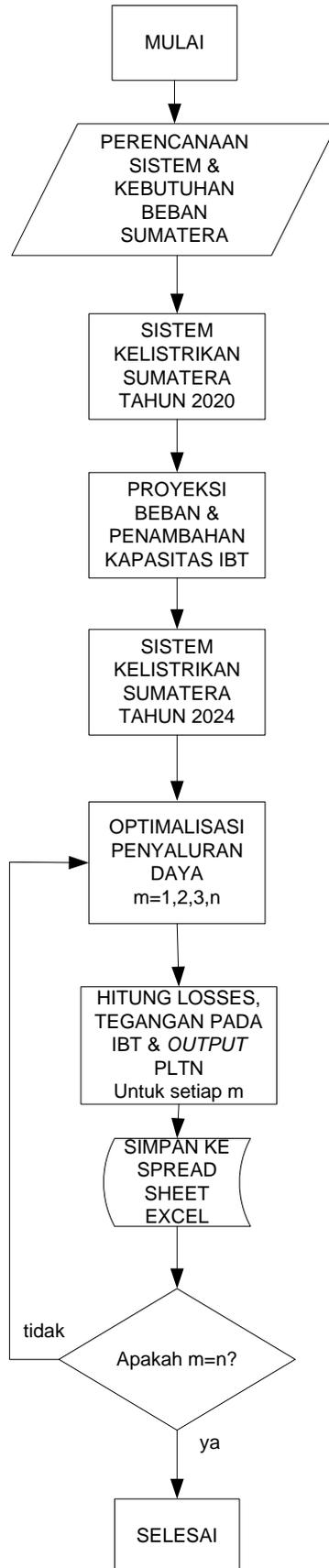
Seperti terlihat pada gambar 2.1, tahapan pertama dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data sistem kelistrikan Sumatera. Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah sehingga diperoleh konfigurasi sistem untuk saat ini yaitu konfigurasi sistem kelistrikan Sumatera tahun 2011. Lalu mengolah data-data perencanaan pembangkit, penambahan jaringan transmisi dan kebutuhan beban dari tahun 2011 hingga 2020^[4] sehingga diperoleh konfigurasi sistem kelistrikan Sumatera untuk tahun 2020. Untuk membuat konfigurasi sistem kelistrikan Sumatera dari tahun 2020 hingga 2024, maka dilakukan proyeksi pertumbuhan beban dan penambahan kapasitas transformator pada IBT dan GI yang telah tersedia. Gambar 2.2 menunjukkan konfigurasi jaringan transmisi sistem kelistrikan Sumatera untuk tahun 2020.

Sistem kelistrikan Sumatera terdiri dari delapan sub sistem yaitu Nangroe Aceh Darussalam (NAD), Sumatera Utara (SumUt), Sumatera Barat (SumBar), Riau, Jambi, Bengkulu, Sumatera Selatan (SumSel) dan Lampung. Kapasitas pembangkit dan kebutuhan beban setiap sub sistem dapat dilihat pada tabel 2.1. Data parameter kabel transmisi yang digunakan dalam sistem Sumatera dapat dilihat pada tabel 2.2. Tegangan transmisi yang rencananya akan digunakan adalah 150, 275 dan 500 kV.

Tahap akhir dalam penelitian ini adalah melakukan optimalisasi penyaluran daya PLTN ke dalam interkoneksi Sumatera melalui IBT yang terhubung dengan empat atau lebih IBT yang lain. Hal ini dilakukan agar penyaluran daya PLTN menjadi maksimal.

Dari tabel 2.1 terlihat bahwa hingga tahun 2020, sistem kelistrikan Sumatera akan memiliki cadangan pasokan listrik (reserve margin) sebesar 54,28%. Nilai ini sangat besar sehingga tidak ekonomis. Perencanaan ini akan sulit tercapai karena memasukkan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) sebanyak 40% dari total perencanaan pembangkit yang akan dibangun. PLTP yang direncanakan masih cadangan potensi. Pada penelitian ini akan memasukkan penambahan pasokan listrik dari PLTN sebesar 2 x 1000 MW dari pulau Bangka ke interkoneksi Sumatera^[11]. Perencanaan penambahan IBT baru dititik terdekat dengan pulau Bangka yaitu pada sub sistem Sumatera selatan, kemudian digabungkan ke dalam sistem interkoneksi Sumatera.

Hasil penelitian akan memberikan optimalisasi penyaluran daya PLTN ke dalam sistem interkoneksi Sumatera dengan membandingkan nilai *losses*, perbaikan nilai tegangan di IBT dan keluaran daya PLTN yang paling maksimal.



Gambar 2.1 Diagram alur kerja penelitian.

kondisi marginal dan kritis. Kondisi marginal yaitu kenaikan atau penurunan tegangan ± 2 % dari tegangan nominal. Kondisi kritis adalah kenaikan atau penurunan tegangan ± 5 % dari tegangan nominal.

Sebelum melakukan optimalisasi penyaluran daya PLTN, perlu dibuat proyeksi kebutuhan beban di dalam sistem Sumatera. Berdasarkan data statistik pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan ratio elektrifikasi, proyeksi pertumbuhan beban sistem Sumatera tumbuh rata-rata 10,2 % pertahun^[4]. Berdasarkan proyeksi ini, disusun proyeksi beban Sumatera per sub sistem dari tahun 2020 hingga 2024 seperti dalam tabel berikut.

Tabel 3.1 Proyeksi Pertumbuhan Beban Sumatera tahun 2020-2024.

Sub Sistem	Kebutuhan Beban (MW)					Selisih 2020-2024	Beban Trafo (MVA)	Jumlah Trafo (unit)
	2020	2021	2022	2023	2024			
ACEH	833,00	917,97	1.011,60	1.114,78	1.228,49	395,49	43,94	9
SUMUT	1.795,00	1.978,09	2.179,86	2.402,20	2.647,22	852,22	47,35	18
RIAU	849,95	936,64	1.032,18	1.137,47	1.253,49	403,54	40,35	10
SUMBAR	853,30	940,34	1.036,25	1.141,95	1.258,43	405,13	40,51	10
JAMBI	413,90	456,12	502,64	553,91	610,41	196,51	39,30	5
BENGGULU	203,05	223,76	246,58	271,74	299,45	96,40	32,13	3
SUMSEL	1.243,50	1.370,34	1.510,11	1.664,14	1.833,89	590,39	42,17	14
LAMPUNG	1.110,71	1.224,00	1.348,85	1.486,43	1.638,05	527,34	43,94	12
TOTAL	7.302,41	8.047,26	8.868,08	9.772,62	10.769,43	3.467,02		81

Dari Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa total jumlah transformator yang dibutuhkan adalah 81 unit dengan total kapasitas 4078 MVA. Kebutuhan beban tertinggi berada pada sub sistem Sumatera Utara sebesar 2.647 MW sehingga memerlukan tambahan transformator pada GI sebanyak 18 unit. Adapun kebutuhan beban terendah sejumlah 299 MW berada di sub sistem Bengkulu yang memerlukan transformator baru sejumlah 3 unit. Dengan asumsi tidak ada penambahan lokasi GI, transformator tambahan ini akan dimasukkan ke dalam GI yang telah tersedia dengan batasan jumlah unit dalam setiap GI tidak melebihi 4 unit. Kapasitas daya transformator yang digunakan diasumsikan sama yaitu 60 MVA.

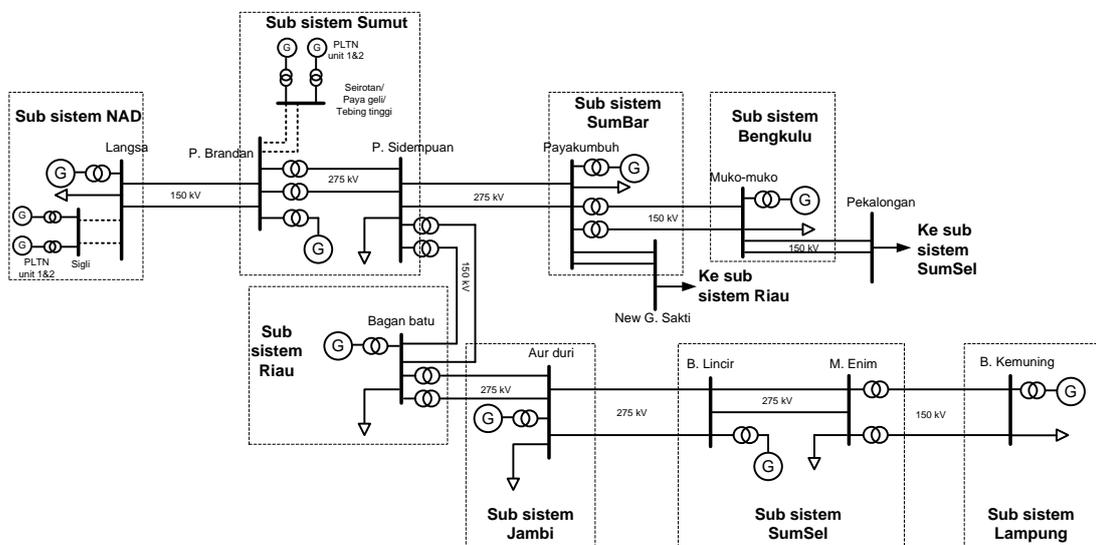
Setelah penambahan transformator dan perhitungan beban, tahap perencanaan selanjutnya yang dilakukan pada penelitian ini yaitu penyaluran melalui IBT yang memiliki 4 atau lebih jaringan yang saling terhubung. Ada 22 unit IBT yang akan dilakukan penelitian untuk melihat nilai *losses*, perbaikan tegangan dan daya keluaran PLTN.

Hasil pada Tabel 3.2 diketahui bahwa penyaluran daya PLTN pada IBT paya geli, seirotan, tebing tinggi dan rantau prapat memberikan hasil unjuk kerja sistem yang lebih baik. Hal ini terlihat pada total perbaikan kondisi IBT yang jumlahnya diatas 40% dibandingkan dengan penyaluran pada IBT yang lain. Keseluruhan IBT ini berada dalam sub sistem kelistrikan Sumatera utara. Ditinjau dari hasil penyerapan daya PLTN ke dalam sistem Sumatera, penyaluran daya PLTN melalui sub sistem ini memberikan daya keluaran PLTN maksimal rata-rata 2 x 510 MW. Kondisi ini disebabkan karena sub sitem sumatera utara adalah sub sistem yang memiliki kebutuhan beban yang terbesar, sehingga penyaluran daya PLTN paling optimum adalah melalui IBT yang berada di sub sistem sumatera utara. Adapun IBT terbaik yang dapat dipilih adalah IBT Seirotan dan Paya geli

dengan total jumlah IBT yang mengalami perbaikan kondisi tegangan adalah sejumlah 43,4%. Gambar 3.1 menunjukkan lokasi IBT pada sistem kelistrikan Sumatera.

Tabel 3.2 Optimalisasi penyaluran daya PLTN ke dalam sistem Sumatera

No.	IBT	Output PLTN [MW]	Losses Sistem secara Keseluruhan [%]	Total perbaikan kondisi IBT [%]	Ket
1.	Sigli	417,3	1,703	30,6	NAD
2.	Paya Geli	509,5	1,655	43,4	SumUt
3.	Seirotan	510,1	1,654	43,4	SumUt
4.	Tebing Tinggi	503,8	1,661	42,6	SumUt
5.	Rantau Prapat	484,1	1,678	42,6	Riau
6.	Garuda Sakti	274,1	1,685	25,4	Riau
7.	Dumai	88,8	1,725	20,7	Riau
8.	Pasir Putih	260	1,688	25,1	Riau
9.	Bangkinang	192	1,685	22,3	Riau
10.	Rengat	190,8	1,700	22,3	SumBar
11.	Payakumbuh	276,8	1,707	24,7	SumBar
12.	Kiliranjao	212,8	1,705	23,5	SumBar
13.	Ombilin	218,9	1,748	22,3	Jambi
14.	Aur Duri	210,3	1,714	21,9	Jambi
15.	Muara Bungo	159,8	1,689	23,5	Jambi
16.	Bangko	129	1,691	22,7	Bengkulu
17.	Pekalongan	119,6	1,712	20,7	SumSel
18.	Lahat	162,9	1,708	21,5	SumSel
19.	Gumawang	233	1,657	23,5	SumSel
20.	B. Kemuning	185,2	1,695	22,3	Lampung
21.	Pagelaran	190,7	1,709	23,9	Lampung
22.	Tegineneng	324	1,595	26,7	Lampung



Gambar 3.1 Diagram satu garis contoh penyaluran PLTN ke dalam sub sistem NAD dan Sumatera Utara

Untuk memaksimalkan daya keluaran PLTN sehingga dapat diserap oleh sistem Sumatera, dilakukan penelitian optimalisasi perencanaan operasi pembangkit khususnya yang berada di dalam sub sistem sumatera utara dan Riau. Tabel 3.3 menunjukkan hasil optimalisasi operasi PLTN pada sub sistem sumatera utara dan Riau.

Tabel 3.3 Optimalisasi pengoperasian pembangkit di sistem sumatera utara

No.	Nama pembangkit	Kapasitas pembangkit (MW)	Kumulatif daya (MW)	Daya keluaran PLTN (MW)
1.	PLTU Sewa Dumai	240	240	551,1
2.	PLTU Riau MT	600	840	718,2
3.	PLTU Pangkalan Susu 1 dan 2	440	1280	828,3
4.	PLTU Pangkalan Susu 3 dan 4	400	1680	907

Asumsi yang digunakan adalah dengan tidak mengoperasikan pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar minyak yang direncanakan oleh PT. PLN (Persero). Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya keluaran PLTN dapat meningkat menjadi 2×910 MW untuk setiap unit PLTN.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa di tahun 2024 proyeksi kebutuhan beban untuk sistem sumatera adalah 10.769 MW sehingga berdasarkan hal tersebut maka sistem kelistrikan sumatera memerlukan tambahan transformator pada GI sebanyak 81 buah untuk perencanaan pada tahun 2020 hingga 2024 dengan total kapasitas 4078 MVA.

Hasil penelitian ini memberikan optimalisasi penyaluran daya PLTN dari pulau Bangka menuju Sumatera. Diketahui bahwa penyaluran yang terbaik adalah dengan melalui IBT di sub sistem Sumatera utara yaitu IBT Seirotan dan Paya geli. Nilai losses keseluruhan sistem pada penyaluran ini adalah 157 MW atau 1,646 %. Penyaluran daya PLTN pada IBT ini memberikan perbaikan kondisi tegangan IBT yang terbaik yaitu sejumlah 43,4% dari total jumlah IBT sebanyak 251 unit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. DESDM, "Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025", Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), Jakarta, 2005.
- [2]. DESDM, "Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025", Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), Jakarta, 2006.
- [3]. P3BS, "Diagram Satu Garis Sistem Sumatera tahun 2011", Pusat Pengaturan dan Penyaluran Beban Sumatera (P3BS), 2011.
- [4]. PT. PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2011-2020", PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero), Jakarta, 2011.
- [5]. Weedy B M, Cory B J, "Electric Power Systems", Jhon Wiley, 2004.
- [6]. Stott B, Alsac O, "Fast Decoupled Load Flow", IEEE Trans. PAS, Vol. PAS 91, 1972.
- [7]. Dhar R N, "Computer Aided Power System Operation and Analysis", Tata Mc. Graw- Hill, New Delhi, 1982.
- [8]. Charles A G, "Power System Analysis", Jhon Wiley, The University of Michigan, 1986.

- [9]. Rana A, Jabbar Khan dkk, *"Analyses and monitoring of 132 kV grid using ETAP software"*, IEEE Conference Publication, 2009.
- [10]. ETAP, *"Power Station 2.0 User Guide"*, Electrical Transient Analyzer Program (ETAP), Operation Teknologi Inc, 1998.
- [11]. BATAN, *"Roadmap Pembangunan PLTN"*, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 2011.