

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PIPA HEAT EXCHANGER DENGAN
MATERIAL SS 316 UNTUK TEMPERATUR SEDUH KOPI
PADA MESIN KOPI ESPRESSO TIPE-X



UNIVERSITAS
MERCU BUANA
BIMA YOGANTARA
41318110085

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2020

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PIPA HEAT EXCHANGER DENGAN
MATERIAL SS 316 UNTUK TEMPERATUR SEDUH KOPI
PADA MESIN KOPI ESPRESSO TIPE-X



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun Oleh:

Nama : BIMA YOGANTARA
NIM : 41318110085
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
OKTOBER 2020

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PIPA HEAT EXCHANGER DENGAN
MATERIAL SS 316 UNTUK TEMPERATUR SEDUH KOPI
PADA MESIN KOPI ESPRESSO TIPE-X**



Disusun Oleh:

Nama : BIMA YOGANTARA
NIM : 41318110085
Program Studi : Teknik Mesin

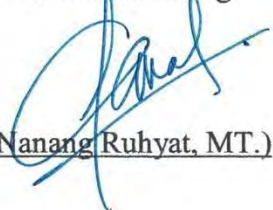
UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Telah diperiksa dan disetujui oleh pembimbing

Pada tanggal: 11 Januari 2021

Mengetahui

Dosen Pembimbing


(Dr. Nanang Ruhyat, MT.)

Koordinator Tugas Akhir



(Alief Arcenna Luthfie, ST, M.Eng)

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Bima Yogantara

NIM : 41318110085

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Skripsi : Analisis Perpindahan Panas Pipa Heat Exchanger Dengan Material SS 316 Untuk Temperatur Seduh Kopi Pada Mesin Kopi Espresso Tipe-X

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan laporan tugas akhir yang saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari laporan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan hasil karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian. Pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 11 Januari 2021



PENGHARGAAN

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dan perhatian dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan kesehatan, keluangan waktu, kemudahan, pemahaman, perlindungan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan semaksimal mungkin.
2. Kedua Orang Tua, adik-adik dan keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa selama penyusunan laporan tugas akhir.
3. Bapak Alief Avicenna Luthfie, ST., M.Eng. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Dr. Nanang Ruhyat, MT., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin dan sebagai Dosen Pembimbing yang telah sangat membantu penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
5. Sahabat penulis, Habibi Al Amin yang sangat mensuport pembuatan mesin/alat tugas akhir sampai selesai.
6. Calon Istriku Mutiara Nisa dan keluarga, yang selalu suport dan senantiasa mendo'akan yang terbaik sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
7. Serta teman-teman seangkatan dan seperjuangan yang mengalami suka duka yang sama dengan penulis dalam menyusun Laporan Tugas Akhir yang merupakan syarat kelulusan mata tugas akhir pada program Sarjana Strata Satu (S1).

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan yang mungkin terjadi dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pihak yang membaca.

Penulis

Bima Yogantara

ABSTRAK

Tanki pemanas/*heat exchanger* adalah salah satu komponen mesin kopi espresso yang sangat penting, karena perannya yang berpengaruh terhadap temperatur air seduh kopi dan hasil kopi espresso yang disajikan. Pada penelitian ini untuk mengetahui kinerja *heat exchanger*, terkait temperatur air yang keluar ke *group head* saat dilakukan proses penyeduhan (*brewing*). Saat proses penyeduhan, untuk mendapatkan hasil kopi espresso yang berkualitas, temperatur air yang keluar ke *grup head* harus $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, suhu kopi dalam cangkir $67^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, sedangkan tekanan air saat penyeduhan $9\text{bar} \pm 1\text{bar}$ (Caprioli, et al., 2012). Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan metode analisa secara matematis menggunakan persamaan umum perpindahan panas. *Heat exchanger* yang digunakan untuk penelitian adalah *heat exchanger* mesin kopi espresso tipe-X. Material *heat exchanger* yang diuji adalah *stainless steel* 316 dengan diameter 38,1 mm dan panjang 180 mm, yang tertanam di *tanki* pemanas dengan diameter 177,8 mm dan panjang 200 mm. Dengan analisis yang dilakukan dapat diketahui kemampuan *heat exchanger* memproduksi air panas yang digunakan untuk proses *brewing*/penyeduhan kopi. Lama waktu yang dibutuhkan *heater* untuk memanaskan air di dalam *heat exchanger* minimal 20 menit hingga tekanan pada tanki pemanas mencapai 1,2 bar, dan butuh waktu 22 menit sampai tekanan didalam tanki menjadi 1,5 bar. Pada mesin espresso tipe-X ini temperatur rata-rata yang keluar ke *group head* pada saat proses *brewing* hanya mencapai $58,3^{\circ}\text{C}$ pada tekana 1,2 bar dan $63,93^{\circ}\text{C}$ pada teknan 1,5 bar, sementara tekanan *brewing* diatur tetap, yaitu 9 bar. Sedangkan standar temperatur *brewing*/penyeduhan kopi minimal adalah 86°C , karena didalam bukunya Folmer, 2017 menyatakan suhu seduh kopi espresso adalah $88 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan eksperimen tersebut dapat dinyatakan bahwa *tanki* pemanas/*heat exchanger* mesin espresso tipe-X ini belum mampu untuk melakukan beberapa fariabel temperatur dan tekanan standar penyeduhan kopi espresso yang berkualitas.

Kata kunci : *Stainless steel, Heat exchanger, grup head, temperatur brewing.*

**HEAT EXCHANGER PIPE HEAT TRANSFER ANALYSIS WITH SS 316
MATERIAL FOR BREWED COFFEE ON TYPE-X
ESPRESSO COFFEE MACHINE**

ABSTRACT

The heating tank / heat exchanger is one of the most important components of an espresso coffee machine, because of its role that affects the temperature of the coffee brewing water and the results of the espresso coffee served. In this study, to determine the performance of the heat exchanger, related to the temperature of the water that comes out to the group head during the brewing process. During the brewing process, to get quality espresso coffee, the temperature of the water coming out to the head group must be $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, the coffee temperature in the cup is $67^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, while the water pressure during brewing is $9\text{bar} \pm 1\text{bar}$ (Caprioli, et al., 2012). This study uses experimental methods and mathematical analysis methods using general heat transfer equations. The heat exchanger used for this research is the X-type espresso coffee machine heat exchanger. The heat exchanger material tested was stainless steel 316 with a diameter of 38.1 mm and a length of 180 mm, which was embedded in the heating tank with a diameter of 177.8 mm and a length of 200 mm. With the analysis carried out, it can be seen that the heat exchanger's ability to produce hot water which is used for the coffee brewing process. The length of time required for the heater to heat water in the heat exchanger is at least 20 minutes until the pressure in the heating tank reaches 1.2 bar, and it takes 22 minutes for the pressure in the tank to become 1.5 bar. In this X-type espresso machine the average temperature that comes out to the group head during the brewing process only reaches 58.3°C at a pressure of 1.2 bar and 63.93°C at a pressure of 1.5 bar, while the brewing pressure is regulated. fixed, which is 9 bar. While the standard temperature for brewing / brewing coffee is at least 86°C , because in his book Folmer, 2017 states that the brewing temperature of espresso coffee is $88 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Based on the experiment, it can be stated that the X-type espresso machine's heating tank / heat exchanger has not been able to perform several standard temperature and pressure variables for brewing quality espresso coffee.

Keywords : *Stainless steel, Heat exchanger, grup head, brewing temperature.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 MESIN KOPI ESPRESSO	5
2.1.1 Bagian-Bagian Mesin Espresso Secara Umum	5
2.2 STANDAR DAN PENELITIAN TERKAIT KOPI ESPRESSO	9
2.3 PRINSIP PERPINDAHAN PANAS (KALOR)	12
2.3.1 Kapasitas Kalor (C)	13
2.3.2 Kalor Jenis (c)	13

2.4	METODE PERPINDAHAN PANAS	13
2.4.1	Perpindahan Panas Secara Konduksi	14
2.4.2	Perpindahan Panas Secara Konveksi	17
2.4.3	Perpindahan Kalor secara Radiasi	17
2.5	HEAT EXCHANGER	18
2.5.1	Shell and Tube	19
2.5.2	Perhitungan Shell and Tube	19
2.6	TANKI PEMANAS AIR MESIN KOPI ESPRESSO	21
2.6.1	Single Boiler	22
2.6.2	Single Boiler with Heat Exchanger (HX)	23
2.6.3	Double Boiler	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	DIAGRAM ALIR	25
3.1.1	Diagram Alir Penulisan Laporan Tugas Akhir	25
3.1.2	Diagram Alir Pengambilan Data	27
3.1.3	Langkah-langkah Pengambilan Data	29
3.1.4	Diagram Alir Analisis	33
3.1.5	Langkah-Langkah Analisis Hail Eksperimen	34
3.2	ALAT DAN BAHAN	35
3.2.1	Alat Yang Digunakan Dalam Penelitian	35
3.2.2	Alat Ukur Yang Digunakan	36
3.2.3	Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian	41
3.2.4	Spesifikasi Tanki Pemanas Air/ <i>Heat Exchanger</i>	42
3.3	SISTEM KERJA TANKI PEMANAS AIR/ <i>HEAT EXCHANGER</i>	43

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 ANALISIS KINERJA HEAT EXCHANGER	45
4.1.1 Hasil Pengambilan Data Eksperimen Pada <i>Heat Exchanger</i>	45
4.1.2 Perbandingan Hasil Eksperimen Dengan Penelitian Terkait	53
4.1.3 Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Pada Hasil Seduhan Kopi Espresso	56
4.1.4 Perhitungan Matematis Kinerja Pipa Heat Exchanger	57
BAB V PENUTUP	63
5.1 KESIMPULAN	63
5.2 SARAN	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	67



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skematik mesin kopi espresso tipe-X	6
Gambar 2.2. <i>Portafilter</i>	9
Gambar 2.3. <i>Steam Wand</i>	9
Gambar 2.4(A) Kurva tekanan dan (B) suhu pada portafilter oleh Aurelia Competizione dan Leva “Victoria Arduino” mesin kopi espresso	11
Gambar 2.5 Pengaruh temperatur dan tekanan pada krema kopi espresso	12
Gambar 2.6. Perpindahan Kalor pada Heat Exchanger	13
Gambar 2.7 Proses perpindahan panas konduksi	14
Gambar 2.8 Perpindahan panas konduksi pada silinder	15
Gambar 2.9 Sistem kerja single boiler	23
Gambar 2.10. Sistem kerja Single Boiler with Heat Exchanger	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penulisan Laporan Tugas Akhir	24
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengambilan Data	26
Gambar 3.3 A. <i>HT Digital thermocouple</i> , B. <i>Soket dan probe thermocouple</i>	28
Gambar 3.4 Pressure gauge	28
Gambar 3.5 Swit kontak On 1 kearah putaran jarum jam	29
Gambar 3.6. <i>prop level sensor</i>	29
Gambar 3.7 Swit kontak On 2 kearah utaran jarum jam	29
Gambar 3.8 Proses membaca alat ukur <i>termocouple digital</i>	30
Gambar 3.9 Tombol penyeduhan kopi (<i>brewing</i>)	30
Gambar 3.10 Posisi pemasangan <i>pressure gauge</i> tekanan <i>brewing</i>	30
Gambar 3.11 posisi penempatan pressure gauge tekanan <i>tanki</i>	31
Gambar 3.12 Diagram Alir Analisis	32
Gambar 3.13 Termometer bimetal	34
Gambar 3.14 Termocouple digital	34
Gambar 3.15. <i>Titik pemasangan digital thermocouple tipe-K</i>	35
Gambar 3.16 Skema rangkaian <i>thermocouple</i>	35
Gambar 3.17 Multi tester digital	36
Gambar 3.18 Tespen Electric	38
Gambar 3.19 Pressure gauge	38
Gambar 3.20 Tanki pemanas air/ <i>heat exchanger</i>	39

Gambar 3.21 Proses kerja Tanki Pemanas/Heat Exchanger	41
Gambar 4.1. Diagram nilai temperatur rata-rata pada pengujian 1 bar	48
Gambar 4.2. Diagram pengukuran tekanan pada tekanan maksimal 1 bar	48
Gambar 4.3. Diagram nilai temperatur rata-rata pada pengujian 1,2 bar	50
Gambar 4.4. Diagram pengukuran tekanan pada tekanan maksimal 1,2 bar	50
Gambar 4.5. Diagram nilai temperatur rata-rata pada pengujian 1,5 bar	52
Gambar 4.6 Diagram pengukuran tekanan pada tekanan maksimal 1,5 bar	53
Gambar 4.7 Perbandingan Kecepatan Aliran Air dengan Tekanan	54
Gmabar 4.8 <i>Giotto premium HX espresso machine</i>	54
Gambar 4.9 Brewing temperatur mesin <i>Espresso Andreja, Giotto Dan Rituale</i>	55
Gambar 4.10. Mesin kopi espresso SAB Jolly 1 Group	61
Gambar 4.11. Tempetarur brewing mesin kopi espresso SAB Jolly 1 Group	63



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi heat exchanger tipe-X	43
Tabel 4.1 Nilai rata-rata hasil pengukuran temperatur pada tekanan maksimum 1 bar (pengujian 1,2,3)	47
Tabel 4.2 Temperatur brewing tekanan 1 bar mesin kopi espresso tipe-X	48
Tabel 4.3 Nilai rata-rata hasil pengukuran temperatur pada tekanan maksimum 1,2 bar (pengujian 1,2,3)	49
Tabel 4.4 Temperatur brewing tekanan 1 bar mesin kopi espresso tipe-X	50
Tabel 4.5. Nilai rata-rata hasil pengukuran temperatur pada tekanan maksimum 1,5 bar (pengujian 1,2,3)	51
Tabel 4.6 Temperatur brewing tekanan 1,5 bar mesin kopi espresso tipe-X	52
Tabel 4.7 Suhu brewing pada mesin espresso giotto premium	55
Tabel 4.8 Data hasil pengukuran pada eksperimen sebelumnya	56
Tabel 4.9 Perbandingan Performa SAB Jolly 1 Group dan Mesin Espresso tipe-X	63

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
ΔT	: kenaikan suhu (K)
Q	: kalor (joule)
C	: kapasitas kalor (joule/K)
m	: massa benda (kg)
c	: kalor jenis (J/kg°C atau J/°C)
k	: konduktivitas termal (W/mK)
A	: luas penampang (m ²)
ΔT	: perubahan suhu (K)
L	: panjang (m)
H	: kalor yang merambat persatuan waktu (J/s atau watt)
t	: waktu (sekon)
U	: koefisien perpindahan panas global (W/m ² .K)
U _i	: koefisien perpindahan panas bagian dalam (W/m ² .K)
U _o	: koefisien perpindahan panas bagian luar (W/m ² .K)
A _s	: luas permukaan perpindahan panas total (m ²)
A _i	: luas permukaan perpindahan panas bagian dalam (m ²)
A _o	: luas permukaan perpindahan panas bagian luar (m ²)
h _i	: koef perpindahan panas konveksi bagian dalam (W/m ² .K)
h _o	: koef perpindahan panas konveksi bagian luar (W/m ² .K)
D _o	: diameter luar tube (m)
D _i	: diameter dalam tube (m)
k	: konduktivitas termal bahan tube (W/m. K)
L	: panjang tube (m)
Q _{act}	: laju perpindahan panas aktual (W)
Ch	: laju kapasitas panas fluida panas (W/K)
Cc	: laju kapasitas panas fluida dingin (W/K)
Th ₁	: temperatur fluida panas masuk heat exchanger (K)
Th ₂	: temperatur fluida panas keluar heat exchanger (K)

T_{c1}	: temperatur fluida dingin masuk heat exchanger (K)
T_{c2}	: temperatur fluida dingin keluar heat exchanger (K)
ΔT_{lm}	: perbedaan temperatur rata rata logaritma / LMTD (K)
Q_{max}	: laju perpindahan panas maksimal (W)
C_{min}	: nilai terkecil di antara nilai C_h dan C_c (W/K)
T_{h1}	: temperatur fluida panas masuk heat exchanger (K)
T_{c1}	: temperatur fluida dingin masuk heat exchanger (K)



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR SINGKATAN

HE	Heat Exchanger
SI	Satuan Internasional
kal	Kalori

