

## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### 4.1. Perhitungan Catu Kalor (Q) dan Efektivitas ( $\epsilon$ ) HPH 7

##### 4.1.1. Perhitungan HPH 7 Data *Comisioning Rendall* Operasi

Berdasarkan data *commisioning* yang diperoleh pada CCR PLTU Indramayu melihat *load sheet* di tunjukkan tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Data Proses HPH 7 *comisioning*

Parameter / Item	Satuan	Data Komisioning
<i>Load</i>	MW	337,58
<i>Feedwater T,in</i>	C	212,41
<i>Feedwater T,out</i>	C	251,06
<i>Feedwater flow</i>	t/h	991,42
<i>Feedwater pressure</i>	MPa	19,10
<i>Extraction steam T,in</i>	C	334,74
<i>Drain heater T,out</i>	C	222,36
<i>Extraction steam pressure</i>	MPa	4,21

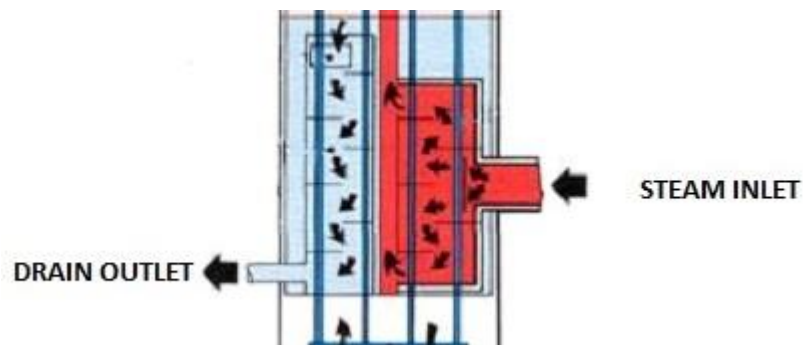
Diketahui data spesifikasi HPH 7 sebagai berikut:

- D luar *tube* = 18 mm
- D dalam *tube* = 14 mm
- Ketebalan *tube* = 2 mm
- Jumlah *tube* = 900
- Luasan perpindahan panas total = 925 m<sup>2</sup>
- Luasan desuper heating zone = 105 m<sup>2</sup>
- Luasan condensing zone = 738 m<sup>2</sup>
- Luasan drain cooling zone = 82 m<sup>2</sup>
- Material *tube* = 16Mo3

1) Mencari *enthalpy spesifik* sisi *steam*

Dalam perhitungan ini digunakan tabel uap dari buku *Fundamentals Engineering Thermodynamic 7<sup>th</sup>*.

Jalur sisi masuk dan keluaran *steam* di tunjukkan pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Jalur sisi masuk dan keluaran *steam commissioning*

a. Sisi masuk *steam*

Harga *enthalpy spesifik* ( $h$ ) dapat dicari menggunakan (Tabel A-4 terlampir)

$$P_h = 4,21 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 334,74 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 4 Mpa dan 6 MPa sedangkan temperatur berada di antara 320 °C dan 360 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga *enthalpy spesifik* Pada tekanan 4 MPa

**Tabel 4.2** Parameter  $h_1'$  *commissioning*

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 40 \text{ bar} = 4.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 250.4^\circ\text{C}$ )				
320	0.06199	2767.4	3015.4	6.4553
360	0.06788	2845.7	3117.2	6.6215

$$h_1' = \frac{(T - T^l)(h'' - h^l)}{(T'' - T^l)} + h^l$$

$$h_1' = \frac{(334,74 - 320)(3117,2 - 3015,4)}{(360 - 320)} + 3015,4 = 3052,931 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 6 MPa

**Tabel 4.3** Parameter  $h_1''$  commissioning

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 60 \text{ bar} = 6.0 \text{ MPa}$ $(T_{\text{sat}} = 275.64^\circ\text{C})$			
0.03876	2720.0	2952.6	6.1846
0.04331	2811.2	3071.1	6.3782

$$h_1'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_1'' = \frac{(334,74-320)(3071,1-2952,6)}{(360-320)} + 2952,6 = 2996,288 \text{ kJ/kg}$$

dengan mengetahui harga *enthalpy specific* pada tiap tekanan maka harga *enthalpy specific* data *commissioning* adalah

$$h_1 = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_1 = \frac{(4,21-4)(2996,288-3052,931)}{(6-4)} + 3052,931 = 3046,94 \text{ kJ/kg}$$

b. Sisi keluar *steam*

Harga *enthalpy specific* ( $h$ ) dapat dicari menggunakan (Tabel A-5 terlampir)

$$P_h = 4,21 \text{ MPa}$$

$$T_2 = 222,36 \text{ }^\circ\text{C}$$

Mencari *enthalpy specific* sisi *out drain* (Tabel A-5 terlampir)

Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 2,5 MPa dan 5 MPa sedangkan temperatur berada di antara 220 °C dan 260 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga *enthalpy specific*.

Pada tekanan 2,5 MPa

**Tabel 4.4** Parameter  $h_2'$  commissioning

$T$ °C	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 25 \text{ bar} = 2.5 \text{ MPa}$ $(T_{\text{sat}} = 223.99^\circ\text{C})$				
220	1.1898	940.7	943.7	2.5174
Sat.	1.1973	959.1	962.1	2.5546

$$h_2' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_2' = \frac{(222,36-220)(962,1-943,7)}{(260-220)} + 943,7 = 944,790 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 5 MPa

**Tabel 4.5** Parameter  $h_2''$  *commissioning*

$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 50 \text{ bar} = 5.0 \text{ MPa}$ $(T_{\text{sat}} = 263.99^\circ\text{C})$			
1.1866	938.4	944.4	2.5128
1.2859	1147.8	1154.2	2.9202

$$h_2'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_2'' = \frac{(222,36-220)(1154,2-944,4)}{(260-220)} + 944,4 = 956,829 \text{ kJ/kg}$$

dengan mengetahui harga *enthalpy specific* pada tiap tekanan maka harga *enthalpy spesific data commissioning* adalah

$$h_2 = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_2 = \frac{(4,21-2,5)(956,289-944,790)}{(5-2,5)} + 944,79 = 953,03 \text{ kJ/kg}$$

- c. Mencari temperatur pengembunan ( $T_{\text{sat}}$ )

Harga  $T_{\text{sat}}$  dapat diketahui dengan melihat (Tabel A-3 terlampir)

$$P_h = 4,21 \text{ MPa} = 42,1 \text{ bar}$$

Tekanan berada di antara 40 bar dan 45 bar sehingga untuk mencari

harga  $T_{\text{sat}}$  dapat dicari menggunakan interpolasi.

**Tabel 4.6** Parameter  $T_{\text{saturasi}}$  *commissioning*

Press. bar	Temp. °C
40.0	250.4
45.0	257.5

$$T_{\text{sat}} = \frac{(P-P')(T_{\text{sat}'}-T_{\text{sat}''})}{(P''-P')} + T_{\text{sat}''}$$

$$T_{\text{sat}} = \frac{(4,21-4)(257,5-250,4)}{(4,5-4)} + 250,4 = 253,40 \text{ }^\circ\text{C}$$

d. Mencari *enthalpy specific* pada  $T_{\text{sat}}$

Harga *enthalpy specific* fluida dicari menggunakan (Tabel A-2 terlampir)

$$T_{\text{sat}} = 253.40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai  $T_{\text{sat}}$  berada di antara temperatur 250 °C dan 260 °C sehingga perlu dilakukan interpolasi. Pada kondisi ini nilai *enthalpy specific* yang dicari ada dua yaitu  $h_{\text{sat},f}$  dan  $h_{\text{sat},g}$ .

**Tabel 4.7** Parameter  $h_{\text{sat},f}$  dan  $h_{\text{sat},g}$  *commissioning*

Temp. °C		Press. bar	Specific Volume $\text{m}^3/\text{kg}$		Internal Energy $\text{kJ}/\text{kg}$		Enthalpy $\text{kJ}/\text{kg}$			Entropy $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$		Temp. °C
Temp. °C	Press. bar	Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor $v_g$	Sat. Liquid $u_f$	Sat. Vapor $u_g$	Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$	Sat. Liquid $s_f$	Sat. Vapor $s_g$	Temp. °C	
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250	
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260	

Mencari nilai  $h_{\text{sat},f}$

$$h_{\text{sat},f} = \frac{(T - T') (h_{\text{sat},f'} - h_{\text{sat},f''})}{(T'' - T')} + h_{\text{sat},f'}$$

$$h_{\text{sat},f} = \frac{(253,40 - 250)(1134,4 - 1085,4)}{(260 - 250)} + 1085,4 = 1102,08 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai  $h_{\text{sat},g}$

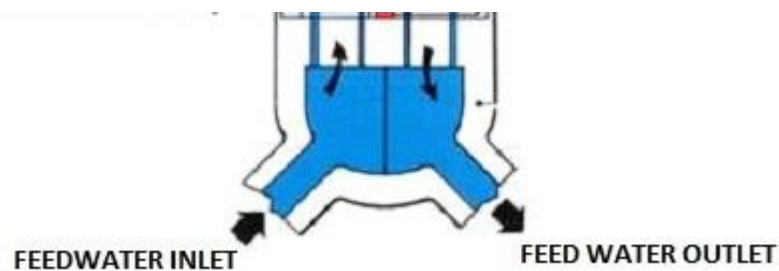
$$h_{\text{sat},g} = \frac{(T - T') (h_{\text{sat},g'} - h_{\text{sat},g''})}{(T'' - T')} + h_{\text{sat},g'}$$

$$h_{\text{sat},g} = \frac{(253,40 - 250)(2796,6 - 2801,5)}{(260 - 250)} + 2801,5 = 2799,832 \text{ kJ/kg}$$

2) Mencari *enthalpy specific* sisi *feedwater*

Dalam perhitungan ini digunakan tabel uap dari buku *Fundamentals Engineering Thermodynamic 7<sup>th</sup>*.

Jalur sisi masuk dan keluaran *feedwater* di tunjukkan pada gambar 4.8.



**Gambar 4.2** Jalur sisi masuk dan keluaran *feedwater commissioning*

a. Sisi masuk *feedwater*

Harga *enthalpy specific* ( $h$ ) dapat dicari menggunakan (Tabel A-5 terlampir)

$$P_c = 19,109 \text{ MPa}$$

$$T_A = 212,41 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 15 MPa dan 20 MPa sedangkan temperatur berada di antara 180 °C dan 220 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga *enthalpy spesific*

**Tabel 4.8** Parameter  $h_A'$  dan  $h_A''$  *commisioning*

$T$ °C	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 150 \text{ bar} = 15.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 342.24^\circ\text{C}$ )				$p = 200 \text{ bar} = 20.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 365.81^\circ\text{C}$ )				
180	1.1159	753.76	770.50	2.1210	1.1120	750.95	773.20	2.1147
220	1.1748	929.9	947.5	2.4953	1.1693	925.9	949.3	2.4870

Pada tekanan 15 MPa

$$h_A' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_A' = \frac{(212,41-180)(947,5-770,5)}{(220-180)} + 770,5 = 913,95 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 20 MPa

$$h_A'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_A'' = \frac{(212,41-180)(949,3-773,2)}{(220-180)} + 773,2 = 915,92 \text{ kJ/kg}$$

dengan mengetahui harga *enthalpy spesific* pada tiap tekanan maka harga *enthalpy spesific* data *commisioning* adalah

$$h_A = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_A = \frac{(19,10-15)(915,92-913,95)}{(20-15)} + 913,95 = 915,57 \text{ kJ/kg}$$

b. Sisi keluar *feedwater*

Harga *enthalpy spesific* ( $h$ ) dapat dicari menggunakan (Tabel A-5 terlampir)

$$P_c = 19,109 \text{ MPa}$$

$$T_D = 251,06 \text{ }^\circ\text{C}$$

Mencari *enthalpy specific* sisi *out drain* (Tabel A-5 terlampir)

Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 15 MPa dan 20 MPa sedangkan temperatur berada di antara 220 °C dan 260 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga *enthalpy specific*

**Tabel 4.9** Parameter  $h_D'$  dan  $h_D''$  *commisioning*

$T$ °C	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 150 \text{ bar} = 15.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 342.24^\circ\text{C}$ )					$p = 200 \text{ bar} = 20.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 365.81^\circ\text{C}$ )			
220	1.1748	929.9	947.5	2.4953	1.1693	925.9	949.3	2.4870
260	1.2550	1114.6	1133.4	2.8576	1.2462	1108.6	1133.5	2.8459

Pada tekanan 15 MPa

$$h_D' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_D' = \frac{(251,06-220)(1133,4-947,5)}{(260-220)} + 947,5 = 1091,89 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 20 MPa

$$h_D'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_D'' = \frac{(251,06-220)(1135,5-949,3)}{(260-220)} + 949,3 = 1092,37 \text{ kJ/kg}$$

dengan mengetahui harga *enthalpy specific* pada tiap tekanan maka harga *enthalpy specific* data *commisioning* adalah

$$h_D = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_D = \frac{(19,109-15)(1091,89-1092,37)}{(20-15)} + 1091,89 = 1092,28 \text{ kJ/kg}$$

3) Menghitung laju aliran uap

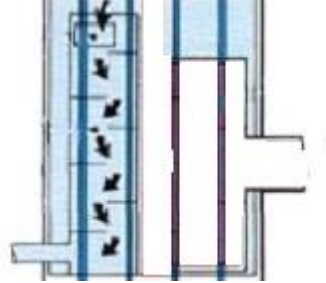
$$\dot{m}_s (h_1 - h_2) = \dot{m}_w (h_D - h_A)$$

$$\dot{m}_s = \dot{m}_w \frac{(h_D - h_A)}{(h_1 - h_2)}$$

$$\dot{m}_s = 275,39 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \frac{(1092,28 - 915,57) \text{ kJ/kg}}{(3046,94 - 953,03) \text{ kJ/kg}} = 23,24 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4) Perhitungan *subcooling zone*

Zona perpindahan panas *subcooling* HPH 7 di tunjukkan pada gambar 4.11.



**Gambar 4.3** Zona perpindahan panas *subcooling* HPH 7 *commisioning*

a. Menghitung laju perpindahan panas ( $Q$ )

$$Q_s (\text{drain cooling zone}) = \dot{m}_s (h_{\text{sat},f} - h_2)$$

$$Q_s (\text{drain cooling zone}) = 23,24 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1102,08 - 953,03) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_s (\text{drain cooling zone}) = 3464,22 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 3464,22 \text{ kW}$$

Menghitung *enthalpy spesific out feedwater* pada *drain cooling zone*

$$Q_s (\text{drain cooling zone}) = Q_w (\text{drain cooling})$$

$$\dot{m}_s (h_{\text{sat},f} - h_2) = \dot{m}_w (h_B - h_A)$$

$$h_B = \frac{Q_s}{\dot{m}_w} + h_A$$

$$h_B = \frac{3464,22 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{275,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} + 915,57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_B = 928,14 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

b. Mencari temperatur *out feedwater*

Distribusi temperatur yang terjadi pada *subcooling zone* dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Distribusi temperatur *subcooling zone*

Zona Perpindahan Panas	Hot		Cold	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>in</i>	<i>Out</i>
<i>Subcooling zone</i>	$T_{\text{sat}}$	$T_2$	$T_A$	$T_B$

Dalam mencari  $T_B$  dapat dicari menggunakan tabel (A-2 terlampir) dengan nilai  $h_B$ . Pada tabel 4.11 ditampilkan distribusi temperatur  $T_B$  terhadap *enthalpy spesific data commisioning*.



**Tabel 4.11** Distribusi Temperatur  $T_B$  terhadap *enthalpy spesifik* data komisioning

Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	<i>Enthalpy spesifik</i> (KJ/kg)
210	897,76
$T_B$	928,12
220	943,62

$$T_B = \frac{(h-h')(T''-T')}{(h''-h')} + T'$$

$$T_B = \frac{(928,12-897,76)(220-210)}{(943,62-897,76)} + 210 = 216,62 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Setelah nilai  $T_B$  diketahui kemudian tentukan kapasitas fluida dingin dan fluida panas:

$$C_s = \frac{Q_s (\text{drain cooling})}{(T_B - T_A)} = \frac{3464,22 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(216,62 - 212,41)^{\circ}\text{C}} = 111,62 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$C_w = \frac{Q_w (\text{drain cooling})}{(T_{\text{sat}} - T_2)} = \frac{3464,22 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(253,40 - 222,36)^{\circ}\text{C}} = 823,18 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Sehingga,

$$C_s < C_w$$

$$C_s = C_{\text{min}}$$

$$C_w = C_{\text{max}}$$

c. Menghitung  $Q_{\text{max}}$

$$Q_{\text{max}} = C_{\text{min}} (T_{\text{sat}} - T_A)$$

$$Q_{\text{max}} = 111,62 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}} (253,40 - 212,41) \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{max}} = 4575,05 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 4575,05 \text{ kW}$$

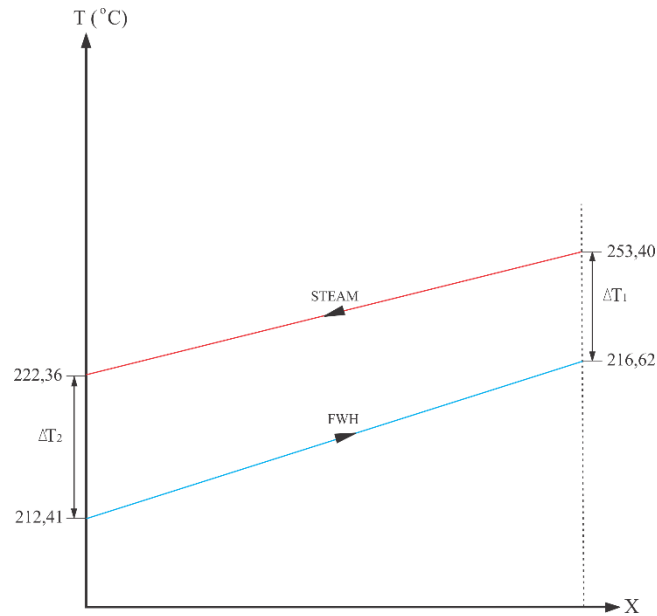
d. Menghitung  $\varepsilon$

Nilai efektifitas dari *drain cooling zone* HPH 7 dapat diperoleh

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\text{max}}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{3464,22 \text{ kW}}{4575,09 \text{ kW}} \times 100\% = 75,71\%$$

- e. Menghitung perbedaan temperatur rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ )  
Distribusi temperatur ditunjukkan pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Distribusi temperatur *subcooling commissioning*

$$\Delta T_1 = T_{sat} - T_B$$

$$\Delta T_1 = (253,40 - 216,62) \text{ } ^\circ\text{C} = 36,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T_A$$

$$\Delta T_2 = (222,36 - 212,41) \text{ } ^\circ\text{C} = 9,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{36,78 - 9,95}{\ln\left(\frac{36,78}{9,95}\right)} = 20,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Setelah nilai  $\Delta T_{LMTD,CF}$  diketahui kemudian dicari nilai faktor koreksi

(F) dengan memperhatikan nilai P dan R.

$$P = \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{216,62 - 212,41}{253,40 - 212,41} = 0,102$$

$$R = \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{253,40 - 222,36}{216,62 - 212,41} = 7,372$$

Dengan melihat grafik terlampir nilai faktor koreksi adalah 1

$$LMTD = LMTD \times F$$

$$LMTD = 20,52 \text{ } ^\circ\text{C} \times 1 = 20,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

f. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}$$

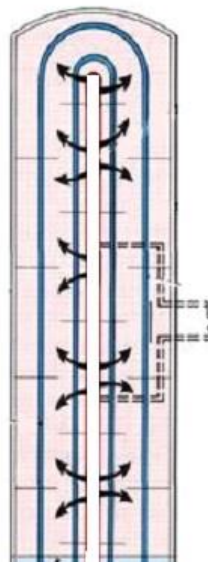
$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$U = \frac{3464,22 \text{ kW}}{82 \text{ m}^2 \times 1 \times 20,52^\circ\text{C}}$$

$$U = 2,05 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 2058,58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

5) Perhitungan *condensing zone*

Zona perpindahan panas *condensing* HPH 7 di tunjukkan pada gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Zona perpindahan panas *condensing* HPH 7 *commisioning*

a. Menghitung laju perpindahan panas (Q)

Karena pada daerah *condensing zone* bekerja pada tekanan konstan (4,21 MPa), maka untuk laju perpindahan panasnya dapat dicari dari selisih *enthalpy spesific* dengan perkalian laju aliran massa *steam*.

$$h_{\text{sat},f} = 1102,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{\text{sat},g} = 2799,83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_s (\text{condensing zone}) = \dot{m}_s \times h_{fg}$$

$$Q_s (\text{condensing zone}) = \dot{m}_s (h_{\text{sat},g} - h_{\text{sat},f})$$

$$Q_s (\text{condensing zone}) = 23,24 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (2799,83 - 1102,08) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_s (\text{condensing zone}) = 39459,85 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 39459,85 \text{ kW}$$

Menghitung *enthalpy spesifik out feedwater* pada *condensing zone*

$$Q_s (\text{condensing}) = Q_w (\text{condensing})$$

$$\dot{m}_s (h_{\text{sat,g}} - h_{\text{sat,f}}) = \dot{m}_w (h_C - h_B)$$

$$h_C = \frac{Q_s}{\dot{m}_w} + h_B$$

$$h_C = \frac{39459,85 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{275,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} + 928,14 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_C = 1071,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

b. Mencari temperatur *out feedwater*

Distribusi temperatur yang terjadi pada *condensing zone* dapat dilihat pada tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Distribusi temperatur *condensing zone*

Zona Pindahan Panas	Hot		Cold	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Subcooling zone</i>	T <sub>sat</sub>	T <sub>sat</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>

Dalam mencari T<sub>C</sub> dapat dicari menggunakan tabel (A-2 terlampir) dengan nilai h<sub>C</sub>. Pada tabel 4.13 ditampilkan distribusi temperatur T<sub>C</sub> terhadap *enthalpy spesifik data commissioning*.

**Tabel 4.13** Distribusi Temperatur T<sub>C</sub> terhadap *enthalpy spesifik data komisioning*

Temperatur (°C)	<i>Enthalpy spesifik</i> (kJ/kg)
240	1037,3
T <sub>C</sub>	1071,43
250	1085,4

$$T_C = \frac{(h-h')(T''-T')}{(h''-h')} + T'$$

$$T_C = \frac{(1071,43-1037,3)(240-250)}{(1085,4-1037,3)} + 240 = 247,09 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Menghitung kapasitas fluida panas dan fluida dingin disisi *condensing zone*:

$$C_s = \frac{Q_s(\text{condensing})}{(T_{sat} - T_{sat})} = \frac{39459,85 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(253,40 - 253,40)^\circ\text{C}} = \infty$$

$$C_w = \frac{Q_w(\text{condensing})}{(T_C - T_B)} = \frac{39459,85 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(247,09 - 216,62)^\circ\text{C}} = 1295,05 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Sehingga,

$$C_s > C_w$$

$$C_w = C_{\min}$$

$$C_s = C_{\max}$$

c. Menghitung  $Q_{\max}$

$$Q_{\max} = C_{\min} (T_{\text{sat}} - T_B)$$

$$Q_{\max} = 1295,05 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}} (253,40 - 216,62) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\max} = 47628,7 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 47628,7 \text{ kW}$$

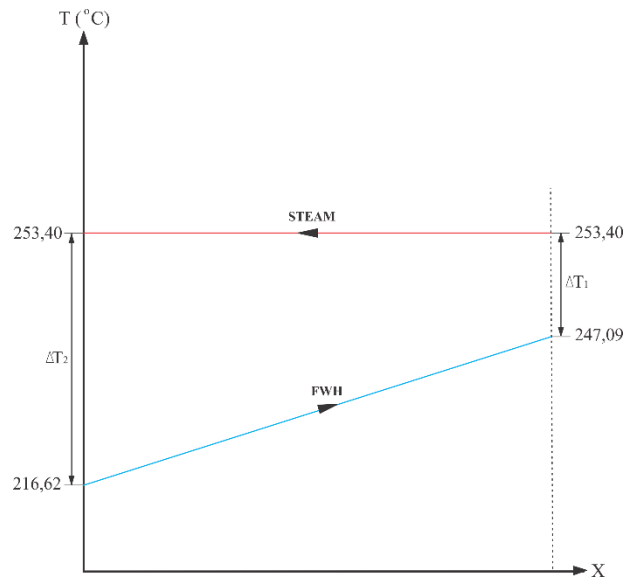
d. Menghitung  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{39459,85 \text{ kW}}{47628,7 \text{ kW}} \times 100\% = 82,84\%$$

e. Menghitung perbedaan temperatur rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{\text{LMTD}}$ )

Distribusi temperature ditunjukkan pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Distribusi temperatur *condensing commissioning*

$$\Delta T_1 = T_{sat} - T_C$$

$$\Delta T_1 = (253,40 - 247,09) \text{ } ^\circ\text{C} = 6,30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{sat} - T_B$$

$$\Delta T_2 = (253,40 - 216,62) \text{ } ^\circ\text{C} = 36,77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD,CF} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{36,77 - 6,30}{\ln\left(\frac{36,77}{6,30}\right)} = 17,28^\circ\text{C}$$

Setelah nilai  $\Delta T_{LMTD,CF}$  diketahui kemudian dicari nilai faktor koreksi

(F) dengan memperhatikan nilai P dan R.

$$P = \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{247,09 - 216,62}{253,40 - 216,62} = 0,828$$

$$R = \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{253,40 - 253,40}{247,09 - 216,62} = \infty$$

Dengan melihat grafik terlampir nilai faktor koreksi adalah 1

$$LMTD = LMTD \times F$$

$$LMTD = 17,28 \text{ } ^\circ\text{C} \times 1 = 17,28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

f. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}$$

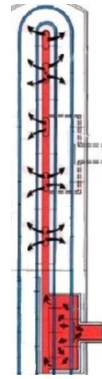
$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$U = \frac{39459,85 \text{ KW}}{738 \text{ m}^2 \times 1 \times 17,28 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$U = 3,09 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 3093,92 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

6) Perhitungan *desuperheating zone*

Zona perpindahan panas *desuperheating* HPH 7 di tunjukkan pada gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Zona perpindahan panas *desuperheating* HPH 7  
*commissioning*

a. Menghitung laju perpindahan panas ( $Q$ )

$$Q_s (\text{desuper heating zone}) = \dot{m}_s (h_A - h_{\text{sat},g})$$

$$Q_s (\text{desuper heating zone}) = 23,24 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3046,94 - 2799,83) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_s (\text{desuper heating zone}) = 5743,37 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 5743,37 \text{ kW}$$

$$Q_w (\text{desuper heating}) = \dot{m}_w (h_D - h_C)$$

$$Q_w (\text{desuper heating}) = 275,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1091,90 - 1071,43) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_w (\text{desuper heating}) = 5743,37 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 5743,37 \text{ kW}$$

$$Q_s (\text{desuper heating}) = Q_w (\text{desuper heating})$$

Menghitung kapasitas fluida panas dan fluida dingin di sisi *desuperheating zone*:

$$C_w = \frac{Q_w (\text{desuper heating})}{(T_D - T_C)} = \frac{5743,37 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(251,06 - 247,09)^\circ\text{C}} = 1445,64 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_s = \frac{Q_s (\text{desuper heating})}{(T_1 - T_{\text{sat}})} = \frac{5743,37 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(334,74 - 253,40)^\circ\text{C}} = 70,60 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Sehingga,

$$C_s < C_w$$

$$C_s = C_{\text{min}}$$

$$C_w = C_{\text{max}}$$

b. Menghitung  $Q_{\max}$

$$Q_{\max} = C_{\min} (T_1 - T_C)$$

$$Q_{\max} = 70,60 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}} (334,74 - 247,09) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\max} = 6188,74 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 6188,74 \text{ kW}$$

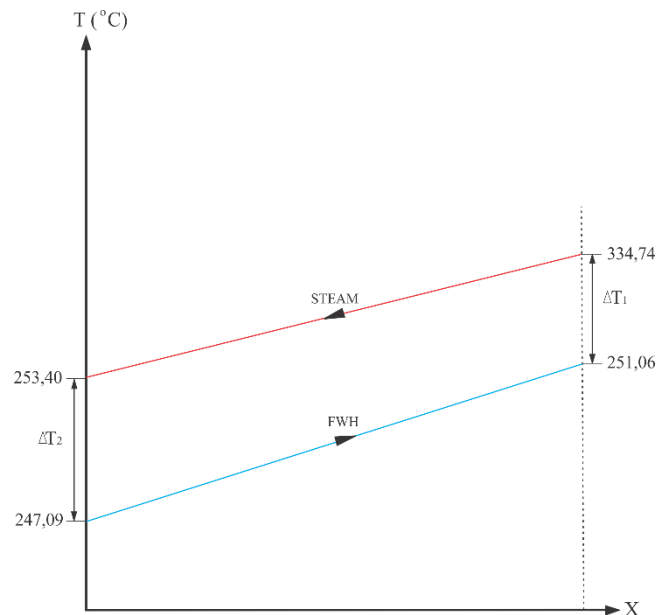
c. Menghitung  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{5743,37 \text{ kW}}{6188,74 \text{ kW}} \times 100\% = 92,80\%$$

d. Menghitung perbedaan temperatur rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ )

Distribusi temperature ditunjukkan pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Distribusi temperatur *desuperheating commissioning*

$$\Delta T_1 = T_1 - T_D$$

$$\Delta T_1 = (334,74 - 251,06) ^\circ\text{C} = 83,67 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{\text{sat}} - T_C$$

$$\Delta T_2 = (253,40 - 247,09) ^\circ\text{C} = 6,30 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{6,30 - 83,67}{\ln\left(\frac{6,37}{83,67}\right)} = 29,92 ^\circ\text{C}$$

Setelah nilai  $\Delta T_{LMTD,CF}$  diketahui kemudian dicari nilai faktor koreksi

(F) dengan memperhatikan nilai P dan R.



$$P = \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{251,06 - 247,09}{334,74 - 247,09} = 0,045$$

$$R = \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{334,74 - 253,40}{251,06 - 247,09} = 20,48$$

Dengan melihat grafik terlampir nilai faktor koreksi adalah 1

$$LMTD = LMTD \times F$$

$$LMTD = 29,92 \text{ } ^\circ\text{C} \times 1 = 29,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

e. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}$$

$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$U = \frac{5743,37 \text{ kW}}{105 \text{ m}^2 \times 1 \times 29,92 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$U = 1,82 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 1827,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

7) Menghitung  $Q_{total}$

$$Q_{total} = Q_{subcooling} + Q_{condensing} + Q_{desuperheating}$$

$$Q_{total} = 3464,22 \text{ kW} + 39459,85 \text{ kW} + 5743,37 \text{ kW}$$

$$Q_{total} = 48667,44 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat maka nilai laju perpindahan panas keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Perpindahan panas keseluruhan perhitungan kondisi *commissioning*

Properti	Nilai	Satuan
$Q_{subcooling}$	3464,22	kW
$Q_{condensing}$	39459,85	kW
$Q_{desuperheating}$	5743,37	kW
$Q_{total}$	48667,44	kW

8) Diagram T-h *commissioning*

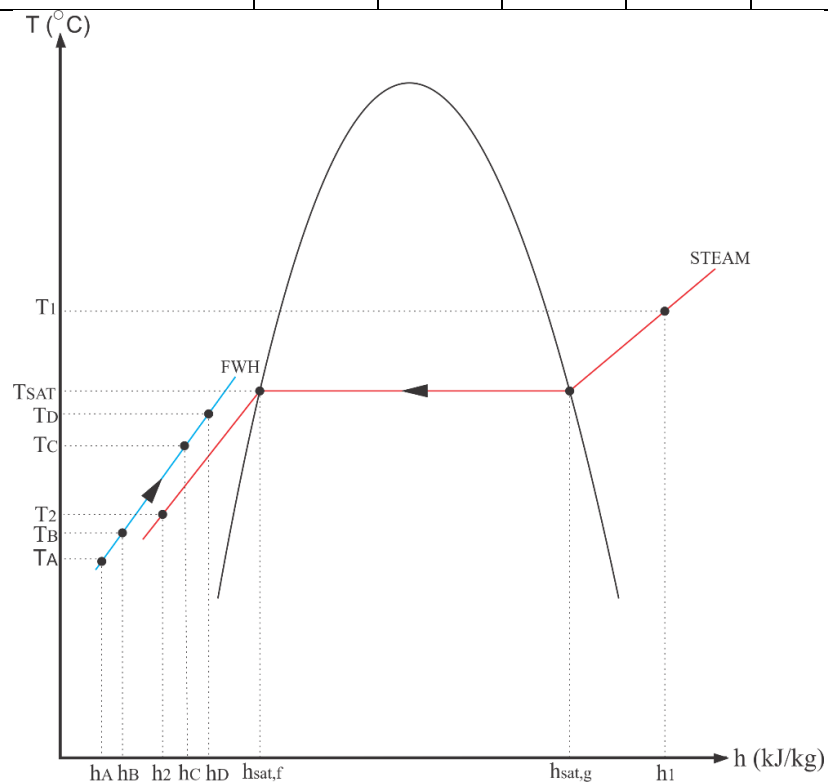
Berdasarkan nilai temperatur tabel 4.15 dan *enthalpy spesifik* tabel 4.16 yang didapat pada perhitungan maka diperoleh diagram T-h sesuai gambar 4.9.

**Tabel 4.15** Nilai temperatur masing-masing zona *commissioning*

Zona Perpindahan Panas	Hot		Cold	
	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)
<i>Subcooling zone</i>	222,36	253,40	212,41	216,62
<i>Condensing zone</i>	253,40	253,40	216,62	247,09
<i>Desuperheating zone</i>	253,40	334,74	247,09	251,06

**Tabel 4.16** Nilai *enthalpy spesifik* masing-masing zona *commissioning*

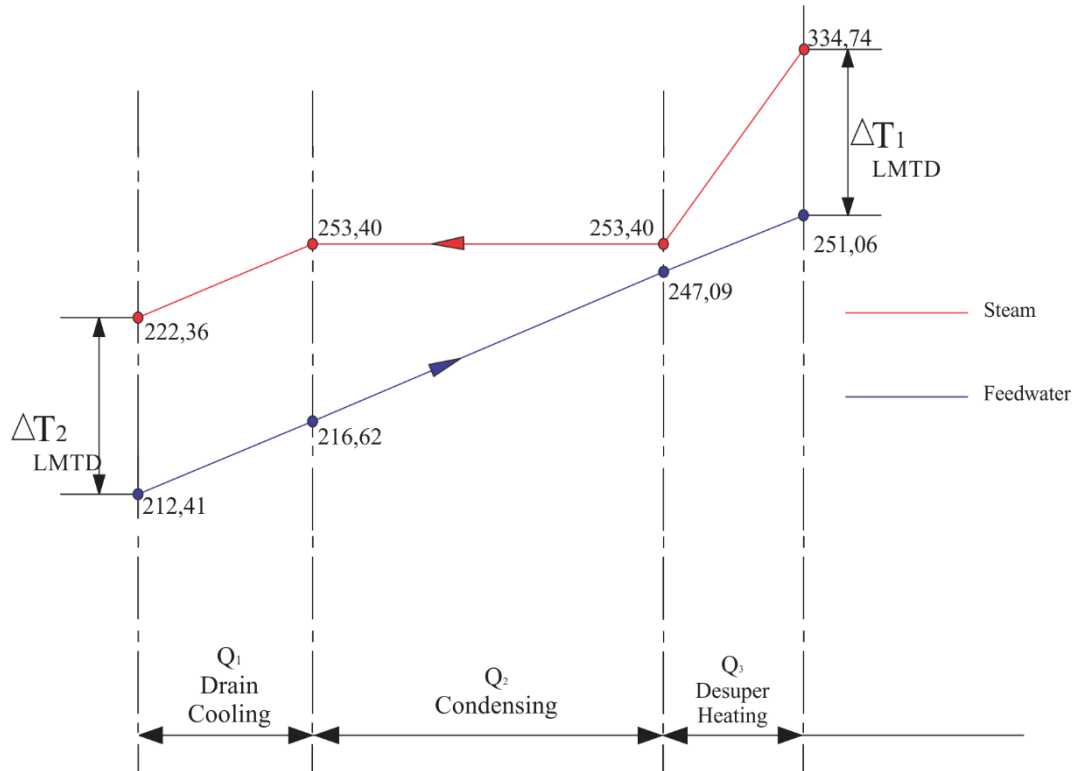
Zona Perpindahan Panas	Hot		Cold		Satuan
	h <sub>in</sub>	h <sub>out</sub>	h <sub>in</sub>	h <sub>out</sub>	
<i>Subcooling zone</i>	953,03	1102,08	915,57	928,14	kJ/kg
<i>Condensing zone</i>	1102,08	2799,83	928,14	1071,43	kJ/kg
<i>Desuperheating zone</i>	2799,83	3046,94	1071,43	1092,28	kJ/kg



**Gambar 4.9** Diagram T-h HPH 7 data *commissioning*

### 9) Distribusi LMTD *commisioning*

Berdasarkan nilai temperatur yang didapat sesuai tabel 4.15 pada sisi *shell and tube* pada perhitungan maka diperoleh grafik LMTD sesuai gambar 4.10.



**Gambar 4.10** Distribusi LMTD HPH data *commisioning*

#### 4.1.2. Perhitungan HPH 7 Data Aktual

Berdasarkan data aktual yang diperoleh pada CCR PLTU Indramayu melihat *load sheet* di tunjukkan tabel 4.17.

**Tabel 4.17.** Data Proses HPH 7 aktual

<b>Parameter / Item</b>	<b>Satuan</b>	<b>Data Komisioning</b>
<i>Load</i>	MW	309
<i>Feedwater T,in</i>	C	209,55
<i>Feedwater T,out</i>	C	248,47
<i>Feedwater flow</i>	t/h	968
<i>Feedwater pressure</i>	MPa	19,59
<i>Extraction steam T,in</i>	C	342,23
<i>Drain heater T,out</i>	C	219,03
<i>Extraction steam pressure</i>	MPa	4,17

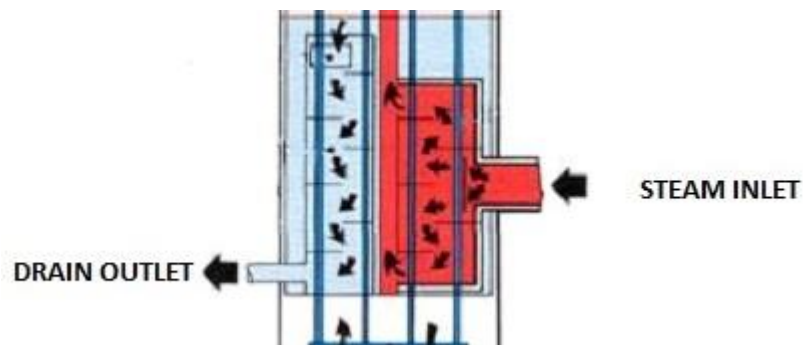
Diketahui data spesifikasi HPH 7 sebagai berikut:

- D luar *tube* = 18 mm
- D dalam *tube* = 14 mm
- Ketebalan *tube* = 2 mm
- Jumlah *tube* = 900
- Luasan perpindahan panas total = 925 m<sup>2</sup>
- Luasan desuper heating zone = 105 m<sup>2</sup>
- Luasan condensing zone = 738 m<sup>2</sup>
- Luasan drain cooling zone = 82 m<sup>2</sup>
- Material *tube* = 16Mo3

1) Mencari *enthalpy spesifik* sisi *steam*

Dalam perhitungan ini digunakan tabel uap dari buku *Fundamentals Engineering Thermodynamic 7<sup>th</sup>*.

Jalur sisi masuk dan keluaran *steam* di tunjukkan pada gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Jalur sisi masuk dan keluaran *steam* aktual

a. Sisi masuk *steam*

Harga *enthalpy spesifik* ( $h$ ) dapat dicari menggunakan (Tabel A-4 terlampir)

$$P_h = 4,17 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 342,23 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 4 MPa dan 6 MPa sedangkan temperatur berada di antara 320 °C dan 360 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga *enthalpy spesifik* Pada tekanan 4 MPa

**Tabel 4.18** Parameter  $h_1'$  aktual

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 40 \text{ bar} = 4.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 250.4^\circ\text{C}$ )				
320	0.06199	2767.4	3015.4	6.4553
360	0.06788	2845.7	3117.2	6.6215

$$h_1' = \frac{(T - T^l)(h'' - h^l)}{(T'' - T^l)} + h^l$$

$$h_1' = \frac{(342,23 - 320)(3117,2 - 3015,4)}{(360 - 320)} + 3015,4 = 3071,975 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 6 MPa

**Tabel 4.19** Parameter  $h_1''$  aktual

$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 60 \text{ bar} = 6.0 \text{ MPa}$ $(T_{\text{sat}} = 275.64^\circ\text{C})$			
0.03876	2720.0	2952.6	6.1846
0.04331	2811.2	3071.1	6.3782

$$h_1'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_1'' = \frac{(342,23-320)(3071,1-2952,6)}{(360-320)} + 2952,6 = 3018,456 \text{ kJ/kg}$$

dengan mengetahui harga *enthalpy spesifik* pada tiap tekanan maka harga *enthalpy spesifik* data aktual adalah

$$h_1 = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_1 = \frac{(4,17-4)(3018,456-3071,975)}{(6-4)} + 3071,975 = 3067,42 \text{ kJ/kg}$$

b. Sisi keluar *steam*

Harga *enthalpy spesifik* ( $h$ ) dapat dicari menggunakan (Tabel A-5 terlampir)

$$P_h = 4,17 \text{ MPa}$$

$$T_2 = 219,03 \text{ }^\circ\text{C}$$

Mencari *enthalpy spesifik* sisi *out drain* (Tabel A-5 terlampir)

Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 2,5 MPa dan 5 MPa sedangkan temperatur berada di antara 200 °C dan 220 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga *enthalpy spesifik*

Pada tekanan 2,5 MPa

**Tabel 4.20** Parameter  $h_2'$  aktual

$T$ °C	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 25 \text{ bar} = 2.5 \text{ MPa}$ $(T_{\text{sat}} = 223.99^\circ\text{C})$				
200	1.1555	849.9	852.8	2.3294
220	1.1898	940.7	943.7	2.5174

$$h_2' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_2' = \frac{(219,03-200)(943,7-852,8)}{(220-200)} + 852,8 = 939,29 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 5 MPa

**Tabel 4.21** Parameter  $h_2''$  aktual

$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 50 \text{ bar} = 5.0 \text{ MPa}$ $(T_{\text{sat}} = 263.99^\circ\text{C})$			
1.1530	848.1	853.9	2.3255
1.1866	938.4	944.4	2.5128

$$h_2'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_2'' = \frac{(219,03-200)(944,4-853,9)}{(220-200)} + 853,9 = 940,01 \text{ kJ/kg}$$

dengan mengetahui harga *enthalpy spesifik* pada tiap tekanan maka harga *enthalpy spesifik* data aktual adalah

$$h_2 = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_2 = \frac{(4,17-2,5)(940,01-939,29)}{(5-2,5)} + 939,29 = 939,77 \text{ kJ/kg}$$

c. Mencari temperatur pengembunan ( $T_{\text{sat}}$ )

Harga  $T_{\text{sat}}$  dapat diketahui dengan melihat (Tabel A-3 terlampir)

$$P_h = 4,17 \text{ MPa} = 41,7 \text{ bar}$$

Tekanan berada di antara 40 bar dan 45 bar sehingga untuk mencari harga  $T_{\text{sat}}$  dapat dicari menggunakan interpolasi.

**Tabel 4.22** Parameter  $T_{\text{saturasi}}$  aktual

Press. bar	Temp. °C
40.0	250.4
45.0	257.5

$$T_{\text{sat}} = \frac{(P-P')(T_{\text{sat}'}-T_{\text{sat}}'')}{(P''-P')} + T_{\text{sat}}'$$

$$T_{\text{sat}} = \frac{(4,17-4)(257,5-250,4)}{(4,5-4)} + 250,4 = 252,81 \text{ }^\circ\text{C}$$

d. Mencari *enthalpy spesifik* pada  $T_{\text{sat}}$

Harga *enthalpy spesifik* fluida dicari menggunakan (Tabel A-2 terlampir)

$$T_{\text{sat}} = 252.81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai  $T_{\text{sat}}$  berada di antara temperatur 250 °C dan 260 °C sehingga perlu dilakukan interpolasi. Pada kondisi ini nilai *enthalpy spesifik* yang dicari ada dua yaitu  $h_{\text{sat},f}$  dan  $h_{\text{sat},g}$ .

**Tabel 4.23** Parameter  $h_{\text{sat},f}$  dan  $h_{\text{sat},g}$  aktual

Temp. °C		Press. bar	Specific Volume $\text{m}^3/\text{kg}$		Internal Energy $\text{kJ}/\text{kg}$		Enthalpy $\text{kJ}/\text{kg}$			Entropy $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$		Temp. °C
Temp. °C	Press. bar	Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor $v_g$	Sat. Liquid $u_f$	Sat. Vapor $u_g$	Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$	Sat. Liquid $s_f$	Sat. Vapor $s_g$	Temp. °C	
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250	
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260	

Mencari nilai  $h_{\text{sat},f}$

$$h_{\text{sat},f} = \frac{(T - T') (h_{\text{sat},f'} - h_{\text{sat},f''})}{(T'' - T')} + h_{\text{sat},f'}$$

$$h_{\text{sat},f} = \frac{(252,81 - 250)(1134,4 - 1085,4)}{(260 - 250)} + 1085,4 = 1099,18 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai  $h_{\text{sat},g}$

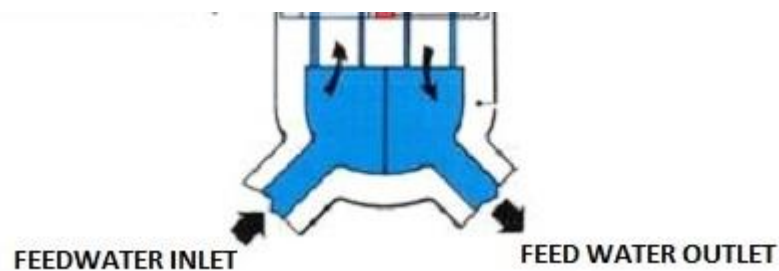
$$h_{\text{sat},g} = \frac{(T - T') (h_{\text{sat},g'} - h_{\text{sat},g''})}{(T'' - T')} + h_{\text{sat},g'}$$

$$h_{\text{sat},g} = \frac{(252,81 - 250)(2796,6 - 2801,5)}{(260 - 250)} + 2801,5 = 2800,12 \text{ kJ/kg}$$

2) Mencari *enthalpy spesifik* sisi *feedwater*

Dalam perhitungan ini digunakan tabel uap dari buku *Fundamentals Engineering Thermodynamic 7<sup>th</sup>*.

Jalur sisi masuk dan keluaran *feedwater* di tunjukkan pada gambar 4.12.



**Gambar 4.12** Jalur sisi masuk dan keluaran *feedwater* aktual



a. Sisi masuk *feedwater*

Harga *enthalpy spesific* ( $h$ ) dapat dicari menggunakan (Tabel A-5 terlampir)

$$P_c = 19,59 \text{ MPa}$$

$$T_A = 209,55 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 15 MPa dan 20 MPa sedangkan temperatur berada di antara 180 °C dan 220 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga *enthalpy spesific*

**Tabel 4.24** Parameter  $h_A'$  dan  $h_A''$  aktual

$T$ °C	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 150 \text{ bar} = 15.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 342.24^\circ\text{C}$ )					$p = 200 \text{ bar} = 20.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 365.81^\circ\text{C}$ )			
180	1.1159	753.76	770.50	2.1210	1.1120	750.95	773.20	2.1147
220	1.1748	929.9	947.5	2.4953	1.1693	925.9	949.3	2.4870

Pada tekanan 15 MPa

$$h_{A'} = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_{A'} = \frac{(209,55-180)(947,5-770,5)}{(220-180)} + 770,5 = 901,25 \text{ kJ/kg}$$

Pada tekanan 20 MPa

$$h_{A''} = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_{A''} = \frac{(209,55-180)(949,3-773,2)}{(220-180)} + 773,2 = 903,29 \text{ KJ/kg}$$

dengan mengetahui harga *enthalpy spesific* pada tiap tekanan maka harga *enthalpy spesific* data aktual adalah

$$h_A = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_A = \frac{(19,59-15)(903,29-901,25)}{(20-15)} + 901,25 = 903,12 \text{ kJ/kg}$$

b. Sisi keluar *feedwater*

Harga *enthalpy specific* ( $h$ ) dapat dicari menggunakan (Tabel A-5 terlampir)

$$P_c = 19,59 \text{ MPa}$$

$$T_D = 248,47 \text{ }^\circ\text{C}$$

Mencari *enthalpy specific* sisi *out drain* (Tabel A-5 terlampir)

Tekanan dan temperatur yang diketahui berada di antara tekanan 15 MPa dan 20 MPa sedangkan temperatur berada di antara 220 °C dan 260 °C sehingga diperlukan interpolasi dalam mencari harga *enthalpy specific*

**Tabel 4.25** Parameter  $h_D'$  dan  $h_D''$  aktual

$T$ °C	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v \times 10^3$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 150 \text{ bar} = 15.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 342.24^\circ\text{C}$ )					$p = 200 \text{ bar} = 20.0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 365.81^\circ\text{C}$ )			
220	1.1748	929.9	947.5	2.4953	1.1693	925.9	949.3	2.4870
260	1.2550	1114.6	1133.4	2.8576	1.2462	1108.6	1133.5	2.8459

Pada tekanan 15 MPa

$$h_D' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_D' = \frac{(248,47-220)(1133,4-947,5)}{(260-220)} + 947,5 = 1079,81 \text{ KJ/kg}$$

Pada tekanan 20 MPa

$$h_D'' = \frac{(T-T')(h''-h')}{(T''-T')} + h'$$

$$h_D'' = \frac{(248,47-220)(1135,5-949,3)}{(260-220)} + 949,3 = 1080,40 \text{ KJ/kg}$$

dengan mengetahui harga *enthalpy specific* pada tiap tekanan maka harga *enthalpy specific* data aktual adalah

$$h_D = \frac{(P-P')(h''-h')}{(P''-P')} + h'$$

$$h_D = \frac{(19,59-15)(1080,40-1079,81)}{(20-15)} + 1079,81 = 1080,35 \text{ kJ/kg}$$

## 3) Menghitung laju aliran uap

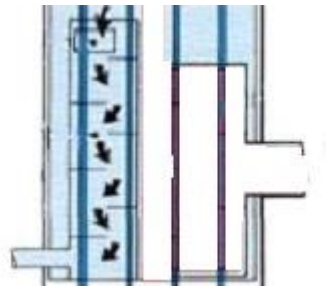
$$\dot{m}_s (h_1 - h_2) = \dot{m}_w (h_D - h_A)$$

$$\dot{m}_s = \dot{m}_w \frac{(h_D - h_A)}{(h_1 - h_2)}$$

$$\dot{m}_s = 268,88 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \frac{(1080,35 - 903,12) \text{kJ/kg}}{(3067,42 - 939,77) \text{kJ/kg}} = 22,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4) Perhitungan *subcooling zone*

Zona perpindahan panas *subcooling* HPH 7 di tunjukkan pada gambar 4.13.



**Gambar 4.13** Zona perpindahan panas *subcooling* HPH 7 aktual

a. Menghitung laju perpindahan panas ( $Q$ )

$$Q_s (\text{drain cooling zone}) = \dot{m}_s (h_{\text{sat},f} - h_B)$$

$$Q_s (\text{drain cooling zone}) = 22,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1099,18 - 939,77) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_s (\text{drain cooling zone}) = 3570,59 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 3570,59 \text{ kW}$$

Menghitung *enthalpy spesific out feedwater* pada *drain cooling zone*

$$Q_s (\text{drain cooling zone}) = Q_w (\text{drain cooling})$$

$$\dot{m}_s (h_{\text{sat},f} - h_2) = \dot{m}_w (h_B - h_A)$$

$$h_B = \frac{Q_s}{\dot{m}_w} + h_A$$

$$h_B = \frac{3570,59 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{268,88 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} + 903,12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_B = 916,40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

b. Mencari temperatur *out feedwater*

Distribusi temperatur yang terjadi pada *subcooling zone* dapat dilihat pada tabel 4.26.

**Tabel 4.26** Distribusi temperatur *subcooling zone*

Zona Pindahan Panas	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
	<i>in</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Subcooling zone</i>	$T_{sat}$	$T_2$	$T_A$	$T_B$

Dalam mencari  $T_B$  dapat dicari menggunakan tabel (A-2 terlampir) dengan nilai  $h_B$ . Pada tabel 4.27 ditampilkan distribusi temperatur  $T_B$  terhadap *enthalpy spesifik* data aktual.

**Tabel 4.27** Distribusi Temperatur  $T_B$  terhadap *enthalpy spesifik* data aktual

Temperatur ( $^{\circ}C$ )	<i>Enthalpy spesifik</i> (kJ/kg)
210	897,76
$T_B$	916,40
220	943,62

$$T_B = \frac{(h-h')(T''-T')}{(h''-h')} + T'$$

$$T_B = \frac{(916,40-897,76)(220-210)}{(943,62-897,76)} + 210 = 214,06 \text{ }^{\circ}C$$

Setelah nilai  $t_2$  diketahui kemudian tentukan kapasitas fluida dingin dan fluida panas:

$$C_s = \frac{Q_s \text{ (drain cooling)}}{(t_B - t_A)} = \frac{3570,59 \frac{kJ}{s}}{(214,06 - 209,55)^{\circ}C} = 105,68 \frac{kJ}{s \cdot ^{\circ}C}$$

$$C_w = \frac{Q_w \text{ (drain cooling)}}{(T_{sat} - T_2)} = \frac{3570,59 \frac{kJ}{s}}{(252,81 - 219,03)^{\circ}C} = 790,67 \frac{kJ}{s \cdot ^{\circ}C}$$

Sehingga,

$$C_s < C_w$$

$$C_s = C_{min}$$

$$C_w = C_{max}$$

c. Menghitung  $Q_{max}$

$$Q_{max} = C_{min} (T_{sat} - t_1)$$

$$Q_{max} = 105,68 \frac{kJ}{s \cdot ^{\circ}C} (252,81 - 209,55) \text{ }^{\circ}C$$

$$Q_{\max} = 4572,52 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 4572,52 \text{ kW}$$

d. Menghitung  $\varepsilon$

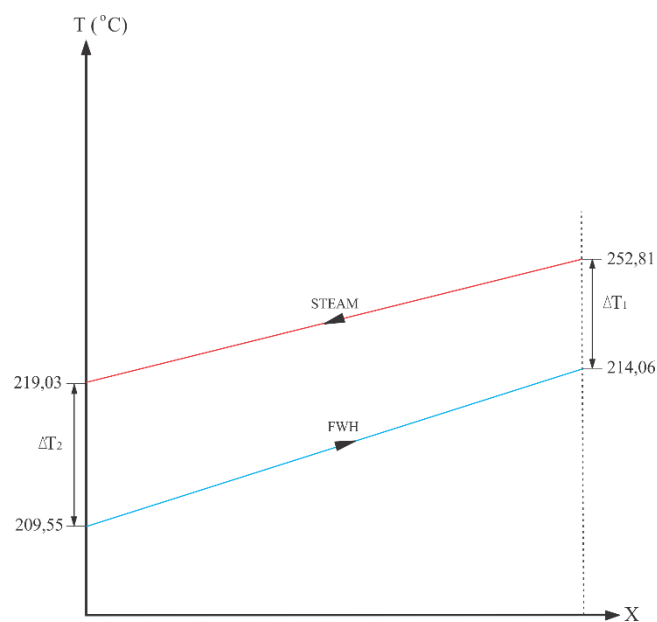
Nilai efektifitas dari *drain cooling zone* HPH 7 dapat diperoleh

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{3570,59 \text{ kW}}{4572,52 \text{ kW}} \times 100\% = 78,08\%$$

e. Menghitung perbedaan temperatur rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ )

Distribusi temperature ditunjukkan pada gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Distribusi temperatur *subcooling* aktual

$$\Delta T_1 = T_{\text{sat}} - T_B$$

$$\Delta T_1 = (252,81 - 214,06) \text{ °C} = 38,74 \text{ °C}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T_A$$

$$\Delta T_2 = (219,03 - 209,55) \text{ °C} = 9,48 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{LMTD,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{38,74 - 9,48}{\ln\left(\frac{38,74}{9,48}\right)} = 20,78 \text{ °C}$$

Setelah nilai  $\Delta T_{LMTD,CF}$  diketahui kemudian dicari nilai faktor koreksi

(F) dengan memperhatikan nilai P dan R.

$$P = \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{214,06 - 209,55}{253,40 - 209,55} = 0,102$$

$$R = \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{253,40 - 219,03}{214,06 - 209,55} = 7,620$$

Dengan melihat grafik terlampir nilai faktor koreksi adalah 1

$$LMTD = LMTD \times F$$

$$LMTD = 20,78 \text{ } ^\circ\text{C} \times 1 = 20,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

f. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}$$

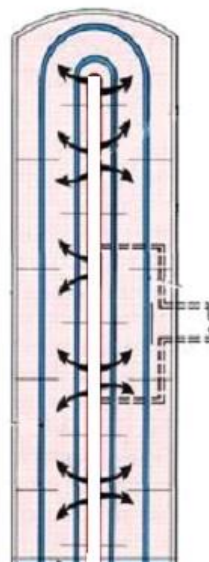
$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$U = \frac{3570,59 \text{ kW}}{82 \text{ m}^2 \times 1 \times 20,78 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$U = 2,09 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C}} = 2094,60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

5) Perhitungan *condensing zone*

Zona perpindahan panas *condensing* HPH 7 di tunjukkan pada gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Zona perpindahan panas *condensing* HPH 7 aktual

a. Menghitung laju perpindahan panas (Q)

Karena pada daerah *condensing zone* bekerja pada tekanan konstan (4,17 MPa), maka untuk laju perpindahan panasnya dapat dicari dari selisih *enthalpy spesifik* dengan perkalian laju aliran massa *steam*.

$$h_{\text{sat,f}} = 1099,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{\text{sat,g}} = 2800,12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_s (\text{condensing zone}) = \dot{m}_s \times h_{\text{fg}}$$

$$Q_s (\text{condensing zone}) = \dot{m}_s (h_{\text{sat,g}} - h_{\text{sat,f}})$$

$$Q_s (\text{condensing zone}) = 22,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (2800,12 - 1099,18) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_s (\text{condensing zone}) = 38097,25 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 38097,25 \text{ kW}$$

Menghitung *enthalpy specific out feedwater* pada *condensing zone*

$$Q_s (\text{condensing}) = Q_w (\text{condensing})$$

$$\dot{m}_s (h_{\text{sat,g}} - h_{\text{sat,f}}) = \dot{m}_w (h_C - h_B)$$

$$h_C = \frac{Q_s}{\dot{m}_w} + h_B$$

$$h_C = \frac{38097,25 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{268,88 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} + 916,40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_C = 1058,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

b. Mencari temperatur *out feedwater*

Distribusi temperatur yang terjadi pada *condensing zone* dapat dilihat pada tabel 4.28.

**Tabel 4.28** Distribusi temperatur *condensing zone*

Zona Perpindahan Panas	Hot		Cold	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Condensing zone</i>	T <sub>sat</sub>	T <sub>sat</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>

Dalam mencari T<sub>C</sub> dapat dicari menggunakan tabel (A-2 terlampir) dengan nilai h<sub>C</sub>. Pada tabel 4.29 ditampilkan distribusi temperatur T<sub>C</sub> terhadap *enthalpy specific* data aktual.

**Tabel 4.29** Distribusi Temperatur  $T_C$  terhadap *enthalpy spesifik* data aktual

Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	<i>Enthalpy spesifik</i> (kJ/kg)
240	1037,3
$T_C$	1058,09
250	1085,4

$$T_C = \frac{(h-h')(T''-T')}{(h''-h')} + T'$$

$$T_C = \frac{(1058,09-1037,3)(240-250)}{(1085,4-1037,3)} + 240 = 244,32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Menghitung kapasitas fluida panas dan fluida dingin di sisi *condensing zone*:

$$C_s = \frac{Q_s(\text{condensing})}{(T_{sat} - T_{sat})} = \frac{38097,25 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(252,81-252,81)^{\circ}\text{C}} = \infty$$

$$C_w = \frac{Q_w(\text{condensing})}{(t_C - t_B)} = \frac{38097,25 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(244,32 - 214,06)^{\circ}\text{C}} = 1259,14 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Sehingga,

$$C_s > C_w$$

$$C_w = C_{\min}$$

$$C_s = C_{\max}$$

c. Menghitung  $Q_{\max}$

$$Q_{\max} = C_{\min} (T_{\text{sat}} - T_B)$$

$$Q_{\max} = 1259,14 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}} (253,40 - 214,06) \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\max} = 48789,61 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 48789,61 \text{ kW}$$

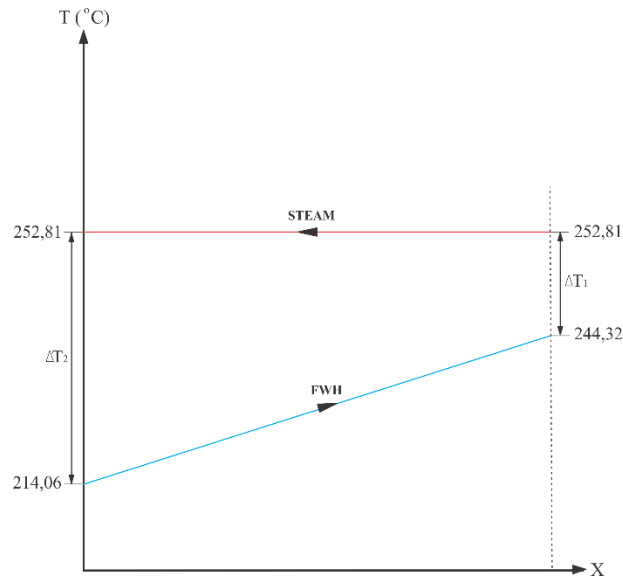
d. Menghitung  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{38097,25 \text{ kW}}{48789,61 \text{ kW}} \times 100\% = 78,08\%$$



- e. Menghitung perbedaan temperatur rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ )  
Distribusi temperature ditunjukkan pada gambar 4.16.



**Gambar 4.16** Distribusi temperatur *condensing* aktual

$$\Delta T_1 = T_{sat} - T_C$$

$$\Delta T_1 = (252,81 - 244,32) \text{ } ^\circ\text{C} = 8,49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{sat} - T_B$$

$$\Delta T_2 = (252,81 - 214,06) \text{ } ^\circ\text{C} = 38,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD,CF} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{38,74 - 8,49}{\ln\left(\frac{38,74}{8,49}\right)} = 19,93 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Setelah nilai  $\Delta T_{LMTD,CF}$  diketahui kemudian dicari nilai faktor koreksi (F) dengan memperhatikan nilai P dan R.

$$P = \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{244,32 - 214,06}{253,40 - 216,62} = 0,822$$

$$R = \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{253,40 - 253,40}{244,32 - 214,06} = \infty$$

Dengan melihat grafik terlampir nilai faktor koreksi adalah 1

$$LMTD = LMTD \times F$$

$$LMTD = 19,93 \text{ } ^\circ\text{C} \times 1 = 19,93 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- f. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}$$

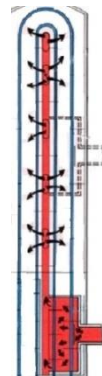
$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$U = \frac{38097,25 \text{ kW}}{738 \text{ m}^2 \times 1 \times 19,93 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$U = 2,58 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}} = 2589,93 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

6) Perhitungan *desuperheating zone*

Zona perpindahan panas *desuperheating* HPH 7 di tunjukkan pada gambar 4.17.



**Gambar 4.17** Zona perpindahan panas *desuperheating* HPH 7 aktual

a. Menghitung laju perpindahan panas ( $Q$ )

$$Q_s (\text{desuper heating zone}) = \dot{m}_s (h_A - h_{\text{sat},g})$$

$$Q_s (\text{desuper heating zone}) = 22,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3067,42 - 2800,12) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_s (\text{desuper heating zone}) = 5987,06 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 5987,06 \text{ kW}$$

$$Q_w (\text{desuper heating}) = \dot{m}_w (h_D - h_C)$$

$$Q_w (\text{desuper heating}) = 268,88 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1080,35 - 1058,09) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_w (\text{desuper heating}) = 5987,06 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 5987,06 \text{ kW}$$

$$Q_s (\text{desuper heating}) = Q_w (\text{desuper heating})$$

Menghitung kapasitas fluida panas dan fluida dingin di sisi *desuper heating zone*:

$$C_w = \frac{Q_w (\text{desuper heating})}{(T_D - T_C)} = \frac{5987,06 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(248,47 - 244,32)^\circ\text{C}} = 1443,44 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$C_s = \frac{Q_s (\text{desuper heating})}{(T_1 - T_{\text{sat}})} = \frac{5987,06 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(342,23 - 252,81)^\circ\text{C}} = 66,95 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

Sehingga,

$$C_s < C_w$$

$$C_s = C_{\min}$$

$$C_w = C_{\max}$$

b. Menghitung  $Q_{\max}$

$$Q_{\max} = C_{\min} (T_1 - T_C)$$

$$Q_{\max} = 66,95 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}} (342,23 - 244,32) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\max} = 6555,64 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 6555,64 \text{ kW}$$

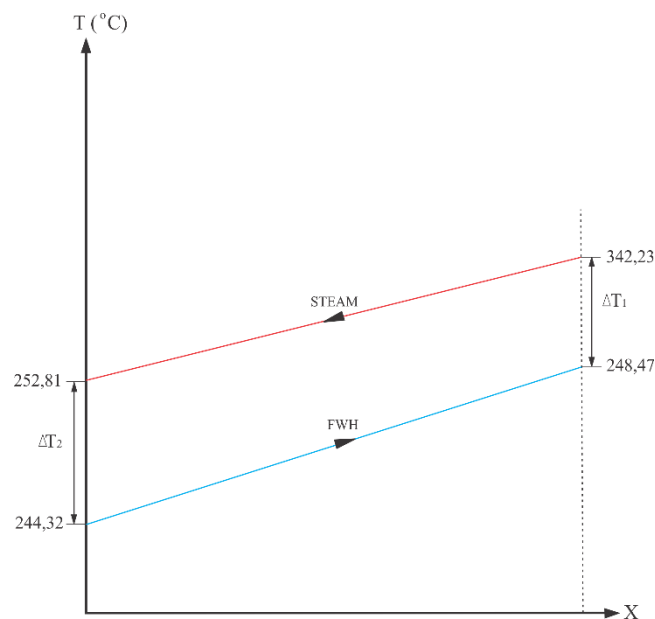
c. Menghitung  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{5987,06 \text{ kW}}{6555,64 \text{ kW}} \times 100\% = 91,30\%$$

d. Menghitung perbedaan temperatur rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ )

Distribusi temperature ditunjukkan pada gambar 4.18.



**Gambar 4.18** Distribusi temperatur *subcooling* aktual

$$\Delta T_1 = T_1 - T_D$$

$$\Delta T_1 = (342,23 - 248,47) ^\circ\text{C} = 93,76 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{\text{sat}} - T_C$$

$$\Delta T_2 = (252,81 - 244,32) ^\circ\text{C} = 8,49 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} = \frac{8,49 - 93,67}{\ln\left(\frac{8,49}{93,67}\right)} = 35,50 ^\circ\text{C}$$

Setelah nilai  $\Delta T_{LMTD,CF}$  diketahui kemudian dicari nilai faktor koreksi

(F) dengan memperhatikan nilai P dan R.

$$P = \frac{\Delta T_{tube}}{\Delta T_{max}} = \frac{248,47 - 244,32}{342,23 - 244,32} = 0,042$$

$$R = \frac{\Delta T_{shell}}{\Delta T_{tube}} = \frac{342,23 - 252,81}{248,47 - 244,32} = 21,54$$

Dengan melihat grafik terlampir nilai faktor koreksi adalah 1

$$LMTD = LMTD \times F$$

$$LMTD = 35,50 \text{ } ^\circ\text{C} \times 1 = 35,50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

e. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}$$

$$U = \frac{Q}{A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$U = \frac{5987,06 \text{ kW}}{105 \text{ m}^2 \times 1 \times 35,50 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$U = 1,60 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 1606 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

7) Menghitung  $Q_{total}$

$$Q_{total} = Q_{subcooling} + Q_{condensing} + Q_{desuperheating}$$

$$Q_{total} = 3570,59 \text{ kW} + 38097,25 \text{ kW} + 5987,06 \text{ kW}$$

$$Q_{total} = 47654,9 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat maka nilai laju perpindahan panas keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.30.

**Tabel 4.30** Perpindahan panas keseluruhan perhitungan kondisi Aktual

Properti	Nilai	Satuan
$Q_{subcooling}$	3570,59	kW
$Q_{condensing}$	38097,25	kW
$Q_{desuperheating}$	5987,06	kW
$Q_{total}$	47654,9	kW

## 8) Diagram T-h

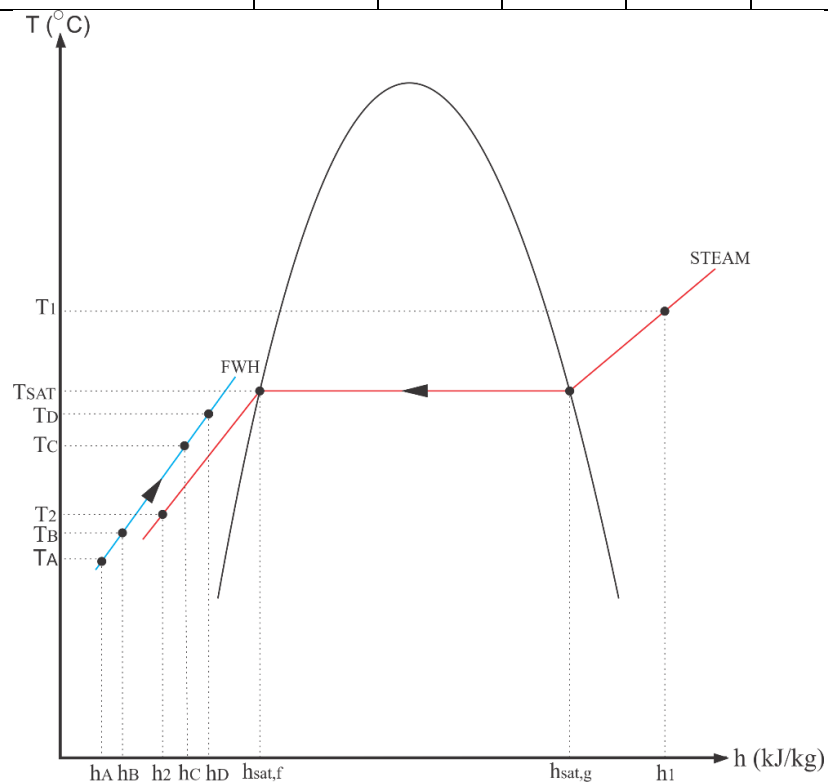
Berdasarkan nilai temperatur tabel 4.31 dan *enthalpy spesifik* tabel 4.32 yang didapat pada perhitungan maka diperoleh diagram T-h sesuai gambar 4.19.

**Tabel 4.31** Nilai temperatur masing-masing zona aktual

Zona Perpindahan Panas	Hot		Cold	
	$T_{in}$ (°C)	$T_{out}$ (°C)	$T_{in}$ (°C)	$T_{out}$ (°C)
<i>Subcooling zone</i>	219,03	252,81	209,55	214,06
<i>Condensing zone</i>	252,81	252,81	214,06	244,32
<i>Desuperheating zone</i>	252,81	342,23	244,32	248,47

**Tabel 4.32** Nilai *enthalpy spesifik* masing-masing zona aktual

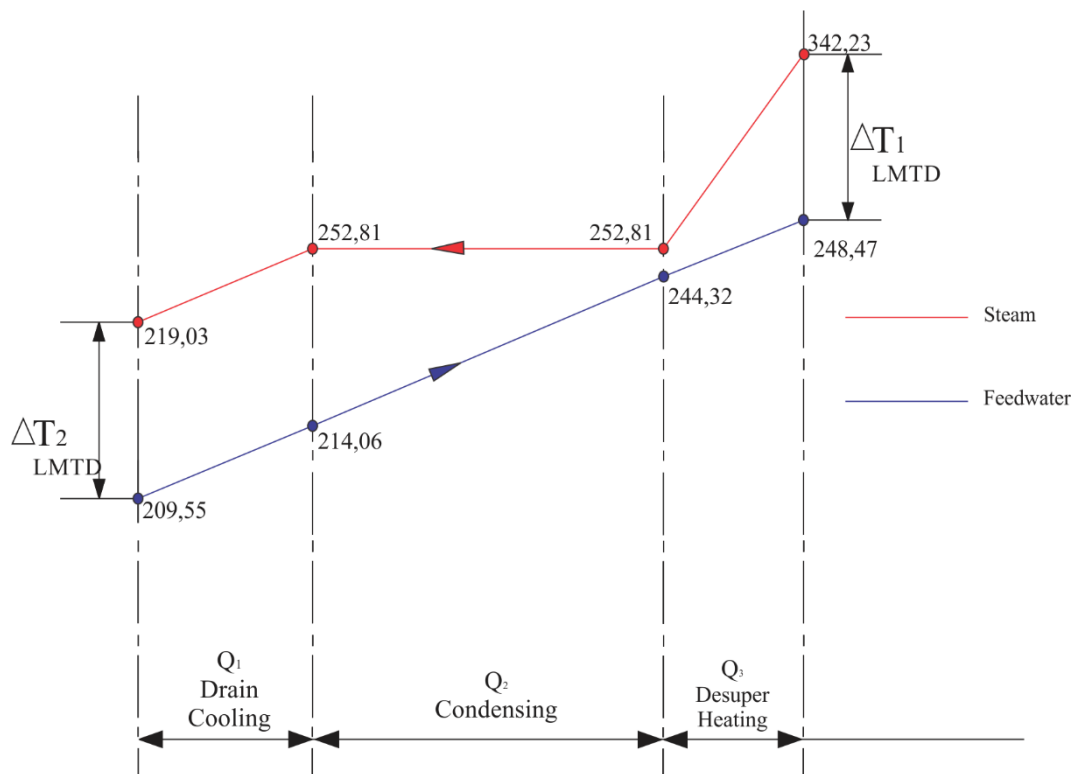
Zona Perpindahan Panas	Hot		Cold		Satuan
	$h_{in}$	$h_{out}$	$h_{in}$	$h_{out}$	
<i>Subcooling zone</i>	939,77	1099,18	903,12	916,40	kJ/kg
<i>Condensing zone</i>	1099,18	2800,12	916,40	1058,09	kJ/kg
<i>Desuperheating zone</i>	2800,12	3067,42	1058,09	1080,35	kJ/kg



**Gambar 4.19** Diagram T-h HPH 7 data aktual

## 9) Distribusi LMTD aktual

Berdasarkan nilai temperatur yang didapat sesuai tabel 4.31 pada sisi *shell and tube* pada perhitungan maka diperoleh grafik LMTD sesuai gambar 4.19.



**Gambar 4.20** Distribusi temperatur LMTD data aktual

## 4.2. Perbandingan Hasil Perhitungan *Commissioning* dan Aktual

### 4.2.1. *Subcooling Zone*

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, tabel 4.33 menunjukkan perbandingan hasil perhitungan *subcooling commissioning* dan aktual.

**Tabel 4.33** Perbandingan hasil perhitungan *subcooling commissioning* dan aktual

	<i>Commissioning</i>	Aktual	Satuan
<b>Q</b>	3464,22	3570,59	kW
<b>E</b>	75,71	78,08	%
<b>LMTD</b>	20,52	20,78	°C
<b>U</b>	2058,58	2094,60	W / (m <sup>2</sup> . °C)

Analisis: hasil perhitungan menunjukkan data aktual didapat lebih besar dibandingkan data *commissioning*. Umumnya hasil perhitungan *commissioning* lebih besar dibandingkan aktual, hal ini disebabkan adanya perbedaan temperatur *inlet* dan *outlet* yang besar sehingga mempengaruhi hasil perhitungan.

### 4.2.2. *Condensing Zone*

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, tabel 4.34 menunjukkan Perbandingan hasil perhitungan *condensing commissioning* dan aktual.

**Tabel 4.34** Perbandingan hasil perhitungan *condensing commissioning* dan aktual

	<i>Commissioning</i>	Aktual	Satuan
<b>Q</b>	39459,85	38097,25	kW
<b>ε</b>	82,84	78,08	%
<b>LMTD</b>	17,28	19,93	°C
<b>U</b>	3093,92	2589,93	W / (m <sup>2</sup> . °C)

Analisis: zona *condensing* menunjukkan hasil perhitungan yang normal, ini dikarenakan hasil perhitungan dari data *commissioning* lebih besar dari data aktual.

#### 4.2.3. Desuperheating Zone

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, tabel 4.35 menunjukkan Perbandingan hasil perhitungan *desuperheating commissioning* dan aktual.

**Tabel 4.35** Perbandingan hasil perhitungan *desuperheating commissioning* dan aktual

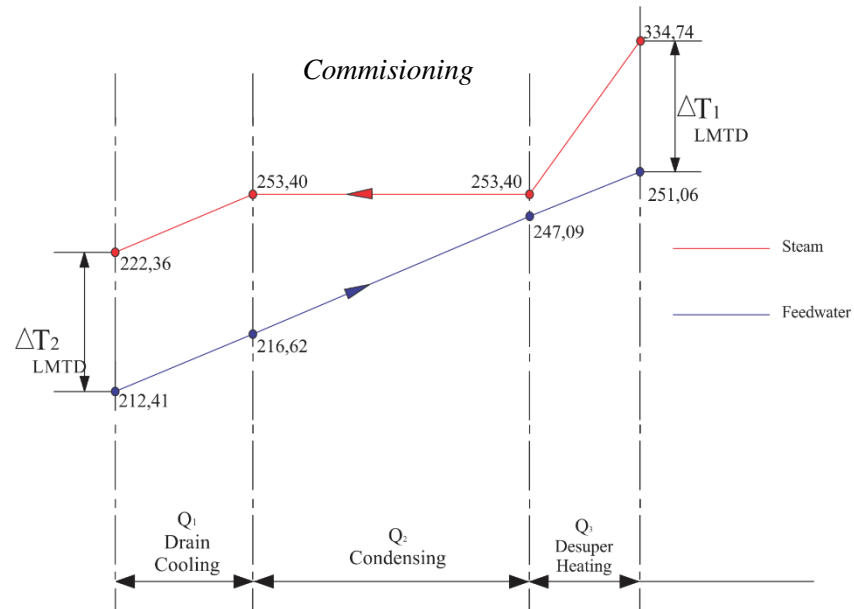
	<i>Commissioning</i>	Aktual	Satuan
<b>Q</b>	5743,37	5987,06	kW
<b><math>\epsilon</math></b>	92,80	91,30	%
<b>LMTD</b>	29,92	35,50	°C
<b>U</b>	1827,67	1606	W / (m <sup>2</sup> . °C)

Analisis: zona *desuperheating* menunjukkan hasil perhitungan yang normal, ini dikarenakan hasil perhitungan dari data *commissioning* lebih besar dari data aktual.

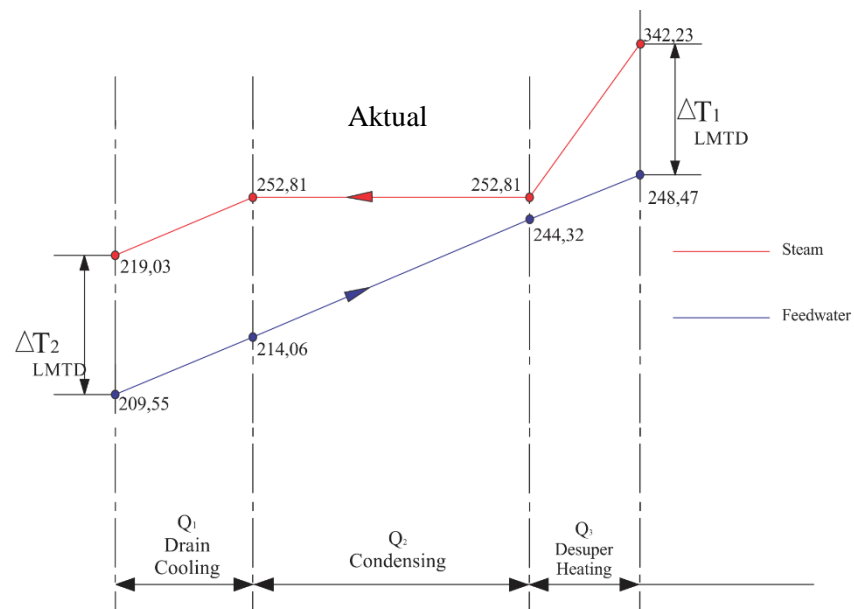


#### 4.2.4. Grafik Distribusi Temperatur

Gambar 4.21 menunjukkan distribusi temperatur kondisi *commissioning* dan gambar 4.22 menunjukkan distribusi temperatur kondisi aktual.



**Gambar 4.21** Distribusi temperatur data *commissioning*



**Gambar 4.22** Distribusi temperatur data aktual

### 4.3. Pembahasan

Dari hasil perhitungan telah terjadi penurunan *heat duty* (Q) HPH 7 baik menggunakan perhitungan pada kondisi aktual maupun *commisioning*. Penurunan tersebut adalah sebagai berikut:

$$Q_{\text{aktual}} = 47654,9 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{commisioning}} = 48667,44 \text{ KW}$$

$$\Delta Q = \frac{Q_{\text{commisioning}} - Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{commisioning}}} \times 100\%$$

$$\Delta Q = \frac{48667,44 - 47654,9}{48667,44} \times 100\%$$

$$\Delta Q = 2,08\%$$

Mengacu pada pedoman operasi PLTU yaitu jika *heat duty* (Q) kondisi aktual berkurang lebih dari 10% maka perlu dilakukan pembersihan (Sumber: *Maintenance* Pemeliharaan PLTU Indramayu).

Dari hasil perhitungan di atas, karena nilai *heat duty* (Q) masih kurang dari 10% maka dapat disimpulkan bahwa kinerja dari HPH 7 unit 1 PLTU Indramayu masih bagus dan tidak perlu dilakukan pembersihan.

-