

PENERAPAN SISTEM TEGANGAN TINGGI ARUS SEARAH (TTAS) GUNA MENYALURKAN DAYA DARI BUKIT ASAM KE JAKARTA

Oleh : *Harsono* **)

SARI

Teknologi sistem penyaluran daya listrik dengan menggunakan tegangan tinggi arus searah (TTAS) telah semakin dewasa. Hal tersebut dibuktikan dengan semakin banyaknya instalasi sistem tersebut.

Salah satu kemungkinan untuk menerapkan sistem dimaksud di Indonesia, adalah dalam rangka menyalurkan energi listrik dari PLTU - PLTU yang dibangun di dekat daerah penambangan batubara Bukit Asam, Sumatera Selatan ke Jakarta.

Untuk tahapan pembangunan yang menggunakan satuan kapasitas sebesar 800 MW, disarankan untuk menggunakan 3 sistem TTAS bipolar dengan tegangan kerja ± 400 kV, guna keperluan menyalurkan daya sebesar 2400 MW pada keadaan akhirnya.

ABSTRACT

At this moment the technology of the high voltage direct current (HVDC) power transmission is readily available. It is proven by the already existing systems and the under construction and/or planned ones. One possibility to apply that mentioned technology in Indonesia is for transporting the electric energy generated at Bukit Asam (South Sumatera) area to fulfill the energy need in Jakarta.

For implementing the above purpose this paper propose to use three 800 MW capacity transmission lines to transport the ultimate power of 2400 MW. Each transmission line is a bipolar with an operating voltage of ± 400 kV.

PENDAHULUAN

Seperti diketahui pihak PLN telah memutuskan untuk membangun PLTU Suralaya yang berlokasi di tepi pantai Utara Banten.

Pembangkit ini direncanakan untuk tahap pertama adalah 2×400 MW, kemudian disusul dengan tahap kedua 2×400 MW lagi, dan pada tahap akhir

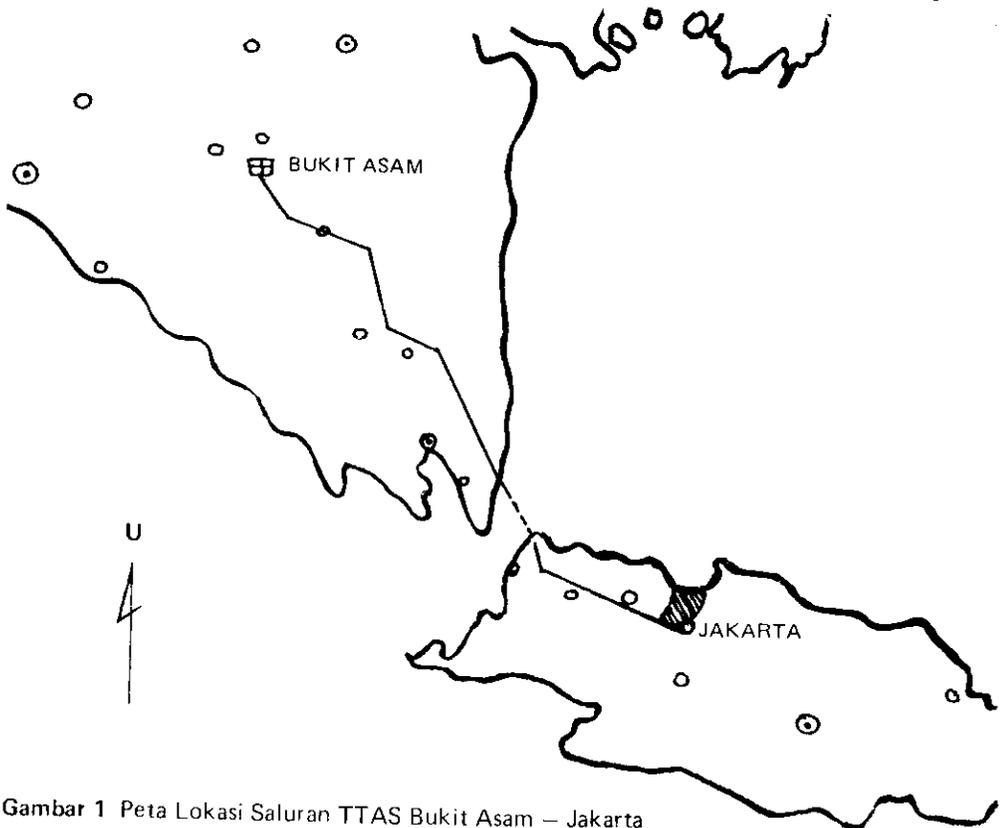
*Tulisan ini dibuat atas dasar Studi pendahuluan yang disponsori oleh PT Central Development Enterprise, Jakarta yang dilakukan penulis pada tahun 1980.

** Staf pengajar pada Jurusan Elektroteknik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung, Indonesia.

seluruhnya akan berkapasitas sebesar 3200 MW. Sebagai bahan bakar utama akan dipergunakan batubara yang diperoleh dari daerah penambangan batubara Bukit Asam dan sekitarnya. Dalam kesempatan ini batubara dengan menggunakan kereta api akan diangkut dari daerah penambangan ke suatu pelabuhan di Teluk Semangka, Lampung, yang selanjutnya dengan menggunakan angkutan laut dibawa ke tempat penimbunan batubara PLTU Suralaya.

Pengangkutan batubara tersebut sudah tentu ada keuntungan serta kerugiannya; di mana keuntungan yang terutama adalah dalam rangka meningkatkan ketahanan nasional dalam masalah angkutan batubara. Kerugian-kerugian yang perlu dibayar antara lain : proses pengangkutan batubara tersebut akan menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan di sekitar jalur pengangkutan, dan kedua harga jual listrik pada jepitan keluar PLTU akan menjadi lebih mahal. Sehubungan dengan masalah-masalah di atas, meskipun ketetapan untuk membangun suatu PLTU 2 x 400 MW di Suralaya telah diambil dan sedang dilaksanakan, pilihan untuk memanfaatkan sistem tegangan tinggi arus searah (TTAS) guna menyalurkan daya hendaknya tetap masih terbuka.

Dalam memenuhi maksud tersebut, PLTU yang akan digunakan untuk mengubah



Gambar 1 Peta Lokasi Saluran TTAS Bukit Asam – Jakarta

energi yang tersimpan dalam batubara didirikan di dekat daerah penambangan, kemudian disalurkan melalui saluran udara tegangan tinggi ke lokasi penyeberangan di Lampung, selanjutnya dengan menggunakan kabel laut disebarkan ke pulau Jawa, dan pada akhirnya disalurkan ke Jakarta dengan saluran udara kembali. Panjang total saluran dimaksud diperkirakan kurang lebih 500 km yang terdiri dari 465 km saluran udara, dan 35 km kabel laut.

Saluran udara dimaksud, kurang lebih 95 km di daerah Jawa Barat, 255 km di daerah Lampung, dan 115 km di daerah Sumatera Selatan. Peta lokasi saluran secara kasar diperlihatkan pada Gambar 1.

Penggunaan Sistem TTAS untuk Penyaluran Daya

Memperhatikan kenyataan-kenyataan* yang telah/akan diadakan hingga saat ini, dapat disimpulkan bahwa sistem TTAS dapat dipergunakan untuk 4 (empat) jenis keperluan yaitu :

- a. mengirimkan daya dari suatu tempat ke tempat lain yang berjarak relatif jauh;
- b. mengirimkan daya menyeberangi lautan;
- c. memaralelkan dua sistem arus bolak-balik yang menggunakan frekuensi yang berbeda; atau
- d. memperbaiki kestabilan sistem arus bolak balik.

Data lengkap tentang lokasi, panjang saluran tegangan kerja, kapasitas daya, serta tahun mulai beroperasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 tersebut terlihat, bahwa sampai dengan tahun 1981 saluran udara, saluran kabel, serta kapasitas penyaluran yang telah dipasang secara berturut-turut adalah 9.501 km, 725 km, dan 14.408 MW. Di antara kurang lebih 700 km kabel arus searah dimaksud, 643 km di antaranya adalah berupa kabel laut.

Pilihan sistem TTAS untuk pengiriman daya jarak jauh sangat menarik, mengingat dua hal pokok yaitu harga saluran per satuan daya per satuan panjang untuk sistem TTAS adalah lebih murah daripada bila menggunakan sistem tegangan tinggi arus bolak-balik (TTABB); dan keduanya dalam pengiriman daya dengan sistem AS tidak ada batas pada panjang saluran yang akan dipakai. Faktor lain yang turut membantu pilihan tersebut adalah semakin dapat ditekannya harga satuan daripada stasiun konverter/inverter.

Penggunaan kabel untuk penyaluran daya memberi peluang lain bagi diper-

*E. Rumpf: The Operational Performance of HVDC Systems Throughout the World During 1975-1978. Incorporating HVDC Power Transmission Into System Planning, USDOE. March 24-27, 1980.

Tabel 1 Sistem TTAS yang telah beroperasi/sedang direncanakan

No.	Nama/Lokasi	Panjang Transmisi (km)			Tegangan Kerja (kV)	Kapasitas MW	Jenis Penyearah	Tahun Mulai Beroperasi	Keterangan
		SUTT	Kabel	Total					
1.	P. Gotland - Daratan Swedia	0	96	96	150	30	M/T	'54/'70	
2.	Selat Inggris-Perancis	0	7 + 50 + 8	65	± 100	160	M	'61	
3.	Volvograd Donbass, Rusia	470	0	470	± 400	720	M	'62/'65	
4.	Kontti-Skan, Denmark-Swedia	55 + 40	25 + 60	180	250	250	M	'65	
5.	Sakuma, Jepang	0	0	0	125 + 2	300	M	'65	Hubungan 50/60 Hz.
6.	New Zealand	535 + 35	39	609	± 250	600	M	'65	
7.	Sardinia - Daratan Italia	86+156+50	16 + 105	413	200	200	M	'67	
8.	Vancouver, Canada	41	33	74	± 260	312	M	'68 / '69	Kutub I
9.	Pacific Intertie, Amerika Serikat	1.362	0	1.362	± 400	1.440	M	'70	'84 ditingkatkan menjadi ± 500 KV Bipolar I
10.	Sungai Nelson, Canada	890	0	890	± 450	1.620	M	'73 / '77	
11.	Kings North, Inggris	0	59 + 23	82	± 266	640	M	'74	
12.	Sungai Eel, Canada	0	0	0	80 x 2	350	T	'77	
13.	Skagerrak, Norwegia-Denmark	85 + 28	127	240	± 250	500	T	'76 / '77	
14.	David A. Hamil, Amerika Serikat	0	0	0	50	110	T	'77	
15.	Cabora Bassa-Apolo, Mozambik Afsel -	1.414	0	1.414	± 533	1.920	T	'77 / '79	
16.	Vancouver, Canada	41	33	74	280	476	T	'77 / '79	Kutub II
17.	Square Butte, Amerika Serikat	749	0	749	± 250	550	T	'77	Hubungan 50/60 Hz.
18.	Shin-Shinano, Jepang	0	0	0	125 x 2	300	T	'77	
19.	Sungai Nelson, Canada	930	0	930	± 250	1.000	T	'78	Pada th. '85 akan diubah menjadi ± 500 KV, 1800 MW.
20.	Underwood-Minneapolis, A.S.	710	0	710	± 400	1.100	T	'79	
21.	Hokkaido-Honshu, Jepang	27 + 97	44	168	125	150	T	'79	Akan dinaikkan menjadi ± 250 KV 600 MW
22.	Rusia - Finlandia	0	0	0	± 85x3	1.070	T	'81	
23.	Inga - Shaba, Zaire	1.700	0	1.700	± 500	560	T	'81	Tahap akhir ± 500 KV, 1120 MW.
24.	Acaray, Paraguay-Brasil	0	0	0	± 26	50	T	'81	Hubungan 50/60 Hz.
25.	Itaipu, Brasil	783/806	0	783/806	± 600x2	6.300	T	'83 / '85	
26.	Durrohr, Austria	0	0	0	183	550	T	'83	
27.	Ekibartuz-Center, Rusia	2.400	0	2.400	± 750	6.000	T	'84	
28.	Selat Inggris-Perancis	0	17+46+5	68	± 270x2	2.000	T	'84	
29.	Sungai Nelson, Canada	930	0	930	± 500	2.000	T	'80	

M merkuri

T thyristor

gunakannya sistem TTAS. Keadaan tersebut terjadi, karena arus pengisian pada kabel AS hanya akan terjadi pada waktu ada perubahan tegangan yaitu pada keadaan awal, serta pada saat-saat tegangan berubah. Pada keadaan lain, yang umumnya tetap, tidak akan ada arus pengisian dimaksud. Atas dasar keadaan tersebut, di sini pun tidak ada faktor pembatas daripada panjang kabel yang dapat digunakan seperti halnya yang terjadi pada penggunaan kabel ABB.

Seandainya diinginkan untuk memaralelkan dua sistem ABB, salah satu syarat utama yang harus dipenuhi adalah, bahwa frekuensi kedua sistem ABB tersebut harus sama. Kalau frekuensi mereka tidak sama berarti keinginan untuk menghubungkan mereka secara paralel tidak akan berhasil. Bagaimana cara agar mereka dapat dihubungkan secara paralel, kopling AS-lah salah satu jawabannya. Dalam hal ini konverter dan inverter berfungsi sebagai "interface" di antara kedua sistem yang berbeda frekuensi tersebut; sedang yang hubungan listrik dilakukan melalui bagian yang bertegangan AS.

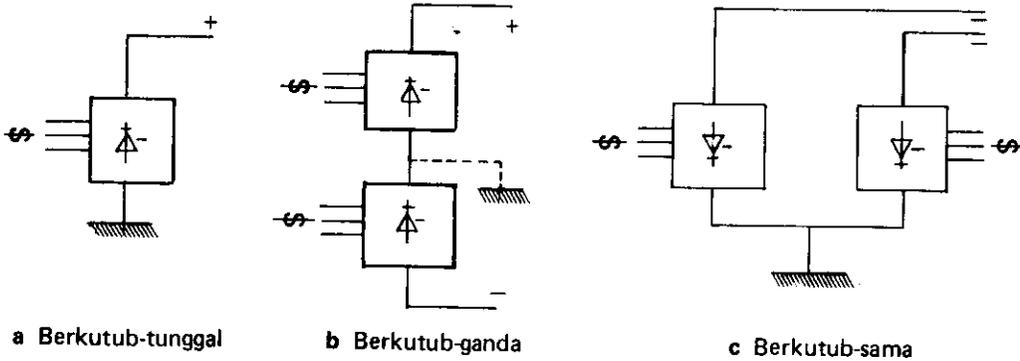
Penggunaan jenis terakhir tidak lain merupakan hal khusus daripada keadaan di atas. Hal tersebut dapat terlaksana, karena kopling AS melalui konverter-inverter, sifatnya secara listrik sangat elastis yaitu mempunyai hubungan yang tidak terlalu kaku dengan besaran-besaran listrik di sisi ABB, baik itu di sisi ABB konverter, ataupun sisi ABB inverter.

Sistem Saluran Daya TTAS

Pada sistem TTAS, tanah dan/atau air laut dapat ditolerir untuk dipergunakan sebagai pengganti penghantar logam, di mana pada sistem TTABB hal tersebut adalah keadaan yang selalu harus dihindarkan. Adapun faktor-faktor penyebab kemungkinan tersebut antara lain:

- a. walaupun masih mengandung harmonisa-harmonisa tertentu, arus searah yang mengalir pada sisi arus searah sifatnya relatif tetap, sehingga hal tersebut tidak akan terlalu mengganggu saluran telekomunikasi;
- b. arus tanah dan/atau air laut yang mengalir akan menyebar sedemikian, sehingga tahanan total yang dirasakan adalah minimum, sehingga arus yang akan melalui suatu lokasi tertentu umumnya akan menjadi relatif kecil dan kurang berarti;
- c. dengan menggunakan tanah dan/atau air laut, biaya investasi saluran dapat ditekan, ataupun ditunda pembelanjaannya.

Dengan dimungkinkannya tanah dan/atau air laut sebagai pengganti penghantar logam, maka ada 3 (tiga) jenis klasifikasi saluran transmisi TTAS yaitu ber-kutub-tunggal (mono polar), ber-kutub-ganda (bipolar), atau ber-kutub-sama (homo polar). Saluran ber-kutub-tunggal adalah saluran yang menggunakan hanya satu penghantar logam. Sebagai penghantar kutub lainnya digunakan tanah dan/atau air laut. Saluran dikatakan ber-kutub-ganda, bila masing-masing kutub menggunakan penghantar logam. Pada jenis ini, tanah dan/atau air laut mungkin saja digunakan sebagai penghantar darurat. Saluran ber-kutub-sama adalah keadaan khusus daripada saluran ber-kutub-tunggal, di mana digunakan beberapa penghantar logam dan tanah dan/air laut sebagai penghantar arus; penghantar-penghantar logam disini memiliki polaritas tegangan yang sejenis. Untuk lebih memperjelas keterangan di atas dapat dilihat Gambar 2.



Gambar 2 Klasifikasi saluran TTAS

Dari ketiga jenis saluran tersebut, sistem berkutub-ganda dengan tanah dan/atau laut sebagai penghantar darurat, umum digunakan. Adapun keuntungan-keuntungannya antara lain sebagai berikut:

- tanah dan/atau air laut hanya digunakan dalam keadaan darurat saja, sehingga kemungkinan adanya gangguan yang disebabkan oleh arus tanah dapat dihindarkan secara maksimal;
- sistem dapat dibangun secara bertahap dengan mudah; seperti misalnya pada tahap awal monopolar, kemudian pada tahap berikutnya diubah menjadi bipolar;
- reliabilitas penyaluran daya menjadi lebih baik bila dibandingkan dengan sistem bipolar biasa; hal ini disebabkan bahwa saluran masih akan mampu menyalurkan daya, bila salah satu kutub mengalami gangguan.

Usul Penerapan di Indonesia

Sebagai telah dinyatakan di bagian Pendahuluan, bahwa PLTU Suralaya adalah PLTU yang dibangun di pantai utara Banten, dimana direncanakan sebagai bahan bakar utamanya adalah batubara dari daerah Bukit Asam, Sumatera Selatan. Dilihat dari segi penyediaan batubara, kebutuhan awal kurang lebih adalah 0,5 juta ton per tahun, dan pada tahap akhir operasinya akan diperlukan kurang lebih 2,5 juta ton per tahun. Sudah dapat dipastikan bahwa situasi yang demikian itu akan memberi beban yang cukup besar pada segi pengangkutanannya. Hal-hal lain yang kurang menguntungkan adalah akan terjadinya pencemaran lingkungan sepanjang lintasan angkutan bahan bakar, dan kedua harga jual listrik lepas PLTU akan lebih mahal dibanding bila PLTU tersebut didirikan di dekat daerah penambangan.

Sehubungan dengan adanya kekurangan-kekurangan di atas hendaknya pilih-

an lain yang mungkin, masih tetap terbuka dimana dalam kesempatan ini diusulkan agar pembangunan tahap kedua dan seterusnya PLTU Suralaya dapat diganti dengan disalurkan secara listrik arus searah ke pantai Sumatera bagian Selatan, menyeberang Selat Sunda/Laut Jawa, Banten dan diakhiri di bagian Barat DKI Jakarta. Penyaluran daya dibuat langsung ke daerah Jakarta, karena di sanalah lokasi pusat beban Jawa saat ini dan diperkirakan untuk masa-masa mendatang. Untuk keperluan ini panjang saluran hantaran udara (di Sumatera dan Jawa) kurang lebih akan sebesar 465 km, sedang panjang saluran kabel untuk penyeberangan laut di daerah perbatasan Selat Sunda dengan Laut Jawa adalah 35 km, sehingga total saluran kurang lebih adalah 500 km.

Disesuaikan dengan rencana perluasan PLN, maka pentahapan kapasitas saluran sebagai berikut : pertama 800 MW, kedua menjadi 1600 MW, dan yang terakhir menjadi 2400 MW.

Salah satu masalah yang perlu diselesaikan dalam usaha ini adalah tentang kabel laut arus searah. Data yang ditunjukkan pada Tabel 1 memperlihatkan, bahwa kabel laut TTAS telah digunakan sejak tahun 1954 dengan kapasitas penyaluran daya sebesar 30 MW. Saat ini telah ada kabel laut TTAS yang dioperasikan dengan tegangan kerja 280 kV; sementara itu daya terbesar yang disalurkan telah ada yang mencapai 600 MW. Kabel AS dengan tegangan kerja sampai dengan 600 kV sedang dalam taraf pengembangan* , dan diperkirakan tidak lama lagi akan telah tersedia di pasaran. Kedalaman laut terbesar yang telah pernah dikerjakan adalah di penyeberangan Denmark-Norwegia yaitu sedalam 500 m**

Dari keterangan di atas dapat disimpulkan, bahwa penyeberangan Sumatera-Jawa tidak akan menjadi masalah, apalagi dasar laut di sana relatif landai dengan kedalaman rata-rata kurang lebih hanya 35 m saja.

Guna memilih tegangan kerja sisi AS, digunakan kendala-kendala sebagai berikut :

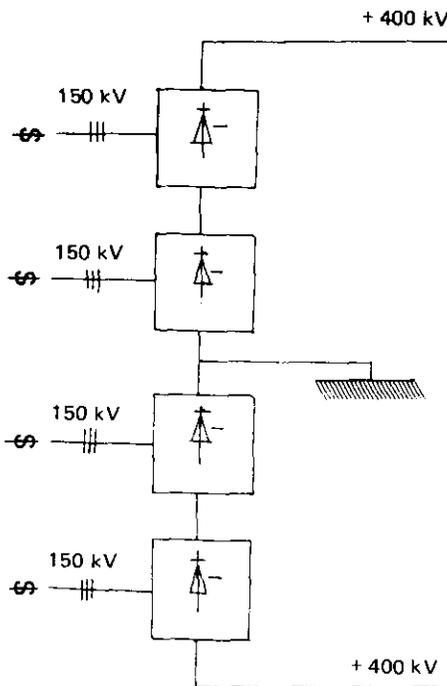
- a. arus nominal sistem TTAS yang telah beroperasi saat ini paling rendah adalah 1000 A, dan terbesar adalah 1800 A;
- b. tegangan kerja tidak lebih daripada ± 600 kV; dan
- c. masing-masing tahapan akan dipenuhi dengan pembangunan satu sistem TTAS ; jadi masing-masingnya berkapasitas sebesar 800 MW.

Atas dasar kendala-kendala tersebut diperoleh daerah tegangan kerja AS antara ± 222 kV s/d ± 400 kV. Untuk keperluan di sini dipilih tegangan kerja ± 400

*Allam et.al: Design of an Optimized 600kV DC Cable System, IEEE-PES Summer Meeting, July 1979.

** Bergstrom & Erikson: High Voltage DC Transmission Application Offshore, IEEE Transactions on Industry Application, March/April 1978.

kV dengan dua alasan utama yaitu : akan memberikan arus saluran yang relatif kecil; dan kedua untuk saluran udara telah ada yang mempraktekannya. Bila sisi AS mempunyai tegangan kerja ± 400 kV, maka bila stasiun konverter/inverter hanya menggunakan satu jembatan pada masing-masing kutub, untuk hal tersebut berarti, bahwa tegangan kerja sisi ABB harus berada pada daerah 300 s/d 330 kV. Harga tegangan ini bukan salah satu ataupun dekat pada tegangan standard transmisi PLN yaitu 70, 150, dan 500 kV. Oleh karenanya disarankan, agar masing-masing kutub stasiun konverter/inverter menggunakan dua jembatan yang sisi AS-nya dihubungkan secara seri, sehingga tegangan kerja ABB yang diperlukan adalah antara 150 s/d 165 kV, di mana hal tersebut sangat dekat dengan tegangan standard 150 kV. Dengan demikian, maka susunan dasar daripada masing-masing stasiun konverter/inverter mempunyai bentuk seperti yang ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3 Susunan dasar stasiun konverter/inverter untuk kapasitas daya 800 MW

Perkiraan Biaya Inventasi dan Harga Penyaluran Energi

Sebagai harga patokan daripada komponen-komponen utama yang akan diper-

gunakan dalam sistem, digunakan data* untuk tahun 1982 sebagai berikut.

Stasiun konverter/inverter	=	US \$ 51.250,-	per MW.
Saluran udara	=	US \$ 440,-	per MW. km. saluran.
Kabel darat	=	US \$ 500,-	per MW. km. saluran.

Dalam referensi diatas tidak terdapat harga kabel laut, sehingga dalam kesempatan ini harga kabel laut diasumsikan yaitu sebesar 3 x harga kabel darat.

Dengan data serta pengandaian diatas maka dapat dihitung biaya investasi pembangunan sistem TTAS mulai dari stasiun konverter saluran udara, kabel laut, saluran udara lagi, dan diakhiri dengan stasiun inverter untuk kemampuan daya sebesar 800 MW. Hasilnya adalah sebagai berikut:

a. Stasiun konverter dan inverter			
	=	2 x 800 x \$ 51.250,-	= \$ 82.000.000,-
b. Saluran udara			
	=	465 x 800 x \$ 400,-	= \$ 163.680.000,-
c. Saluran kabel laut			
	=	35 x 800 x \$ 1.500,-	= \$ 42.000.000,-
d. Tidak terduga 5%			= \$ 14.384.000,-
Jumlah seluruhnya			= \$ 302.064.000,-

Jumlah biaya investasi sebesar \$ 302,- juta tersebut adalah biaya yang diperlukan untuk setiap diadakan peningkatan kemampuan penyaluran daya sebesar 800 MW.

Guna memperkirakan harga penyaluran energi, digunakan rumus berikut :

$$\text{Harga Penyaluran} = \frac{\text{Biaya Modal} + \text{Biaya Operasi} + \text{Biaya Rugi-rugi}}{\text{Total Energi yang Disalurkan.}}$$

Untuk keperluan diatas digunakan patokan-patokan sebagai berikut :

- . Biaya Modal = 12 % per tahun
- . Biaya Operasi = 3 % per tahun
- . Biaya Rugi-rugi = \$ 135,- per kW per tahun
- . Ketersediaan Penyaluran Daya = 5.000 jam per tahun
- . Rugi-rugi Penyaluran Daya = 6 %

Dengan menggunakan pengandaian-pengandaian diatas, maka dapat dihitung biaya masing-masing komponen per tahun.

* IPRC: Cost Component of High Capacity Transmission Options, E.I. 1965, Palo Alto, May 1979.

. Biaya Modal	=	0,12 x \$ 302.064.000,-	=	\$ 36.247.680,-
. Biaya Operasi	=	0,03 x \$ 302.064.000,-	=	\$ 9.061.920,-
. Biaya Rugi-Rugi	=	0,06 x 800 x \$ 135 x 10 ³	=	\$ 6.480.000,-
				Jumlah = \$ 51.789.600,-

Jadi harga penyaluran energi per kWh adalah

$$= \frac{\$ 51.789.600,-}{5000 \times 800 \times 10^3} = \$ 0,013 = \text{Rp } 8,61$$

PENUTUP

Dari uraian-uraian yang telah diutarakan di atas, terutama dikaitkan dengan usaha penerapan sistem TTAS untuk menyalurkan daya listrik dari daerah penambangan batubara Bukit Asam, Sumatera Selatan ke Jakarta, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Teknologi untuk melaksanakan niat dimaksud telah tersedia dan telah banyak dipergunakan.
2. Guna melaksanakan tiga pentahapan pembangunan saluran yang masing-masing berkapasitas 800 MW disarankan untuk menggunakan :
 - a. tegangan kerja sisi AS \pm 400 kV; dan
 - b. masing-masing kutub stasiun konverter/inverter menggunakan dua jembatan yang diserikan di mana masing-masing jembatan menggunakan tegangan ABB 150 kV.
3. Bila dipergunakan ketentuan-ketentuan di atas maka besar biaya investasi sistem TTAS sepanjang 465 km saluran udara, dan 35 km kabel laut per kapasitas 800 mW diperkirakan sebesar \$ 302.064.000,- dimana hal tersebut akan diberikan harga penyaluran energi sebesar \$ 0,013 per kWh atau @ Rp 8.61 per kWh.

Demikianlah sekedar ulasan tentang kemungkinan pemanfaatan sistem TTAS dalam rangka memenuhi kebutuhan energi di pulau Jawa khususnya di daerah DKI Jakarta; mudah-mudahan hal tersebut ada gunanya.

Ucapan Terima Kasih.

Terima kasih penulis haturkan kepada Saudara Ir. Ch. Debaradja selaku Direktur P.T. Central Development Enterprise, Jakarta, Indonesia, yang telah mensponsori studi pendahuluan yang telah penulis lakukan akhir tahun 1980, yang menjadi dasar tulisan ilmiah ini.

Daftar Pustaka

1. E. Rumpf : The Operational Performance of HVDC Systems Throughout the World During 1975 - 1978
Incorporating HVDC Power Transmission Into System Planning, USDOE March 24-27, 1980
2. Alam et.al : Design of an Optimized 600 KV DC Cable System, IEEE-PES Summer Meeting, July 1979.
3. Bergstrom & Erikson : High Voltage DC Transmission Application Offshore
IEEE Transactions of Industry Application, March/April 1978.
4. EPRI : Cost Component of High Capacity Transmission Options. EL-1065, Palo Alto, May 1979.
5. EPRI : Transmission Reference Book, HVDC to \pm 600 KV Palo Alto, 1975.
6. Kimbark : DC Power Transmission, John Wiley & Son, 1971.
7. Kuwuhara et.al : Technical Forum on DC Power Transmission Jakarta, 1976
8. Harsono : Studi Pendahuluan Tentang Penerapan Sistem Tegangan Tinggi Arus Searah (TTAS) Guna Menyalurkan Daya dari Bukit Asam ke Jakarta.
Jurusan Elektroteknik ITB, Desember 1980.