

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA
KONDENSOR DENGAN METODE LMTD PADA
PROSES PIROLISIS AMPAS KELAPA**

SKRIPSI

OLEH :

**DENNY FACHRI MARIADI
168130016**



**PEROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2021**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/12/21

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Dipindai dengan CamScanner
Access From (repository.uma.ac.id)17/12/21

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA
KONDENSOR DENGAN METODE LMTD PADA
PROSES PIROLISIS AMPAS KELAPA**

SKRIPSI

OLEH :

**DENNY FACHRI MARIADI
168130016**



**PEROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKUTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2021**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/12/21

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Dipindai dengan CamScanner
Access From (repository.uma.ac.id)17/12/21

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA KONDENSOR DENGAN METODE LMTD PADA PROSES PIROLISIS AMPAS KELAPA

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas
Teknik Mesin Universitas Medan Area**



OLEH :

**DENNY FACHRI MARIADI
168130016**

**PEROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKUTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2021**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/12/21

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Dipindai dengan CamScanner
Access From (repository.uma.ac.id)17/12/21

HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis perpindahan panas pada kondensor dengan metode LMTD pada proses pirolisis ampas kelapa.

Nama Mahasiswa : Denny Fachri Mariadi

NPM : 168130016

Perogram Studi : TEKNIK MESIN

Fakultas : TEKNIK

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

(Ir. H. Amirsyahr Nasution, M.T.,)

NIDN: 0025125606

(Muhammad Idris, S.T., M.T.,)

NIDN : 0106058104

Dekan

Ka Prodi Teknik Mesin

(Dr. Ir. Dina Maizana, M.T.,)
NIDN : 01112096601

(Muhammad Idris, S.T., M.T.,)
NIDN : 0106058104

Tanggal lulus : 22 September 2021

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah di tuliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 22 September 2021



(Denny Fachri Mariadi)

Npm : 168130016

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama: Denny Fachri Mariadi

Nim: 168130016

Fakultas: TEKNIK

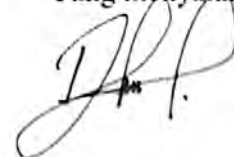
Program studi: TEKNIK MESIN

Jenis karya: Tugas Akhir/Skripsi

Dari pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty-FreeRight*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Perpindahan Panas Pada Kondensor Dengan Metode LMTD Pada Peroses Pirolisis Ampas Kelapa. Dengan Bebas Royalti Non Ekseklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih mediakan / formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir / skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai hak cipta Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, 22 september 2021

Yang menyatakan



(Denny Fachri Mariadi)

Nim : 168130016

ABSTRAK

Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis dilakukan di sebuah reactor dengan pengurangan atmosfer (hampa udara) pada temperatur hingga 800⁰ C. konversi biomasa menjadi bahan bakar terdiri dari 2 cara Biocamical dan Termokimical. biocamical di gunakan untuk mengkonversi bahan biomasa yang mudah membusuk sedangkan termocamical adalah mengkonversi bahan bakar biomasa yang solid atau keras. Pada penelitian ini penulis akan mengkonversi biomasa (ampas kelapa) dengan cara pirolisis. Pengujian kondensor pipa spiral dengan tube stainless steel diameter 15mm di gunakan pada pirolisis ampas kelapa untuk memperoleh biooil. Tujuan penelitian ini di lakukan untuk menganalisis laju perpindahan panas pada kondensor dengan menggunakan metode LMTD *log mean temperature difrent*. Bahan yang di uji pada penelitian ini adalah sisa ampas kelapa dari industri pmerasan santan kelapa yang banyak terbuang sia-sia. Bahan yang telah di dapatkan kemudian di pirolisis di reactor pirolisis. Alat-alat utama yang di gunakan dalam pengujian ini adalah kompor, bejana pirolisis, termokopel, pompa air dan thermometer. Dari hasil pengujian dapat di ketahui bawah analisis perpindahan panas dengan metode *log mean temperature different* aliran berlawanan arah lebih efektif di gunakan dibandingkan dengan aliran searah, efektifitas kondensor sebesar 97,9% pada aliran berlawanan arah dan pada aliran searah sebesar 88.8%. Nilai kondensasi filem di dapat sebesar 9.8% Pada aliran berlawanan arah dan 3.2% pada aliran searah yang merupakan hasil luaran biooil.

Kata Kunci : Kondensor, Laju Perpindahan Panas, Ampas Kelapa

ABSTRAK

Pyrolysis is a process of chemical decomposition of organic matter through a heating process without or little oxygen or other reagents, where the raw material will undergo a breakdown of the chemical structure into a gas phase. Pyrolysis is carried out in a reactor with a reduced atmosphere (vacuum) at temperatures up to 8000 C. The conversion of biomass into fuel consists of 2 ways Biocamical and Thermochemical. Biocamical is used to convert perishable biomass materials while thermocamical is to convert solid or hard biomass fuels. In this study the author will convert biomass (coconut pulp) by pyrolysis. The spiral pipe condenser test with 15mm diameter stainless steel tube was used in the pyrolysis of coconut dregs to obtain biooil. The purpose of this study was to analyze the rate of heat transfer in the condenser using the LMTD log mean temperature difference method. The material tested in this study is the remaining coconut dregs from the coconut milk extracting industry which is wasted a lot. The material that has been obtained is then pyrolyzed in a pyrolysis reactor. The main tools used in this test are stove, pyrolysis vessel, thermocouple, water pump and thermometer. From the test results, it can be seen that the heat transfer analysis using the log mean temperature different method of countercurrent flow is more effective than direct flow, the effectiveness of the condenser is 97.9% in countercurrent flow and 88.8% in direct flow. The condensation value of the film is 9.8% in the opposite direction and 3.2% in the direct flow which is the output of biooil.

Keywords: Condenser, Heat Transfer Rate, Coconut Dregs

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama Denny Fachri Mariadi dilahirkan di Desa Punden Rejo pada tanggal 16 juli 1998. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara, pasangan dari Bapak Mariadi dan Ibu mugiatik . Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 105327 Desa Perdamean, dan Tamat pada tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Smp Negeri 3 Tanjung Morawa dan Tamat pada Tahun 2013. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMK Negeri 1 Lubuk Pakam. Jurusan Teknik Kendaraan Ringan dan Tamat pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis terdaftar menjadi mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan selesai pada tahun 2021.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbibil'alamin Segala Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul. “ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA KONDENSOR DENGAN METODE LMTD PADA PROSES PIROLISIS AMPAS KELAPA” sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan dan untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Delam penyusunan sekripsi ini banyak hambatan seta rintangan yang penulis hadapi namun pada akhirnya dapat melaluinya berkat adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak secara moral maupun spiritual. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng.,M.Sc., Selaku Rektor Universitas Medan Area
2. Ibu Dr. Ir. Dina Maizana,M.T., Selaku Dekan Teknik Universitas Medan Area
3. Bapak Muhammad Idris, S.T., M.T., Dan Bapak Muhammad Yusuf, S.T., M.T., selaku Ketua dan skertaris program studi Teknik Mesin Universitas Medan Area
4. Bapak Ir. H. Amirsyam Nst, M.T., Selaku Dosen Pembimbing I penulis di program studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
5. Bapak Muhammad Idris, S.T., M.T., Selaku Dosen Pembimbing II penulis di program studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.

7. Kedua orang tua, Ayahanda tercinta bapak Mariadi dan Ibunda tersayang ibu Mugiatik yang telah memberikan dukungan baik moral maupun material serta doa yang tiada henti-hentinya kepada penulis.
8. Teman-teman perodi teknik mesin Universitas Medan Area setambuk 2016.
Terimakasih atas bantuan semangatnya.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini belum sempurna, baik segi teknik maupun segi materi. Oleh sebab itu, penulis juga mengharapkan kritik dan saran membangun demi terciptanya skripsi yang lebih baik di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Medan, 22 September 2021

Penulis

Denny Fachari Mariadi

NPM : 168130016

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iii
ABSTRAK	iv
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Perumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
A. Kondensor.....	5
B. Perpindahan Panas	6
C. Koefisien Perpindahan Panas Pada Zona Kondensasi	16
D. Persamaan <i>Surface Temperature</i> atau Temperatur Dinding <i>Tube</i>	21
E. Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan.....	23
F. Analisa Perpindahan Panas	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
B. Alat dan Bahan.....	31
C. Tahapan penelitian.....	35
D. Flow Chart (Diagram Alir)	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
A. Hasil Penelitian.....	39
B. Aliran Berlawanan Arah	41
C. Aliran Searah	48
D. Pembahasan	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
A. Kesimpulan.....	58

B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kondensor	6
Gambar 2.2. Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi	8
Gambar 2.3. Aliran fluida melintasi (a) aligned dan (b) staggered tube.....	13
Gambar 2.4. Susunan tube (a) aligned (b) staggered	15
Gambar 2.5. Zona Kondensasi	17
Gambar 2.6. Film condensation on (a) a sphere (b) a single horizontal	21
Gambar 2.7. Distribusi temperatur untuk aliran paral.....	26
Gambar 2.8. Distribusi temperatur untuk aliran berlawanan arah	27
Gambar 3.1. Kondensor	32
Gambar 3.2. Pompa aquarium.....	33
Gambar 3.3. Termokopel.	33
Gambar 3.4. Termometer.....	34
Gambar 3.5. Stopwatch.....	34
Gambar 3.6. Ampas kelapa.	35
Gambar 3.7. Autocad alat pirolisis.....	36
Gambar 4.1. Perbandingan nilai lmtd aliran serah dan aliran berlawanan arah..	55
Gambar 4.2. Efisiensi kondensor aliran searah dan aliran berlawanan arah.....	56
Gambar 4.3. Laju kondensasi filem aliran searah dan aliran berlawanan arah...	57

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data spesifikasi kondensor	39
Tabel 4.2. Data hasil penelitian aliran berlawanan arah	40
Tabel 4.4. Hasil perhitungan aliran kondensor berlawanan arah	47
Tabel 4.5. Hasil perhitungan aliran kondensor searah	54



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Krisis bahan bakar fosil yang terjadi di Indonesia telah memaksa Indonesia untuk melakukan impor bahan bakar dalam bentuk minyak mentah. Dampak dari kebijakan tersebut, pada tahun 2015 Indonesia mengalami defisit anggaran Rp. 2.1 triliun untuk menanggulangi hal tersebut. Potensi cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2014 hanya bersisa 3,6 milyar barel, jika Indonesia tidak segera melakukan temuan-temuan bahan bakar alternatif maka minyak bumi di Indonesia akan habis dalam 12 tahun kedepan. Di sisi lain, emisi gas buang (CO, CO₂, NO_x dll) dari bahan bakar fosil memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. Sumber energi alternatif di Indonesia sangat melimpah jumlahnya, salah satunya adalah energi biomassa, dari jumlah potensi yang tersedia hanya 5,4% saja yang memberikan kontribusi bagi kebutuhan bahan bakar di dalam negeri [1]

Konversi biomassa menjadi bahan bakar terdiri dari 2 cara Biokimial dan Termokimial. Biokimial digunakan untuk mengkonversi bahan biomassa yang mudah membusuk sedangkan termokimial adalah mengkonversi bahan bakar biomassa yang solid atau keras. Pada penelitian ini penulis akan mengkonversi biomassa (ampas kelapa) dengan cara pirolisis.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis dilakukan di sebuah reaktor dengan pengurangan atmosfer (hampa udara) pada temperatur hingga 800⁰ C. [2]

Penelitian ini penulis akan mengkonversi biomasa (ampas kelapa) menjadi bahan bakar yang memiliki 3 yaitu keluaran bioarang, biogas dan biooil. Pada proses biooil ada satu bagian dari peralatan digester yang mengkonsdensasi uap menjadi cair dan mereduksi konten selain biogas yang di beri nama kondensor. Pada konten kondensor yang di tinjau dari aspek teknik mesin di situ terjadi perpindahan panas secara konveksi, uap panas yang berasal dari reactor menuju kondensor akan di kondensasi melalui air untuk diubah menjadi cair, yang menghasikan keluaran bio oil pada proses itu terjadi perpindahan panas yang akan di hitung efektivitasnya dengan Metode LMTD.

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin. Pada kondensor ini terjadi pelepasan kalor secara kondensasi dan kalor sensibel. [3]

Aliran fluida kerja yang mengalir secara terus menerus di dalam alat penukar kalor (APK), setelah melampaui waktu penggunaan tertentu akan mengotori permukaan perpindahan panasnya. Dposit yang terbentuk di permukaan kebanyakan akan mempunyai konduktivitas termal yang cukup rendah sehingga akan mengakibatkan menurunnya besaran koefisien global perpindahan panas di dalam alat penukar kalor, akibatnya laju pertukaran energi panas di dalam APK menjadi lebih rendah.

Setelah melakukan pengamatan pemodelan kondensor terdapat beberapa kondensor tidak melalui pengujian terlebih dahulu sehingga kondensasi tidak dapat menghasilkan biooil yang diinginkan, dengan adanya perancangan kondensor pada pirolisis biooil dan melalui pengujian maka mendapatkan kondensasi yang sempurna dengan hasil keluaran sesuai yang diinginkan, sehingga biooil yang

diinginkan dapat tercapai sesuai dengan standar yang telah di tentukan sebelumnya. Untuk itu penulis tertarik untuk mengambil judul “ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA KONDENSOR DENGAN METODE LMTD PADA PYROLISIS AMPAS KELAPA”

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka penulis mengambil rumusan masalah yang dihadapi tentang pengaruh dari laju perpindahan panas kondensor dengan menggunakan *metode log mean temperature different* (LMTD) yang di hasilkan setelah di lakukan analisis dari alat pirolisis ampas kelapa. Setelah mendapatkan hasil atau data yang di butuhkan berupa temperature masuk dan keluar *steam*, dan temperature masuk dan keluar *cooling water*. Untuk selanjutnya di hitung efektifitasnya dengan menggunakan metode *. log mean temperature different* (LMTD).

C. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas penulis akan memberikan batasan permasalahan dan asumsi yang dapat diambil dari penelitian ini, sebagai berikut :

1. Analisa diambil berdasarkan data oprasi kondensor.
2. Berada pada kondisi *steady state* dan *steady flow*.
3. Perubahan energy kinetic dan potensial di abaikan.
4. Menganalisis laju perpindahan panas dari keluar steam bejana pirolisis untuk kalor dari komponen-komponen lain di abaikan.
5. Perpindahan panas ditinjau secara konduksi dan konveksi dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasi.
6. *Head losses* didalam dan diluar *tube* diabaikan.
7. Analisa material diabaikan

8. Analisa korosi diabaikan.

D. Tujuan penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah dalam penelitian ini penulis mempunyai maksud dan tujuan, yaitu.

1. Untuk membandingkan temperature air pendingin dan temperature uap pada aliran searah dan aliran berlawanan arah untuk mendapatkan nilai *log mean temperature different* (LMTD).
2. Untuk membandingkan efektivitas kondensor pada aliran searah dengan aliran berlawanan arah untuk menentukan aliran mana yang lebih efisien.
3. Untuk membandingkan nilai laju perpindahan panas dan *enthalpy* pada aliran searah dan aliran berlawanan arah untuk mendapatkan nilai kondensasi film (massa uap) kondensat sebagai hasil keluaran biooil pada aliran searah dan aliran berlawanan arah.

E. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini dikemukakan beberapa manfaat yaitu untuk mengetahui pengaplikasian ilmu perpindahan panas (kalor) dalam permasalahan yang nyata yang terjadi pada suatu alat penukar kalor seperti kondensor pada alat pirolisis ampas kelapa dan mengetahui nilai dari perhitungan dengan metode *log mean temperature different* (LMTD) yang di dapatkan. Dan juga sebagai referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan laju perpindahan panas pada kondensor selanjutnya.

BAB II

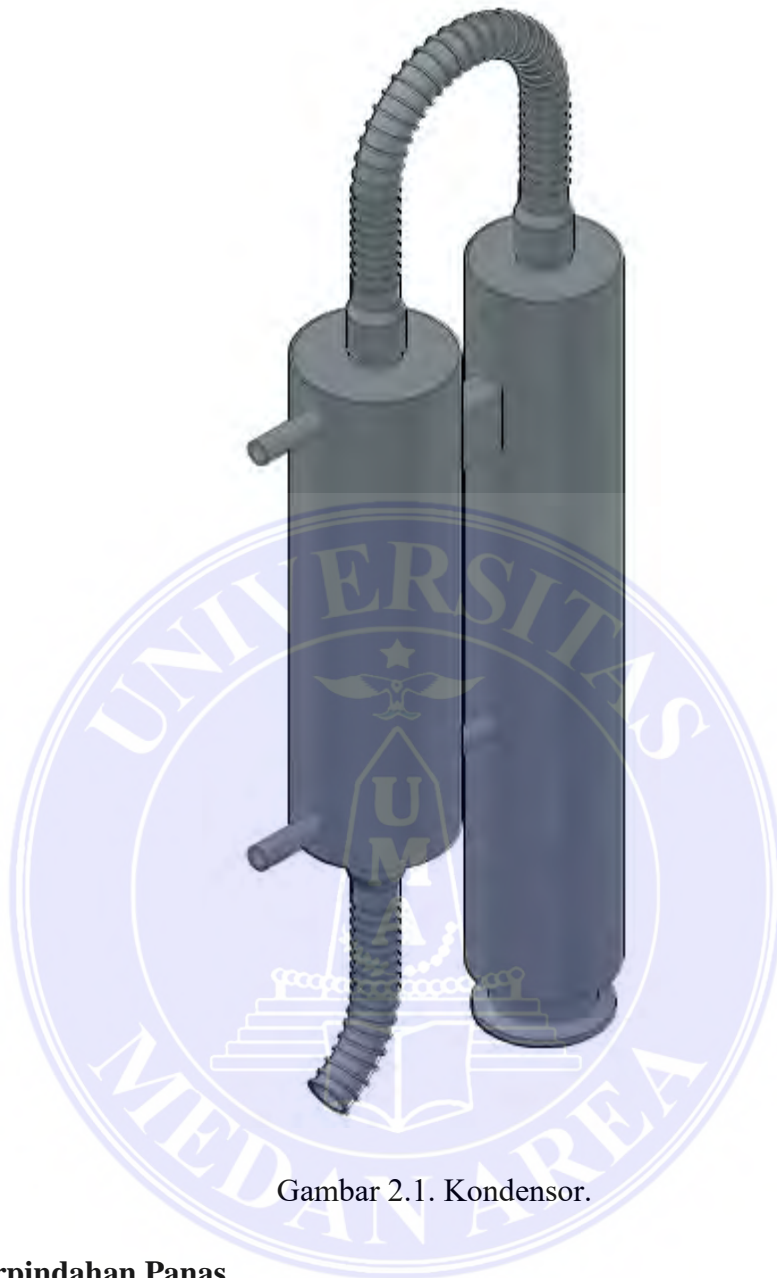
LANDASAN TEORI

A. Kondensor

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting yang berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin. Pada kondensor ini, terjadi pelepasan kalor secara kondensasi dan kalor sensible. Kondensor biasanya menggunakan sirkulasi air pendingin dari menara pendingin (cooling tower) untuk melepaskan kalor ke atmosfer, atau once-through water dari sungai, danau atau laut.

Menurut konstruksinya kondensor terdapat pipa-pipa yang disusun sedemikian rupa dan dialiri oleh air sebagai pendingin serta ruangan hampa sebagai proses lajunya uap. Karena uap jenuh bersingungan dengan pipa-pipa dingin yang dialiri air maka akan terjadi proses kondensasi tersebut dinamakan air kondensasi.

Aliran fluida kerja yang mengalir secara terus menerus di dalam alat penukar kalor (APK), setelah melampaui waktu operasi tertentu akan mengotori permukaan perpindahan panasnya. Deposit yang terbentuk di permukaan kebanyakan akan mempunyai konduktivitas termal yang cukup rendah sehingga akan mengakibatkan menurunnya besaran koefisien global perpindahan panas di dalam alat penukar kalor, akibatnya laju pertukaran energi panas di dalam APK menjadi lebih rendah. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Kondensor.

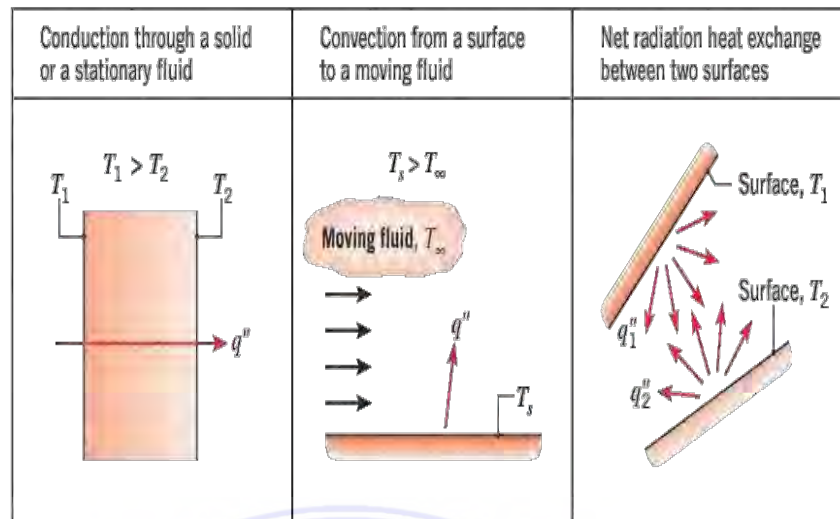
B. Perpindahan Panas

1. jenis jenis perpindahan panas

Perpindahan panas atau kalor dapat didefinisikan sebagai suatu berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Pehitungan laju perpindahan panas membutuhkan perhitungan total pada area permukaan yang terkena panas. Oleh karena itu, dibutuhkan beberapa data, seperti data temperatur fluida yang masuk

dan keluar, koefisien perpindahan panas total, laju perpindahan panas total, dan data-data lain yang mendukung untuk analisis pada permasalahan yang dibahas untuk tugas akhir ini. Data-data tersebut dianalisis dengan menggunakan metode *log mean temperature different* (LMTD) dengan mengabaikan perpindahan panas secara radiasi yang terjadi ke lingkungan, berada pada kondisi steady state, dan aliran fluida dianggap dalam keadaan steady flow. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada tugas akhir ini hanya menjelaskan perpindahan konduksi dan konveksi saja, untuk perpindahan panas secara radiasi tidak dijelaskan.

Gambar 2.2. Menunjukkan bahwa ada tiga perpindahan panas yaitu perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi. Ketika gradien suhu ada dalam media stasioner, yang mungkin berupa padatan atau fluida, maka menggunakan istilah konduksi untuk merujuk pada perpindahan panas yang akan terjadi di seluruh media atau perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung terhadap aktivitas pada level atom molekuler. Sebaliknya, istilah konveksi mengacu pada perpindahan panas yang akan terjadi antara permukaan dan cairan yang bergerak ketika mereka pada suhu yang berbeda. Mode ketiga dari perpindahan panas adalah disebut radiasi termal. Semua permukaan suhu terbatas mengeluarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu, dengan tidak adanya media intervensi, ada panas bersih ditransfer oleh radiasi antara dua permukaan pada temperatur yang berbeda.



Gambar 2.2. Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi.

2. Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang disebabkan perbedaan temperatur dan bergantung pada aktivitas level atom atau molekuler. Dimana energi panas dipindahkan melalui hantaran molekul-molekul yang bergerak dan saling bertumbukan yang ada di dalam suatu zat padat, atau melalui hantaran molekul-molekul zat cair atau gas yang berada dalam keadaan diam atau tidak dalam keadaan mengalir. [6]

Gradien suhu ada dalam tubuh, pengalaman menunjukkan bahwa ada transfer energi dari wilayah suhu tinggi ke wilayah suhu rendah. Kami mengatakan bahwa energi ditransfer oleh konduksi dan bahwa laju perpindahan panas per satuan luas adalah proporsional ke gradien suhu normal. Untuk menghitung laju perpindahan diperlukan persamaan yang sesuai dengan mode dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu. dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum) Fourier's Law, seperti yang terlihat pada persamaan 2.1 yaitu:

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

q_x = laju perpindahan panas ke arah sumbu x positif

K = konduktivitas panas adalah karakteristik individu material dinding ($W/m^2.k$)

A = luasan penampang yang tegak lurus dengan arah perpindahan panas, (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = gradient temperature

Tanda minus adalah konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang lebih rendah.

3. Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan zat dengan fluida yang bergerak dan keduanya mempunyai perbedaan temperatur. Selain itu, perpindahan panas secara konveksi dikategorikan berdasarkan terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida disebabkan oleh faktor eksternal; seperti pompa dan fan atau blower; maka disebut konveksi paksa, dan jika aliran fluida dihasilkan oleh tarikan gaya buoyancy yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis fluida maka disebut konveksi bebas.

Laju perpindahan panas konveksi secara didapati dengan menggunakan (hukum) Newton's law of cooling, seperti yang terlihat pada persamaan 2.2 yaitu :

$$q = h.A(T_s - T) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

q = laju perpindahan panas konveksi, (Watt)

h = koefisien perpindahan panas konveksi, (W/m².k)

A = luasan penampang yang tegak lurus dengan arah perpindahan panas, (m²)

T_s = temperatur permukaan padat, (K)

T = temperatur rata-rata fluida, (K)

4. Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida Di Dalam Pipa

Perpindahan panas akibat aliran fluida yang terjadi di dalam pipa merupakan aliran internal dimana boundary layer tidak memungkinkan untuk berkembang dikarenakan dibatasi oleh surface. Ada perbedaan yang prinsip antara tube dengan pipa terutama diameter dan tebalnya. [7] Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi didalam tube sama dengan menghitung nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi didalam tube, dengan persamaan 2.3 sebagai berikut,

$$h_i = \frac{NuD \times K}{D} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

h_i = koefisien konveksi diluar tube, (W/m².k)

NuD = nusselt number

K = konduktifitas thermal, (W/m.k)

D = diameter luar tube, (m)

Pada aliran internal ini terdapat 2 jenis aliran, yaitu:

a. Aliran Laminar

Aliran ini terjadi jika nilai dari Re_D lebih kecil dari 2300. Perpindahan panas pada aliran ini dapat ditinjau dari heat flux permukaan konstan dan temperatur permukaan konstan. Pada saat aliran internal pada tube dengan karakteristik uniform surface, heat flux, dan laminar fully develop conditions; nusselt number konstan dan tidak bergantung pada Re_D , Pr , dan axial location. Untuk nusselt number didapat dari persamaan 2.4a dan 2.4b berikut,

$$Nu_D = \frac{h_i \times d}{K} = 4.36 \quad (q'' = \text{konstan}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika Δ pada seluruh permukaan perpindahan panas sama

$$Nu_D = \frac{h_i \times d}{K} = 3.66 \quad (T_s = \text{konstan}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Jika T_s pada seluruh permukaan perpindahan panas sama dimana,

Nu_D = nusselt number

h = koefisien konveksi diluar tube, $(W/m^2.k)$

D = diameter luar tube, (m)

K = konduktifitas thermal, $(W/m.k)$

b. Aliran Turbulen

Aliran ini terjadi jika nilai Re_D lebih besar dari 4000. Di dalam aliran ini untuk menghitung nusselt number dapat dicari dengan menggunakan persamaan ditus-boelter. Dengan pengaruh jenis perpindahan panas menjadi salah satu faktor

yang diperhitungkan (cooling atau heating). Untuk nusselt number didapatkan dari persamaan 2.5. berikut,

$$NuD = 0.023 RD_5^4 Pr^n \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

NuD = nusselt number.

ReD = reynold number.

Pr = prandtl number.

n = 0.4 untuk heating ($T_s > T_m$) dan 0.3 untuk cooling ($T_s < T_m$).

untuk membedakan kedua aliran tersebut, digunakan batasan dengan menggunakan reynold number. Seperti yang terdapat pada persamaan 2.6 berikut,

$$ReD = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

ReD = reynold number

ρ = massa jenis aliran, (Kg/m^3)

V = kecepatan aliran, (m/s)

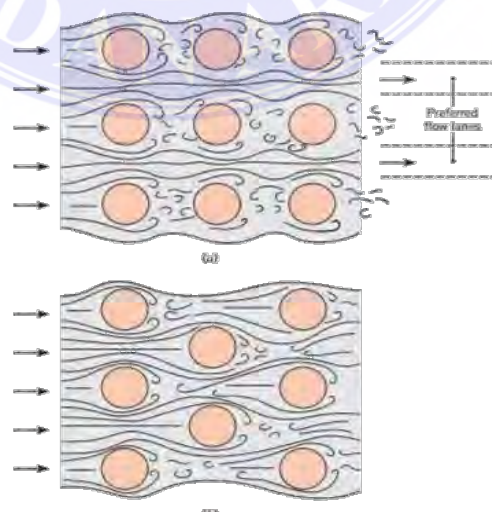
D = diameter dalam tube, (m)

μ = viskositas absolut, (Ns/m^2)

5. Perpindahan Panas Akibat Aliran Fluida Di Luar Pipa

Perpindahan panas akibat aliran fluida yang terjadi di luar pipa dari shell and tube heat exchanger dianalisa berdasarkan analisa perpindahan panas secara konveksi yang melewati susunan tube pada shell and tube heat exchanger. Besarnya koefisien perpindahan panas secara konveksi sangat dipengaruhi oleh tingkat turbulensi aliran dan jumlah baris pada tiap tube. Tingkat turbulensi pada aliran dapat ditingkatkan dengan mengatur susunan-susunan tube. Ada dua jenis susunan tube yaitu susunan aligned dan staggered. Pada kondensor ini memakai tipe tube sepiral, dikarenakan memiliki koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi karena bentuknya berliku-liku, sehingga semakin banyak bagian tube teraliri fluida.

Aliran di sekitar tabung di baris pertama dari tabung penyusun mirip dengan silinder (terisolasi) tunggal dalam aliran silang. Sejalan dengan itu, koefisien perpindahan panas untuk tabung di baris pertama kira-kira sama dengan untuk satu tabung dalam aliran silang. Untuk baris hilir, kondisi aliran sangat bergantung pada pengaturan penyusun tabung seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Aliran fluida melintasi (a) aligned dan (b) staggered tube..

$$ReD = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

ReD = reynold number

ρ = massa jenis aliran, (Kg/m³)

V = kecepatan aliran, (m/s)

D = diameter dalam tube, (m)

μ = viskositas absolut, (Ns/m²)

Untuk mencari V_{max} , dengan menggunakan perumusan 2.8 dan 2.9 berikut,

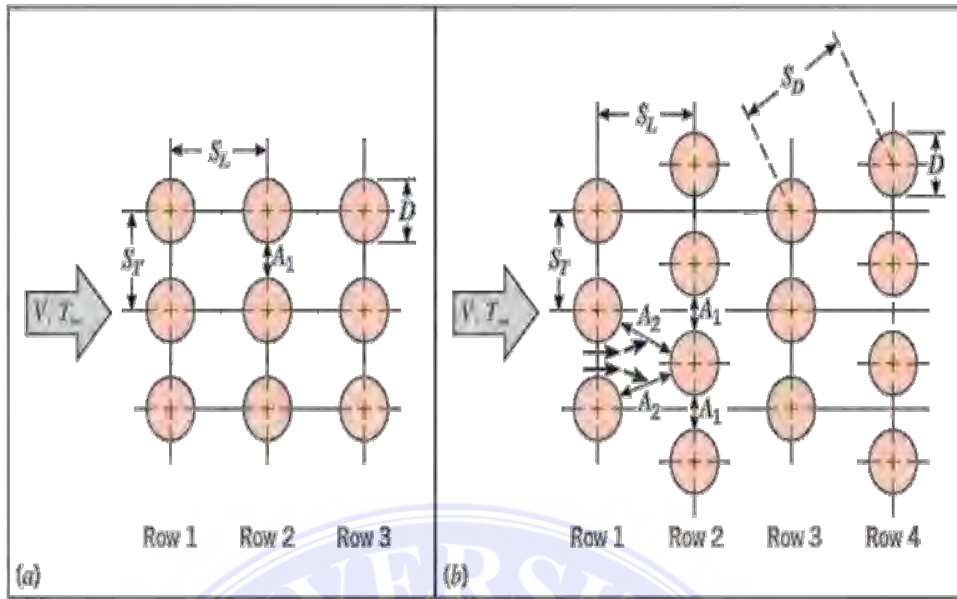
$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan Syarat $(S_T - D) < 2(SD - D)$ atau dengan perumusan pada persamaan 2.9. berikut,

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_D - D} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan syarat $(S_T - D) > 2(SD - D)$

Syarat – syarat tersebut dapat dilihat dari susunan tube berikut seperti yang terlihat pada gambar 2.4. berikut,



Gambar 2.4. Susunan tube (a) aligned (b) staggered.

Baris tabung dari tepi dapat disejajarkan atau dipindahkan menuju kecepatan fluida V seperti yang ditunjukkan (Gambar 2.4). Konfigurasi dicirikan oleh diameter tabung D dan oleh S_T dan S_L transversal longitudinal diukur antara pusat tabung. Kondisi aliran di dalam penyusun didominasi oleh efek pemisahan lapisan batas dan oleh interaksi bangun, yang pada gilirannya mempengaruhi perpindahan panas konveksi.

Menemukan harga Re_D maka dapat diketahui prandtl number, sehingga mampu menghitung *Nusselt Number*. Seperti yang terlihat pada persamaan 2.10 berikut,

$$Nu_D = C_1 Re_D^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

Nu = nusselt number.

C = harga konstanta (C).

Re = reynold number.

m = harga konstanta (m).

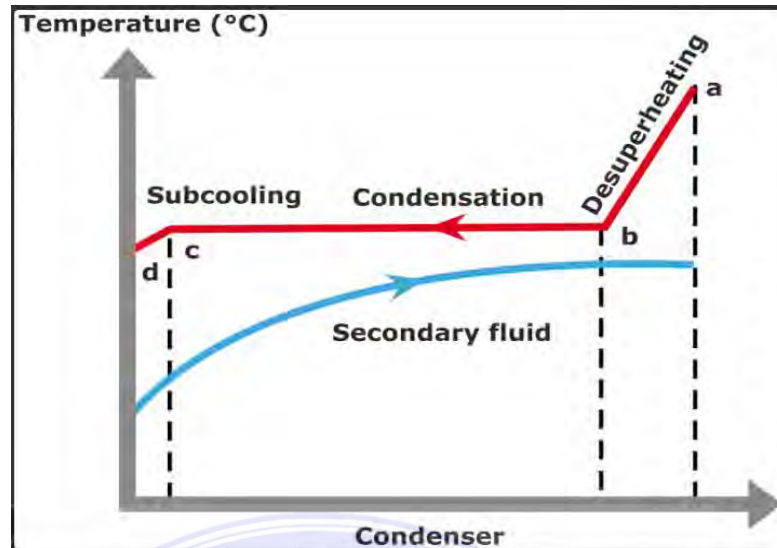
Pr = prandtl number.

Pr = prandtl number pada bagian surface.

C. Koefisien Perpindahan Panas Pada Zona Kondensasi

Zona kondensasi adalah daerah didalam kondensor dimana terjadinya perubahan fase dari uap jenuh menjadi cair jenuh. Steam masuk ke dalam kondensor masih dalam keadaan uap. Pada keadaan ini di dalam kondensor di sebut zona *desuperheat*. Setelah itu steam akan terkondensasi menjadi cair yang di sebut zona *condensing*. Setelah melewati zona *condensing*, steam yang terkondensasi melewati zona cair sempurna atau zona *subcool*.

Perpindahan panas pada daerah kondensasi dapat dianalisa melalui lapisan tube yang terkondensasi pada sistem radial pada horizontal tube. Temperatur berkurang selama *desuperheating* dan *sub-cooling*, tetapi tetap konstan selama kondensasi seperti terlihat pada (Gambar 2.5). Energi yang ditolak dari pendingin memanaskan media sekunder, yang suhunya meningkat. Tekanan berubah sedikit dari *desuperheating* ke *subcooling*. Dalam cara yang mirip dengan penguapan, satu-satunya perbedaan tekanan antara pintu masuk dan keluar dari penukar panas adalah penurunan tekanan. Karena kecepatan aliran dalam kondensor berkurang, penurunan tekanan yang diinduksi jauh lebih rendah seperti yang terlihat pada gambar 2.5. berikut.



Gambar 2.5. Zona Kondensasi.

Penelitian ini hanya membahas tentang zona kondensasi yang berada di kondensor. kondensasi berlangsung apabila uap jenuh bersinggungan dengan permukaan yang mempunyai suhu lebih rendah. Steam yang masuk ke dalam kondensor berupa uap jenuh. Kemudian, steam ini dikondensasikan hingga keadaanya menjadi saturated liquid. Liquid hasil kondensasi akan terkumpul pada permukaan tube dan jatuh karena adanya gravitasi atau dikarenakan terseret oleh pergerakan steam. Pada perpindahan panas di shell susunan tube sangat berpengaruh pada koefisien perpindahan panas secara konveksi. kondensasi yang paling umum ialah adanya kondensasi film pada liquid yang tipis dan terbentuk di seluruh permukaan film. Di ini, panas yang dilepas oleh steam tidak membuat temperaturnya berubah, tetapi terjadi perubahan fase atau kalor laten pada keluaran kondensor. Sedangkan kalor yang diterima oleh air pendingin mengalami perubahan temperature dengan tidak terjadinya perubahan fase atau kalor sensibel. Kondensasi yang terjadi didalam kondensor dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. Film Condensation

Kondensasi jenis ini, kondensasi berbentuk tipis menyelubungi dinding tube, semakin lama seakin tebal. Pengaruh gaya gravitasi dan gaya berat yang menyebabkan lapisan kondensasi tipis tersebut jatuh kebawah dan nantinya menjadi air kondensat.

b. Dropwise Condensation

Kondensasi jenis ini, kondensasi berbentuk bintik- bintik embun yang nantinya akan menetes secara terus- menerus dikarenakan gaya gravitasi dan gaya berat. Kondensasi jenis ini hanya akan terjadi pada lapisan permukaan tube yang tipis. Pengebunan yang diharapkan terjadi pada tube kondensor adalah dropwise condensation, tetapi dikarenakan dalam dropwise condensation dinding pipa tidak diselubungi oleh bintik-bintik embun, maka uap dapat berkontak langsung dengan tube pendingin secara kontinyu. Ini dapat menyebabkan nilai koefisien perpindahan panasnya menjadi besar. Selama pengembunan berlangsung, hampir selalu dipastikan bawa kondensasi yang terjadi adalah film condensation, ini disebabkan karena kondensasi akan menetes pada permukaan yang benar-benar licin saja. Oleh karena itu, untuk perhitungan koefisien perpindahan panas pada zona kondensasi yang terjadi adalah film condensation, dengan persamaan 2.11 sebagai berikut.

$$Nu = \frac{h_0 D_0}{K_f} = C \left[\frac{g \times \rho_f \times (\rho_f - \rho_g) \times h_{fg} \times D_0^3}{\mu_f \times K_f \times (T_{sat} - T_s)} \right]^{1/4} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

Nu = nusselt number.

h_0 = koefisien konveksi di luar tube, (W/m².k).

D_0 = diameter luar tube, (m).

K_f = thermal conductivity, (W/m.x.k).

C = the constant for vertical tubes = 0.729.

g = acceleration due to gravity (m/s²).

f = density fluida.

hfg = kalor laten penguapan, (J/Kg).

D_o = diameter luar tube, (m).

μ_f = viscosity, (N.s/m²).

T_{sa} = saturation temperature (°C).

T = surface temperature (°C).

Nilai C : 0.862 untuk bola dan C : 0.729 untuk tube. Untuk penggunaan persamaan diatas, semua liquid properties didapat dari film temperature (T_f) = $\frac{T_{sat}-T_s}{2}$ sedangkan untuk massa jenis vapour (v) dan kalor laten penguapan (hfg) didapat dari T_{sat} .

Tube yang disusun bertingkat secara horizontal tanpa fin dengan banyak $tube$ adalah N , maka koefisien rata-ratanya adalah seperti yang terlihat pada persamaan 2.12 berikut :

$$h_o.N = h_o \times N \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$h_o.N$ = koefisien konveksi rata-rata dari semua tube secara horizontal dibawah
(W.m².K).

h_o = koefisien konveksi aliran diluar tube ($m^2.K$).

N = Jumlah tube.

n = nilai empiris yang digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan film dari tube = $-\frac{1}{6}$ (dikarenakan nilai empiris ini lebih tepat digunakan dalam perhitungan).

Harga untuk kalor laten penguapan h_{fg} dicari dengan menggunakan persamaan 2.13 Jacob number (Ja), yaitu,

$$J_a = \frac{C_{p,f} \times (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

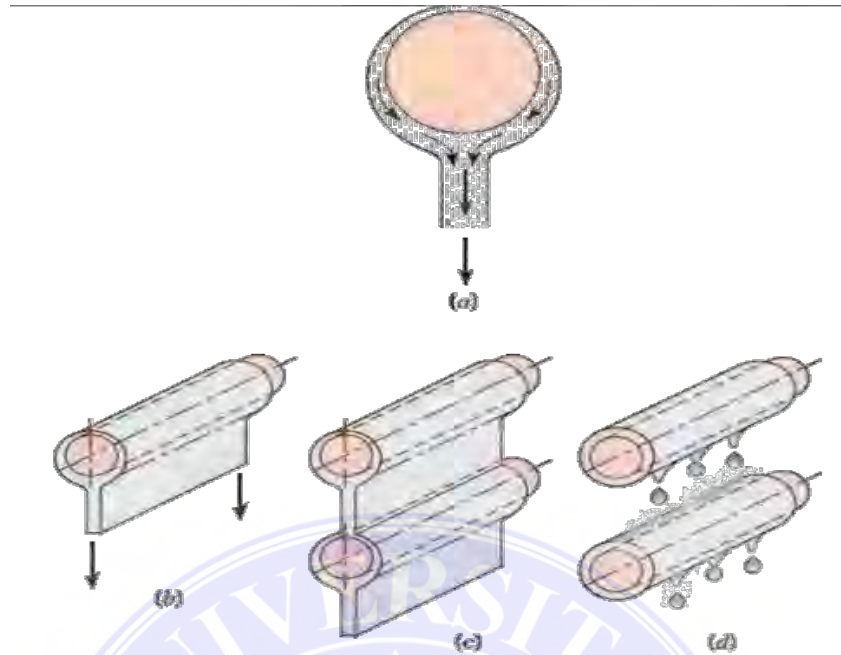
J_a = Jacob number.

$C_{f,g}$ = Specific heat, (KJ/Kg.K).

T_{sat} = saturation temperature ($^{\circ}C$).

T_s = surface temperature ($^{\circ}C$).

h_{fg} = heat of vaporization , (KJ/Kg).



Gambar 2.6. *Film condensation on (a) a sphere (b) a single horizontal.*

Ketika antarmuka cairan-uap melengkung, seperti terlihat pada (Gambar 2.6.) perbedaan tekanan ditetapkan di seluruh antarmuka oleh efek dari tegangan permukaan. tekanan pada sisi cair antarmuka tidak seragam, mempengaruhi distribusi kecepatan dalam cairan dan laju perpindahan panas. [5]

D. Persamaan *Surface Temperature* atau *Temperatur Dinding Tube*

Metode literasi di gunakan untuk mencari temperatur dari dinding pipa, yaitu metode yang digunakan secara berulang- ulang dalam menyelesaikan suatu masalah. Sedangkan harga koefisien konveksi perpindahan panas secara paksa dan koefisien konveksi perpindahan panas secara kondensasi diketahui dari temperatur dinding atau *surface* (T_s) asumsi. Kemudian harga temperatur dinding pipa hasil perhitungan dibandingkan dengan temperatur dinding pipa asumsi. Dari hasil perbandingan tersebut, didapatkan besar penyimpangan yang terjadi. Beda temperatur pada *tube* yang bersilangan atau = cross $T_c - T_s$ diabaikan dan dianggap

temperatur pada *seluruh tube* sebagai temperatur luar dinding *tube* T_{sat} (*saturation temperature*).

Temperatur dinding atau surface (T_s) asumsi. Kemudian harga temperatur dinding pipa hasil perhitungan dibandingkan dengan temperatur dinding pipa asumsi. Dari hasil perbandingan tersebut, didapatkan besar penyimpangan yang terjadi. Beda temperatur pada tube yang bersilangan atau cross $T_c - T_s$ diabaikan dan dianggap temperatur pada seluruh tube sebagai temperatur luar dinding tube T_{sat} (*saturation temperature*) seperti yang terlihat pada persamaan 2.14 berikut.

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R} = \frac{T_{sat} - T_c}{R_o - R_i} = \frac{T_s - T_c}{R_i} = \frac{T_{sa} - T_c}{\frac{1}{H_o} + \frac{1}{H \frac{D_i}{D_o}}} = \frac{T_s - T_c}{\frac{1}{h_i \frac{D_i}{D_o}}} \dots\dots\dots(2.14)$$

maka temperatur dinding tube dapat dihitung dengan persamaan 2.15 sebagai berikut,

$$T_s = T_{mean} + \frac{h_o}{\frac{D_i}{D_o} h_i + h_o} \times (T_{sat} - T_{mean}) \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

T_s = surface temperature (°K atau °C).

T_{mean} = temperatur rata-rata (°C).

h_o = koefisien konveksi aliran diluar tube ,(W/m².K).

h_i = koefisien konveksi aliran didalam tube ,(W/m².K).

D_i = diameter dalam tube (m).

D_o = diameter luar tube (m).

T_{sat} = saturation temperature (°C).

E. Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Koefisien perpindahan panas keseluruhan merupakan tahanan *thermal* keseluruhan diantara dua fluida (fluida dingin ke fluida panas) yang terjadi perpindahan panas, termasuk adanya faktor kerak (*fouling factor*) yang mungkin terjadi sesudah alat penukar kalor digunakan. *Overall heat transfer coefficient* dapat dihitung dengan menjumlahkan tahanan *thermal* akibat konduksi dan konveksi diantara dua fluida yang dibatasi oleh dinding silinder. Persamaan 2.16 umum untuk menghitung *overall heat transfer coefficient* yaitu,

$$R_{tot} = \frac{1}{U \cdot A} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

R_{tot} = total resistant .

U = overall heat transfer coefficient ($W/m^2.K$).

A = luasan total bidang permukaan perpindahan panas (m^2) Tahanan thermal melibatkan tahanan konveksi aliran didalam silinder.

Tahanan konduksi pada material silinder dan tahanan konveksi aliran diluar silinder, sehingga dapat diambil persamaan 2.17 berikut,

$$R_{tot} = \frac{1}{h_o \cdot z \cdot r_o \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2 \cdot kL} + \frac{h}{h_i \cdot z \cdot r_i \cdot L} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

R_{tot} = resistant total.

h_o = koefisien konveksi di luar *tube* , ($W/m^2.K$).

r_o = jari-jari dalam *tube* (m).

L = panjang *tube* (m).

r_i = jari-jari dalam *tube* (m).

k = konduktifitas *thermal* ,(W/m².K).

h_i = koefisien konveksi di dalam *tube* ,(W/m².K).

F. Analisa Perpindahan Panas

1. Analisa Perpindahan Panas Dengan Metode LMTD (*Log Mean Temperature Different*)

perpidahan panas, digunakan perumusan Metode ini digunakan untuk mencari temperatur rata-rata, yaitu dari temperatur *inlet* dan *outlet* dari *fluida*, pada pesawat penukar kalor. Maka untuk mendapatkan laju sebagai berikut:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana,

q = laju perpindahan panas (W)

U = *overall heat transfer coefficient*

A = luasan total bidang permukaan perpindahan panas (m²)

ΔT_{LMTD} = perbedaan temperatur rata-rata antara *fluida* panas dan *fluida* dingin (K)

Rumus ΔT_{LMTD} seperti yang terlihat pada persamaan 2.19. adalah :

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

ΔT_{LM} = perbedaan temperatur rata-rata antara fluida panas dan fluida dingin (K).

$$\Delta T_1 = T_i - T_o.$$

$$\Delta T_2 = T_o - T_i.$$

keterangan :

T_i adalah temperatur fluida panas *inlet* ($T_{h,i}$) (K).

T_o adalah temperatur fluida dingin *outlet* ($T_{c,o}$) (K).

T_o adalah temperatur fluida panas *inlet* ($T_{h,o}$) (K).

T_i adalah temperatur fluida dingin *outlet* ($T_{c,i}$) (K).

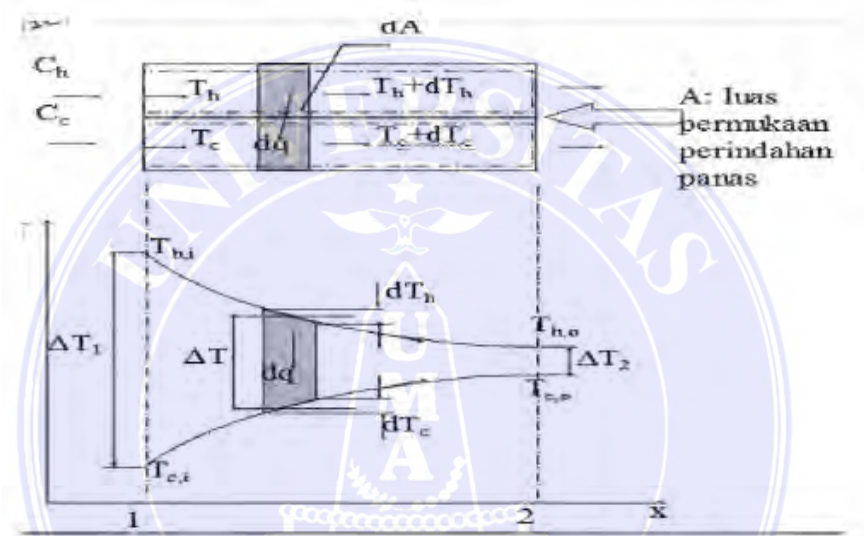
Sebelum menentukan LMTD, terlebih dahulu mengetahui jenis alirannya.

Berdasarkan arah aliran heat exchanger, dibagi menjadi 3 jenis arah aliran yaitu:

a. Aliran paralel.

Distribusi suhu cairan rata-rata panas dan dingin yang terkait dengan penukar panas aliran paralel ditunjukkan pada (Gambar 2.7). Perbedaan suhu T pada awalnya besar tetapi menyeluruh dengan meningkatnya x , mendekati nol tanpa gejala. Penting untuk dicatat bahwa, untuk pengukar seperti itu, suhu keluar dari fluida dingin tidak pernah melebihi dari fluida panas. Harga koefisien perpindahan panas kondensasi dapat diketahui berdasarkan temperature dinding perkiraan. Seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 2.7). Neraca energi dan analisis selanjutnya adalah subjek dengan asumsi berikut.

1. Penukar panas terisolasi dari lingkungannya, dalam hal ini satu-satunya pertukaran panas antara cairan panas dan dingin.
2. Konduksi aksial sepanjang tabung dapat diabaikan.
3. Perubahan energi potensial dan kinetik dapat diabaikan.
4. Pemanasan spesifik fluida konstan.
5. Koefisien perpindahan panas keseluruhan adalah konstan.



Gambar 2.7. Distribusi temperatur untuk aliran paral.

Sehingga destribusi temperature untuk aliran parallel dapat di rumuskan seperti persamaan 2.20 dan 2.21 berikut,

$$\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,i} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,o} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

$T_{h,i}$ = adalah temperatur masuk fluida panas (K).

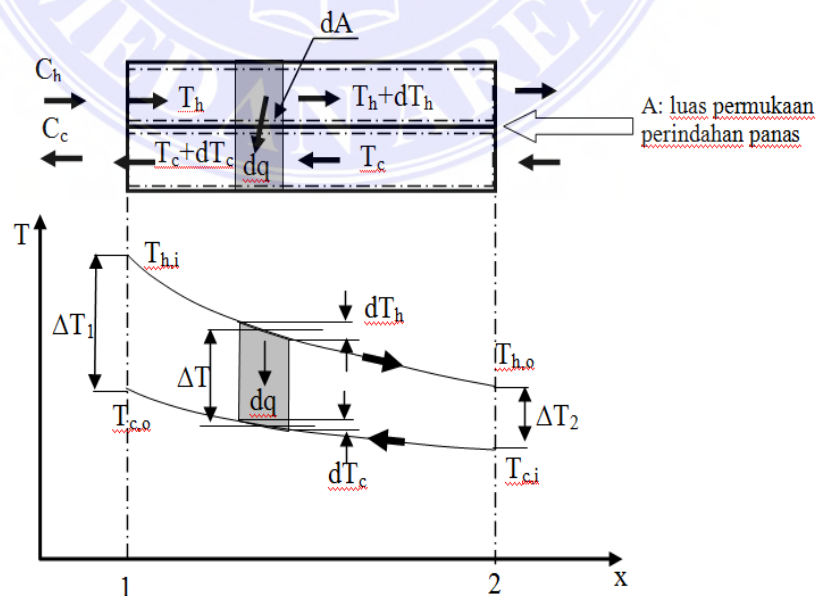
$T_{c,i}$ = adalah temperatur masuk fluida dingin (K).

$T_{h,o}$ = adalah temperature keluar fluida panas (K).

$T_{c,o}$ = adalah temperatur keluar fluida dingin (K).

b. Aliran berlawanan arah.

Jenis aliran ini, pembedanya terletak pada ΔT_1 dan ΔT_2 dikarenakan arah aliran yang berbeda. Distribusi suhu cairan panas dan dingin yang terkait dengan penukar panas aliran berlawanan arah ditunjukkan pada (Gambar 2.8). Berbeda dengan penukar aliran paralel, konfigurasi ini menyediakan perpindahan panas antara bagian yang lebih panas dari dua cairan di satu ujung, serta antara bagian yang lebih dingin di sisi lainnya. Untuk alasan ini, perubahan dalam perbedaan suhu, $\Delta T = \Delta T_H - T_C$, sehubungan dengan x tidak ada yang sebesar untuk daerah saluran masuk dari penukar aliran paralel. Perhatikan bahwa suhu keluar dari fluida dingin sekarang dapat melebihi suhu keluar dari fluida panas. Dapat dilihat dari gambar 2.8 bahwa untuk aliran berlawanan arah.



Gambar 2.8. Distribusi temperatur untuk aliran berlawanan arah.

Sehingga dapat di rumuskan seperti yang terlihat pada persamaan 2.22 dan 2.23 berikut,

$$\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

$T_{h,i}$ = adalah temperatur masuk fluida panas (K).

$T_{c,o}$ = adalah temperatur keluar fluida dingin (K).

$T_{h,o}$ = adalah temperature keluar fluida panas (K).

$T_{c,i}$ = adalah temperatur masuk fluida dingin (K).

c. Aliran *multipasses* dan silang.

Tipe aliran ini membutuhkan faktor koreksi dengan hasil perhitungan yang tepat. Seperti yang terlihat pada persamaan 2.24 berikut,

$$\Delta T_{LM} = F \Delta T_{LM,CF} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

ΔT_{LM} = perbedaan temperatur rata-rata antara fluida panas dan fluida dingin (K).

F = faktor koreksi.

$\Delta T_{LM,CF}$ = *log mean temperature different* untuk aliran berlawanan arah.

2. Analisa Perpindahan Panas Dengan Dengan Metode Effectiveness- NTU (Number Of Transfer Unit).

Untuk metode NTU sendiri ialah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk menganalisis perpindahan panas pada suatu pesawat penukar kalor.

Persamaan 2.25, 2.26 dan 2.27 dari NTU sebagai berikut,

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \dots \dots \dots (2.25)$$

Dimana :

NTU = number of transfer unit.

U = overall heat transfer coefficient.

A = luasan total bidang permukaan perpindahan panas (m^2).

C_{min} = nilai terkecil yang diperoleh dari C_c dan C_h .

Keterangan :

$$C_c = m_c \times CP_c \dots \dots \dots (2.26)$$

$$C_h = m_h \times CP_h \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana :

C_c = heat capacity rate untuk fluida dingin, (W/K).

m_c = laju aliran massa fluida dingin, (W/K).

CP_c = kalor spesifik fluida dingin, (J/Kg.K).

C_h = heat capacity rate untuk fluida panas,(W/K).

m_h = laju aliran massa fluida panas,(W/K).

CP_h = kalor spesifik fluida panas,(J/Kg.K).

Selanjutnya nilai NTU dari berbagai jenis heat exchanger dapat dicari dari grafik. Untuk analisis perhitungan kondensor menggunakan grafik single pass, cross-flow heat exchanger with one fluid mixed and the other unmixed pada buku “fundamentals of heat and mass transfer” oleh Frank P. Incropera. Untuk kondensor tipe shell and tube dengan a shell and two passes, maka digunakan perumusan NTU Sebagai berikut,

Jika $C_c < C_h$, maka $q_{maks} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i})$(2.28)

Jika $C_h < C_c$, maka $q_{maks} = C_h(T_{h,i} - T_{c,i})$ (2.29)

Effectiveness (ϵ) ialah rasio perbandingan antara laju perpindahan panas maksimum yang dimungkinkan terjadi pada suatu heat exchanger. *Effectiveness* (ϵ) merupakan bilangan tak berdimensi yang berada dalam batas $0 < 1$. Untuk perumusan *Effectiveness*, data dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = f\left[NTU \frac{C_{min}}{C_{max}}\right] \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana :

ϵ = *Effectiveness*.

f = faktor kerak (*fouling factor*).

$C_{min} = C_h$: *heat capacity rate* untuk fluida panas.

$C_{max} = C_c$: *heat capacity rate* untuk fluida dingin.

Untuk kondensor tipe shell and tube dengan satu shell and two passes, menggunakan perumusan *effectiveness* sebagai berikut :

$$\epsilon = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_{r^2})^{\frac{1}{2}} \frac{1 + \exp[(-NTU)_1(1 + C_{r^2})^{\frac{1}{2}}]}{1 - \exp[(-NTU)_1(1 + C_{r^2})^{\frac{1}{2}}]} \right\} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana :

ϵ = *Effectiveness*.

C_r = *specific heat ratio*.

NTU = *number of transfer unit*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Workshop bersama di desa punden rejo dusun 4 kecamatan tanjung morawa.

2. Waktu

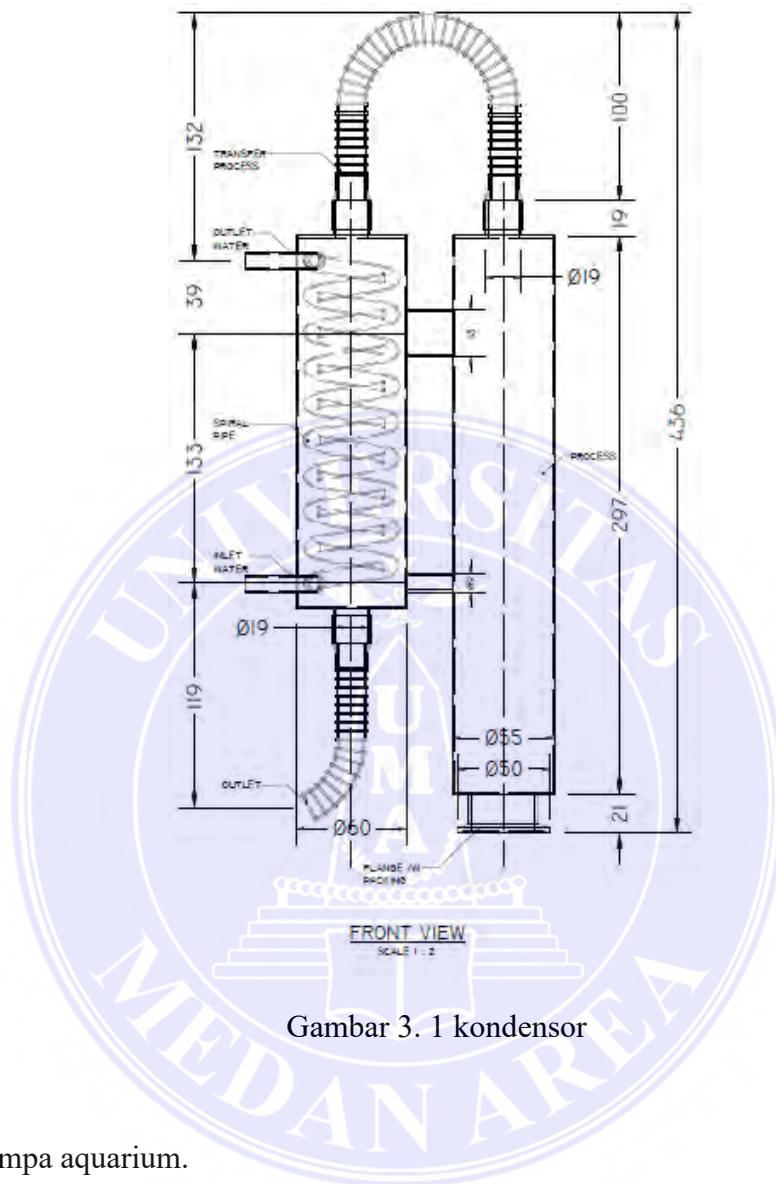
Waktu penelitian dimulai dari 3 bulan setelah dilaksanakannya seminar proposal. Dalam jangka waktu itu sudah cukup untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk menganalisis dan mendapatkan hasil dari penulisan tugas akhir ini.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

a. Kondensor

gambar 3.1 adalah kondensor yang di gunakan pada penelitian ini dan berfungsi untuk mengkondensasi uap hasil keluaran pirolisis ampas kelapa. Pendingin yang di gunakan pada kondensor ini iyalah air murni. Kondensor ini terbuat dari material stenlis steal 304 dengan diameter inlet uap masuk dan uap keluar 15mm sedangkan untuk diameter air masuk dan air keluar 9mm. pada kondensor ini di terapkan system pendinginan berlawanan arah.



Gambar 3. 1 kondensor

b. Pompa aquarium.

Gambar 3.2. adalah pompa aquarium alat yang di gunakan untuk mengalirkan air pendingin di dalam kondensor. Dengan spesifikasi sebagai berikut. Amara AA-107 Pompa air akuarium output 500L/jam daya 8 Watt di gunakan di dalam air ketinggian maksimum 0,7 meter



Gambar 3.2. Pompa aquarium.

c. Termokopel

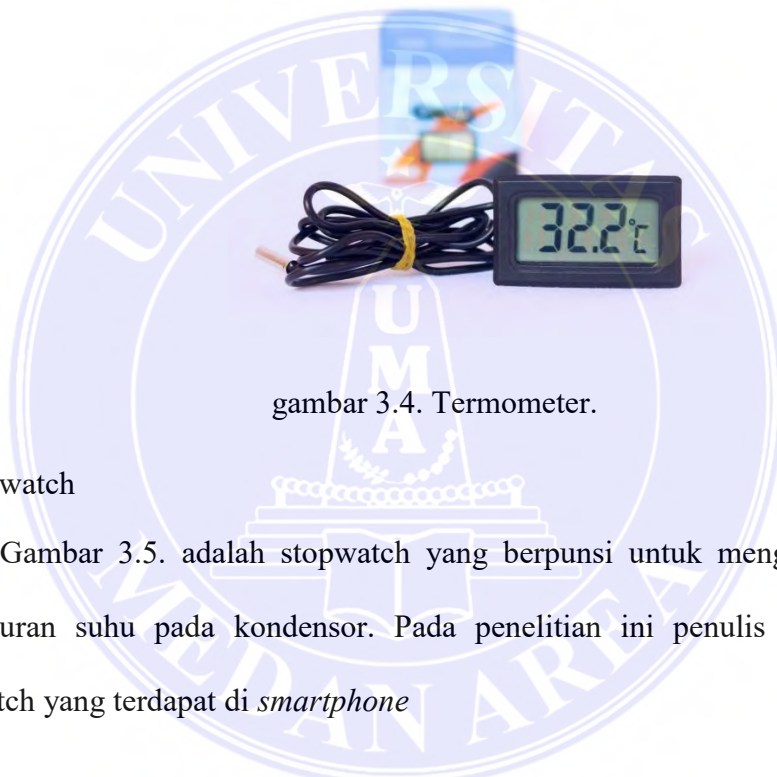
Gambar 3.3. adalah termokopel perangkat listrik yang terdiri dari dua berbeda konduktor listrik membentuk sambungan listrik. Termokopel menghasilkan tegangan yang bergantung pada suhu sebagai hasil dari efek termoelektrik, dan tegangan ini dapat di artikan untuk menghitung suhu. Digital thermometer thermocouple 4 channel type k dengan spesifikasi temperature range 0-500°C sumber daya berasal dari battery 9V dengan 3 pilihan suhu F, C dan K



Gambar 3.3. Termokopel.

c. Termometer

Gambar 3.4. adalah thermometer alat yang dapat digunakan dalam mengukur suhu atau temperatur pada saat uap memasuki kondensor. Spesifikasi alat ini dapat mengukur suhu mulai dari 0-150°C, sumber daya dari alat ini iyalah batrai 1.5V 2 buah, dimensi alat 48mm×28,6mm×15,2mm dan dimensi layar (LCD) 46mm×27mm.



gambar 3.4. Termometer.

d. stopwatch

Gambar 3.5. adalah stopwatch yang berpungsi untuk menghitung waktu pengukuran suhu pada kondensor. Pada penelitian ini penulis menggunakan stopwatch yang terdapat di *smartphone*



gambar 3.5. stopwatch

2. Bahan

Gambar 3.6. merupakan Bahan yang di gunakan pada penelitian ini adalah ampas kelapa yang di peroleh dari industry pemerasan santan kelapa. Pada sekali proses pengujian penulis menggunakan ampas kelapa sebanyak 2 Kg.



gambar 3.6. Ampas kelapa.

C. Tahapan penelitian

Teknik pengumpulan data merupakan langkah yang paling strategis dalam penelitian, karena tujuan utama dari penelitian adalah mendapatkan data. Dengan menggunakan teknik pengumpulan data, maka peneliti akan mendapatkan data yang memenuhi standar data yang di tetapkan. [12] Pengambilan data dilakukan berdasarkan pada data-data yang dibutuhkan dalam analisa laju perpindahan panas.

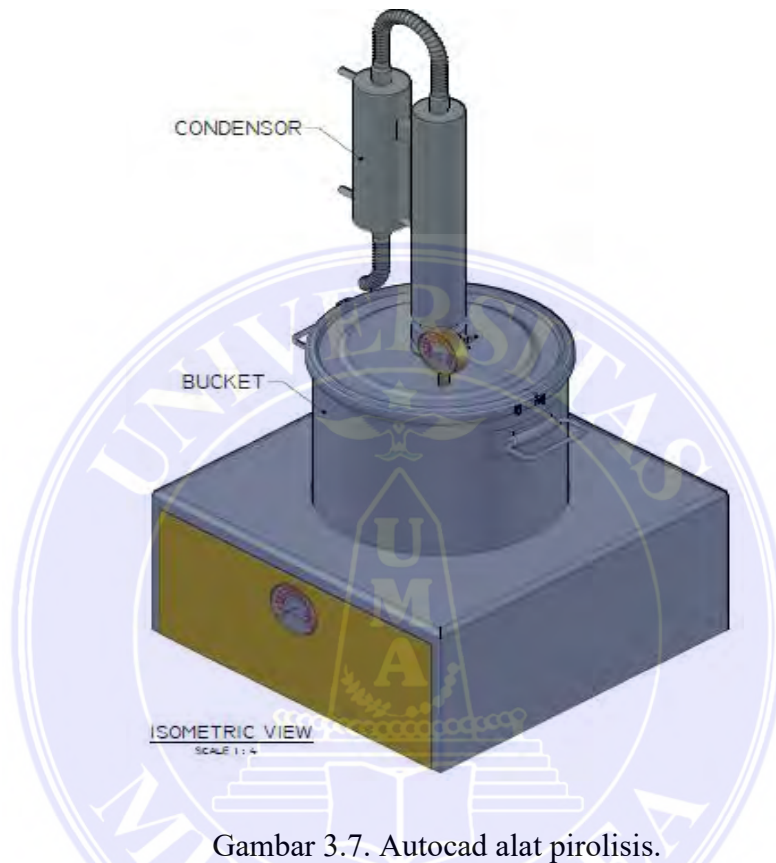
Kegiatan tersebut meliputi:

1. Survey Lapangan.

Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi nyata instalasi serta jenis peralatan yang digunakan. Dengan didampingi pembimbing lapangan, diharapkan ada komunikasi dua arah untuk memberikan gambaran jelas mengenai

data-data yang diperlukan untuk analisa perhitungan, yaitu data spesifikasi, data actual.

2. Variable penelitian.



Gambar 3.7. Autocad alat pirolisis.

Penelitian ini merupakan suatu kegiatan yang di lakukan secara terencana dan sistematis untuk mendapatkan jawaban pemecahan masalah terhadap fenomena perpindahan panas pada kondensor dengan metode LMTD, maka jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang terdiri dari 2 variabel.

4. Variable bebas

Variabel bebas disebut juga variabel independen. Dalam hubungan antar variabel, variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel terikat. Maka dalam penelitian ini penulis menetapkan variable bebas ialah:

$T_{c\ in}$ = Temperatur air pendingin masuk kondensor.

$T_{c\ out}$ = Temperatur air pendingin keluar kondensor.

$T_{h\ in}$ = Temperatur uap masuk kondensor.

$T_{h\ out}$ = Temperatur uap keluar kondensor.

5. Variable terikat

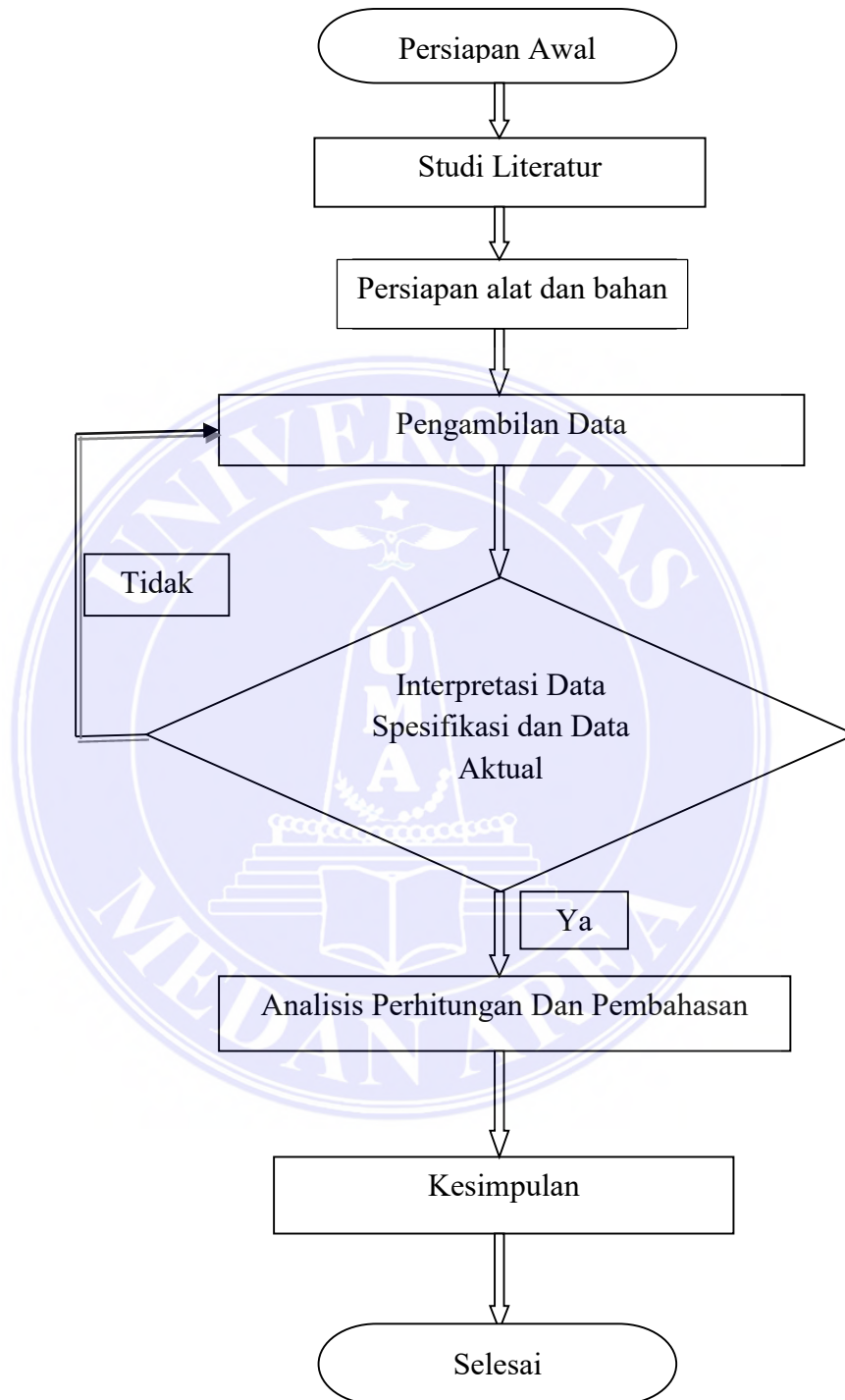
Dari penjelasan di atas kita sudah bisa memperoleh pemahaman bahwa variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini penulis menetapkan bahwa variabel terikat ialah variabel yang nantinya akan mempengaruhi perpindahan panas di kondensor.

\dot{m}_c = laju aliran air pendingin kondensor.

\dot{m}_h = laju aliran massa uap masuk kondensor.

D. Flow Chart (Diagram Alir)

1. Metodologi Penyusunan Penelitian



Gambar 3.1. *Flow Chart* Penyusunan Penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melaksanakan pengujian pada alat kondensor pirolisis ampas kelapa dan pengambilan data serta pembahasannya maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut.

1. analisis perpindahan panas dengan metode LMTD *log mean temperature different* pada aliran berlawanan arah lebih baik di bandingkan dengan aliran searah. Dikarnakan nilai perbedaan temperature rata rata aliran berlawanan arah lebih efektif.
2. efektivitas kondensor aliran berlawanan arah sebesar 97,9% dan pada aliran searah 88,8%. Maka bapat di ambil kesimpulan bawah aliran air pendingin pada kondensor dengan jenis aliran berlawanan arah lebih efisien di gunakan.
2. kondensasi filem (massa uap kondensat) yang di hasilkan pada berlawanan arah jauh lebih maksimal di bandingkan dengan aliran searah dengan nilai laju aliran masa uap terkondensasi dengan nilai $0,002683 = 9,8\%$ pada aliran searah dan $0,002851 = 3,2\%$ pada aliran berlawanan arah.

Dari data disimpulkan bahwa kondensor masih dalam kondisi yang prima dan masih layak di gunakan untuk penelitian selanjutnya.

B. Saran

Pada perhitngan *log mean temperature defret* LMTD laju perpindahan panas dan efektivitas kondensor ini belum sepenuhnya sempurna. Hal ini dikarenakan masih banyak parameter-parameter yang tidak diikutkan dalam

perhitungan, seperti factor plugging, pressure drop, beberapa zona dalam kondensor dan yang lainnya. Untuk mendapatkan data yang konstan sebaiknya pada kondensor di lengkapi dengan alat ukur yang terakusisi langsung ke laptop sehingga di dapat keakuratan data yang baik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1]. U. N. H. Muhammad Idris, "Analisis Perpindahan Kalor Kondensor Pada Destilasi Bioetanol Sebagai Biofuel Dari Campuran Limbah Buah Salak Dengan Limbah Air Kelapa," *2018*, vol. 2, no. 10, pp. 44-45, JMEMME.
- [2]. M. N. R. I. Rusdianto Hamid, "Penanganan Limbah Plastik Dengan Teknologi Pirolisis Dan Biodegradasi Dengan Bakteri *Pesudomonas Sp*," *UNHAS*, vol. 2, no. 10, pp. 20-25, 2016.
- [3]. S. Ihsan, "ANALISIS BENTUK ALIRAN PADA KONDENSOR TIPE SHELL DAN TUBE MENGGUNAKAN SIMULASI CFD (computational fluid dynamics)," *JURNAL JIEOM*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2018.
- [4]. R. W. R. W. Budi Rubianto, "Rancang Bangun Kondensor Pada Destilator Bioetanol Kapasitas 5 LITER/JAM Dengan Skala UMKM," *CRANKSHAFT*, vol. 2, no. 10, pp. 20-25, 2018.
- [5]. D. P. D. T. L. B. a. A. S. L. F. P. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition.*, 2007.
- [6]. C. Soekardi, *Teknik Perpindahan Energi Panas.*, 2019.
- [7]. S. M. S. Ir. Tunggal M. Sitompul, *alat penukar kalor*, 1993.
- [8]. A. C. a. H. S. K. A. C. Snell, "The Field of Industrial Ophthalmology," *J. Am. Med. Assoc*, vol. 108, no. 8, p. 610, 2011.
- [9]. p. gauge, "Dunia Valve," 4 Juli 2014. [Online]. Available: <http://dallavalve.blogspot.com/>. [Accessed 1 February 2020].
- [10]. wikipedia, "Termometer," 2 Maret 2016. [Online]. Available: <https://www.wikipedia.org/>. [Accessed 1 Februari 2020].
- [11]. wikipwdia, "flow meter," 7 april 2017. [Online]. Available: <https://www.wikipedia.org/>. [Accessed 1 februari 2020].
- [12]. Sugiyono, *Metode Penelitian Bisnis. Pendekatan Kuantitatif, kualitatif dan R & D*, bandung: Bandung Alf, 2010.

- Fikar, Z. (2018). PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK CHARPY SEDERHANA UNTUK MATERIAL LOGAM BAJA ST 30. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(1), 1-9. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i1.1189>
- marbun, e. (2018). UNJUK KERJA DAN PERANCANGAN POROS DAN BANTALAN PADA MESIN DIESEL C 223 78 HP DENGAN MENGGUNAKAN DINAMOMETER. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(1), 10-18. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i1.1190>
- yadi, i. (2018). ANALISA MAMPU KERAS BAJA ST 60 DENGAN METODE ALAT JOMINY TEST. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(1), 19-27. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i1.1192>
- jalal, s. (2018). ANALISA PENUKAR KALOR SHELL DAN TUBE DENGAN MEMAMFAATKAN GAS BUANG MESIN DIESEL ALIRAN DIDALAM PIPA. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(1), 28-37. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i1.1195>
- umurani, k. (2018). RANCANG BANGUN INSTRUMENT UNTUK MENGUKUR GAYA POTONG, KECEPATAN, DAN TEMPERATUR SPESIMEN PADA MESIN BUBUT. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(1), 38-47. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i1.1199>
- Zulfikar, A. (2018). ANALISA EKSPERIMENTAL MODULUS ELASTISITAS BAHAN KOMPOSIT GLASS FIBER REINFORCED PLASTIC (GFRP) BERDASARKAN VARIASI DIAMETER SERAT AKIBAT BEBAN IMPAK LAJU REGANGAN TINGGI. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(2), 47-56. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i2.538>
- umroh, b. (2018). Karakteristik permukaan dan struktur mikro Pada bahan aluiminium 6061 menggunakan Pahat Karbida dengan metode pemesinan laju tinggi dan pemesinan kering. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(2), 57-65. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i2.1172>
- manalu, e. (2018). ANALISA PERBANDINGAN PRESTASI MESIN PENDINGIN TERHADAP PEMAKAIAN REFRIGERAN HCFC-22, HFC-134a, HFC-404a. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(2), 66-75. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i2.1193>
- yusda, s. (2018). PERMURNIAN MINYAK KEMIRI DENGAN ADSORBSI BENTONIT UNTUK MERUBAH KARAKTERISTIK MUTU. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(2), 76-86. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i2.1194>
- Ananda Nst, P. (2018). Analysis of Economizer Design To Boost The Efficiency of The Boiler in The State Polytechnic of Medan. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY, 1(2), 87-92. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v1i2.1634>

LAMPIRAN

TABLE A-4

Saturated water—Temperature table

Temp., T °C	Sat. press., P _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, <i>T</i> (K)	Pressure, <i>p</i> (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization, <i>h_{fg}</i> (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, <i>σ_s</i> · 10 ³ (N/m)	Expansion Coefficient, <i>β_v</i> · 10 ⁶ (K ⁻¹)	Temperature, <i>T</i> (K)
		<i>v_f</i> · 10 ³	<i>v_g</i>		<i>c_{p,f}</i>	<i>c_{p,g}</i>	<i>μ_f</i> · 10 ⁶	<i>μ_g</i> · 10 ⁶	<i>k_f</i> · 10 ³	<i>k_g</i> · 10 ³	<i>Pr_f</i>	<i>Pr_g</i>			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	679.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	430	430

Appendix A • Thermophysical Properties of Matter

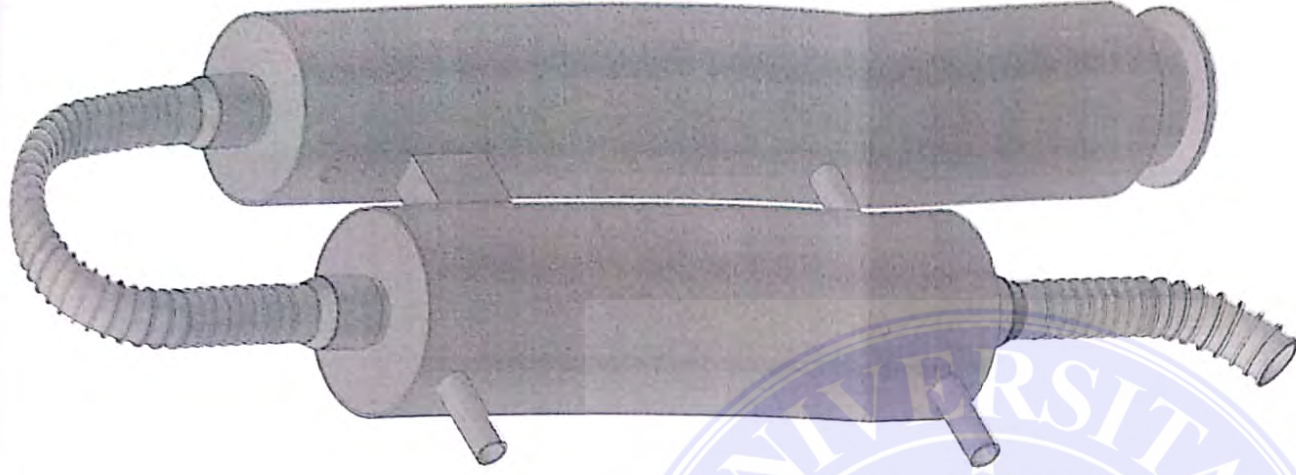
1093

TABLE A.1 Continued

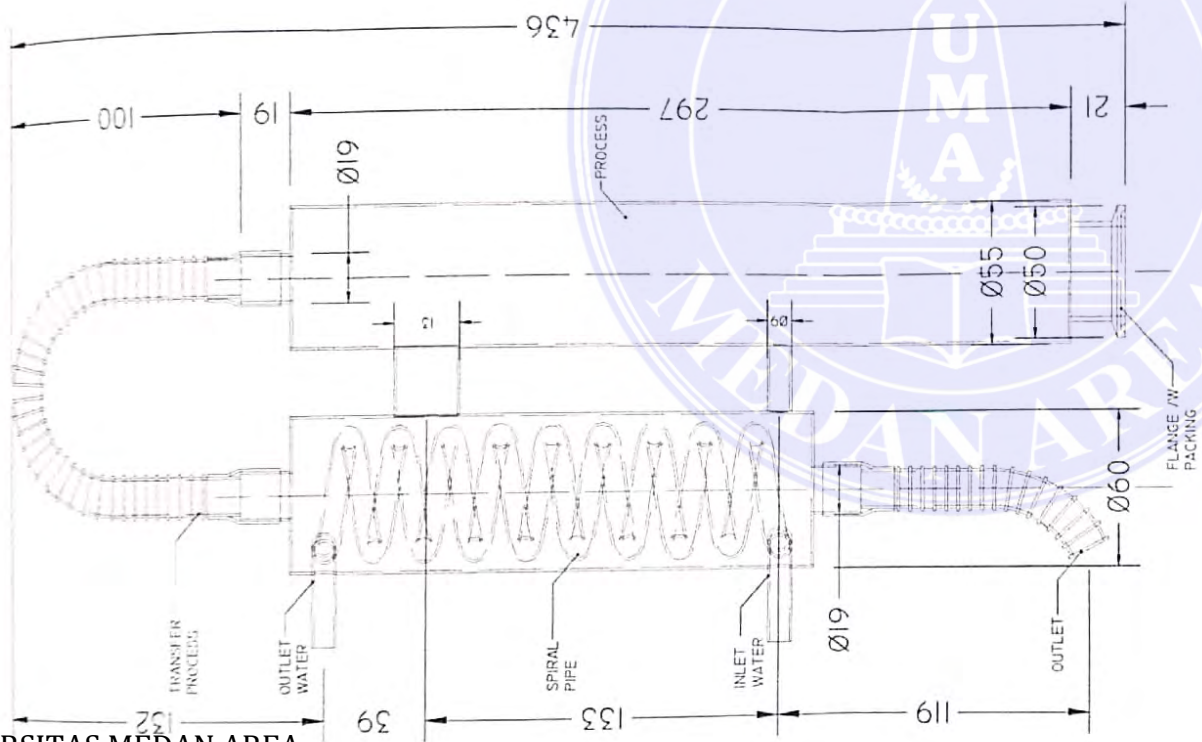
Composition	Melting Point (K)	Properties at Various Temperatures (K)													
		Properties at 300 K					<i>k</i> (W/m · K)/ <i>c_p</i> (J/kg · K)								
		<i>ρ</i> (kg/m ³)	<i>c_p</i> (J/kg · K)	<i>k</i> (W/m · K)	<i>α</i> · 10 ⁶ (m ² /s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Gold	1336	19300	129	317	127	327	323	311	298	284	270	255			
Iridium	2720	22500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126	120	111		
Iron															
Pure	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	22.1		
Armco (99.73% pure)		7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	21.4		
Carbon steels															
Plain carbon (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0				
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			48.7	55.9	68.5	116.9				
Carbon-silicon (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3				
Carbon-manganese-silicon (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2	39.7	35.0	27.6				
Chromium (low) steels															
1 Cr-1 Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9				
1 Cr-1 Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			42.0	39.1	34.5	27.4				
1 Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7856	443	48.9	14.1			46.8	42.1	36.3	28.2				

931

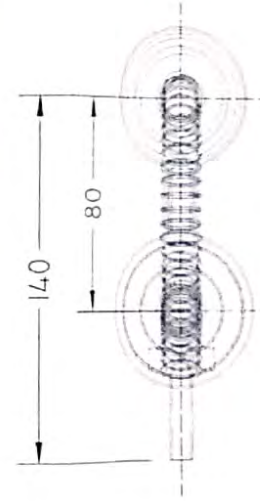
Appendix A • Thermophysical Properties of Matter



CONDENSOR ISOMETRIC
SCALE 1:15



FRONT VIEW
SCALE 1:2



TOP VIEW
SCALE 1:3

NO. DOKUMEN	BUCKET	SIZE	MATERIAL	REMARKS
TA-FT-16513-0016	CONDENSOR AT PIROLISIS TOOL	158 X Ø0 X 456	SS304	TA-FT-16513-0016
UNIVERSITAS MEDAN AREA				
STUDIO GAMBAR TEKNIK		DISUSUN OLEH		
PRODI TEKNIK MESIN UMIA		DIPERIKSA OLEH		
DUGANBAR		TEKNIK FAKULTAS MIPA		
<small> DOKUMEN INI ADALAH SAMPUL DARI BUKU TEKNIK GAMBAR. HAK Cipta dilindungi Undang-Undang. </small>				



UNIVERSITAS MEDAN AREA

FAKULTAS TEKNIK

Kampus I : Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate/Jalan PBSI Nomor 1 ☎ (061) 7366078, 7360168, 7364348, 7366781, Fax.(061) 7366998 Medan 20223
 Kampus II : Jalan Setiabudi Nomor 79 / Jalan Sei Serayu Nomor 70 A, ☎ (061) 8225602, Fax. (061) 8226331 Medan 20122
 Website: www.teknik.uma.ac.id E-mail: univ_medanarea@uma.ac.id

Nomor : 146/FT.3/01.10/X/2020

30 Oktober 2020

Lamp : -
 Hal : **Penelitian Dan Pengambilan Data Tugas Akhir**

Yth. Pimpinan Workshop Bersama
 Jln. Utama Dusun IV, Punden Rejo, Deli Serdang
 Di
 Sumatera Utara

Dengan hormat,
 Kami mohon kesediaan Bapak/Ibu berkenan untuk memberikan izin dan kesempatan kepada mahasiswa kami tersebut dibawah ini :

NO	NAMA	NPM	PRODI
1	Denny Fachri Mariadi	168130016	Teknik Mesin

Untuk melaksanakan Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir pada perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu Pimpin.

Perlu kami jelaskan bahwa Pengambilan Data tersebut adalah semata-mata untuk tujuan ilmiah dan Skripsi, merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa tersebut untuk mengikuti ujian sarjana lengkap pada Fakultas Teknik Universitas Medan Area dan tidak untuk dipublikasikan, dengan judul :

Analisis Perpindahan Panas Pada Kondensor Dengan Metode LMTD pada Pirolisis Ampas Kelapa.

Atas perhatian dan kerja sama yang baik diucapkan terima kasih.

A.n. Dekan
 Wakil Dekan Bidang Akademik,

 S. Kom, M. Kom



Tembusan :
 1. Ka. BAMAI
 2. Mahasiswa
 3. File

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/12/21

WORKSHOP BERSAMA TANJUNG MORAWA

Ilmu, Cipta, Dan Aksi Untuk Kesejahteraan Masyarakat

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Marsadi
Jabatan : Pemilik Workshop Bersama

Dengan ini menerangkan bahwa dibawah ini

Nama : Denny Fachri M
NPM : 160110016
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Medan Area

Telah selesai melakukan penelitian di Workshop Bersama dari tanggal 17 November 2020 sampai dengan tanggal 16 Januari 2021

Demikian surat keterangan ini dibuat dan diberikan kepada yang bersangkutan untuk digunakan seperlunya

16 Januari 2021

