

ANALISIS LAJU PENGUAPAN PENDINGIN SEKUNDER DI MENARA PENDINGIN TRIGA 2000 BANDUNG

Dudung Abdul Razak, Reinaldy Nazar
Puslitbang Teknik Nuklir - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS LAJU PENGUAPAN PENDINGIN SEKUNDER DI MENARA PENDINGIN TRIGA 2000 BANDUNG. Data pengamatan suhu dan laju alir air pendingin sekunder, suhu bola kering serta suhu bola basah udara yang keluar-masuk kedua menara pendingin digunakan untuk menghitung laju penguapan air sekunder di reaktor TRIGA 2000 Bandung. Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa, laju penguapan air pendingin sekunder ketika reaktor TRIGA 2000 Bandung dioperasikan dengan daya 2000 kW sebesar 904,9 kg /jam atau 15,13 liter/ menit di menara pendingin utara, dan 851,2 kg/jam atau 14,26 liter/menit di menara pendingin selatan. Sehingga laju penguapan pendingin sekunder TRIGA 2000 Bandung sebesar 1756,1 liter / jam.

Kata kunci : Laju penguapan, menara pendingin , pendingin sekunder

ABSTRACT

SECONDARY COOLANT EVAPORATION RATE ANALYSIS ON THE COOLING TOWER OF THE BANDUNG TRIGA 2000. Data of flowrate and temperature of secondary coolant, as well as data of dry and wet ball inlet-outlet temperature of air both cooling towers are used to calculate the evaporation rate of secondary coolant on the Bandung TRIGA 2000 reactor. From the calculation, it can be concluded that, evaporation rate of secondary coolant when Bandung TRIGA 2000 reactor operated by 2000 kW power are equal to 904,9 kg / hour or 15,13 litre/minute in the north cooling tower, and 851,2 kg/hour or 14,26 litre/minute in the south cooling tower. So that the evaporation rate of secondary coolant of the Bandung TRIGA 2000 reactor equals to 1756,1 litre/hour.

Keyword : Evaporation rate, cooling tower, secondary cooling

PENDAHULUAN

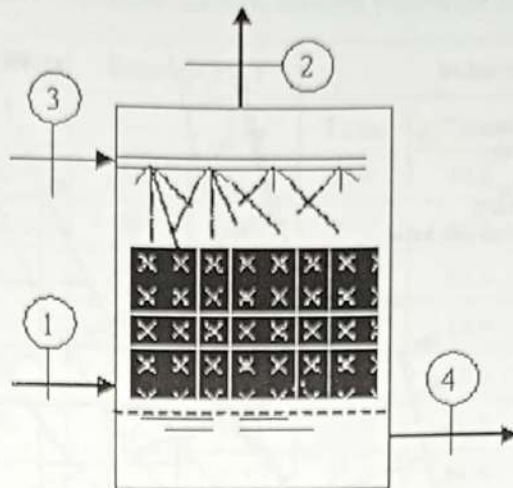
Upaya peningkatan tingkat keselamatan operasi reaktor dari sisi termohidrolika merupakan salah satu hal yang sangat penting. Namun ada kendala yang cukup besar dalam mewujudkan hal tersebut, yang salah satu diantaranya adalah penurunan efektivitas penukar panas (*heat exchanger*) karena timbulnya endapan di sisi sekundernya. Air pendingin sekunder banyak mengandung bahan yang mengendap di seluruh saluran pendingin sekunder reaktor TRIGA 2000 Bandung. Oleh sebab itu direncanakan akan dibuatnya sistem perlakuan air pendingin sekunder baik secara mekanik maupun secara kimia sekaligus sebagai sistem pengganti (*make-up*) air yang menguap di menara pendingin. Hal tersebut tentunya membutuhkan sistem demineralizer dengan laju produksi lebih besar daripada laju penguapan air sekunder di menara pendingin. Untuk mengetahui berapa besar laju produksi sistem demineralizer

yang dibutuhkan, diperlukan analisis laju penguapan air pendingin sekunder.

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui besarnya laju penguapan air pendingin sekunder di kedua menara pendingin, ketika reaktor dioperasikan dengan daya 2000 kW. Data pengamatan yang diperlukannya adalah: laju alir dan suhu pendingin sekunder yang masuk dan keluar tiap menara pendingin, suhu bola kering dan suhu bola basah udara yang masuk dan keluar tiap menara pendingin. Dengan menggunakan tabel suhu air jenuh dan diagram psikrometri, maka laju penguapan air pendingin sekunder di menara pendingin dapat diketahui.

TEORI

Skema menara pendingin ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema menara pendingin.

Dengan asumsi tidak ada pertukaran energi panas melalui dinding menara pendingin atau bagian lainnya kecuali pada :⁽¹⁾

1. Udara dan uap air masuk menara pendingin ,
2. Udara dan uap air keluar dari menara pendingin,
3. Air hangat dari HE (*Heat Exchanger*) masuk menara pendingin,
4. Air yang telah didinginkan keluar menara pendingin, serta diabaikannya perubahan energi kinetik dan energi potensial, maka menurut hukum pertama termodinamika akan diperoleh neraca energi :⁽²⁾

$$\dot{M}_{W3} h_3 + \dot{M}_{A1} h_{A1} + \dot{M}_{W1} h_{W1} = \dot{M}_{W4} h_4 + \dot{M}_{A2} h_{A2} + \dot{M}_{W2} h_{W2} \quad (1)$$

$$\dot{M}_{W3} h_3 - \dot{M}_{W4} h_4 = (\dot{M}_{A2} h_{A2} + \dot{M}_{W2} h_{W2}) - (\dot{M}_{A1} h_{A1} + \dot{M}_{W1} h_{W1})$$

Setelah dibagi dengan $\dot{M}_A = \dot{M}_{A1} = \dot{M}_{A2}$, karena seluruh massa udara yang masuk menara pendingin seluruh massa udara itupun keluar menara pendingin, maka persamaan (1) menjadi

$$\frac{\dot{M}_{W3} h_3 - \dot{M}_{W4} h_4}{\dot{M}_A} = (h_{A2} + \gamma_2 h_{W2}) - (h_{A1} + \gamma_1 h_{W1}) \quad (2)$$

dengan $\gamma = \frac{\dot{M}_W}{\dot{M}_A}$

Sedangkan dari neraca massa air diperoleh:

$$\dot{M}_{W3} + \dot{M}_{W1} = \dot{M}_{W4} + \dot{M}_{W2} \quad (3)$$

$$\dot{M}_{W3} - \dot{M}_{W4} = \dot{M}_{W2} - \dot{M}_{W1}$$

Setelah dibagi dengan \dot{M}_A , persamaan (3) menjadi :

$$\frac{\dot{M}_{W3} - \dot{M}_{W4}}{\dot{M}_A} = \gamma_2 - \gamma_1 \quad (4)$$

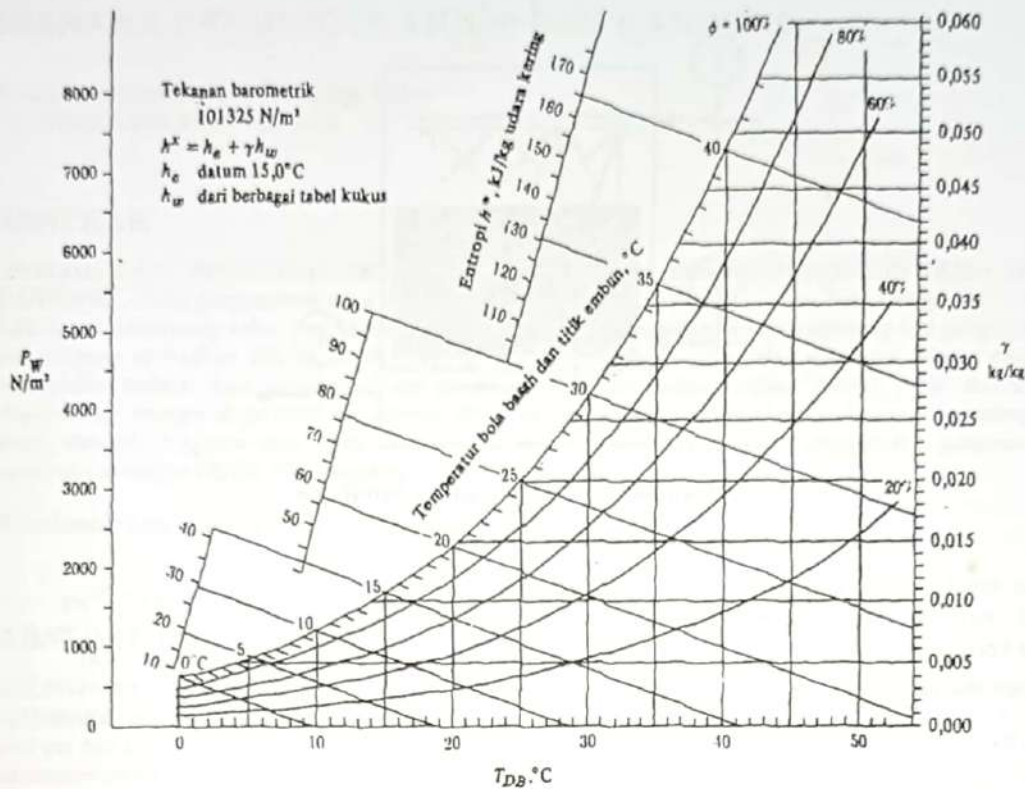
Persamaan (4) menunjukkan bahwa laju massa air pengganti (air susulan) persatuan massa udara sama dengan $\gamma_2 - \gamma_1$.⁽¹⁾ Laju massa air pengganti (air susulan) ini harus sama dengan laju massa air pendingin sekunder yang menguap dari menara pendingin. Walaupun \dot{M}_{W3} dan \dot{M}_{W4} berbeda, dan perbedaan itu kecil, maka persamaan (2) dapat didekati dengan asumsi $\dot{M}_{W3} \approx \dot{M}_{W4}$ sehingga diperoleh :⁽³⁾

$$\frac{\dot{M}_W}{\dot{M}_A} (h_3 - h_4) = h^*_{2} - h^*_{1} \quad (5)$$

Dari persamaan (5) dapat dihitung nilai \dot{M}_A kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan (4) untuk memperoleh nilai penguapan air sekunder di menara pendingin yaitu perbedaan antara \dot{M}_{W3} dan \dot{M}_{W4} :

$$\Delta \dot{M}_W = \dot{M}_{W3} - \dot{M}_{W4} = \dot{M}_A (\gamma_2 - \gamma_1) \quad (6)$$

Dengan menggunakan persamaan (5) dan (6), tabel suhu sifat H₂O, diagram psikrometri (Gambar 2), semua data pengamatan diolah dan dihitung untuk memperoleh laju penguapan air pendingin sekunder di menara pendingin.



Gambar 2. Diagram Psikrometri.

TATA KERJA

Reaktor TRIGA 2000 Bandung dioperasikan dengan daya bertahap dengan tangga 250 kW, mulai dari 250 kW hingga 2000 kW. Pengamatan dilakukan ketika reaktor beroperasi dengan daya tunak (*steady state*). Data yang diamati pada kedua menara pendingin adalah : suhu air masuk, suhu air keluar, suhu bola kering dan suhu bola basah udara masuk dengan cara menempatkan termometer di tempat masuknya udara yaitu kisi udara bagian bawah menara pendingin, suhu bola kering dan suhu bola basah udara yang keluar, dan laju alir air pendingin sekunder dengan cara menempatkan termometer di tempat keluarnya udara di atas fan, bagian atas menara pendingin. Debit air pendingin yang masuk kedalam masing-masing menara pendingin dianggap sama yaitu 3200 liter/menit.

Langkah-langkah perhitungan yang dilakukan adalah :

1. Dihitung laju aliran massa air yang masuk menara pendingin $\dot{M}_w = \dot{M}_{w3}$,

2. Dihitung enthalpi air yang masuk menara pendingin h_3 dan enthalpi air keluar, menara pendingin h_4 dengan menggunakan tabel suhu air jenuh,
3. Dengan menggunakan diagram psikrometrik diperoleh h_2^* dan h_1^*
4. Dengan persamaan (5) diperoleh laju aliran massa udara \dot{M}_a ,
5. Kelembaban spesifik udara yang masuk dan keluar menara pendingin (γ_1 dan γ_2) diperoleh dari diagram psikrometri,
6. Dengan menggunakan persamaan (6), laju penguapan air pendingin sekunder dapat dihitung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengamatan untuk menara pendingin utara dan menara pendingin selatan ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Pengamatan pada menara pendingin Utara.

Pengamatan	Daya (kW)	Suhu air (°C)		Suhu udara (°C)			
		T _{w3}	T _{w4}	T _{A1BK}	T _{A1BB}	T _{A2BK}	T _{A2BB}
1.	250	23,7	22,2	21,0	12,0	22,0	13,0
2.	500	26	23,7	21,5	12,5	23,5	14,5
3.	750	27,8	24,95	21,5	12,5	24,3	15,0
4.	1000	29,75	26,38	22,0	13,0	25,9	16,5
5.	1250	30,55	26,73	22,0	13,0	26,1	17,0
6.	1500	31,25	27,1	21,5	12,5	26,6	17,5
7.	1750	31,42	27,63	21,0	12,0	27,0	18,0
8.	2000	32,75	27,65	21,0	12,0	27,1	18,1

Tabel 2. Pengamatan pada menara pendingin Selatan.

Pengamatan	Daya (kW)	Suhu air (°C)		Suhu udara (°C)			
		T _{w3}	T _{w4}	T _{A1BK}	T _{A1BB}	T _{A2BK}	T _{A2BB}
1.	250	24,55	23,4	21,0	12,0	22,5	13,5
2.	500	26,1	24,6	21,5	12,5	23,5	14,2
3.	750	27,83	25,75	21,0	12,0	25,2	15,8
4.	1000	28,67	26,0	21,5	12,5	25,5	16,0
5.	1250	30,56	27,58	22,0	13,0	26,0	17,0
6.	1500	31,58	28,69	21,5	12,5	27,0	18,0
7.	1750	32,25	28,88	21,0	12,5	27,5	18,5
8.	2000	32,75	28,75	21,5	12,5	27,0	18,0

Data pengamatan pada Tabel 1 dan Tabel 2 digunakan untuk menghitung laju penguapan air pendingin sekunder di menara pendingin dengan menggunakan tabel suhu H₂O jenuh dan diagram psikrometri sesuai dengan langkah-langkah perhitungan yang sudah disebutkan.

Dari hasil perhitungan, terdapat perbedaan antara laju penguapan air pendingin di menara pendingin utara dan laju penguapan air pendingin di menara pendingin selatan. Laju penguapan air pendingin sekunder di menara pendingin utara sebesar 904,9 kg /jam atau 15,08 kg/menit atau 15,13 liter/ menit dan 851,2 kg/jam atau 14,19 kg/menit atau 14,26 liter/menit. Perbedaan ini disebabkan adanya perbedaan penunjukkan suhu air

pendingin oleh masing-masing termometer yang dipasang pada masing-masing jalur kedua menara pendingin. Begitu pula perbedaan itu disebabkan ketidak telitian pengukuran suhu udara.

Dengan anggapan debit air pendingin sekunder sama untuk kedua menara pendingin, tentu ada perbedaan walaupun sedikit yang cukup berpengaruh pada perhitungan dengan menggunakan diagram psikrometri.

Sesuai dengan tujuan analisis ini, laju penguapan pendingin sekunder TRIGA 2000 Bandung ditunjukkan pada Tabel 5, merupakan jumlah laju penguapan air pendingin sekunder di kedua menara pendingin.

Tabel 3. Hasil perhitungan laju penguapan air pendingin sekunder pada menara pendingin Utara.

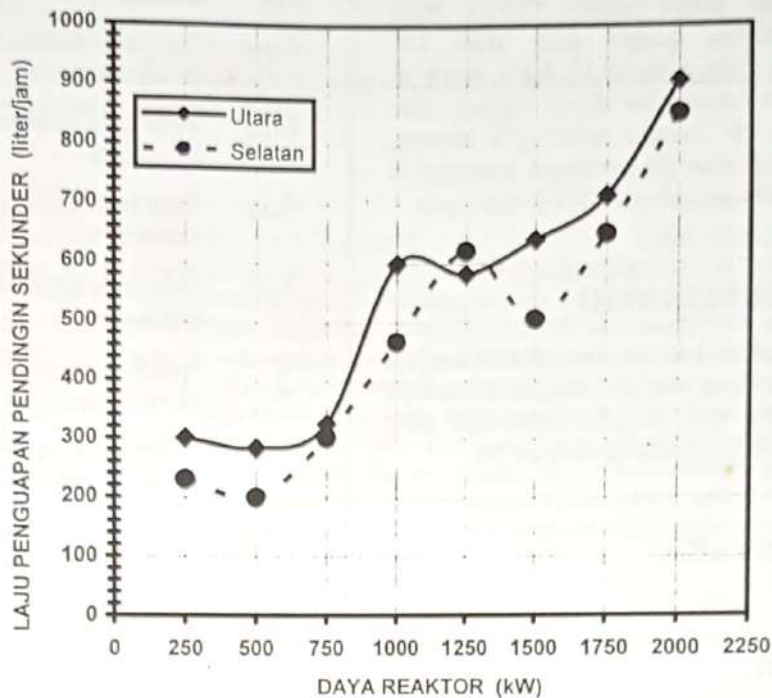
Daya (kW)	Bagian yang dihitung								
	\dot{M}_{w3} kg/s	h_{w3} kJ/kg	h_{w4} kJ/kg	γ_1	γ_2	h^*_1 kJ/kg	h^*_2 kJ/kg	\dot{M}_A kg/s	$\Delta\dot{M}_w$ kg/jam
250	53,15	99,44	93,14	0,005	0,006	33	37	83,71	301,4
500	53,13	109,1	99,44	0,006	0,007	36	42,5	78,80	283,7
750	53,11	116,6	104,7	0,006	0,007	36	43	90,39	325,4
1000	53,09	124,8	110,7	0,006	0,008	37	46	83,10	598,3
1250	53,08	128,1	112,1	0,006	0,008	37	47,5	80,71	581,1
1500	53,06	131,0	113,7	0,006	0,008	35	49	65,75	639,0
1750	53,06	131,7	115,9	0,006	0,010	34	51	49,44	712,0
2000	53,06	137,3	116,0	0,006	0,010	34	52	62,84	904,9

Tabel 4. Hasil perhitungan laju penguapan air pendingin sekunder pada menara pendingin Selatan.

Daya (kW)	Bagian yang dihitung								
	\dot{M}_{w3} kg/s	h_{w3} kJ/kg	h_{w4} kJ/kg	γ_1	γ_2	h^*_1 kJ/kg	h^*_2 kJ/kg	\dot{M}_A kg/s	$\Delta\dot{M}_w$ kg/jam
250	53,14	103,0	98,18	0,005	0,006	34	38	64,17	231,0
500	53,13	109,5	103,2	0,005	0,006	35	38	111,2	200,1
750	53,11	116,7	108,0	0,005	0,007	34	45	41,98	302,2
1000	53,10	120,2	109,1	0,006	0,009	35	51	37,04	466,7
1250	53,08	128,1	115,7	0,006	0,009	36	47,5	57,49	620,9
1500	53,05	132,4	120,3	0,006	0,009	35	51	40,07	504,9
1750	53,04	135,2	121,1	0,006	0,010	36	53	43,95	648,7
2000	53,03	137,3	120,6	0,006	0,010	35	50	59,11	851,2

Tabel 5. Laju penguapan pendingin sekunder TRIGA 2000 Bandung.

Daya Reaktor (kW)	Laju penguapan pendingin sekunder (liter / jam)			
	Menara Pendingin Utara	Menara Pendingin Selatan	Jumlah	
1.	250	301,4	231,0	532,4
2.	500	283,7	200,1	483,7
3.	750	325,4	302,2	627,6
4.	1000	598,3	466,7	1065,0
5.	1250	581,1	620,9	1202,0
6.	1500	639,0	504,9	1143,9
7.	1750	712,0	648,7	1360,7
8.	2000	904,9	851,2	1756,1



Gambar 3. Grafik laju penguapan pendingin sekunder terhadap daya reaktor.

Dari Tabel 5 dapat dibuat grafik antara laju penguapan pendingin sekunder dalam satuan liter / jam terhadap daya reaktor dalam satuan kW seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 terlihat bahwa grafik mempunyai kecenderungan meningkat sejalan dengan meningkatnya daya reaktor. Grafik mengalami penurunan ketika daya reaktor berubah dari 250 kW menjadi 500 kW dan dari 1250 kW menjadi 1500 kW, hal ini disebabkan turunnya suhu udara bola kering dan suhu udara bola basah yang mengakibatkan menurunnya laju penguapan air sekunder di dalam menara pendingin. Suhu udara sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca pada saat pengamatan dilakukan. Oleh sebab itu pengukuran dan pengamatan suhu udara masuk dan keluar menara pendingin harus dilakukan dalam berbagai kondisi cuaca.

Laju penguapan air pendingin sekunder di menara pendingin utara lebih besar daripada laju penguapan air pendingin sekunder di menara pendingin selatan, hal ini kemungkinan disebabkan karena laju aliran pendingin sekunder yang masuk menara pendingin utara lebih besar daripada yang masuk menara pendingin selatan, yang menjadi penyebabnya adalah jumlah kotoran dan endapan di

menara pendingin selatan dan salurannya lebih besar, walaupun keduanya dirancang mempunyai dimensi yang sama.

KESIMPULAN

Analisis laju penguapan pendingin sekunder dari menara pendingin dilakukan berdasarkan terdapatnya perbedaan antara suhu air pendingin sekunder masuk menara pendingin dengan suhu air pendingin sekunder keluar menara pendingin. Perbedaan ini menunjukkan adanya perbedaan energi yang dikandungnya, begitu pula terdapat perbedaan laju aliran massa pendingin sekunder masuk menara pendingin dan keluar menara pendingin, walaupun kecil. Perbedaan yang kecil ini dimanfaatkan dalam analisis untuk menghitung laju penguapan air sekunder per satuan massa udara, dengan asumsi bahwa kedua laju aliran massa tersebut di atas sama besar. Untuk selanjutnya perbedaan ini dihitung untuk memperoleh laju penguapan air pendingin sekunder. Data yang diperlukan dalam analisis adalah: suhu dan laju alir air pendingin sekunder, suhu bola kering dan suhu bola basah udara yang masuk dan keluar kedua menara pendingin.

Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa, laju penguapan air pendingin sekunder ketika reaktor TRIGA 2000 Bandung dioperasikan dengan daya 2000 kW sebesar 904,9 kg /jam atau 15,13 liter/ menit di menara pendingin utara, dan 851,2 kg/jam atau 14,26 liter/menit di menara pendingin selatan. Sehingga laju penguapan air pendingin sekunder di kedua menara pendingin sebesar 1756,1 liter / jam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan banyak terimakasih kepada para teknisi di bidang reaktor dengan selesainya laporan ini, begitu pula kepada siapa saja yang membantu kelancaran kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. REYNOLD WILLIAM C. dan PERKINS HENRY C., *Termodinamika Teknik*, Penerbit Erlangga, 1982.
2. HUANG FRANCIS F., *Engineering Thermodynamics*, Second Edition, Macmillan Publishing Company, 1988.
3. VAN WYLEN GORDON. J., *Thermodynamics*, John Wiley & Son, INC, 1959.

LAMPIRAN

Daftar Simbul Yang Digunakan

\dot{M}_{W3}	Laju aliran massa air masuk menara pendingin
\dot{M}_{W4}	Laju aliran massa air keluar menara pendingin

h_{W3}	Entalpi air masuk menara pendingin
h_{W4}	Entalpi air keluar menara pendingin
T_{A1BK}	Suhu bola kering udara masuk menara pendingin
T_{A1BB}	Suhu bola basah udara masuk menara pendingin
T_{A2HK}	Suhu bola kering udara keluar menara pendingin
T_{A2HH}	Suhu bola basah udara keluar menara pendingin
γ_1	Kelembaban spesifik udara masuk menara pendingin
γ_2	Kelembaban spesifik udara keluar menara pendingin
\dot{M}_{A1}	Laju aliran massa udara masuk menara pendingin
\dot{M}_{A2}	Laju aliran massa udara keluar menara pendingin
$\Delta \dot{M}_W$	Laju penguapan air di menara pendingin

TANYA JAWAB

Syarip

- Berapa besarnya spesifikasi teknik yang ditetapkan untuk pendingin sekunder?

Dudung AR.

- Spesifikasi teknik tiap menara pendingin masing-masing 2,5 MW termal, sehingga keduanya 5 MW termal dapat menarik energi panas dari HE (reaktor). Tiap menara pendingin sebetulnya dapat menangani reaktor TRIGA 2000.