

## UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN RSG GAS SETELAH REAKTOR PADAM

Sudiyono, A. Mariatmo

**ABSTRAK**

**UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN RSG-GAS SETELAH REAKTOR PADAM.**

Kemampuan sistem pendingin RSG GAS, masing-masing sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder dalam mengambil panas sisa saat setelah reaktor padam telah diuji dalam beberapa kondisi operasi daya. Sesaat setelah reaktor padam, di dalam teras reaktor masih terdapat sisa panas sebesar kira-kira 7% dari daya operasinya semula, sisa panas ini berasal dari hasil peluruhan produk fisi. Panas tersebut harus diambil/dibuang ke sistem pendingin reaktor, bila sistem pendingin tidak dioperasikan, maka suhu kolam reaktor dan suhu bahan bakar akan naik oleh karena itu sistem pendingin reaktor tetap terus dioperasikan untuk jangka waktu tertentu, hingga suhu kolam reaktor turun sampai sama atau mendekati dengan kondisi sebelum reaktor beroperasi. Pada penelitian ini dilakukan penentuan waktu/lama operasi sistem pendingin reaktor setelah reaktor beroperasi daya tinggi, konstan dan dalam jangka waktu yang lama. Dengan mengetahui waktu/lama operasi sistem pendingin reaktor setelah reaktor beroperasi daya tinggi, konstan dan dalam jangka waktu lama. Dengan mengetahui waktu/lama operasi sistem pendingin, maka pengoperasian sistem pendingin reaktor dilakukan secara optimal, efektif dan efisien. Hasil yang diperoleh adalah diperlukan waktu minimum 2,5 jam operasi sistem pendingin reaktor untuk mencapai agar suhu kembali pada kondisi sebelum reaktor beroperasi.

## PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna GA Siwabessy adalah reaktor penelitian, tipe kolam dengan daya nominal 30 MW (termal). Menggunakan bahan bakar U-235 dengan komposisi U308-Al, dengan pengkayaan 19,75%. Setiap bahan bakar standard mempunyai kandungan U-235 seberat 250 gram. Menggunakan 8 buah batang kendali yang terbuat dari paduan logam Ag In Cd.

Data teknik teras reaktor RSG GAS adalah sebagai berikut :

- Daya nominal	: 30 MW
- Jumlah elemen standard	: 40 buah
- Jumlah elemen kontrol	: 8 buah
- Jumlah batang kendali	: 8 buah
- Lama siklus operasi, daya penuh	: 25 hari
- Fraksi bakar pada BOC	: 23,3 %
- Fraksi bakar pada EOC	: 31,3 %
- Burn-up rerata elemen bahan bakar bekas	: 53,7 %
- Reaktivitas lebih teras pada BOC	: 9,2 %
- Reaktivitas batang kendali	: -14,5 %
- Reaktivitas padam	: -5,3 %
- Reaktivitas padam pada kondisi stuck rod	: -3,2 %

Penggunaan reaktor yang utama adalah produksi isotop disamping untuk melayani penelitian dengan metoda analisa aktivitas neutron, uji bahan dan permuliaan batu mulia. Setelah selesainya pemasangan alat "loading-unloading", baik yang otomatis maupun yang manual, pemasukan dan pengeluaran cuplikan dapat dilakukan dalam keadaan reaktor beroperasi daya tinggi, sehingga dengan demikian operasi reaktor dapat berlangsung terus tanpa henti selama siklus teras tersebut.

Pendingin reaktor RSG GAS menggunakan air ringan. Sistem pendingin primer, pada operasi normal menggunakan dua buah pompa yang dipasang paralel, mempunyai kapasitas total laju air mencapai 3200 m<sup>3</sup>/jam. Panas diambil dari teras reaktor dan dipindahkan ke sistem pendingin

70%. Secara garis besar proses pendinginan dalam sistem KLA-31 ini dapat diterangkan berdasar diagram pada Gambar 1, sebagai berikut:

- Udara dari sistem ventilasi KLA-10 dengan kondisi dan kelembaban pada titik (1) berkisar 15 - 19°C, kelembaban 80 - 90% disemprotkan kedalam ruangan dan bercampur dengan udara dalam ruang.
- Selanjutnya udara dalam ruang ini disirkulasikan dan didinginkan dengan mengalirkannya dalam sistem koil pendingin KLA-31 setelah terlebih dahulu dibersihkan melalui saluran udara.
- Kondisi udara pada sisi masuk koil (2) berkisar antara 23 - 24°C. Oleh permukaan koil pendingin yang temperaturnya lebih rendah dari pada titik embun udara, uap air udara akan mengembun pada permukaan koil sehingga kelembaban dan temperatur udara berkurang.
- Udara pada sisi keluaran koil (3) pada temperatur 15-19°C disirkulasikan keseluruhan ruangan sehingga tercapai kondisi ruang yang dipersyaratkan dengan temperatur 21 - 27°C dan kelembaban 60 - 70%.
- Pendinginan udara dalam koil ini dilakukan oleh air pendingin yang dilewatkan pada koil dengan kondisi air masuk 6°C dan keluar pada temperatur 12°C.
- Udara ruang ini pada titik dan kondisi (6) kemudian ditarik keluar cerobong setelah melalui beberapa saringan dan memenuhi beda tekanan yang dipersyaratkan.

## 2. Metoda dan Cara Perhitungan

### a. Penentuan harga desain dari faktor pemindah kalor ( $h_d$ )

Harga faktor pemindah kalor untuk kondisi desain ditentukan berdasar hubungan besaran parameter desain dari udara dan air pendingin yang ditentukan dengan rumus pendekatan untuk sistem pesawat pendingin sebagai berikut :

$$h_d = \frac{m_1 \cdot (T_1 - T_2)}{m \cdot (t_1 - t_2)} \quad (1)$$

$T_1$  = temperatur desain dari udara masuk, °C

$T_2$  = temperatur desain dari udara keluar, °C

$m_2$  = masa/ aliran udara masuk, kg/jam

$t_1$  = temperatur desain dari aliran pendingin masuk, °C

$t_2$  = temperatur desain dari aliran pendingin keluar, °C

$m_1$  = masa/ aliran air pendingin masuk, kg/jam

b. Penentuan harga faktor pemindah kalor pada kondisi operasi ( $h_o$ )

Berdasar cara kerja dan proses pendingin untuk unit koil diperoleh rumusan sebagai berikut:

Pada sisi aliran udara, beban pendingin pada koil dipakai untuk panas perubahan suhu udara dan kelembaban sehingga diperoleh persamaan:

$$Q + \Delta i \cdot V = h_{o1} \cdot v_u \cdot (i_2 - i_1)$$

diperoleh: 
$$h_{o1} = \frac{Q + \Delta i}{v_u \cdot (i_2 - i_1)} \quad (2)$$

Sedang dari sisi aliran pendingin beban pendingin diambil/ dipindahkan pada air yang mengalir dalam pipa, sehingga diperoleh persamaan:

$$Q + \Delta i \cdot V = v_a \cdot c_p \cdot h_{o2} \cdot (t_2 - t_1)$$

diperoleh: 
$$h_{o2} = \frac{Q + \Delta i}{v_a \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)} \quad (3)$$

dengan notasi,

$Q$  = beban kalor ruangan total, kW

$\Delta i$  = selisih entalpi udara masuk dan keluar ruangan, kJ/kg

$V$  = masa aliran udara masuk/keluar ruangan, kg/detik.

$v_u$  = masa aliran udara kedalam sistem/alat, kg/ detik

$c_p$  = kalor jenis air, kal/ kg.

$i_1$  = entalpi udara pada sisi masuk koil, kJ/kg.

$i_2$  = entalpi udara pada sisi keluar koil, kJ/kg.

$t_1$  = suhu masuk air pendingin, °C

$t_2$  = suhu keluar air pendingin, °C

2. Penentuan beban kalor

Beban kalor yang harus dipindahkan oleh sistem pendingin koil untuk menghasilkan kondisi ruang tertentu yang berupa panas sensibel dan panas laten, terdiri dari:

- Beban kalor perimeter yang berupa kalor yang masuk dari luar ruangan kedalam ruangan.
- Kalor yang bersumber didalam ruang itu sendiri.

Besarnya beban kalor ini dapat dihitung berdasar rumusan perhitungan beban kalor mesin pendingin dan tabel psikrometrik. Perincian perhitungan beban kalor ruangan dan perhitungannya disampaikan dalam perhitungan beban kalor ruangan.

## ATA KERJA

### 1. Peralatan dan Cara Pengambilan Data

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat ukur yang terpasang dan alat ukur portabel meliputi: alat ukur temperatur, kelembaban, dan alat ukur aliran untuk udara, alat ukur temperatur dan aliran untuk air pendingin.

Data operasi sistem pendingin diambil dilapangan dengan alat ukur portabel dan dengan pengamatan dari alat ukur terpasang. Pengambilan data dilakukan pada beberapa kondisi reaktor beroperasi dengan daya 22 MW meliputi data: temperatur, kelembaban dan aliran udara. Untuk data ruang yang berhubungan dengan beban kalor diambil dari data desain peralatan yang meliputi motor listrik, lampu-lampu, orang/pekerja dan kolam reaktor.

### 2. Data dan Perhitungan

#### a. Data dan perhitungan desain faktor pemindah kalor ( $h_a$ )

Data desain untuk ruang dan peralatan yang berkaitan dengan perhitungan sistem pendingin ini adalah sebagai berikut:

- Ruang balai operasi dengan luas dinding sebelah timur laut: 678 m<sup>2</sup>; sebelah tenggara: 502 m<sup>2</sup>; sebelah barat daya: 678 m<sup>2</sup>; sebelah barat laut: 678 m<sup>2</sup>; dan luas atap langit-langit: 130 m<sup>2</sup>.
- Ruang balai operasi digunakan untuk penelitian dengan rata-rata 8 orang pekerja bekerja secara rutin. didalam ruang ini terdapat kolam reaktor dengan operasi maksimum 30 MW dan beberapa lampu dengan daya sekitar 10 kW dan motor listrik dengan daya sekitar 50 kW.

Data desain sistem pendingin koil:

- Temperatur udara masuk :  $T_1 = 20 - 22^\circ\text{C}$
- Temperatur udara keluar :  $T_2 = 14 - 15^\circ\text{C}$
- Aliran udara :  $m_2 = 7,5 - 7,6 \text{ kg/det}$

- Temperatur air masuk :  $t_1 = 6^\circ\text{C}$
- Temperatur air keluar :  $t_2 = 12^\circ\text{C}$
- Aliran air  $v_a = 9 - 10 \text{ kg/det}$

Dari data desain sistem pendingin ini untuk kondisi optimal diperoleh harga desain faktor pemindah kalor ( $h_d$ ) berdasar rumus (1) sebagai berikut :

$$h_d = \frac{7,5 \cdot (22 - 14)}{11 \cdot (12 - 6)} = 0,91$$

b. Perhitungan beban kalor ruangan

#### Beban transmisi kalor sensibel melalui dinding dan atap

Beban kalor lewat dinding dan atap dihitung berdasar rumusan beban kalor untuk ruang dengan mengambil koefisien pemindah panas dari Tabel beban kalor, sedang luas dinding/atap diambil dari data ruangan dengan hasil sebagai berikut:

- Dinding sebelah timur laut:

$$Q_1 = (678 \times 10 \times 0,44) : 348,6 = 8,56 \text{ kW}$$

- Dinding sebelah tenggara:

$$Q_2 = (502 \times 12 \times 0,44) : 348,6 = 7,60 \text{ kW}$$

- Dinding barat daya:

$$Q_3 = (678 \times 18 \times 0,44) : 348,6 = 15,40 \text{ kW}$$

-Dinding barat laut:

$$Q_4 = (678 \times 17 \times 0,44) : 348,6 = 14,54 \text{ kW}$$

-Atap/ langit-langit:

$$Q_5 = (130 \times 26 \times 0,1) : 348,6 = 9,69 \text{ kW}$$

### Beban kalor sensibel dalam ruang

Perhitungan kalor ini juga menggunakan tabel dan rumusan beban kalor ruangan yang meliputi beban kalor untuk pekerja dan peralatan. Hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

-Beban kalor pekerja:  $Q_6 = \text{jumlah orang} \times \text{kalor sensibel orang}$

$$= 8 \times 300 : 3415 = 0,703 \text{ kW}$$

-Beban kalor motor:  $Q_7 = \text{daya} \times \text{faktor penggunaan alat}$

$$= 50 \times 0,6 = 30,00 \text{ kW}$$

-Beban kalor lampu:  $Q_8 = 20 \times 0,4 = 8,00 \text{ kW}$

-Beban kalor kolam reaktor :  $Q_9 = 380 \times 60 : 3415 = 6,68 \text{ kW}$

-Total panas sensibel =  $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = 101,17 \text{ kW}$

-Faktor keselamatan 1% = 1,02 kW

-Panas sensibel efektif = 102,19 kW

### Panas laten

- Pekerja :  $8 \times 400 : 3415 = 0,94 \text{ kW}$

- Kolam reaktor :  $380 \times 400 : 3415 = 44,50 \text{ kW}$

- Total panas laten =  $0,94 + 44,50 = 45,44 \text{ kW}$

- Faktor keselamatan 1% = 0,45 kW

- Panas laten efektif = 45,89 kW

- Total beban kalor ruang:  $Q = 102,19 + 45,89 = 148,08 \text{ kW}$

- Untuk perhitungan diambil harga beban kalor = 150 kW.

-Temperatur udara masuk  $T_1 = 20 - 22^\circ\text{C}$

-Temperatur udara keluar  $T_2 = 16 - 18^\circ\text{C}$

-Aliran udara  $m_a = 7,5 - 7,6 \text{ kg/det}$



c. Data dan perhitungan operasi KLA-31

Data operasi untuk temperatur sistem pendingin ruang KLA-10 dan KLA-20 diambil secara merata untuk titik pengukuran pada saluran masuk KLA-10 dan saluran keluar dari sistem pendingin ruangan balai operasi, sedang harga entalpi diambil dari tabel psikrometrik dengan data sebagai berikut:

- Temperatur masuk ruang :  $T_m = 17^\circ\text{C}$
- Kelembaban :  $x_m = 95\%$
- Entalpi :  $i_m = 50 \text{ kJ/kg}$
- Temperatur keluar ruang :  $T_k = 26^\circ\text{C}$
- Kelembaban :  $x_k = 70\%$
- Entalpi :  $i_k = 60 \text{ kJ/kg}$
- Aliran udara :  $V = 8.000 \text{ m}^3/\text{jam}$

Data operasi sistem pendingin KLA-31 yang meliputi : temperatur, aliran, kelembaban dan entalpi untuk berbagai tempat pengukuran/pengamatan dan hasil perhitungan untuk harga faktor pemindah kalor ( $h_{01}$  dan  $h_{02}$ ) disajikan dalam Tabel 1, dengan keterangan/notasi sebagai berikut:

- $v_u$  = kecepatan aliran udara masuk ke sistem koil KLA-31
- $T_{1b}$  = temperatur bola basah ( wet bulb) udara masuk koil sistem KLA-31
- $T_{1k}$  = temperatur bola kering (dry bulb) udara masuk sistem koil KLA-31
- $x_1$  = kelembaban udara pada sisi masuk koil
- $T_{2b}$  = temperatur bola basah udara keluar koil
- $T_{2k}$  = temperatur bola kering sisi keluar koil
- $x_2$  = kelembaban udara pada sisi keluar koil
- $v_a$  = kecepatan aliran air pendingin
- $t_1$  = temperatur air masuk koil
- $t_2$  = temperatur pada sisi keluar koil.

Data pengukuran dan pengamatan diambil 10 kali untuk reaktor beroperasi pada 22 MW dari tanggal 10 Juli 1995 sampai dengan 19 Nopember 1995. Perhitungan untuk harga  $h_{01}$  dan  $h_{02}$  dilakukan berdasar rumus (3) dan (4) sedangkan harga-harga entalpi dan kelembaban ditentukan berdasar diagram psikrometrik. Hasil perhitungan rata-rata untuk faktor pendingin alat adalah:  $h_{01} = 0,75$  dan  $h_{02} = 0,73$ .

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan untuk harga faktor kemampuan operasi sistem pendingin KLA-31 adalah:  $h_d = 0,92$ ,  $h_{01} = 0,75$  ( $0,80 \times h_d$ ), dan  $h_{02} = 0,73$  ( $0,79 \cdot h_d$ ). Dari hasil ini dapat dinyatakan bahwa kemampuan operasi sistem KLA-31 cukup baik, yaitu mampu beroperasi dengan kemampuan sebesar 80% kemampuan desain. Dari proses kerja dan perhitungan faktor pemindah kalor ini dapat diketahui bahwa unjuk kerja sistem pendingin balai operasi dapat ditingkatkan dengan mengatur kondisi operasi atau dengan melakukan suatu tindakan perawatan pada sistem KLA-31. Peningkatan unjuk kerja ini dapat dilakukan dengan mengatur besaran operasi dan perbaikan/peningkatan sisi saluran udara dan saluran air pendingin.

Tindakan perawatan pada sisi saluran udara dapat dilakukan dengan membersihkan sirip-sirip pipa, sedang pada sisi air pendingin dapat dilakukan dengan pembersihan pipa pendingin sehingga tahanan aliran berkurang dan harga faktor pendinginan serta unjuk kerja peralatan akan meningkat. Parameter operasi dari KLA-31 yang berpengaruh untuk meningkatkan unjuk kerjanya adalah : aliran udara ( $v_u$ ), temperatur udara masuk koil ( $T_{11}$ ), temperatur air pendingin ( $t_1$ ) dan aliran pendingin ( $v_a$ ). Untuk menaikkan harga aliran udara masuk dapat dilakukan dengan menaikkan putaran poros blower, akan tetapi harga ini sangat terbatas dengan kemampuan/daya dari blower, mengingat kenaikan putaran ini akan berbanding dengan pangkat tiga dari kenaikan daya. Disamping itu naiknya harga aliran udara akan berakibat temperatur dan kelembaban udara yang masuk koil akan berubah sehingga kondisi ruangan juga akan berubah. Perubahan kondisi udara dalam ruang ini juga bergantung dari hasil campuran dengan udara yang masuk ruang dari KLA-10. Dengan demikian penambahan harga

aliran udara dapat dilakukan untuk menaikkan unjuk kerja, akan tetapi sangat bergantung pada kondisi diluar sistem dan untuk perhitungan diperlukan data hasil sebaran dari percampuran udara dalam ruang. Faktor lain untuk menaikkan unjuk kerja dapat dilakukan dengan menaikkan temperatur dan aliran masuk air pendingin. Berdasar data operasi, temperatur masuk air pendingin sudah sesuai data desain, sedang aliran pendingin masih mampu dinaikkan. Untuk menaikkan batas harga aliran pendingin juga perlu dilakukan perhitungan karena kenaikan harga aliran pendingin akan mengubah kemampuan pemindahan panas laten dan panas sensibel, sehingga kesetimbangan dari kondisi udara pada masing-masing tempat akan berubah. Untuk perhitungan ini biasanya dilakukan dengan metoda tebak ulang (trial and error) dengan berdasar grafik psikrometrik, akan tetapi data sebaran udara dalam ruang juga ikut berpengaruh.

#### KESIMPULAN

Analisis unjuk kerja sistem pendingin udara balai operasi RSG-GAS dapat dilakukan dengan menghitung kemampuan operasi sistem pendingin KLA-31. Hasil perhitungan menyatakan bahwa unjuk kerja peralatan cukup baik yaitu mampu beroperasi dengan kondisi sekitar 80% dari kondisi desain. Untuk meningkatkan unjuk kerja sistem pendingin dapat dilakukan dengan tindakan perawatan pada saluran udara dan saluran pendingin sistem KLA-31. Disamping itu dapat dilakukan peningkatan kemampuan operasi dengan mengatur aliran udara dan aliran air pendingin sehingga tercapai kondisi operasi yang optimal, yaitu dengan perhitungan berdasar diagram psikrometrik dan data sebaran udara dalam ruang.

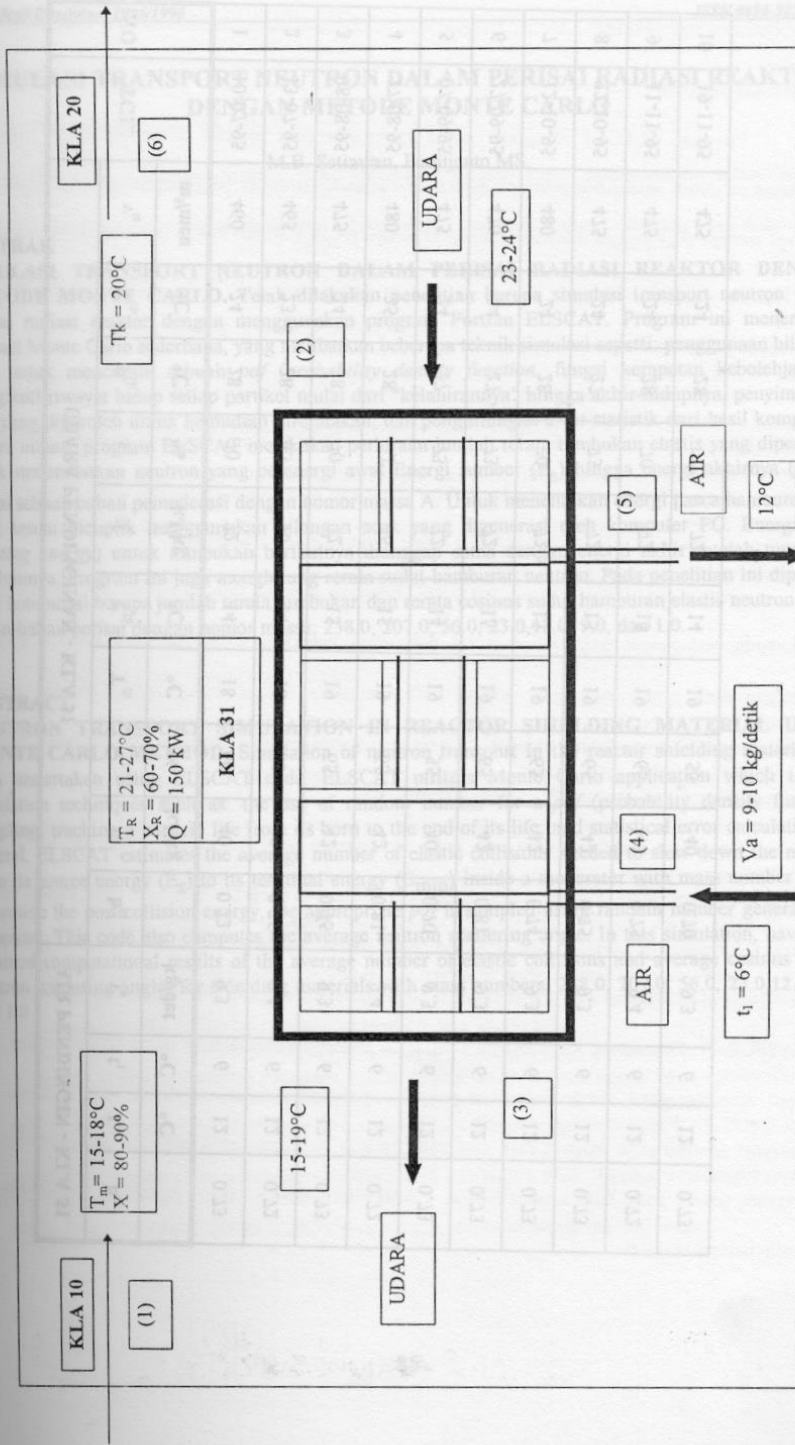
**UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terimakasih kepada teknisi Subbidang Keselamatan Umum dan teknisi Subbidang Sistem Bantu-PRSG yang telah membantu melakukan pengambilan data di lapangan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- WIRANTO ARISMUNANDAR, "Penyegaran udara", PT Pradnya Paramita, Jakarta, (1981)
- ANONIM, "System Description of Ventilation Plant and Chilled water supply", Interatom GmbH, (1992)
- WILBERT F.STOCKER-SUPRATMAN HARA, "Refrigerasi dan pengkondisian udara", Penerbit Erlangga, (1992)





Gambar 1. Diagram Proses Pendinginan KLA 31 di Ruang Balai Operasi

TABEL 1. DATA PARAMETER OPERASI KLA 31 DAN HASIL PERHITUNGAN HARGA  $h_{01}$  dan  $h_{02}$

NO	TGL	UDARA PENDINGINAN - KLA 31										AIR PENDINGIN - KLA 31			
		$v_a$	$T_{db}$	$T_{wb}$	$s_a$	$i_a$	$T_{da}$	$T_{da}$	$s_a$	$i_a$	$h_{01}$	$v_c$	$t_c$	$t_c$	$h_{02}$
		m <sup>3</sup> /men	°C	°C	%	kJ/kg	°C	°C	%	kJ/kg		kg/det	°C	°C	
1	10-07-95	460	24	28	70	72	14	18	60	40	0.72	9.3	6	12	0.73
2	13-07-95	465	23	28	65	70	14	18	60	40	0.75	9.4	6	12	0.72
3	08-08-95	475	24	28	70	72	15	19	65	42	0.75	9.3	6	12	0.73
4	27-08-95	480	25	28	72	76	15	19	65	42	0.81	9.4	6	12	0.72
5	07-09-95	475	24	27	73	72	14	19	55	40	0.70	9.3	6	12	0.73
6	27-09-95	470	24	27	73	72	15	19	65	42	0.81	9.3	6	12	0.73
7	12-10-95	480	24	28	70	72	15	19	65	42	0.74	9.3	6	12	0.73
8	22-10-95	475	24	27	73	72	15	19	65	42	0.75	9.3	6	12	0.73
9	11-11-95	475	24	28	70	72	15	19	65	42	0.75	9.4	6	12	0.72
10	19-11-95	475	24	28	70	72	14	19	55	40	0.70	9.3	6	12	0.73

