

LOKASI DAN MANAGEMENT POLUSI PANAS SUATU PUSAT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Oleh :

Ir. Martias Nurdin ; Ir. Iyos R. Subki M.Sc.

Pusat Reaktor Atom Bandung — BATAN.

Abstrak

Penempatan suatu PLT Nuklir membutuhkan syarat-syarat teknis tertentu. Syarat-syarat mana ditandai oleh/dengan kemampuannya yang lebih besar membangkitkan daya dan sebagai sumber yang potensial mengeluarkan partikel radioaktif.

Lokasi di mana PLT Nuklir akan dibangun harus memenuhi syarat-syarat engineering; syarat-syarat tersebut mungkin cukup untuk suatu jenis PLT Nuklir tetapi mungkin sekali tidak memadai untuk jenis PLT Nuklir yang lain.

Design, konstruksi akan banyak dipengaruhi oleh kondisi lokasi, sedangkan ekonominya secara keseluruhan akan ditentukan oleh management energi panas dan polusinya terhadap lingkungan.

P E N D A H U L U A N

Pemilihan lokasi suatu PLT Nuklir di pengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

1. faktor ekonomi , dalam hal ini PLTN berfungsi sebagai alat (sistim) yang akan memproduksi tenaga listrik.
2. faktor keselamatan, dimana PLTN merupakan sumber yang potensiel mengeluarkan partikel-partikel radioaktif.
3. faktor keamanan suatu instalasi vital.

Effisiensi penggunaan daya yang baik (dekat dengan yang membutuhkan) dan jaminan kelangsungan operasi produksi tenaga oleh kondisi setempat memberikan pengaruh besar pada ekonomi dan keselamatan PLT Nuklir tersebut.

Kelangsungan operasi PLT Nuklir ditentukan oleh kondisi-kondisi setempat, harus cukup tersedianya suplai-suplai yang diperlukan untuk operasi dan tetapnya PLT Nuklir tersebut beroperasi dan atau shut down dengan aman walaupun mendapatkan gangguan-gangguan alam, gempa, siklon dll.

Syarat-syarat teknis yang merupakan "Enginering Safety" ini dapat dibedakan pada masalah, yaitu :

- I. — cukupnya "suplai (tersedianya) zat pendingin" buat reaktor (dalam batas-batas lingkungan hidup yang harmonis).
- II. — keadaan geologis, topografis dan meteorologis yang akan mempengaruhi design & konstruksi PLTN secara keseluruhan.

Sebelum sampai pada pokok masalah diatas, perlu kiranya untuk memperhatikan beberapa jenis (sistim) reaktor nuklir pembangkit daya, yang sedang beroperasi dan dalam konstruksi dan pengembangan.

Setiap jenis reaktor nuklir itu akan membuang sebagian besar dari energi panas yang dibawa oleh working fluid, pada mana disipasi panas tergantung pada ab-

sorpsi dan konversi energi oleh peralatan-peralatan yang ada dalam masing-masing sistem (efisiensi seluruh sistem).

Beberapa reaktor nuklir akan diamati antara lain adalah :

- Heavy Water Reactor (HWR)
- Light Water Reactor (LWR)
- Breeder Reactor
- High Temperature Reactor (HTR)
- High Temperature Helium Turbine Reactor (HHT).

Pada pengamatan nanti, dipilih beberapa variasi daya yang dimungkin karena adanya pengembangan penggunaan pada lokasi yang sama.

Unit-unit yang mungkin dibangun adalah dari 500 MWe dan atau 600 MWe. Pada taraf pengembangan nanti disuatu energi center mungkin sekali dibangun unit-unit diatas sampai 4 unit dalam satu lokasi, sehingga perlu dibuat variasi daya sebagai berikut : 500 MWe, 600 MWe, 1000 MWe, 1200 MWe, 2000 MWe dan 2400 MWe.

I. SUPPLY ZAT PENDINGIN.

Dari suatu lokasi harus diketahui bagaimana keadaan penyediaan zat pendingin yang akan berpengaruh pada tata lingkungan hidup.

Zat pendingin untuk reaktor adalah suatu badan, tempat dan alat dalam pembuangan panas, sehingga disipasi panas bisa ke udara dan bisa pula ke air dan atau ke udara— ke air.

Untuk menuju pada persoalannya perlu dibicarakan :

- 1— pendinginan dengan air.
- 2— pendinginan dengan udara.

I-1. Pendinginan dengan air.

Pendinginan dengan memberikan gambaran bahwa reaktor nuklir tsb. bera-
da didataran (didinginkan dengan air darat) dan bisa di tepi pantai atau di te-
ngah laut (dengan air laut). Perlu ditinjau apakah pendinginan dengan air darat dapat memadai atau tidak, untuk ini perlu pembahasan :

- a. Pendinginan dengan air sungai
- b. Pendinginan dengan air sungai dan pond.
- c. Pendinginan dengan pond.

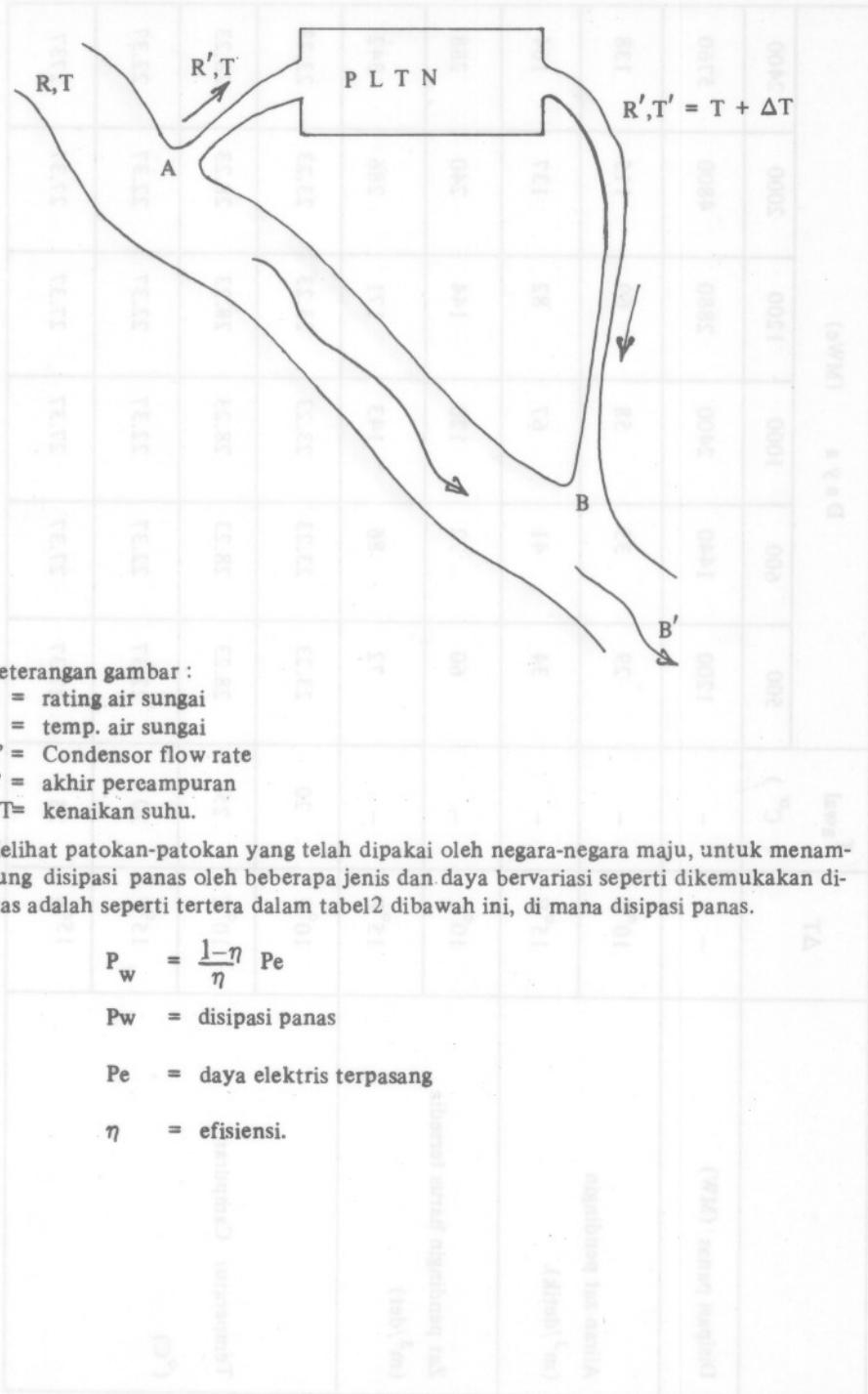
I-1.a. Pendinginan dengan air sungai.

Berpedoman pada ketentuan2 yang dipakai oleh negara-negara maju bah-
wa kenaikan temperatur zat pendingin dari inlet ke outlet condensor maks-
imum 10°C

Untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup, negera-negara maju telah
mengambil patokan-patokan dalam penyelidikan zat pendingin, seperti
Jerman Barat (daya terpasang 40 GWe, penyediaan air sebesar $4000 \text{ m}^3/\text{det}$), Inggris (Daya = 21 GWe, $R = 2100 \text{ m}^3/\text{det}$), dan Amerika Serikat
(Daya 530 GWe dengan $R = 53000 \text{ m}^3/\text{det}$).

Secara sederhana pendinginan dengan sungai dapat digambarkan se-
erti dibawah ini :

Untuk menyajikan sangkaan akhir tentang pengaruh zat pendingin pada ling-
kungan hidup, maka dibuat gambaran dasar pada



Keterangan gambar :

R = rating air sungai
 T = temp. air sungai
 R' = Condensor flow rate
 B' = akhir pereampuran
 ΔT = kenaikan suhu.

Melihat patokan-patokan yang telah dipakai oleh negara-negara maju, untuk menampung disipasi panas oleh beberapa jenis dan daya bervariasi seperti dikemukakan di atas adalah seperti tertera dalam tabel 2 dibawah ini, di mana disipasi panas.

$$P_w = \frac{1-\eta}{\eta} P_e$$

Pw = disipasi panas

Pe = daya elektris terpasang

η = efisiensi.

PLT NUKLIR JENIS CANDU (HWR) EFISIENSI 29%

	ΔT	T_{awal} ($^{\circ}C$)	Daya (MWe)					
			500	600	1000	1200	2000	2400
Disipasi panas (MW)	—	—	1200	1440	2400	2880	4800	5760
Aliran zat pendingin (m^3 /detik).	$10^{\circ}C$	—	29	35	58	69	115	138
	$15^{\circ}F$	—	34	41	67	82	137	164
Zat pendingin harus tersedia (m^3 /det)	$10^{\circ}C$	—	60	72	120	144	240	288
	$15^{\circ}F$	—	72	86	143	171	286	342
Temperatur Campuran ($^{\circ}C$)	$10^{\circ}F$	20	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23
	$10^{\circ}C$	25	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23
	$15^{\circ}F$	20	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37
	$15^{\circ}F$	25	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37

Besarnya kebutuhan zat pendingin untuk kenaikan suhu $10^{\circ}C$ dan $15^{\circ}F$ serta temperatur campuran

PLT NUKLIR JENIS L.W.R. EFISIENSI 32% – 34%

	T	T _{awal} (°C)			Daya (MWe)				
			500	600	1000	1200	2000	2400	
Dissipasi panas (MW)	—	—	1050— 950	1260— 1140	2100— 1950	2520— 2280	4200— 3800	5040— 4560	
Aliran zat pendingin (m ³ /det)	10°C	—	25.23	30.28	51.46	61.55	101.91	121.110	
Zat pendingin yang harus tersedia (m ³ /det)	15°F	—	30.27	36.33	60.54	72.65	120.109	144.130	
Temperatur campuran (°C)	10°C	—	53.48	63.57	103.95	126.114	210.190	252.228	
	15°F	—	63.57	75.68	125.113	150.136	250.226	300.271	
Temperatur campuran (°F)	10°C	20	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	
	15°F	25	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23	
	15°F	20	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37	
	15°F	25	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37	

Besarnya kebutuhan zat pendingin untuk kenaikan suhu 10°C dan 15°F serta temperatur campuran.

PLTN NUKLIR JENIS BREEDER EFISIENSI 38% – 41%.

	T	T _{awal} (°C)	Daya (MWe)					
			500	600	1000	1200	2000	2400
Disipasi panas (MW)	–	–	850–750	960–900	1600–1500	1920–1800	3200–3000	3840–3600
Aliran zat pendingin (m ³ /det)	10°C	–	19.18	23.22	39.36	46.43	77.72	96.87
	15°F	–	23.22	28.26	46.43	55.52	92.86	110.103
Zat pendingin harus tersedia (m ³ /det)	10°C	–	40.38	48.45	80.75	96.90	160.150	192.180
	15°F	–	48.45	57.54	95.89	114.107	191.179	229.214
Temperatur campuran (°C)	10°C	20	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23
	10°C	25	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23
	15°F	20	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37
	15°F	25	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37

Besarnya kebutuhan zat pendingin untuk kenaikan suhu 10°C dan 15°F serta temperatur campuran.

PLTN NUKLIR JENIS H.T.R. EFISIENSI 38% – 42%

	T _{akhir} (°C)	T _{awal} (°C)	Daya (MWe)					
			500	600	1000	1200	2000	2400
Disipasi panas (MW)	—	—	850–700	960–840	1600–1400	1920–1680	3200–2800	3840–3360
Aliran zat pendingin (m ³ /det)	10°C	—	19.17	23.20	39.34	46.41	77.67	96.81
	15°F	—	23.20	28.24	46.40	54.48	92.80	108.96
Zat pendingin harus tersedia (m ³ /det)	10°C	—	40.35	48.42	80.70	96.84	160.140	192.168
	15°F	—	48.42	57.50	95.84	114.100	191.167	225.200
Temperatur campuran (°C)	10°C	20	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23
	10°C	25	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23
	15°F	20	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37
	15°F	25	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37

Besarnya kebutuhan zat pendingin untuk kenaikan suhu 10°C dan 15°F serta temperatur campuran.

PLT NUKLIR JENIS H.H.T. EFFISIENSI 37% – 47%.

	T	T _{awal} (°C)	D a y a (MWe)					
			500	600	1000	1200	2000	2400
Disipasi panas (MW)	—	—	850– 550	1020– 660	1700– 110	2040– 1320	3400– 220	4080 2640
Aliran zat pendingin (m ³ /det)	10°C	—	21.13	25.16	41.27	49.32	82.53	98.64
	15°F	—	24.16	29.19	49.32	58.38	97.63	117.76
Zat pendingin harus tersedia (m ³ /det)	10°C	—	43.28	51.33	85.55	102.66	170.110	204.132
	15°F	—	51.33	61.40	101.66	122.79	203.131	243.157
Temperatur campuran (°C)	10°C	20	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23	23.23
	10°C	25	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23	28.23
	15°F	20	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37	22.37
	15°F	25	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37	27.37

Besarnya kebutuhan zat pendingin untuk kenaikan suhu 10°C dan 15°F serta temperatur campuran.

Dari tabel diatas jelas kelihatan bahwa kebutuhan zat pendingin untuk pembawa dan tempat pembuangan panas berbeda untuk setiap jenis reaktor nuklir yang kita amati-perhatikan.

Sebagai illustrasi dapat di kemukakan bahwa lokasi yang mampu menampung PLTN jenis High Temperature Helium Turbine Reactor HHT dengan daya 1000 MWe, hanya bisa ditempati oleh PLTN jenis Candu dengan daya hanya 50C MWe. Dengan demikian dapat dikatakan syarat-syarat teknis suatu lokasi cukup untuk suatu jenis

PLT Nuklir, tetapi tidak memadai untuk jenis PLT Nuklir lain dengan daya yang sama.

Pembahasan selanjutnya akan dicurah pada PLTN jenis Candu, berkenaan PLTN ini mempunyai syarat teknis yang tinggi.

Sekarang mari kita lihat bagaimana efek kenaikan temperatur pada daerah BB' dari gambar skema diatas. Temperatur campuran didaerah BB' akan menurun dengan mengalirnya air sungai. Penurunan ini adalah akibat terjadinya transfer panas berupa penguapan, konveksi dan radiasi.

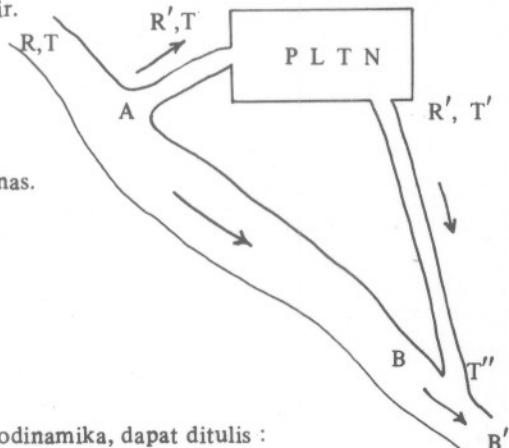
Penurunan temperatur itu dipengaruhi pula oleh kecepatan angin (mempengaruhi penguapan dan konveksi) dan lebar dari sungai (Luasnya permukaan perpindahan panas).

Perlu dihitung besarnya temperatur, misalnya pada jarak 100 km, 200 km dan 300 km dari maxing zone, untuk itu ditetapkan saja dua ukuran sungai sebagai dasar ilustrasi, yaitu sungai dengan lebar 50 m dan kecepatan angin ± 2 m di atas permukaan air sebesar 1 m/det dan sungai dengan lebar 75 m dengan kecepatan angin sebesar 2 m/det pada ± 2 m diatas permukaan air.

B = Titip pembuangan air panas.

B' = akhir daerah adukan

R = flow rate



Dari segi perpindahan panas dan termodinamika, dapat dituliskan :

$$\Delta T = \frac{P_w}{R} = \frac{0.24}{R} \frac{1-\eta}{\eta} P_e \quad \dots \dots \dots \quad 2$$

$$\Delta T = \frac{R'}{R} \Delta T$$

Penurunan temperatur, secara matematis dapat dituliskan :

$$\Delta \Theta = \Delta T e^{-d/D} \quad \dots \dots \dots \quad 3$$

dimana : d = jarak dari akhir adukan

D = jarak relaksasi.

Suatu pendekatan experimental, memberikan :

$$D = \frac{h' R}{hb} \frac{864}{0.01 T'' + 0.95 + (0.62 + 0.37 u) (1 + 0.87 e^{0.05 T''})}$$

dimana : h' = h , pada keadaan mixing

R = river flow rate

b = lebar sungai

u = kerapatan angin pada ± 2 m diatas permukaan air.

dimana : h' = h , pada keadaan mixing

R = river flow rate

b = lebar sungai

u = kerapatan angin ± 2 m diatas permukaan air.

Dari penjelasan diatas, didapat hasil-hasil seperti pada tabel dibawah ini : (halaman 165 s/d 167).

Kembali pada besarnya kebutuhan zat pendingin (condensor flow rate dan river flow rate) seperti termaktup pada tabel 1, 2, 3, 4, dan 5 diatas tersebut.

Untuk ini perlu dilihat data-data hasil pengukuran Dinas Hidrometri L.P.M.A. Bandung mengenai debit air maximum dan minimum per satuan waktu dari seluruh sungai-sungai yang ada di Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur. (halaman 168 s/ 173).



$$\Sigma Q = \frac{\pi D^2}{4} A_{c,d} = \frac{\pi D^2}{4} = TA$$

$$TA \frac{1}{A} = T\Delta$$

$$\Sigma Q = T\Delta$$

$$\text{maka } \frac{1}{A} = b : \text{sumbu} \\ \text{berjalan } = D$$

PLT NUKLIR JENIS CANDU (HWR) = 29%.

Daya (MWe)	Disipasi panas (MW)	T_{awal} (°C)	T m ³ /det	R' m ³ /det	R	T_{camp} (°C)	u = 1 m/det; b = 50 m		u = 2m/det; b = 75 m;			
							Temperatur pada :					
							100 km	200 km	300 km	100 km		
500	1200	20	10°C	29	60	23.23	22.03	21.26	20.76	21.19	20.52	20.23
		25	10°C	29	60	28.23	26.84	26.07	26.61	26.10	20.39	20.13
		20	15°F	34	72	22.37	21.61	21.09	20.73	21.14	20.55	20.26
		25	15°F	34	72	27.37	26.52	25.97	20.62	26.00	25.43	25.17
600	1440	20	10°C	29	60	23.23	22.06	21.45	20.97	21.52	20.71	20.32
		25	10°C	29	60	28.23	27.03	26.29	25.81	26.32	25.55	25.23
		20	15°F	34	72	22.37	21.73	21.26	20.90	21.28	20.71	20.38
		25	15°F	34	72	27.37	26.61	26.11	20.76	26.14	25.55	25.26

Suhu-suhu didaerah beberapa km, dari daerah campuran

PLT NUKLIR JENIS CANDU (HWR) = 29%

33

Daya (MWe)	Disipasi panas (MW)	T _{awal} (°C)	T m ³ /det	R' m ³ /det	R	T _{camp} (°C)	u = 1 m/det ; b = 50 m			u = 2 m/det; b = 75 m.			300 km (°C)
							Temperatur pada :						
1000	2400	20	10°C	58	120	23.23	22.55	22.03	21.58	22.03	21.29	20.81	
		25	10°C	58	120	28.23	27.45	26.84	26.39	26.87	26.10	25.65	
		20	15°F	67	143	22.37	21.97	21.61	21.35	21.64	21.14	20.78	
		25	15°F	67	143	27.37	26.87	26.49	26.19	26.52	26.97	25.64	
1200	2880	20	10°	69	144	22.23	22.65	22.16	21.78	22.20	21.52	21.03	
		25	10°C	69	144	28.23	27.55	27.03	26.61	27.07	26.32	25.84	
		20	15°F	82	171	22.37	22.01	21.73	21.47	21.73	21.28	20.92	
		25	15°F	82	171	27.37	26.97	26.61	26.35	26.64	26.14	20.78	

Suhu-suhu didaerah beberapa km, dari daerah campuran.

PLT NUKLIR JENIS CANDU (HWR) = 29%.

Daya (MWe)	Disipasi panas (MW)	T _{awal} (°C)	T	R' m ³ /det	R m ³ /det	T _{camp.} (°C)	u = 1 m/det; b = 50 m		u = 2m/det; b = 75 m		300 km (°C)	
							Temperatur pada :					
							100 km (°C)	200 km (°C)	300 km (°C)	100 km (°C)	200 km (°C)	
2000	4800	20	10°C	115	240	23.23	22.87	22.55	22.26	22.55	22.03	21.62
		25	10°C	115	240	28.23	27.81	27.45	27.13	27.45	26.87	26.42
		20	15°F	137	286	22.37	22.13	21.94	21.75	21.97	21.61	26.35
		25	15°F	137	286	27.37	27.13	26.87	26.71	26.90	26.52	26.23
2400 –	5760	20	10°C	138	288	22.23	22.90	22.65	22.39	22.68	22.20	21.84
		25	10°C	138	288	28.23	27.87	27.49	27.26	27.52	26.97	26.52
		20	15°F	164	342	22.37	22.18	22.01	21.82	22.04	21.75	21.52
		25	15°F	164	342	27.37	27.16	26.99	26.80	26.99	26.66	26.37

Suhu-suhu didaerah beberapa km, dari daerah campuran.

FLUKTUASI DEBIT AIR SUNGAI DIDAERAH JAWA BARAT m³/detik.

NAMA POS – TEMPAT	1968		1969		1970		1971		1972	
	MAX	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX	MIN.
CIPUNAGARA – SUMUR BARANG	102.-	8.-	164.-	5.20	3779	3773	3773	3773	3773	3773
CIPUNAGARA – SALAMDARMA	147.-	9.48	33.80	33.92	3774	3778	3770	3774	3774	3774
CITARUM – TANJUNGPURA	12.5	1.32	3.89	3.13	3771	3771	3773	3773	990.-	2.60
CIKARANG – CIKARANG	10.3	1.03	3.89	3.13	3774	3774	3774	3774	118.-	1.60
CIDURIAN PARIGI	10.3	1.12	3.40	3.73	3774	3774	3774	3774	162.-	1.92
CIUJUNG KRAGILAN	342.-	12.4	643.-	12.4	3774	3774	3774	3774	831.-	4.90
CIUJUNG – RANGKASBITUNG	1	0.8	160.-	0.47	3774	3774	3774	3774	157.-	1.22
CIDURIAN – KOPOMAJA										

MT. INDEKS TEKSI SUDIPI (INKE) = 100

FLUKTUASI DEBIT AIR SUNGAI DIDAERAH JAWA-BARAT m³/detik

NAMA POS – TEMPAT	1968		1969		1970		1971		1972	
	MAX.	MIN.								
CISADANE – BATUBEULAH			363.-	7.-	448.-	0.55			429.-	0.54
CIMANUK – TOMO			361.-	39.6					475.	6.50
CIMANUK JATIBARANG	604.-	0.64	600,-	1.40	620.-	0.03			673	1.28
CIMANUK LEUWIDAUN									161.-	2.68
CIMANUK – LEUWIGOONG	220.-	11.0	245.-	13.0	163.-	9.74				
CIMANUK – WADO	234.-	8.40	285.-	12.9	412	8.70			306.-	8.24
CISANGGARUNG – PASURUAN			403.-	0.70						
CISANGGARUNG – CILENGKRANG			178.-	0			495.-	0.98	313.-	0.34

FLUKTUASI DEBIT AIR SUNGAI DIDAERAH JAWA BARAT m³/detik

NAMA POS – TEMPAT	1968		1969		1970		1971		1972	
	MAX.	MIN.								
CIPANAS–CIBERENG	324.-	840	382	153	167.-	0.27			309	878
CITANDUY–PATARUMAN	330	117	195.-	46.6	340.-	37.0	428.-	12.6		
CITANDUY–KARANGSARI					633.-	79.2			732.-	53.5
CITANDUY–CIKAWUNG	904	094	555.-	—	566.-	—			932	138
CITANDUY–CIRAHONG			121.-	11.-	208.-	5.52	309.-	4.74	354.-	1.30
CITANDUY–LEUWITONJONG			393	—	144.-	2.70			256.-	—
CIMUNTUR–BATUNUNGGAL	452	101	582	101	163.-	10.3	452	101	582	101
CIJOLONG–CIKADU	168	160			101.-	3.40			196.-	4.63

FLUKTUASI DEBIT AIR SUNGAI DIDAERAH JAWA-TENGAH m³/detik.

NAMA POS – TEMPAT	1968		1969		1970		1971		1972	
	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.
K. SERAYU – RAWALO			1114.-	25.4						
K. SERAYU – BANYUMAS									1366.-	75.
K. OPAK – KRETEK			132.-	1.-	410.-	0.53				
CIKUWUNG – CIMEI			116.-	—	163.-	3.12				
B. SOLO – JURANGGEMPOL	539.-		285.-	4.50	632.-	0.35				
B. SOLO – KEDUNGARENG			223.-	0	273.-	0			179.-	—
B. SOLO – SERENAN			344.-	0.24	362.-	0.27				

FLUKTUASI DEBIT AIR SUNGAI DIDAERAH JAWA – TENGAH. m³/detik.

NAMA POS – TEMPAT	1968		1969		1970		1971		1971	
	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.
B. SOLO – JURUG					731.–	0.30				
K. PROGO – BOROBUDUR					220.–	4.20				
K. PROGO – DUWET					303.–	6.72				
K; OYO – DOGONGAN					335.–	1.35				
K. LOGAWA – KEDUNGPETIR			156.–	9.66	172.–	4.80				
K. PROGO – KRANGGAN	116.–	5.02			139.	2.34				
K. PROGO – PLIKAN			195.–	4.84	165.–	2.50				

FLUKTUASI DEBIT AIR SUNGAI DIDAERAH JAWA – TENGAH m³/detik

NAMA POS – TEMPAT	1969		1970		1971		1972		1973	
	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.
B. SOLO – BABAT							1359.-	3.80	1590.-	25.6
K. BRANTAS – KAULON			378.	28.-			380.-	7.80		
K. BRANTAS – PAPRINGAN			640.-	35.-			626.-	10.5		
K. BRANTAS – PUNDENSARI			426.-	50.-			514.-	23.-		
K. BRANTAS – PLOSO	526.-	42.1	1058	45.4						
K. SURABAYA – TAWANGSARI							610.-			
K. MADIUN – MADIUN			492.-	0.20	458.-	0.15				

Dari hasil pengukuran Dinas Hidrometri L.P.M.A. Bandung, beberapa tempat secara selayang pandang yang mungkin memenuhi syarat teknis suatu lokasi adalah sbb:

JAWA BARAT :

Citanduy - Karang Sari : 1970 max = $633 \text{ m}^3/\text{det}$; min = $79.2 \text{ m}^3/\text{det}$
1972 , , = $732 \text{ , , } ; \text{ , , } = 53.5 \text{ , }$

JAWA TENGAH :

1. K.Serayu - Rawasolo : 1969 max. = $1114 \text{ , , } ; \text{ , , } = 25.4 \text{ , }$
2. -,- - Banyumas : 1972 , , = $1366 \text{ , , } ; \text{ , , } = 75 \text{ , }$

JAWA TIMUR :

1. B.Solo - Babat : 1972 , , = $1359 \text{ , , } ; \text{ , , } = 3.8 \text{ , }$
1973 , , = $1590 \text{ , , } ; \text{ , , } = 25.6 \text{ , }$
2. K. Berantes-Pundensari : 1970 , , = $426 \text{ , , } ; \text{ , , } = 50 \text{ , }$
1972 , , = $514 \text{ , , } ; \text{ , , } = 23 \text{ , }$

CITANDUY KARANG SARI :

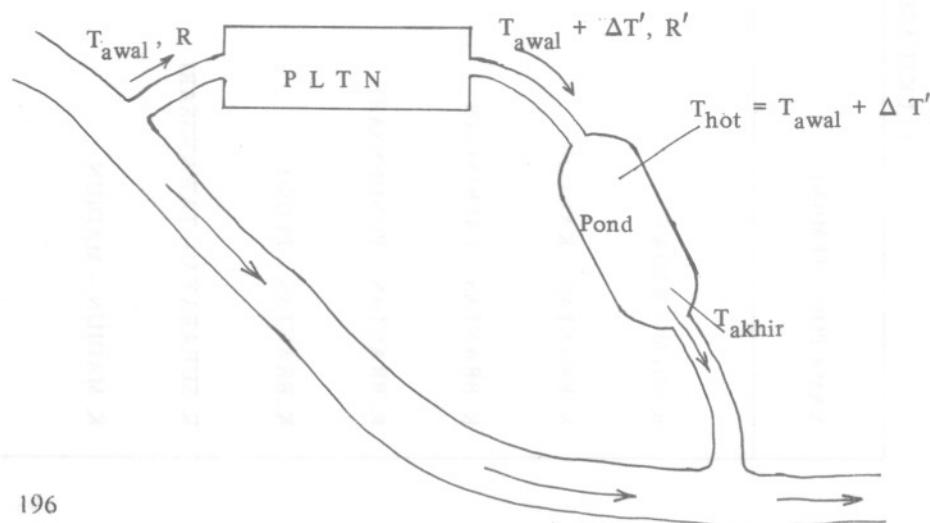
Pada tahun 1970 dan 1972, debit air minum masing-masing adalah $79.2 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $53.5 \text{ m}^3/\text{det}$. Untuk dasar keselamatan, diambil minimum aliran sungai adalah $53.5 \text{ m}^3/\text{det}$. Debit air sebesar $53.5 \text{ m}^3/\text{det}$, belum sanggup memenuhi syarat teknis pendirian PLTN jenis Candu dengan daya sebesar 500 MWe saja, apalagi bila diinginkan pengembangan lebih lanjut.

Dengan demikian calon2 lokasi yang dituliskan di atas semuanya juga tidak memenuhi.

Dari uraian-uraian di atas kita sampai pada kesimpulan bahwa suatu PLTN didaratan pulau JAWA dengan daya 500 MWe ke atas tidak mungkin dibangun bila pendinginannya hanya dari air sungai-sungai yang ada.

I.1.b. Pendinginan Dengan Air Sungai Dan Pond.

Secara skematis pendinginan berganda ini dapat digambarkan :



Kembali pada rumus (3) diatas, maka disini :

$$\Delta\Theta = \Delta T e^{-\alpha s} \dots \dots \dots \quad 4$$

$$\text{dimana : } \Delta\Theta = T_{\text{akhir}} - T_{\text{udara}}$$

$$\Delta T = T_{\text{hot}} - T_{\text{udara}}$$

α = koefisien perpindahan panas rata2 persatuan luas.

s = luas pond

R' = condensor flow rate.

Untuk menjaga agar temperatur cairan yang baru setelah adanya disipasi panas tidak begitu tinggi, maka ditetapkan temperatur akhir dari Once through Cooling Pond, baik pada musim panas, maupun pada musim dingin.

Dengan penetapan2 tsb. didapatkan besarnya (luasnya) cooling pond yang dimaksud.

Dari rumusan (4) didapat :

$$s = \frac{R'}{\alpha} \ln \left(1 + \frac{T}{T_{\text{akhir}} - T_{\text{udara}}} \right) \dots \dots \dots \quad (5)$$

$$\overline{\Delta T}_{\text{untuk cooling pond}} = \frac{R' \Delta T'}{\alpha s} = \frac{\Delta T'}{\ln \left(1 + \frac{T'}{T_{\text{akhir}} - T_{\text{udara}}} \right)} \dots \dots \quad (6)$$

$$\alpha = 1.16 [0.01 \bar{T} + 0.95 + (0.62 + 0.37 u) (1 + 0.87 e^{0.05 T})]$$

Dari penjelasan-uraian di atas luasnya cooling pond yang dimaksud untuk suatu daya tertentu hasilnya dicantumkan pada tabel dibawah ini.

D a y a (MWe)	Disipasi panas (MW)	T _{awal} (°C)	T (°C)	T _{udara} (°C)	R' m ³ /det	T _{akhir} (°C)	Luas Cooling Pond (km)	
							u = 1 m/det.	u = 2 m/det.
500	1200	20	10°C	21	29	25/30	3.49	3.15
		25	10°C	27	29	30/35	3.50	3.27
		20	15°F	21	34	25/28:33	3.04	2.75
		25	15°F	27	34	30/33.33	3.38	2.98
600	1440	20	10°C	21	35	25/30	4.20	3.80
		25	10°C	27	35	30/35	4.22	3.83
		20	15°F	21	41	25/28.33	3.67	3.32
		25	15°F	27	41	30/33.33	4.08	3.59

Untuk membantu perpindahan panas pada Once trough cooling pond.

D a y a (MWe)	Disipasi panas (MW)	T _{awal} (°C)	T (°C)	T _{udara} (°C)	R' m ³ /det	T _{akhir} (°C)	Luas Cooling Pond (km)	
							u = 1 m/det	u = 2 m/det.
1000	2400	20	10°C	21	58	25/30	6.96	6.29
		25	10°C	27	58	30/35	6.98	6.35
		20	15°F	21	67	25/28.33	6.00	5.42
		25	15°F	27	67	30/33.33	6.67	5.87
1200	2880	20	10°C	21	69	25/30	8.28	7.52
		25	10°C	27	69	30/35	8.31	7.56
		20	15°F	21	82	25/28.33	7.34	6.63
		25	15°F	27	82	30/33.33	8.15	6.67

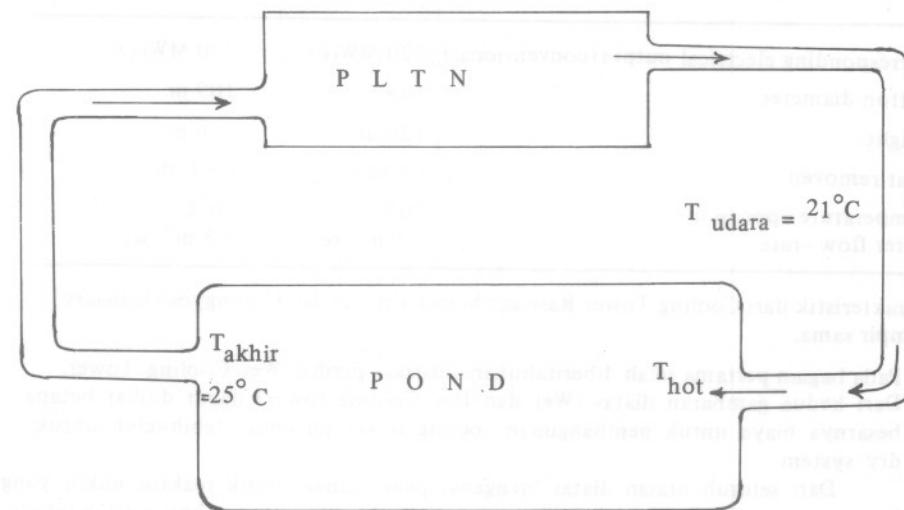
Untuk membantu perpindahan panas pada Once through cooling pond.

D a y a (MWe)	Disipasi panas (MW)	T _{awal} (°C)	T (°C)	T _{udara} (°C)	R' m ³ /det	T _{akhir} (°C)	Luas Cooling Pond (km)	
							u = 1 m/det	u = 2 m/det
2000	4800	20	10°C	21	115	25/30	13.80	12.47
		25	10°C	27	115	30/35	13.86	12.59
		20	15°F	21	137	25/28.33	12.27	11.08
		25	15°F	27	137	30/33.33	13.63	11.47
2400	5760	20	10°C	21	138	25/30	16.56	14.97
		25	10°C	27	138	30/35	16.63	15.11
		20	15°F	21	164	25/28.33	14.69	13.26
		25	15°F	27	164	30/33.33	15.67	13.98.

Untuk membantu perpindahan panas pada Once through cooling pond.

I.1.c. Pendinginan dengan Pond.

Dengan bantuan cooling Pond secara tertutup seperti di bawah ini, tentu dapat juga membuat suatu lokasi bisa memenuhi syarat-syarat teknis yang diminta Lay out dari bangunannya adalah sbb.:



Dengan cara begini, sebagai ilustrasi diambil PLTN jenis Candu 1000 MWe, untuk $\Delta T = 10^\circ\text{C}$, dibutuhkan $R = 58 \text{ m}^3/\text{det}$.

- Untuk $T_{akhir} = 25^\circ\text{C}$
1. dibutuhkan Cooling Pond seluas 10.625 km^2
 2. diperlukan penambahan air bersih untuk mengimbangi pengapian sebanyak $\pm 2300 \text{ ton/jam}$.

Setelah dilakukan cara-cara untuk membuat suatu lokasi bisa memenuhi, sampai pada persoalan ekonomis atau tidak.

Pembuatan Cooling Pond diatas, adalah suatu pekerjaan besar yang mempunyai banyak biaya, resiko, yang tidak mungkin bisa dilakukan oleh kita, mengingat keuangan, penduduk yang rapat dan masalah topografis dan meteorologis.

I.2. Pendinginan dengan Udara.

Pendinginan dengan udara menggunakan Cooling Tower.

Sebagai ilustrasi dibawah ini, diberikan data2 mengenai kemampuan beberapa Cooling Tower serta ukuran dimensi-dimensinya.

I.2.1. Natural Drought Wet Cooling Tower.

Height	130 m
Bottom diameter	95 m
Throat diameter	52 m
Top ,,"	61 m
Volume of concrete	8500 m^3
Collecting basin	10.000 m^3
Thickness of hyperbolic shell	60 cm
Droplet carry-over	3 liter
Evaporation losses (winter)	250 ,,"

Evaporation losses (summer)	350 liter
Cooling water flow rate	14.2 m ³ /sec.
I.2.2 Dry cooling Tower (Heller system)	

Lokasi	Rasdan	G yongyos
Corresponding electrical output(conventional)	220 MW(e)	220 MW(e)
Botton diameter	108 m	109 m
Height	120 m	116 m
Heat removed	67 Mcal	63.4 Mcal
Temperature approach	30°C	26°C
Water flow-rate	6.1 m ³ /sec.	5.8 m ³ /sec.

Karakteristik dari Cooling Tower Rasdan (Soviet Union) dan G yongyos (Hungary) hampir sama.

Pada bagian pertama telah diberitahukan ilustrasi perihal Wet Cooling Tower. Dari kedua gambaran diatas (Wet dan Dry Cooling tower) dapat dilihat betapa besarnya biaya untuk pembangunan cooling tower tersebut., lebih-lebih untuk dry system.

Dari seluruh uraian diatas mengenai pendinginan untuk reaktor nuklir yang ber-operasi jelaslah bahwa lokasi yang memenuhi persyaratan teknis adalah lokasi yang terletak di tepi pantai. Persediaan zat pendingin jauh lebih besar dari kebutuhan.

II. STUDI GEOLOGI, TOPOGRAPIS DAN METEOROLOGIS.

Pada bagian ini kami tidak banyak bisa memberikan informasi atau penjelasan -penjelasan, kecuali secara umum saja

Untuk suatu calon lokasi, perlu didapatkan data-data geologis yang dapat dipertanggung jawabkan, karena suatu reaktor nuklir pembangkit daya dan sistem-sistem penunjangannya harus memasukkan pengaruh-pengaruh seismic dalam kriteria designnya untuk keperluan :

penduduk sekeliling harus dicegah dari kerusakan (bahaya) radioaktif yang keluar dari sistem PLTN.

- bila reaktor di shut down sewaktu atau sesudah guncangan gempa, keselamatan dan kesungguhan bahwa reaktor telah shut down harus bisa dijamin. Ia juga harus dijaga untuk setelah shut down.

Dalam mendesign suatu instalasi nuclear, diperhatikan dua klasifikasi gempa, yaitu :

- klasifikasi gempa yang paling mungkin terjadi, data-datanya didapat melalui studi geologis dari calon lokasi.
- Besaran ini dipakai sebagai dasar perancangan untuk kondisi operasi pada full power.
- Besaran seismic yang dipakai untuk perancangan (design basis earthquake), besarnya dua kali intensitas operating basis earthquake.

Dari uraian diatas, betul-betul perlu studi geologis yang mendalam dan terpercaya dari calon-calon lokasi instalasi nuklir tsb.

Studi topografi yang kami maksudkan adalah perihal keadaan lokasi yang menyangkut penentuan letak, kemungkinan-kemungkinan pembuatan jalan dan pelabuhan yang baik, maksud-maksud penggalian, dll.

Studi meteorologis adalah berhubungan dengan fluktuasi temperatur udara dan air, serta variasi kecepatan angin pada musim-musim yang ada serta kelembaban relatif dari udara.

Disamping itu juga diperlukan arah angin (tentu beserta kecepatannya) pada berbagai musim yang dialami oleh daerah tsb.

Kesimpulan.

Ditinjau dari segi transportasi alat-alat besar yang beratnya sampai 400 – 500 ton, tentu tambahan investasi untuk sarana lalu lintas buat alat-alat besar tsb. juga cukup besar di samping harus dibikin tersendiri pelabuhan untuk pendaratan alat-alat tsb.

Ditinjau dari segi kerapatan penduduk, dapat dikatakan bahwa tidak jauh dari pelabuhan umum \pm 10 – 20 km, penduduk sudah jarang sekali, padahal ditinjau dari segi demand terhadap tenaga listrik (seperti di Indonesia), jarak \pm 10 – 20 km dari pelabuhan umum tetap masih dekat pada daerah yang disebut dengan load center.

Ditinjau dari segi syarat-syarat teknis guna pendinginan, jelas bahwa untuk pulau Jawa daerah pantai merupakan solusi dari pemilihan lokasi PLT Nuklir.

Saran-saran.

Perlu segera mungkin data-data geologis dari beberapa calon lokasi yang akan dipilih, data-data mana meliputi besarnya getaran seismic, percepatan horisontal, arah gerak dan mengenai lapisan tanah (batu-batuhan), buat keperluan fondasi yang memenuhi syarat.

Selanjutnya informasi-informasi meteorologis, perihal temperatur udara dimusim panas, hujan, kecepatan angin \pm 2 m diatas permukaan air laut serta kelembaban relative dari udara.

Disamping itu topografi dari calon lokasi, meliputi sarana pembuatan jalan, penentuan letak yang tepat penggalian pencairan air minum dan pengembangan daerah lokasi kearah daerah industri terbatas dan perumahan serta hubungannya nanti dengan pengembangan-pengembangan selanjutnya.

PERPUSTAKAAN

1. Nuclear Power Plant System and Equipment by Kenneth C. Lish, P.E. Industrial Press In.
2. Thermal Discharges at Nuclear Power Stations IAEA, Vienna 1974.
3. Small and Medium Power Reactors IAEA, Vienna 1971.

D I S K U S I

DJAPRIE :

Apakah sudah dicoba mempergunakan kombinasi parid + sprayer ?

M. NURDIN :

Kami belum mencoba variasi demikian, bila dari Sub Komisi Lokasi KP2–PLTN memerlukan perhitungan dengan variasi kombinasi, tentu kami akan memberikan hasil-hasil perhitungan kami sesuai dengan permintaan.

M. MOCHTAR :

Apakah Saudara sependapat bahwa sebaiknya PLTN ditempatkan di daerah pantai, dicarikan tempat yang bentuk tanahnya merupakan jasirah hingga masalah resirkulasi air pendingin dapat dengan mudah diatasi secara mudah?

M. NURDIN :

Saya bisa memahami tujuan penempatan yang diusulkan dan dapat pula membenarkan penempatan sedemikian bilamana akumulasi panas pada sebelahnya dapat kita hindari, guna memelihara lingkungan hidup yang harmonis.

P.E. HEHANUSA :

Melihat pembahasan Saudara yang menyatakan bahwa penyediaan air sungai tidak mencukupi untuk pendinginan suatu PLTN 500 MW, demikian pula dengan luasnya cooling pond yang dibutuhkan, apakah Saudara setuju bila kita bangun reaktor di coastal Wetlands di tepi pantai utara Jawa ? Kalau ya, dimana ?

M. NURDIN :

Sesuai dengan keterangan-keterangan yang juga menyatakan bahwa daerah pantai utara merupakan daerah dengan seismicity rendah dan adanya beberapa tempat yang tidak allowvial, tentu hal ini bisa disetujui, mengingat pula akan sebagian besar daerah di pulau Jawa ada pada bagian utara pantai. Beberapa tempat : – Daerah pantai Banten.

- Daerah pantai G. Muria, Jateng.
- Daerah pantai antara Jakarta – Cirebon.

SUSANTO :

Pada hal 25 terdapat berbagai macam harga T, yaitu T awal, T, T udara dan T akhir. Mohon dijelaskan.

M. NURDIN :

Dapat kemi jelaskan dengan gambar dibawah ini.

A. RAJAK :

Karena air pendingin adalah masalah yang penting dan Lokasi PLTN, maka kami ingin penjelasan karena adanya perbedaan yang menyolok dari Paper Pak Marjono hal. 5 dan Paper Saudara hal. 5 dan 6.

M. NURDIN :

Kemungkinan perbedaan adalah pada asumsi yang diambil semula dan pada kegunaan apa kebutuhan air pada paper pak Marjono tidak dijelaskan.

Untuk maksud-maksud pendinginan seperti uraian saya, sejauh mana asumsi yang saya ambil – jelas perincian yang ada pada paper saya memang seharusnya demikian.

MARJONO N. :

Lokasi dan management panas suatu PLTN :

- 1) Apakah reference yang Saudara pakai untuk patokan-patokan dalam penyediaan zat pendingin ? (hal. 4).
- 2) Menurut patokan-patokan tersebut kebutuhan air pendingin adalah $50 \text{ m}^3/\text{det}$. Pengalaman di PLTU Priok memberikan angka untuk pendingin PLTU dengan Unit 500 MW lebih kurang $11 \text{ m}^3/\text{det}$. Berarti kebutuhan PLTN adalah $\pm 400\%$ lebih tinggi daripada PLTU dengan Unit yang sama. Berhubung besarnya perbedaan tersebut kami sarankan agar angka kebutuhan air pendingin diteliti lebih jauh.

M. NURDIN :

- 1) Patokan adalah ilmu perpindahan panas yang juga bisa dibaca dari banyak literatur Heat & Mass Transfer, begitu pula dari referensi paper kami.

$$\begin{aligned} \text{2) PLTN}_{\text{candu}} \text{ 500 MWe} : P_w &= 500 \text{ MW} \times \frac{0,71}{0,29} \times \frac{0,24 \text{ calori}}{W} \\ &= 294 \text{ M. cal.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PLTU Priok 500 MWe} : P_w &= 500 \text{ MW} \times \frac{0,60}{0,90} \times \frac{0,24 \text{ calori}}{W} \\ &= 180 \text{ M. cal.} \end{aligned}$$

Seperti hasil diatas, jelas tidak mungkin, PLTU, bisa didinginkan hanya dengan aliran $11 \text{ m}^3/\text{det}$.

Jadi perbedaan ini adalah perbedaan dalam mengambil ΔT , mungkin ΔT pada condensor PLTU jauh lebih tinggi dari pada PLTN.

A. KUSNOWO :

Ada hubungan yang erat antara lokasi dan jenis serta kapasitas PLTN yang akan dibuat. Apakah tidak sebaiknya diambil cara dalam menentukan lokasi, jenis dan kapasitas reaktor juga dijadikan parameter ?

M. NURDIN :

Masalah jenis dan kapasitas bisa dijadikan parameter dalam menentukan lokasi suatu PLTN.

PENGARUH KEADAAN LOKASI TERHADAP DISAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR *)

Iyos Subki

Dinas Reaktor, PRAB — BATAN

A B S T R A K.

Suatu PLTN, di samping dirancang sebagai sebuah pembangkit yang ekonomis, tapi juga sekaligus dirancang sebagai sistem yang aman terhadap lingkungan dan penduduk di sekitarnya.

Di sini akan diuraikan secara garis besar pendekatan teknis (engineering) dalam disain PLTN sehingga kemungkinan kecelakaan (accident) dapat ditekan sampai minimal dan pemaparan zat radioaktif, kalaupun terjadi, harus dijaga dalam batas-batas yang diperbolehkan.

Suatu PLTN dapat dibagi atas, pertama sistem proses yang meliputi elemen bahan bakar, tabung tekan, sistem pendinginan primer dan sekunder, kedua sistem pengamanan, yang meliputi sistem shutdown, sistem isolasi dan sistem pendinginan darurat.

Kriteria untuk kedua sistem di atas akhirnya diuraikan dalam hubungannya dengan keamanan dan keandalan PLTN dalam jaringan listrik.

1. PENDAHULUAN.

Penentuan lokasi untuk suatu instalasi pembangkit tenaga makin lama makin sulit, mengingat terbatasnya tempat-tempat yang cukup jauh dari wilayah yang berpenduduk padat dan sekaligus memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan. Dewasa ini kita harus lebih mengarah kepada sistem teknologi, yang dalam disainnya dan konstruksinya memperhitungkan interaksi antara sistem pembangkit dengan lingkungan, untuk menjamin keamanan penduduk dan personil.

Disini risalah kriteria keamanan sistem nuklir lebih ditekankan daripada kriteria lokasi, meskipun yang terakhir ini tidak dilupakan, mengingat antara lain persyaratan teknis lokasi tetap harus dipenuhi.

Kriteria keamanan harus dirumuskan secara fleksibel dan umum. Selanjutnya kriteria diuraikan atas prinsip-prinsip operasional untuk melakukan analisa dan disain bagi sistem pengamanan dan meliputi : prinsip umum, syarat keandalan (reliability) dan prinsip disain.

2. KRITERIA KEAMANAN.

Kriteria keamanan meliputi prinsip-prinsip yang harus diterapkan, sesuai dengan tingkat kemajuan ilmu dan teknologi, agar dapat menjamin keselamatan. Untuk tujuan analisa dan disain, kriteria keamanan dapat dituliskan secara kuantitatif, misalnya sebagai tercantum dalam Appendix I.

Meskipun demikian kriteria ini tidak usah menjadi peraturan yang kaku, sebab ada pengembangan dalam teknologi keamanan dan perbedaan dalam komponen dan subsistem berbagai PLTN. Belum lagi kalau kita menginginkan agar kriteria ini juga berlaku bagi sistem reaktor cepat.

Prinsip-prinsip dasar dari kriteria keamanan :

2.a. Prinsip umum.

Untuk evaluasi dan analisa keamanan, sistem PLTN dibagi atas :

(1). Sistem proses yang meliputi peralatan dan komponen sistem yang diperlakukan bagi berfungsinya PLTN itu secara normal.