

FAKTOR KAPASITAS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR: Sebuah Penilaian Terhadap Kontraktor Pembangunnya

Sriyana¹⁾

Abstrak

FAKTOR KAPASITAS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR: Sebuah Penilaian Terhadap Kontraktor Pembangunnya. Pengkajian dan pengevaluasian suatu sistem pembangkit tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting baik dalam pengoperasian sistem yang sudah terpasang maupun dalam perencanaan sistem pada masa datang, yang kesemuanya itu ditujukan untuk dapat menyediakan energi listrik kepada pelanggan secara berkesinambungan, berkualitas, serta berdaya saing ekonomi yang tinggi. Permasalahan utama yang biasa dihadapi oleh pembeli instalasi pembangkit listrik adalah bagaimana bisa memilih pembangkit yang berunjuk kerja baik sehingga dari aspek ekonomi, pemilik pembangkit tidak dirugikan oleh karena salah dalam memilih, yakni karena buruknya unjuk kerja dari pembangkit yang dibangun. Unjuk kerja dari suatu pembangkit listrik dapat diukur dengan parameter teknis tertentu. Salah satu parameter yang dapat menunjukkan ukuran unjuk kerja pembangkit adalah faktor kapasitas. Tulisan ini menyajikan bagaimana unjuk kerja kontraktor pembangun pembangkit listrik ditinjau dari faktor kapasitas pembangkitnya. Jenis PLTN yang dipelajari dibatasi, yakni hanya untuk jenis PWR (*Pressurized Water Reactor*, reaktor air ringan bertekanan) dan PHWR (*Pressurized Heavy Water Reactor*, reaktor air berat bertekanan). Metodologi yang digunakan dalam studi ini adalah studi literatur. Studi ini melibatkan 231 unit reaktor pembangkit listrik dengan jenis PWR dan PHWR. Jumlah reaktor ini telah mengakumulasi umur operasi sebesar 3.498 reaktor tahun dan dibangun oleh 10 kontraktor besar. Dari hasil studi ini dapat disebutkan bahwa untuk klasifikasi daya 400 – 800 MWe KWU merupakan kontraktor yang memiliki unjuk kerja PLTN paling baik, yakni sebesar 79,97%, disusul oleh SKODA (79,70%), AEE (76,56%), MHI (74,08%), AECL (71,79%), Westinghouse (71,64%), CE (71,37%) dan DAE (48,54%). Untuk klasifikasi daya 801 – 1000 MWe MHI merupakan kontraktor yang memiliki unjuk kerja PLTN paling baik, yakni sebesar 83,42%, disusul oleh KWU (79,41%), Westinghouse (73,74%), AECL (71,87%), Framatome (71,03%), CE (67,80%), B&W (67,77%) dan AEE (42,81%), sedangkan untuk klasifikasi daya lebih besar dari 1000 MWe MHI merupakan kontraktor yang memiliki unjuk kerja PLTN paling baik, yakni sebesar 82,17%, disusul oleh KWU (79,72%), CE (74,85%), Westinghouse (67,93%), dan Framatome (66,47%).

Abstract

CAPACITY FACTOR OF NUCLEAR POWER PLANT: An Evaluation of the Contractor. Assessment and evaluation of a power plant play an important role in either when the plants have been operating or in the electrical system planning. This all should be directed to fulfill the energy demand with better quality, sustainability and high economic competitiveness. The main problem that is usually faced by the utility is how to select the better performing plant in order to give more benefit. Performance of power plant could be measured by technical parameter, such as capacity factor. This paper describes how contractors are compared by means of the capacity factor of plants which they have constructed. The scope of this study are limited by the type of reactor, namely PWR (*Pressurized Water Reactor*) and PHWR (*Pressurized Heavy Water Reactor*). Literature study is used. The study covers 231 units which has accumulated 3,498 reactor years of nuclear power plant operation and also covers 10 main contractors in the world. The result are: for 400 – 800 MWe class, KWU is the best contractor with capacity factor of 79.97%, and follow by SKODA (79.70%), AEE (76.56%), MHI (74.08%), AECL (71.79%), Westinghouse (71.64%), CE (71.37%) and DAE (48.54%). For 801 – 1000 MWe class, MHI is the best contractor with the capacity factor of 83.42%, and follow by KWU (79.41%), Westinghouse (73.74%), AECL (71.87%), Framatome (71.03%), CE (67.80%), B&W (67.77%) and AEE (42.81%). For more than 1000 MWe class, where there are only 5 contractors, MHI is again the best contractor with the capacity factor of 82.17%, and follow by KWU (79.72%), CE (74.85%), Westinghouse (67.93%), and Framatome (66.47%).

¹⁾ Bidang Partisipasi Industri Nasional, P2EN

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Pengkajian dan pengevaluasian suatu sistem pembangkit tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting baik dalam pengoperasian sistem yang sudah terpasang maupun dalam perencanaan sistem pada masa datang, yang kesemuanya itu ditujukan untuk dapat menyediakan energi listrik kepada pelanggan secara berkesinambungan, berkualitas, serta berdaya saing ekonomi yang tinggi.^[1]

Suatu pembangkit listrik termasuk juga Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), harus dapat mencapai faktor ketersediaan yang tinggi agar dapat memenuhi permintaan produksi listrik yang tinggi pula, sehingga dari aspek ekonomi akan memberikan pendapatan yang lebih baik. Lamanya PLTN tidak beroperasi yang diakibatkan oleh tindakan perawatan dan perbaikan serta pemadaman yang tidak direncanakan diluar batas toleransi yang diperbolehkan, akan menjadi beban finansial bagi pemiliknya. Untuk meminimumkan risiko ini maka evaluasi kelayakan teknis harus dilakukan dengan pertimbangan yang tepat.^[2]

Evaluasi teknis dapat dilakukan dengan berbagai kriteria, dimana kriteria ini dapat diperoleh dengan menguraikan beberapa faktor penilaian. Faktor-faktor tersebut antara lain : faktor keandalan, faktor keselamatan, faktor kemudahan beroperasi dan faktor teknis penting lainnya.^[3] Faktor keandalan misalnya, dapat diurai menjadi kriteria penilaian frekuensi reaktor padam (*shutdown*), status penyelesaian masalah terulang , besarnya faktor kapasitas, dan lain-lain dimana faktor ini lebih menunjukkan unjuk kerja (performansi) dari sistem pembangkit. Demikian juga untuk faktor penilaian yang lain.

Permasalahan utama yang biasa dihadapi oleh pembeli instalasi pembangkit listrik adalah bagaimana bisa memilih pembangkit yang berunjuk kerja baik sehingga dari aspek ekonomi, pemilik pembangkit tidak dirugikan oleh karena salah dalam memilih, yakni karena buruknya unjuk kerja dari pembangkit yang dibangun. Unjuk kerja dari suatu pembangkit listrik dapat diukur dengan parameter teknis seperti tersebut di atas.

I.2. Tujuan dan Batasan Masalah

Salah satu parameter yang dapat menunjukkan ukuran unjuk kerja pembangkit adalah faktor kapasitas. Tulisan ini menyajikan bagaimana unjuk kerja kontraktor pembangun PLTN yang beroperasi di seluruh dunia diukur dari faktor kapasitas pembangkit yang dibangunnya. Disadari sepenuhnya oleh penulis bahwa penilaian faktor kapasitas tidak hanya tergantung pada kontraktor pembangun tetapi juga tergantung dari kualitas operator, kondisi lingkungan operasi, pengaruh teknis lainnya

dan aspek manajemen operasi PLTN itu sendiri. Studi evaluasi teknis ini hanya dibatasi pada faktor kapasitas yang dibandingkan dengan kontraktor pembangun PLTN, hal ini disebabkan karena sulitnya mengukur seberapa besar pengaruh lain untuk mengukur faktor kapasitas. Jenis PLTN yang dipelajari dibatasi, yakni hanya untuk jenis PWR (*Pressurized Water Reactor*, reaktor air ringan bertekanan) dan PHWR (*Pressurized Heavy Water Reactor*, reaktor air berat bertekanan).

PWR dan PHWR yang dipelajari pada tulisan ini diklasifikasikan berdasarkan kapasitas dayanya, yakni klasifikasi klas daya 400 MWe hingga 800 MWe, klas daya 801 MWe hingga 1000 MWe dan klas daya yang lebih besar dari 1000 MWe. Referensi penentuan klasifikasi daya ini adalah hasil studi kelayakan yang dilakukan oleh konsultan *New Japan Engineering Consultan Incorporation (NEWJEC)*.^[3]

Tulisan ini dipandang perlu, oleh karena parameter faktor kapasitas merupakan parameter yang terlibat langsung dalam analisis ekonomi PLTN, baik dalam perencanaan maupun implementasinya.

1.3. Faktor Kapasitas

Faktor kapasitas dari suatu pembangkit didefinisikan sebagai harga perbandingan antara energi yang diproduksi selama periode waktu tertentu terhadap energi maksimum (terhadap daya nominal) yang dapat diproduksi selama periode waktu tersebut. Faktor kapasitas dinyatakan dalam persen (%). Faktor kapasitas tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$FK = \frac{E_p}{E_m} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

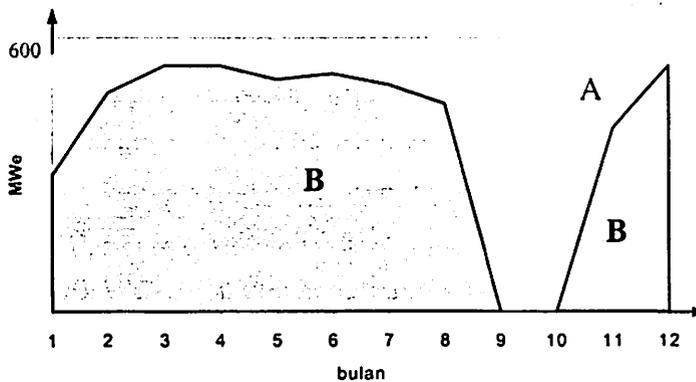
E_p = Energi yang diproduksi dalam periode waktu tertentu

E_m = Energi maksimum yang dapat diproduksi selama periode waktu tertentu

Gambar 1. memberikan ilustrasi tentang faktor kapasitas yang didefinisikan dengan rumus di atas. Misalnya suatu PLTN didesain dengan daya sebesar 600 MWe. Ini berarti PLTN tersebut selama periode waktu t (bulan) mampu memproduksi energi sebesar $600 \times t$ (misalnya dalam MWjam), seperti ditunjukkan pada gambar di atas yaitu daerah A yang luasnya sebesar $600 \times t$, sedangkan pada kenyataannya PLTN tersebut bekerja pada daya yang berfluktuasi. Energi yang diproduksi ditunjukkan oleh daerah B dengan arsiran, pada daerah tersebut terdapat suatu selang waktu dimana pembangkit tidak memproduksi listrik, mungkin karena sedang dilakukan perawatan tahunan atau pengisian ulang bahan bakar atau *outage* (kerusakan yang menyebabkan

PLTN tidak beroperasi) karena penyebab yang lain. Maka faktor kapasitas dari PLTN tersebut dalam periode waktu t sebesar :

$$FK = \frac{B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 1. Ilustrasi tentang faktor kapasitas dari suatu pembangkit listrik

II. METODOLOGI

Studi ini merupakan studi literatur. Langkah-langkah studi adalah sebagai berikut:

- Menentukan klasifikasi daya PLTN, yakni klasifikasi daya 400 MWe s/d 800 MWe, klasifikasi daya 801 MWe s/d 1000 MWe dan klasifikasi daya lebih besar dari 1000 MWe..
- Menentukan kontraktor utama (*main contractor*) pembangun PLTN.
- Menghitung faktor kapasitasnya sejak PLTN beroperasi hingga tahun 1997, baik untuk faktor kapasitas rata-rata tiap tahun maupun faktor kapasitas rata-rata akumulatif.
- Melakukan evaluasi

III. DATA DAN PERHITUNGAN

III.1. Klasifikasi Daya

Pada analisis ini kapasitas daya PLTN dibagi menjadi tiga klasifikasi unit daya^[3], yaitu:

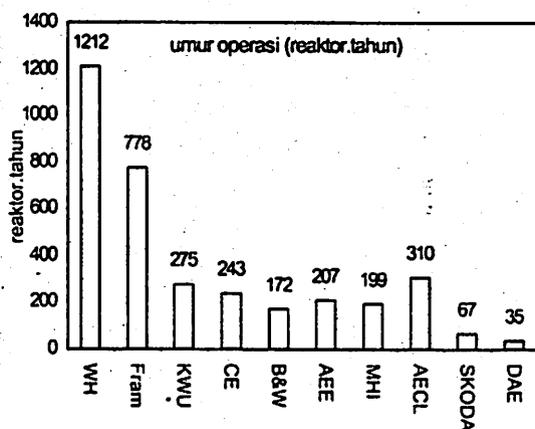
- PLTN berkapasitas daya : 400 s/d 800 MWe, sebanyak 63 unit
- PLTN berkapasitas daya : 801 s/d 1000 MWe, sebanyak 97 unit
- PLTN berkapasitas daya : > 1001 MWe, sebanyak 71 unit

Dengan demikian jumlah unit PLTN yang dipelajari adalah sebesar 231 unit.

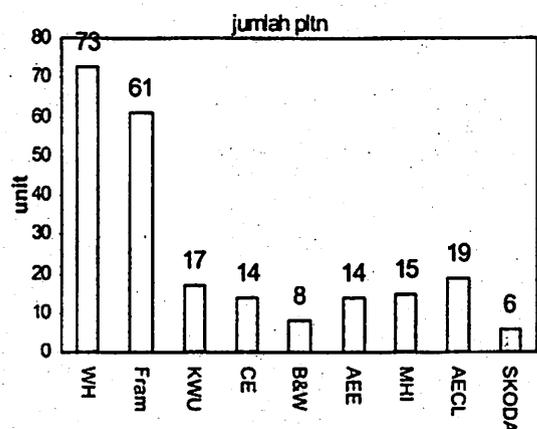
III.2. Kontraktor Pembangun PLTN

Studi ini dilakukan terhadap PLTN yang beroperasi dari tahun 1973 hingga tahun 1997. Dari 231 unit PLTN dalam studi ini, kontraktor utama (*main contractor*) yang membangun sejumlah PLTN tersebut adalah terdiri dari 10 kontraktor, masing-masing : DAE (*Department of Atomic Energy, India*), SKODA (*Skoda Concern Nuclear Power Plant Works, Republik Czech*), KWU (*Siemens-Kraftwerk Union AG, Jerman*), AECL (*Atomic Energy of Canada Limited, Kanada*), MHI (*Mitsubishi Heavy Industry Ltd., Jepang*), Westinghouse (*Westinghouse Electric Corporation, Amerika*), AEE (*Atomenergoexport, Bulgaria*), CE (*Combustion Engineering Company, Amerika*), Framatome (Perancis), dan B&W (*Babcock and Wilcox, Amerika*).

Pengalaman masing-masing kontraktor dalam membangun PLTN adalah berbeda. Pada Gambar 2. berikut ditampilkan pengalaman kontraktor berkaitan dengan jumlah tahun operasi dari reaktor yang dibangun, sedangkan Gambar 3. menunjukkan jumlah unit PLTN yang dibangun maupun, jumlah keseluruhan umur operasi reaktor yaitu sebesar 3.498 reaktor tahun.



Gambar 2. Grafik kontraktor terhadap umur PLTN



Gambar 3. Grafik kontraktor terhadap jumlah PLTN

III.4. Faktor Kapasitas PLTN Acuan

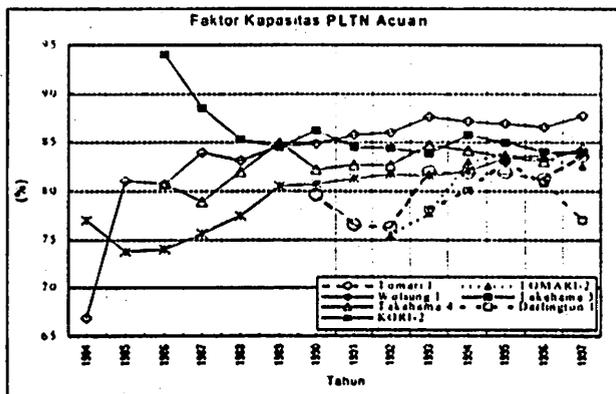
Berdasarkan proposal yang diajukan oleh beberapa *vendor* (penjual PLTN) untuk keperluan studi kelayakan yang dilakukan oleh konsultan *NEWJEC*, menyebutkan bahwa masing-masing PLTN mempunyai target faktor kapasitas tertentu yang dipatok lebih tinggi dari faktor kapasitas PLTN acuannya. Apakah sebenarnya target faktor kapasitas yang ditawarkan tersebut realistis dapat dilihat dengan membandingkan antara target dan kenyataannya (lihat tabel 1) yakni ringkasan PLTN acuan yang dianalisis oleh *NEWJEC* dan juga Gambar 4. menunjukkan grafik faktor kapasitas untuk PLTN acuan.

Pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa kolom FK Acuan (faktor kapasitas PLTN acuan, *reference plant*) menunjukkan faktor kapasitas yang digunakan sebagai acuan penawaran dari masing-masing *vendor*/kontraktor. Demikian pula pada kolom Lama Operasi diberikan pengalaman operasi dari PLTN acuan tersebut. Wolsung 1 (Korea) dan Kori 2 (Jepang) yang masing-masing merupakan PLTN acuan dari CANDU 6 dan AP600 telah beroperasi cukup lama, yakni selama 14 tahun.

Sementara itu fluktuasi faktor kapasitas dari masing-masing PLTN acuan dapat dilihat pada Gambar 4. PLTN Tomari 1 dan 2 (Jepang), dan Darlington (Kanada) mempunyai besaran faktor kapasitas yang fluktuasinya besar dan pengalaman operasinya masih berkisar pada 5 dan 7 tahun. PLTN Takahama 3 (Jepang) beroperasi sejak tahun 1986, bermula pada angka faktor kapasitas yang lebih dari 90% turun dan stabil pada kisaran angka 85% (selama lebih kurang dari 10 tahun). Sedangkan PLTN Wolsung 1 (Korea), beroperasi pada tahun 1984. PLTN ini diawali dengan faktor kapasitas sebesar 68% dan terus naik hingga mendekati 90%. Dilihat dari plot grafiknya masih memperlihatkan akan ada kecenderungan naik. PLTN Kori 2 (Korea) bekerja pada angka faktor kapasitas diantara 75% dan 85%. Takahama 4 bekerja pada kisaran angka yang lebih baik, yakni antara 80% dan 85%.

Tabel 1. Ringkasan PLTN Acuan yang dikaji dalam STSK beserta target Faktor Kapasitas (FK)

NO.	PLTN	KONTRAKTOR	PLTN ACUAN	FK Target (%)	FK ACUAN (%)	LAMA OPERASI (TH)
1	PWR Konv. 600 MWe	MHI/Westingh.	Tomari 1&2	>85	83.00	7.5
2	Siemens 600 MWe	Siemens-KWU	Convoy Series	90	-	-
3	CANDU 6 PHWR	AECL	Wolsung 1	95	87.70	14
4	PWR Konv. 900 MWe	MHI/Westingh.	Takahama 3&4	>85	84.20	12
5	Siemens 1000 MWe	Siemens-KWU	Convoy Series	90	-	-
6	Framatome 1000 MWe	Framatome	Daya Bay 1&2	-	-	-
7	CANDU 9 PHWR	AECL	Darlington	95	76.94	5
8	AP600	MHI/Westingh.	Kori 2	90	83.90	14
9	CANDU 3 PHWR	AECL	-	95	-	-



Gambar 4. Grafik PLTN acuan vs faktor kapasitasnya.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

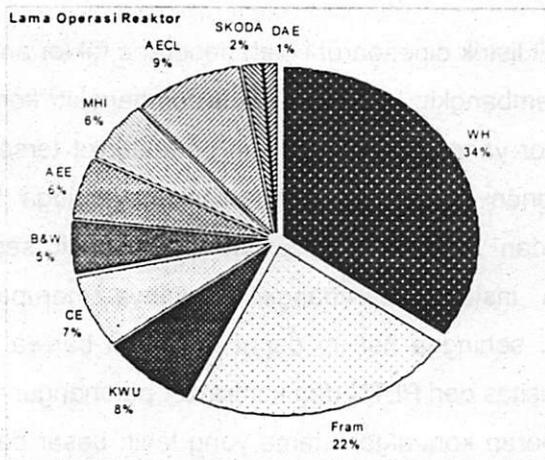
Faktor kapasitas dari pembangkit listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : kualitas dari komponen sistem pembangkit, kualitas sistem pembangkit, kondisi lingkungan operasi dan kualitas operator yang mengoperasikan pembangkit tersebut. Dari segi kualitas sistem dan komponen pembangkit, faktor kapasitas juga bisa dipengaruhi oleh kualitas konstruksi dan instalasi dari sistem pembangkit secara keseluruhan. Sedang konstruksi dan instalasi pembangkit biasanya merupakan tanggung jawab dari kontraktor utama, sehingga hal ini dapat dipahami bahwa ada keterkaitan yang kuat antara faktor kapasitas dari PLTN dan kontraktor pembangunnya.

Tulisan ini memberikan bobot peran kontraktor utama yang lebih besar dalam mempengaruhi faktor kapasitas dari suatu pembangkit listrik tenaga nuklir, dan diasumsikan bahwa pengaruh faktor lain terhadap faktor kapasitas dianggap kecil, disamping keterbatasan data yang ada. Oleh karena itu tulisan ini coba membandingkan antara faktor kapasitas PLTN dengan kontraktor utama yang membangunnya. Cara ini akan membantu dalam memberikan kemudahan terhadap pengambilan keputusan dalam memilih vendor/kontraktor mana yang mempunyai unjuk kerja yang lebih baik.

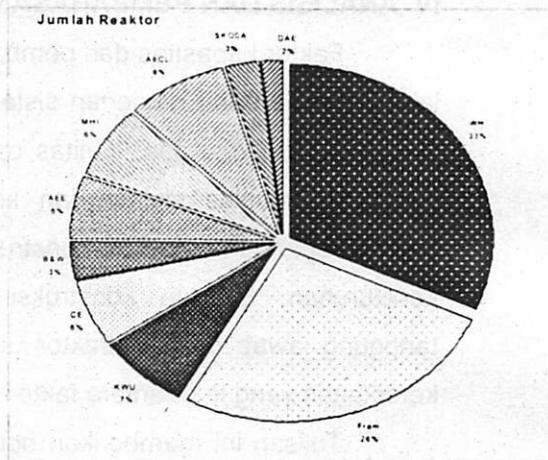
Faktor kapasitas merupakan besaran yang cukup penting terutama untuk keperluan analisis ekonomi dari suatu proyek pembangunan PLTN maupun untuk keperluan analisis perencanaan pemenuhan energi listrik di masa depan (baik jangka pendek maupun jangka panjang). Semakin besar faktor kapasitas akan memberikan pendapatan yang lebih besar bagi pemiliknya atau memberikan kemungkinan lebih besar terhadap introduksi lebih awal dari suatu pembangkit listrik.

Studi ini melibatkan 231 unit reaktor pembangkit listrik dengan jenis PWR dan PHWR. Jumlah ini telah mengakumulasi umur operasi reaktor sebesar 3.498 reaktor tahun dan dibangun oleh 10 kontraktor besar.

Dari segi umur reaktor beroperasi, Westinghouse berpengalaman telah membangun PWR dan dapat beroperasi selama 1.212 reaktor tahun (34%), Framatome sebesar 778 reaktor tahun (22%), AECL sebesar 310 reaktor tahun (9%), KWU sebesar 275 reaktor tahun (8%), CE sebesar 243 reaktor tahun (7%), AEE sebesar 207 reaktor tahun (6%), MHI sebesar 199 reaktor tahun (6%), B&W sebesar 172 reaktor tahun (5%), SKODA sebesar 67 reaktor tahun (2%) dan DAE sebesar 35 reaktor tahun (1%). Diskripsi ini secara ringkas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Persentase umur reaktor vs kontraktor



Gambar 5. Persentase jumlah reaktor vs kontraktor

Sedang dari segi jumlah reaktor yang dibangun oleh vendor/kontraktor-nya adalah seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. Westinghouse, Framatome dan AECL merupakan 3 kontraktor yang banyak pengalamannya dalam membangun PLTN yakni sebanyak 73 unit (33%), 61 unit (26%) dan 19 unit (8%).

Pada dasarnya masing-masing PLTN bila memungkinkan dapat dioperasikan pada daya yang tinggi dan dalam waktu yang lama, sehingga akan mencapai faktor kapasitas yang besar. Hal inilah yang melandasi adanya korelasi antara faktor kapasitas PLTN yang satu dengan PLTN yang lainnya, meskipun dibangun oleh kontraktor yang berbeda. Demikian juga halnya bila dilihat dari aspek operator PLTN. Berdasarkan pada alasan korelasi tersebut (hal ini penulis buktikan dengan mem-plot data pada diagram hambur atau *scatter diagram* dan menunjukkan sebaran disekitar besaran $slope = 1$) tulisan ini coba membandingkan antara besaran faktor kapasitas dan kontraktor pembangunnya.

Hasil studi ini ditampilkan dalam bentuk grafik yang terdiri dari grafik faktor kapasitas rata-rata tahunan dan grafik faktor kapasitas rata-rata kumulatif.

Faktor Kapasitas Rata-rata tahunan. Faktor kapasitas rata-rata tahunan disini dimaksudkan bahwa pada tahun terhitung sejumlah PLTN yang dibangun oleh kontraktor mempunyai faktor kapasitas masing-masing. Faktor kapasitas ini dijumlahkan dan dirata-ratakan, dan didapatkan faktor kapasitas rata-rata pada tahun tersebut. Misalnya kontraktor A pada tahun 1986 mempunyai PLTN yang beroperasi 5 unit dan masing-masing mempunyai faktor kapasitas yang sama sebesar 80%, maka faktor kapasitas rata-rata tahunan pada tahun 1986 untuk kontraktor A adalah sebesar 80%. Gambar 6. menunjukkan unjuk kerja masing-masing kontraktor dari segi faktor

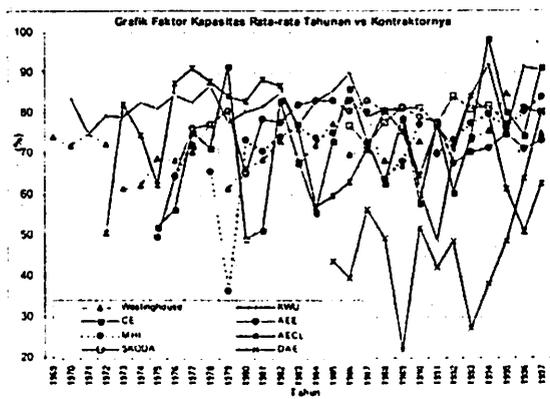
kapasitas rata-rata tahunannya. Artinya grafik ini lebih menunjukkan unjuk kerja kontraktor pada tahun tertentu.

Faktor Kapasitas Rata-rata Kumulatif. Berdasarkan pada faktor kapasitas rata-rata tahunan, faktor kapasitas rata-rata kumulatif ini dihitung dan dirata-ratakan untuk sejumlah PLTN pada tahun berjalan. Misalkan kontraktor A pada tahun 1986 mempunyai 5 unit PLTN yang beroperasi dengan faktor kapasitas rata-rata tahunan sebesar 80% dan untuk tahun 1987 ada tambahan 2 unit PLTN beroperasi dengan rata-rata faktor kapasitas sebesar 90% maka faktor kapasitas rata-rata kumulatif pada tahun 1987 adalah sebesar 82,9%. Perlu diingat bahwa faktor kapasitas rata-rata kumulatif ini adalah kumulatif terhadap jumlah unit PLTN yang beroperasi pada tahun berjalan untuk masing-masing kontraktor.

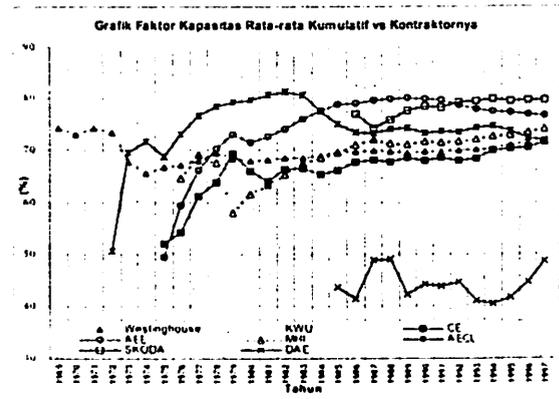
Hasil perhitungan dari data yang terkumpul dapat diuraikan sebagai berikut :

IV.1. Analisis Faktor Kapasitas untuk Kapasitas Daya 400 – 800 MWe

Faktor Kapasitas Rata-rata tahunan. Gambar 6. menunjukkan bahwa untuk klasifikasi daya 400 – 800 MWe faktor kapasitas rata-rata tahunan dari semua PLTN yang dibangun oleh masing-masing kontraktor terkonsentrasi pada daerah kapasitas antara 70% hingga 85%, kecuali PLTN yang dibangun oleh kontraktor DAE. Terlihat faktor kapasitas berfluktuasi dengan amplitudo yang cukup besar. Dari grafik terlihat bahwa yang mempunyai unjuk kerja faktor kapasitas stabil dan relatif tinggi adalah kontraktor KWU.



Gambar 6. Grafik Faktor Kapasitas rata-rata tahunan untuk berbagai varian kontraktor



Gambar 7. Grafik Faktor Kapasitas rata-rata kumulatif untuk berbagai varian kontraktor

Faktor Kapasitas Rata-rata Kumulatif. Besaran faktor kapasitas rata-rata kumulatif yang mewakili keseluruhan adalah yang ditunjukkan oleh titik pada grafik yang terletak di dalam kolom tahun 1997. Pada kelas daya ini yang paling tinggi faktor

kapasitasnya adalah PLTN yang dibangun oleh KWU, disusul oleh SKODA pada harga yang sama, disusul berturut-turut AEE, MHI, Westinghouse, CE dan terakhir DAE. Sedangkan kontraktor Framatome dan B&W tidak membangun PLTN dalam klasifikasi daya ini. Tabel 2 berikut memberikan hasil rata-rata kumulatif akhir, yakni pada tahun 1997. Pada Gambar 7 terlihat bahwa PLTN yang dibangun oleh KWU lebih stabil unjuk kerja faktor kapasitasnya. Apabila diperingkat maka urutan prestasi unjuk kerja dari kontraktor adalah sebagaimana tercantum dalam Tabel 2 berikut :

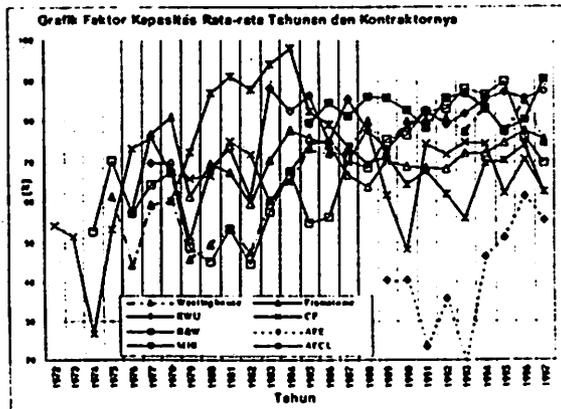
Tabel 2. Kontraktor dan faktor kapasitas rata-rata kumulatif PLTN

NO.	KONTRAKTOR	FAKTOR KAPASITAS (%)	UMUR OPERASI (reaktor.tahun)	JUMLAH PLTN (unit)
1	KWU	79.97	73	3
2	SKODA	79.70	67	6
3	AEE	76.56	192	12
4	MHI	74.08	130	8
5	AECL	71.79	179	10
6	Westinghouse	71.64	450	19
7	CE	71.37	23	1
8	DAE	48.54	35	4
Jumlah untuk klasifikasi daya ini :			1.149	63

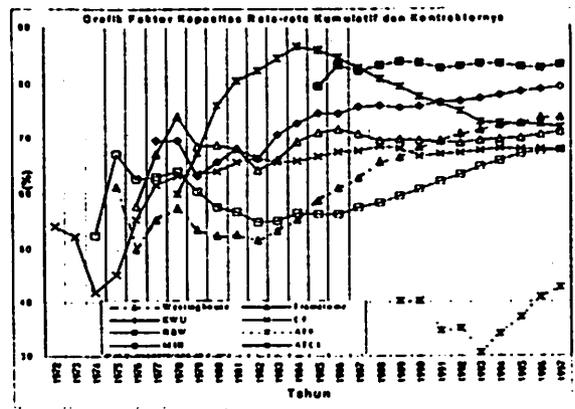
Dari segi umur operasi PLTN, maka dapat dilihat bahwa pada klasifikasi daya ini Westinghouse memiliki pengalaman yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kontraktor lainnya (450 reaktor tahun, hampir 40% dari total pengalaman operasi pada klasifikasi daya ini) dengan jumlah PLTN sebanyak 19 unit, sementara KWU hanya memiliki pengalaman umur operasi sebanyak 73 reaktor tahun (3%) dengan jumlah PLTN sebanyak 3 unit. Framatome dan B&W tidak membangun PLTN kelas daya ini.

IV.2. Analisis Faktor Kapasitas untuk Kapasitas Daya 800 – 1000 MWe

Faktor Kapasitas Rata-rata tahunan. Gambar 8. menunjukkan bahwa untuk klasifikasi daya 801 – 1000 MWe faktor kapasitas rata-rata tahunan dari semua PLTN yang dibangun oleh masing-masing kontraktor tersebar pada daerah kapasitas yang lebar antara 40% hingga 90%, kecuali PLTN yang dibangun oleh kontraktor AEE. Terlihat faktor kapasitas berfluktuasi dengan amplitudo yang cukup besar, ada yang lebih rendah dari 40% (dicapai oleh CE dan AEE) dan bahkan ada yang hampir mencapai 100% (dicapai oleh AECL). Dari grafik terlihat bahwa ada unjuk kerja faktor kapasitas yang relatif stabil tinggi (antara 80% dan 90%) namun pada durasi yang pendek (13 tahun), yakni PLTN yang dibangun oleh kontraktor MHI. SKODA dan DAE tidak membangun PLTN dengan kelas daya ini.



Gambar 8. Grafik Faktor Kapasitas rata-rata tahunan untuk berbagai varian kontraktor



Gambar 9. Grafik Faktor Kapasitas rata-rata kumulatif untuk berbagai varian kontraktor

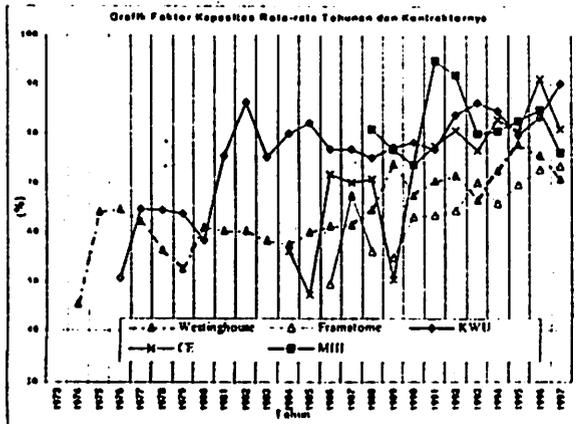
Faktor Kapasitas Rata-rata Kumulatif. Pada kelas daya ini yang paling tinggi faktor kapasitasnya adalah PLTN yang dibangun oleh MHI (83,42%), disusul oleh KWU (79,41%) dan seterusnya Westinghouse, AECL, Framatome, CE, B&W dan terakhir AEE dengan angka factor kapasitas seperti yang tercantum pada Table 3. Sedangkan kontraktor SKODA dan DAE tidak membangun PLTN dalam klasifikasi daya ini. Tabel 3. berikut memberikan hasil rata-rata kumulatif akhir, yakni pada tahun 1997. Apabila diperingkat maka urutan prestasi unjuk kerja dari kontraktor adalah sebagaimana tercantum dalam Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Kontraktor dan faktor kapasitas rata-rata kumulatif PLTN

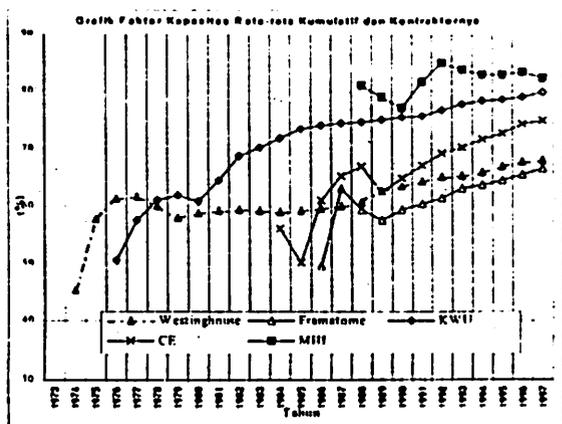
NO.	KONTRAKTOR	FAKTOR KAPASITAS (%)	UMUR OPERASI (reaktor.tahun)	JUMLAH PLTN (unit)
1	MHI	83,42	49	4
2	KWU	79,41	66	4
3	Westinghouse	73,74	326	22
4	AECL	71,87	131	9
5	Framatome	71,03	605	41
6	CE	67,80	150	7
7	B&W	67,77	172	8
8	AEE	42,81	15	2
Jumlah untuk klasifikasi daya ini :			1.514	97

Meski MHI memiliki unjuk kerja faktor kapasitas yang tertinggi dalam klasifikasi daya ini, namun hanya berpengalaman operasi selama 49 reaktor tahun (3% dari total pengalaman operasi pada klasifikasi daya ini) dengan jumlah PLTN 4 unit. Sementara Framatome sangat berpengalaman dalam klasifikasi daya ini, yakni berpengalaman selama 605 reaktor tahun (40%) dengan jumlah PLTN sebanyak 41 unit.

IV.3. Analisis Faktor Kapasitas untuk Kapasitas Daya >1000 MWe



Gambar 10. Grafik Faktor Kapasitas rata-rata tahunan untuk berbagai varian kontraktor



Gambar 11. Grafik Faktor Kapasitas rata-rata kumulatif untuk berbagai varian kontraktor

Pada kelas daya ini kontraktor pembangun hanya ada 5 kontraktor, yakni MHI, KWU, Westinghouse, Framatome dan CE.

Faktor Kapasitas Rata-rata tahunan. Gambar 10. menunjukkan bahwa untuk klasifikasi daya yang lebih besar 1000 MWe faktor kapasitas rata-rata tahunan dari semua PLTN yang dibangun oleh masing-masing kontraktor tersebar pada daerah kapasitas yang lebar antara 50% hingga 90%, dan ada kecenderungan masih akan mengalami kenaikan. Fluktuasi faktor kapasitas lebih kecil jika dibandingkan dengan klasifikasi daya dibawahnya.

Faktor Kapasitas Rata-rata Kumulatif. Pada kelas daya ini yang paling tinggi faktor kapasitasnya adalah PLTN yang dibangun oleh MHI (82,17%), disusul oleh KWU (79,72%) dan seterusnya CE, Westinghouse, dan Framatome dengan angka factor kapasitas seperti yang tercantum pada Tabel 4. Sedangkan kontraktor B&W, AEE, AECL, SKODA dan DAE tidak membangun PLTN dalam klasifikasi daya ini. Tabel 4 berikut memberikan hasil rata-rata kumulatif akhir, yakni pada tahun 1997. Apabila diperingkat maka urutan prestasi unjuk kerja dari kontraktor adalah sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.

Dibandingkan dengan klasifikasi daya dibawah 1000 MWe, kelas daya ini mempunyai pengalaman operasi yang lebih kecil yaitu selama 835 reaktor tahun. Namun dari segi jumlahnya masih lebih besar dari klas daya 400 – 800 MWe, sebanyak 71 unit PLTN. Ini berarti bahwa usia PLTN kelas ini relatif lebih muda.

Tabel 4. Kontraktor dan faktor kapasitas rata-rata kumulatif PLTN

NO.	KONTRAKTOR	FAKTOR KAPASITAS (%)	UMUR OPERASI (reaktor.tahun)	JUMLAH PLTN (unit)
1	MHI	82,17	20	3
2	KWU	79,72	136	10
3	CE	74,85	70	6
4	Westinghouse	67,93	436	32
5	Framatome	66,47	173	20
Jumlah untuk klasifikasi daya ini :			835	71

Meski MHI memiliki unjuk kerja faktor kapasitas yang tertinggi (82,17%) dalam klasifikasi daya ini, namun hanya berpengalaman operasi selama 20 reaktor tahun (2,4% dari total pengalaman operasi), dengan jumlah unit 3. Sementara Westinghouse sangat berpengalaman dalam klasifikasi daya ini, yakni berpengalaman selama 436 reaktor tahun (52%), dengan jumlah PLTN sebanyak 32 unit.

Dari data faktor kapasitas PLTN acuan di atas, ternyata terdapat perbedaan antara faktor kapasitas yang ditargetkan untuk pembangkit yang ditawarkan. Perbedaan ini berkisar antara 2% hingga 19%. MHI/Westinghouse dalam hal ini cukup realistis dalam menawarkan target faktor kapasitas dari PLTN yang ditawarkan, yakni hanya berbeda 1% hingga 2%. Penilaian faktor kapasitas PLTN acuan ini penting oleh karena biasanya *vendor*/kontraktor akan menawarkan PLTN acuan yang memang memiliki faktor kapasitas yang tinggi.

V. KESIMPULAN

1. Besaran faktor kapasitas dari suatu pembangkit listrik tenaga nuklir dapat digunakan untuk menilai seberapa baik suatu kontraktor dalam pembangunan.
2. Untuk klasifikasi daya 400 – 800 MWe KWU merupakan kontraktor yang memiliki unjuk kerja PLTN yang dibangun paling baik, yakni sebesar 79,97%, disusul oleh SKODA (79,70%), AEE (76,56%), MHI (74,08%), AECL (71,79%), Westinghouse (71,64%), CE (71,37%) dan DAE (48,54%).
3. Untuk klasifikasi daya 801 – 1000 MWe MHI merupakan kontraktor yang memiliki unjuk kerja PLTN yang dibangun paling baik, yakni sebesar 83,42%, disusul oleh KWU (79,41%), Westinghouse (73,74%), AECL (71,87%), Framatome (71,03%), CE (67,80%), B&W (67,77%) dan AEE (42,81%).
4. Untuk klasifikasi daya lebih besar dari 1000 MWe MHI merupakan kontraktor yang memiliki unjuk kerja PLTN yang dibangun paling baik, yakni sebesar 82,17%, disusul oleh KWU (79,72%), CE (74,85%), Westinghouse (67,93%), dan Framatome (66,47%).

5. Perlu diperhatikan bahwa dalam menilai target faktor kapasitas yang ditawarkan dengan faktor kapasitas PLTN acuannya.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. SISWA TRIHADI, *Evaluasi Keandalan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Menggunakan Simulasi Monte Carlo dan Teknik Animasi, Hasil-hasil Seminar Energi V, Jakarta, 9-11 September 1997.*
2. SRIYANA, *Perancangan Sistem Pakar untuk Evaluasi Kelayakan Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, April 1999.*
3. NEWJEC Inc., *Plant Highlights and Main Feature of Proposed Plants, November 1992.*
4. IAEA, *Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 1997, Vienna, 1998.*