

**ANALISIS CATU KALOR DAN EFEKTIVITAS *HIGH PRESSURE*
HEATER (HPH 7) DI UNIT 1 PLTU INDRAMAYU**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat

Strata-1 Pada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh:

ARDIAN RAMADHAN PRADANA

20130130309

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

YOGYAKARTA

2017

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS CATU KALOR DAN EFEKTIVITAS *HIGH PRESSURE*
HEATER (HPH 7) DI UNIT 1 PLTU INDRAMAYU**

**Disusun Oleh:
ARDIAN RAMADHAN PRADANA
20130130309**

**Telah Dipertahankan Didepan Tim Penguji
Pada Tanggal 19 Agustus 2017**

Susunan Tim Penguji:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Tito Hadji Agung S, S.T., M.T.

Thoharudin, S.T., M.T.

NIK. 19720222 200310 123054

NIK. 19870410 201604 123097

Penguji

Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng.

NIK. 19660616 199702 123033

**Tugas Akhir Ini Telah Dinyatakan Sah Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar S-1 Sarjana Teknik**

**Tanggal Agustus 2017
Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Mesin**

**Novi Caroko, S.T., M.Eng.
NIP. 19791113 200501 1 001**

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 20 Agustus 2017

Ardian Ramadhan Pradana

HALAMAN MOTTO

**Ilmu adalah kunci kesuksesan
Kekayaan, kebahagiaan, dan kelebihan
Dapat dimiliki dengan menguasai ilmu**

**Tuntutlah ilmu, tapi jangan melupakan ibadah,
dan kerjakanlah ibadah tetapi tidak boleh lupa
ilmu.**

(Hasan Al Basri)

**Orang yang bisa menguasai waktu dia menguasai
dunia**

**Raihlah kesuksesan seiring dengan berjalannya
waktu**

Einstein

**Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada
kemudahan. Maka apabila kamu selesai (dari
suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-
sungguh (urusan) yang lain.**

(Q.S. Al Insyiroh: 6-7)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Yang paling utama,

Syukur Alhamdulillah Rabbil'alamin, sembah sujudku kepada Tuhanku Allah SWT yang telah memberikan segala kemudahan dan kekuatan untuk melakukan penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

Papa dan Mama Tercinta

Terimakasih kuucapkan kepada papa dan mama yang amat sebesar-besarnya yang selalu mendukung, memberikan semangat, motivasi, perhatian, kasih sayang dan doa yang tiada henti-hentinya untuk anakmu ini. Mungkin atas pencapaian ini belum bisa membalas segalanya yang telah beliau berikan kepadaku. Tetapi Rama akan selalu berusaha membuat papa dan mama bangga dan bahagia.

Adik-adiku Tersayang

Terimakasih aku ucapkan kepada tiga adikku Aditya, Andhika dan Akmal yang telah memberikan motivasi kepadaku ketika aku butuh kalian, Tugas Akhir ini merupakan langkah awal bagi kakak dalam mewujudkan impian kakak meraih gelar S-1. Semoga dengan selesainya Tugas Akhir ini kalian dapat lebih giat dan semangat dalam meraih Pendidikan yang lebih tinggi dari kakak.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayat dan bimbingan-Nya selama ini sehingga penulis tugas akhir dengan judul “Analisis Catu Kalor Dan Efektivitas *High Pressure Heater* (Hph 7) Di Unit 1 Pltu Indramayu” dapat terselesaikan.

Tugas akhir ini merupakan pertanggung jawaban penulis sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta terhadap apa yang telah penulis amati dan pelajari selama menjalani perkuliahan dan merupakan syarat kelulusan.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam pelaksanaan kerja praktik serta penulisan tugas akhir ini khususnya kepada:

1. Allah Yang Maha Kuasa yang atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa selalu memberikan doa agar penulis diberikan kemudahan, kelancaran, dan selalu memberi semangat kepada penulis.
3. Bapak Novi Caroko, S.T., M.eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin S1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
4. Bapak Tito Hadji Agung Santoso S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas akhir Jurusan Teknik Mesin S1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
5. Bapak Thoharudin S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas akhir Jurusan Teknik Mesin S1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
6. Bapak Muhammad Nadjib S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Penguji Tugas akhir Jurusan Teknik Mesin S1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

7. Bapak Deni Rahmat selaku Supervisor Operasi Shift A dan Bapak Mario selaku Supervisor Operasi Shift E PT. PJB UBJ O&M PLTU Indramayu.
8. Bapak Ermawan Surya Prahasta selaku Pembimbing Lapangan PT. PJB UBJ O&M PLTU Indramayu.
9. Seluruh staff dan karyawan yang ada di PT. PJB UBJ O&M PLTU Indramayu yang telah menerima saya dengan baik selama melakukan tugas akhir.
10. Semua teman-teman Jurusan Teknik Mesin S1 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah mendukung dan memberikan semangat, serta memberikan bantuan dalam proses tugas akhir.
11. Semua pihak –pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar bisa menjadi perbaikan. Semoga tugas akhir ini dapat memberi manfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Yogyakarta, 20 Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Lembar Pernyataan	iii
Halaman Motto	iv
Halaman Persembahan.....	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Lampiran	xiv
Daftar Notasi dan Singkatan.....	xv
Intisari.....	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metode Pengumpulan data	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Perpindahan Panas	5
2.2.2 Perpindahan Kalor Konduksi (Stedi Satu Dimensi)	8
2.2.3 Alat Penukar Kalor	11
2.2.4 Pemilihan Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i>	20
2.2.5 Konstruksi Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i>	21
2.2.6 Bagian-Bagian Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i>	23
2.2.7 Bentuk Geometri Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i>	25

2.2.8 Deskripsi <i>High Pressure Heater 7</i>	28
2.2.9 Analisis Perpindahan Kalor pada <i>High Pressure Heater 7</i>	29
2.2.10 Pembangkit Listrik Tenaga Uap	35
BAB III METODE PERHITUNGAN	
3.1 Spesifik High Pressure Heater	38
3.2 Metode Perhitungan.....	38
3.3 Diagram Alir Perhitungan.....	41
3.4 Pengambilan Data.....	42
3.4.1 Data untuk laju aliran massa (\dot{m}).....	42
3.4.2 Data untuk Δh	42
3.5 Skema Perhitungan	43
BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Perhitungan Catur Kalor (Q) dan Efektivitas (ϵ) HPH 7	45
4.1.1 Perhitungan HPH 7 Data <i>Commisioning</i>	46
4.1.2 Perhitungan HPH 7 Data Aktual.....	64
4.2 Perbandingan Hasil Perhitungan <i>Commisioning</i> dan Aktual	83
4.2.1 <i>Subcooling Zone</i>	83
4.2.2 <i>Condensing Zone</i>	83
4.2.3 <i>Desuperheating Zone</i>	84
4.2.4 Grafik Distribusi Temperatur	85
4.3 Pembahasan	86
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	88
Lampiran	90

DAFTAR GAMBAR

2.1	Perpindahan Kalor Konduksi	6
2.2	Perpindahan Kalor Konveksi	7
2.3	Perpindahan Kalor Radiasi.....	8
2.4	Perpindahan Panas pada Dinding Datar	9
2.5	Perpindahan Panas melalui Silinder Bolong	10
2.6	Diagram penukar kalor sederhana.....	12
2.7	Penukar kalor tipe plat datar yang melukiskan aliran lintang dengan kedua fluidanya tak bercampur	13
2.8	Pemanas udara aliran lintang yang melukiskan aliran lintang dengan satu fluidanya bercampur dan fluida lainnya tak bercampur.....	13
2.9	Penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan sekat-sekat (<i>baffles</i>) segmen	14
2.10	<i>Regenerative Heat Exchanger</i>	14
2.11	<i>Cooling Tower</i>	25
2.12	APK <i>Parallel Flow</i> dan Analogi Temperatur	16
2.13	APK Aliran <i>Counter Flow</i> dan Analogi Temperatur	18
2.14	Grafik Faktor Koreksi (F) untuk 1 <i>Shell Pass</i> dan 2 <i>Tube Pass</i>	19
2.15	Penukar Kalor Tipe CFU Standar TEMA	21
2.16	Bagian-bagian dari Alat Penukar Kalor Standar TEMA	22
2.17	Jenis-jenis <i>Baffle</i>	24
2.18	<i>Tube Layout</i>	26
2.19	<i>High Pressure Heater</i> PLTU Indramayu	28
2.20	Zona Perpindahan Panas <i>High Pressure Heater</i>	30
2.21	Variasi Suhu Fluida Mengembun	32
2.22	Laju aliran Uap Ekstraksi dan Laju aliran <i>Feedwater</i>	32
2.23	Siklus Rankine dengan <i>Reheating</i>	36
2.24	Siklus Rankine <i>Regenerative</i>	37
3.1	Distribusi Suhu Masing-masing Zona	39
3.2	Luasan Zona pada HPH 7	40
3.3	Diagram Alir Perhitungan	41

3.4	Diagram Alir Perhitungan (Lanjutan)	42
4.1	Jalur sisi Masuk dan Keluaran <i>Steam Commisioning</i>	46
4.2	Jalur sisi Masuk dan Keluaran <i>Feedwater Commisioning</i>	49
4.3	Zona Perpindahan Panas <i>Subcooling HPH 7 Commisioning</i>	52
4.4	Distribusi Temperatur <i>Subcooling Commisioning</i>	54
4.5	Zona Perpindahan Panas <i>Condensing HPH 7 Commisioning</i>	55
4.6	Distribusi Temperatur <i>Condensing Commisioning</i>	58
4.7	Zona Perpindahan Panas <i>Desuperheating HPH 7 Commisioning</i>	59
4.8	Distribusi Temperatur <i>Desuperheating Commisioning</i>	60
4.9	Diagram T-h HPH 7 data <i>Commisioning</i>	62
4.10	Distribusi LMTD HPH data <i>Commisioning</i>	63
4.11	Jalur sisi Masuk dan Keluaran <i>Steam Aktual</i>	65
4.12	Jalur sisi Masuk dan Keluaran <i>Feedwater Aktual</i>	68
4.13	Zona Perpindahan Panas <i>Subcooling HPH 7 Aktual</i>	71
4.14	Distribusi Temperatur <i>Subcooling Aktual</i>	73
4.15	Zona Perpindahan Panas <i>Condensing HPH 7 Aktual</i>	74
4.16	Distribusi Temperatur <i>Condensing Aktual</i>	77
4.17	Zona Perpindahan Panas <i>Desuperheating HPH 7 Aktual</i>	78
4.18	Distribusi Temperatur <i>Desuperheating Aktual</i>	79
4.19	Diagram T-h HPH 7 data Aktual	81
4.20	Distribusi LMTD HPH data Aktual	82
4.21	Distribusi Temperatur data <i>Commisioning</i>	85
4.22	Distribusi Temperatur data Aktual	85

DAFTAR TABEL

2.1	Nilai Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh dalam Penukar Kalor	34
3.1	Spesifikasi HPH 7 PLTU Indramayu	37
3.2	Distribusi Suhu Pada Tiap Zona	38
3.3	Distribusi <i>Enthlpy Spesific</i> Pada Tiap Zona.....	41
4.1	Data Proses HPH 7 <i>Commisioning</i>	45
4.2	Parameter h_1' <i>Commisioning</i>	46
4.3	Parameter h_1'' <i>Commisioning</i>	47
4.4	Parameter h_2' <i>Commisioning</i>	47
4.5	Parameter h_2'' <i>Commisioning</i>	48
4.6	Parameter T_{saturasi} <i>Commisioning</i>	48
4.7	Parameter $h_{\text{sat,f}}$ dan $h_{\text{sat,g}}$ <i>Commisioning</i>	49
4.8	Parameter h_A' dan h_A'' <i>Commisioning</i>	50
4.9	Parameter h_D' dan h_D'' <i>Commisioning</i>	51
4.10	Distribusi Temperatur <i>Subcooling Zone Commisioning</i>	52
4.11	Distribusi Temperatur T_B Terhadap <i>Enthlpy Spesific Data Commisioning</i>	53
4.12	Distribusi Temperatur <i>Condensing Zone Commisioning</i>	56
4.13	Distribusi Temperatur T_C Terhadap <i>Enthlpy Spesific Data Commisioning</i>	56
4.14	Perpindahan Panas Keseluruhan Perhitungan Kondisi <i>Commisioning</i>	61
4.15	Nilai Temperatur Masing-masing Zona <i>Commisioning</i>	62
4.16	Nilai <i>Enthlpy Spesific</i> Masing-masing Zona <i>Commisioning</i>	62
4.17	Data Proses HPH 7 Aktual	64
4.18	Parameter h_1' Aktual	65
4.19	Parameter h_1'' Aktual	66
4.20	Parameter h_2' Aktual	66
4.21	Parameter h_2'' Aktual	67
4.22	Parameter T_{saturasi} Aktual	67
4.23	Parameter $h_{\text{sat,f}}$ dan $h_{\text{sat,g}}$ Aktual	68
4.24	Parameter h_A' dan h_A'' Aktual	69
4.25	Parameter h_D' dan h_D'' Aktual	70

4.26 Distribusi Temperatur <i>Subcooling Zone</i> Aktual	72
4.27 Distribusi Temperatur T_B Terhadap <i>Enthlpy Spesific</i> Data Aktual.....	72
4.28 Distribusi Temperatur <i>Condensing Zone</i> Aktual	75
4.29 Distribusi Temperatur T_C Terhadap <i>Enthlpy Spesific</i> Data Aktual.....	76
4.30 Perpindahan Panas Keseluruhan Perhitungan Kondisi Aktual	80
4.31 Nilai Temperatur Masing-masing Zona Aktual	81
4.32 Nilai <i>Enthlpy Spesific</i> Masing-masing Zona Aktual	81
4.33 Perbandingan Hasil Perhitungan <i>Subcooling Commisioning</i> dan Aktual ...	83
4.34 Perbandingan Hasil Perhitungan <i>Condensing Commisioning</i> dan Aktual..	83
4.35 Perbandingan Hasil Perhitungan <i>Desuperheating Commisioning</i> Aktual ..	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Properti Saturasi Air Tabel Temperatur	90
Lampiran 2. Tabel Properti Saturasi Air Tabel Tekanan	92
Lampiran 3. Tabel Properti <i>Superheated Water</i>	93
Lampiran 4. Tabel Properti <i>Compressed Liquid Water</i>	95
Lampiran 5. Grafik Faktor Koreksi LMTD	96
Lampiran 6. Data <i>Load Sheeet</i> unit 1 PLTU Indramayu	97
Lampiran 7. Siklus Uap dan Air PLTU Indramayu	99

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= luasan perpindahan panas
C_s	= kapasitas fluida panas (kJ/s.°C)
C_w	= kapasitas fluida dingin (kJ/s.°C)
D_o	= diameter luar (m)
D_i	= diameter dalam (m)
F	= faktor koreksi LMTD
$h_{1,2,3,4}$	= <i>Enthlpy Spesific</i> sisi <i>steam</i> (kJ/kg)
$h_{A, B, C, D}$	= <i>Enthlpy Spesific</i> sisi <i>feedwater</i> (kJ/kg)
LMTD	= beda temperature rata-rata logaritmik (°C)
N	= jumlah <i>tube</i>
P_s	= tekanan sisi <i>steam</i> (MPa)
P_w	= tekanan sisi <i>feedwater</i> (MPa)
Q	= laju perpindahan kalor (kW)
T_1	= suhu masuk <i>steam</i> (°C)
T_2	= suhu keluar <i>drain</i> (°C)
T_{sat}	= suhu saturasi (°C)
T_A	= suhu masuk <i>feedwater</i> (°C)
T_B	= suhu keluar <i>subcooling</i> (°C)
T_C	= suhu keluar <i>condensing</i> (°C)
T_D	= suhu keluar <i>feedwater</i> (°C)
U	= koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m ² .°C)

INTISARI

High Pressure Heater pada PLTU Indramayu digunakan untuk meningkatkan suhu air umpan dan juga mengurangi penggunaan batubara dalam proses produksi listrik. HPH 7 merupakan salah satu alat penukar kalor jenis *shell and tube* yang digunakan untuk memanaskan air umpan pada sisi *tube* dan *steam extraction* pada sisi *shell*. HPH 7 pada PLTU Indramayu mulai beroperasi tahun 2011, pemakaian secara terus menerus cenderung menyebabkan terjadinya penurunan performa. Untuk mengetahui perlu tidaknya dilakukan pembersihan (*cleaning*), perlu adanya perhitungan performance HPH 7 untuk mengetahui kondisi catu kalor (Q). Jika persentase penurunan catu kalor antara kondisi *commissioning* dan kondisi aktual lebih dari 10 % maka perlu dilakukan *cleaning*, (Sumber : *Maintenance* PLTU Indramayu).

Berdasarkan data *commissioning* diperoleh suhu masuk dan keluar *feedwater* yaitu 212,41 °C dan 251,06 °C serta suhu masuk dan keluar ekstraksi uap yaitu 334,74 °C dan 222,36 °C, sedangkan data aktual diperoleh suhu masuk dan keluar *feedwater* yaitu 209,55 °C dan 248,47 °C serta suhu masuk dan keluar ekstraksi uap yaitu 342,23 °C dan 219,03 °C. Data tersebut digunakan sebagai dasar analisis termal yang meliputi performa HPH. HPH memiliki tiga zona luasan perpindahan panas, yaitu: *subcooling zone*, *condensing zone*, dan *desuperheating zone*. Tujuan perhitungan yaitu menentukan nilai catu kalor (Q) dan efektivitas (ϵ).

Hasil dari perhitungan data *commissioning* dan data aktual didapatkan HPH 7 mengalami penurunan performa catu kalor sebesar 1012,54 kW atau sekitar 2,08% dan efektivitas pada masing-masing zona lebih besar dari 75%. Dapat disimpulkan bahwa HPH 7 masih berada dalam kondisi baik dan tidak perlu dilakukan pembersihan.

Kata kunci: high pressure heater, shell and tube, catu kalor, efektivitas