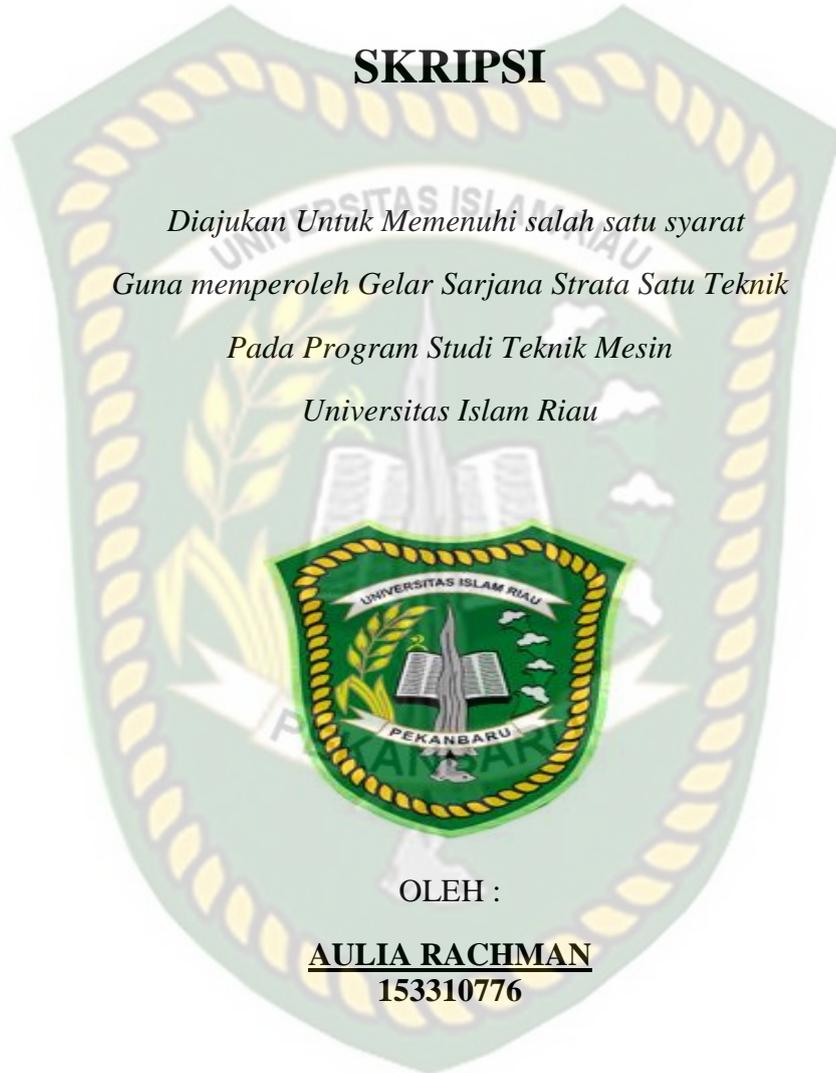


**ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA ALAT
PENUKAR KALOR UNTUK PROSES
PENGERINGAN INTI SAWIT**

SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi salah satu syarat
Guna memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH :

AULIA RACHMAN
153310776

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan skripsi ini juga bertujuan agar mahasiswa bisa berpikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan skripsi ini khususnya kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik secara moril maupun finansial. Serta seluruh keluarga terima kasih atas doa dan semangat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Eddy Elfiano, ST., M.Eng selaku Dosen pembimbing Tugas Proposal dan Kepala Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang telah membantu dan membimbing dalam penyusunan tugas akhir.
3. Bapak Ir.Syawaldi, M.Sc selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

4. Ibu Dr. Mursyidah, M.Sc selaku Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Dan Dosen Dosen Wali.
5. Kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah menuangkan ilmunya kepada saya.
6. Tri Aprila wati sebagai teman pendamping yang selalu setia memberikan semangat, motivasi dan doa kepada penulis.
7. MIKE DECKO, ST yang terlibat langsung membantu dalam pembuatan penelitian.
8. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 2015 yang selalu membantu dan memberi semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan. Adanya saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini akan penulis terima dengan senang hati dan penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum, Wr. Wb.

Pekanbaru, 10 Maret 2020

Penulis

AULIA RACHMAN

15 331 0776

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Stasiun Pengolahan Inti (<i>kernel station</i>).....	5
2.2 Pengeringan	8
2.3 Mekanisme Pengeringan	9
2.4. Klasifikasi Alat Penukar Kalor Berdasarkan Susunan Aliran Fluida	12
2.5 Proses Perpindahan Kalor.....	15
2.6 <i>Heat Exchanger</i>	15
2.7 Aliran Menyalang Rangkaian Tabung (<i>Tube Banks</i>).....	17
2.8 Jenis jenis <i>Heat Exchanger</i>	18
2.9 Mekanisme Perpindahan Panas.....	24
2.10 Jenis jenis <i>Heater</i>	27
2.11 Persamaan Konveksi Paksa Pada Alat Pengering Kernel Buah Sawit	30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	35
3.2 Studi Literatur	36
3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian	36
3.4 Tahap Penelitian	37
3.5 Sketsa Rangkaian Heater.....	37
3.6 Alat Penelitian.....	40
3.7 Bahan Penelitian	48
3.8 Prosedur penelitian	49
3.9 Prosedur Pengujian	49
3.10 Jadwal Kegiatan penelitian.....	50

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Alat Pengering kernel.....	51
4.2 Koefisien perpindahan panas konveksi pada rangkunan tabung.....	52
4.3 Koefisien Perpindahan panas Konveksi Menyeluruh.....	57

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Pengering Kernel (Inti)	5
Gambar 2.2 aliran <i>Paralel flow</i> Dan Profil <i>Temperature</i>	12
Gambar 2.3 aliran <i>counter flow</i> dan profil temperatur	13
Gambar 2.4 aliran <i>cross flow</i> dan profil <i>temperature</i>	14
Gambar 2.5 Tabung Garis Segaris, Dan Tabung Garis Selang Seling	17
Gambar 2.6. <i>shell and tube heat exchanger</i>	19
Gambar 2.7 <i>Double pipe heat exchanger</i> aliran <i>cocurrent</i> dan <i>counter current</i> ..	20
Gambar 2.8 <i>Double-pipe heat exchangers in series</i>	21
Gambar 2.9 Panelcoil Pipa	22
Gambar 2.10 Spiral Exchanger	23
Gambar 2.11 Gasket plate exchanger	24
Gambar 2.12 <i>Heater</i> SC 39/39/2R/1P – 2 1/2	28
Gambar 2.13 <i>Heater</i> EF 39/39/2R/2P – 2 1/2	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.2 Pabrik Minyak Kelapa sawit	36
Gambar 3.3 Sketsa Silo	38
Gambar 3.4 Sketsa Heater	39
Gambar 3.5 Alat Pengering Kernel (inti)	40
Gambar 3.6 Skema <i>heater</i>	42
Gambar 3.7 Skema <i>heater</i>	43
Gambar 3.8 <i>Fan jenis L</i>	44

Gambar 3.9 Nut silo	45
Gambar 3.10 Anemometer	46
Gambar 3.11 Thermometer Infraret.....	47
Gambar 3.12 Inti Sawit.....	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan h untuk kedalaman N baris terhadap kedalaman 10 baris..	32
Tabel 3.1 jadwal kegiatan penelitian.....	50
Tabel 4.1 Data Parameter spesifikasi pengujian dengan menggunakan alat penukar kalor.....	51
Tabel 4.2 Data Parameter hasil pengujian dengan menggunakan alat penukar kalor.....	52
Tabel 4.3 Hasil perhitungan Koefisien perpindahan panas konveksi pada pipa-pipa untuk kecepatan aliran udara 3.5 m/s.....	57
Tabel 4.4 Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh untuk kecepatan aliran udara 3.5 m/s.....	60

DAFTAR NOTASI

<u>Simbol</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Satuan</u>
k	Konduktivitas termal	$(\frac{W}{m \cdot ^\circ C})$
Q	Panas sensibel per satuan waktu	$(\frac{kJ}{s})$
C_p	Kalor spesifik udara pada tekanan konstan	$(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C})$
ρ	Masa jenis air	$(\frac{kg}{m^3})$
A	Luas penampang	(m^2)
Re_D	Bilangan <i>Reynolds</i>	
Nu_D	Bilangan <i>Nusselt</i>	
h	Koefisien perpindahan panas	$(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C})$
μ	Viskositas Dinamik	$(kg/m \cdot s)$
\dot{m}	Laju Aliran Massa Udara	(kg/s)
$T_{c,in}$	Temperatur udara lingkungan	$(^\circ C)$
$T_{c,out}$	Temperatur Alat penukar kalor	$(^\circ C)$
$T_{h,in}$	Temperatur masuk <i>Heater</i>	$(^\circ C)$
$T_{h,out}$	Temperatur keluar <i>Heater</i>	$(^\circ C)$
ΔT	Perbedaan temperatur	$(^\circ C)$
\dot{Q}	Nilai Perpindahan Panas	(W)
$^{\circ}V_{max}$	Kecepatan Aliran Udara Maksimum	(m/s)
A_s	Luas Permukaan Daerah Perpindahan Panas	(m^2)
ΔT_{in}	perbedaan temperatur	$(^\circ C)$

ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA ALAT PENUKAR KALOR UNTUK PROSES PENGERINGAN INTI SAWIT

Aulia Rachman*, Eddy Elfiano

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jl.Kaharudin Nasution, KM. 11 No.113, Perhentian Marpoyan, Pekanbaru –
Riau Indonesia

*corresponding author : Rachmanaulia514@gmail.com

ABSTRAK

Semua pabrik kelapa sawit pasti ingin memproduksi minyak mentah dengan mutu terbaik agar memiliki nilai dipasaran. Untuk meningkatkan mutu dari minyak kelapa sawit salah satunya dengan proses pengeringan kernel (inti). Dimana kadar air yang diisyaratkan pada kernel adalah 7% Penelitian ini bertujuan menganalisa koefisien perpindahan panas konveksi pada pipa-pipa alat penukar kalor dan menghitung perpindahan panas konveksi menyeluruh pada alat penukar kalor. Hasil dari perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi pada pipa-pipa penukar kalor untuk kecepatan aliran udara 3,5 m/s, putaran Fan 1450 rpm, Hasil pengujian jenis susunan pipa tipe staggered kecepatan aliran maksimal udara 5,81 m/s menghasilkan jenis aliran didalam pipa-pipa pemanas 3343 (Aliran Transisi, $Re\ 2000 \geq 4000$), Nilai nusselt number aliran turbulen dalam pipa 40,10, menghasilkan koefisien perpindahan panas 84,45 W/m²°C dengan luas penampang 10,32 m², Laju aliran massa udara 4,30 kg/s, dengan temperatur keluar 46 °C di pipa-pipa dan nilai perpindahan panas terhadap pipa-pipa alat penukar kalor $9,1 \times 10^4$ W, Dengan koefisien perpindahan panas 93,19 W/m²°C dan nilai perpindahan panas $9,1 \times 10^4$ W. Hasil dari perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh pada alat penukar kalor kernel buah sawit untuk temperatur masuk 141 °C dan temperatur keluar 122 °C dengan suhu rata-rata 130 °C, hasil pengujian menghasilkan massa aliran udara $6,0 \times 10^4$ kg/s dengan luas penampang $1,96 \times 10^{-4}$ m², Menghasilkan panas yang diserap oleh fan 15,18 W, nilai logarithmic mean temperature difference (LMTD) 104,14 °C, dan menghasilkan koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh 0,0158 W/m². °C.

Kata Kunci:., Hasil koefisien menyeluruh, Kadar air di kernel, Hasil koefisien pipa-pipa

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN A HEAT EXCHANGER FOR PALM CORE DRYING PROCESS

Aulia Rachman *, Eddy Elfiano

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Riau Islamic University
Jl.Kaharudin Nasution, KM. 11 No.113, Perhentian Marpoyan, Pekanbaru - Riau
Indonesia

* Corresponding author: Rachmanaulia514@gmail.com

ABSTRACT

All palm oil mills want to produce the best quality crude oil so that it has market value. One of the ways to improve the quality of palm oil is the drying process of the kernel (core). Where the water content indicated in the kernel is 7%. This study aims to analyze the convection heat transfer coefficient on the heat exchanger pipes and calculate the overall convection heat transfer in the heat exchanger. The results of the calculation of the convection heat transfer coefficient on heat exchanger pipes for air flow velocity of 3.5 m / s, Fan rotation of 1450 rpm, The results of testing the type of staggered pipe staggered, maximum air flow velocity of 5.81 m / s produce the type of flow inside heating pipes 3343 (Transition Flow, $Re\ 2000 > 4000$), The nusselt number value of turbulent flow in the pipe is 40.10, resulting in a heat transfer coefficient of $84.45\ W / m^2\ ^\circ C$ with a cross-sectional area of 10.32 m², Mass flow rate 4.30 kg / s of air, with an exit temperature of 46 °C in the pipes and the value of heat transfer to the pipes of the heat exchanger $9.1 \times [10]^4\ W$, with a heat transfer coefficient of $93.19\ W / m^2\ ^\circ C$ and heat transfer value $9.1 \times [10]^4\ W$. The results of the calculation of the overall convection heat transfer coefficient on the palm fruit kernel heat exchanger for an inlet temperature of 141 oC and an exit temperature of 122 oC with an average temperature of 130 oC, the test results produce an air flow mass of $6.0 \times 10^4\ kg / s$ with a cross-sectional area. $1.96 \times [10]^{-4}\ m^2$, resulting in heat absorbed by the fan 15.18 W, the logarithmic mean temperature difference (LMTD) value of 104.14 oC, and resulting in an overall convection heat transfer coefficient of $0.0158\ W / m^2\ ^\circ C$.

Keywords :, overall coefficient results, moisture content in the kernel, the results of the coefficient of pipes

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pengeringan kernel (inti) buah sawit pada PT.GSM menggunakan sistem alat penukar kalor yang mana terdiri dari *heater* dan *fan*. Proses pengeringan kernel (inti sawit) pada alat penukar kalor ini berasal dari uap panas (Steam) boiler disalurkan ke turbin, sisa uap panas dari turbin di salurkan ke Back Pressure Vessel (BPV) kemudian uap panas yang berada di BPV dimanfaatkan dan disalurkan ke alat penukar kalor, diwaktu bersamaan *fan* menghisap udara panas yang disebabkan oleh udara lingkungan yang bersentuhan dengan pipa-pipa *heater*, dan udara panas yang dihisap oleh *fan* tersebut dimasukkan kedalam kernel silo. Proses tersebut yaitu di pengeringan kernel (inti), Pengeringan ini dilakukan untuk mengurangi kadar air pada kernel (inti) yang masih mengandung air. Untuk mendapatkan kadar air yang diisyaratkan di kernel silo tersebut. Maka semua parameter-parameter pada alat penukar kalor tersebut diuji sesuai hasil dilapangan. Salah satu tahapan proses tersebut yaitu di stasiun pengering biji, dimana proses pengeringan ini dilakukan untuk mengeringkan inti yang masih mengandung air sebesar 15%-25%. Pengeringan pada kernel silo dengan suhu 40°C-70°C selama 12-16 jam menggunakan steam heater yang dihembuskan oleh *fan* kedalam ruang kernel silo, dimana kadar air yang disyaratkan pada kernel adalah 7%-8% (Iyung Pahan, 2007).

Baik buruknya mutu dan jumlah hasil olahan suatu pabrik kelapa sawit terutama ditentukan oleh keberhasilan pengeringan yang dilakukan oleh alat penukar kalor tersebut. Oleh sebab itu pengeringan kernel buah harus sesuai dengan ketentuan yang ada dan merupakan suatu hal yang mutlak dilakukan. Selama proses pengeringan diharapkan tekanan uap yang diterima oleh *heater* harus sesuai sehingga panas dapat menembus *fan* masuk kedalam kernel silo sehingga dapat menghasilkan mutu minyak dan kondisi alat penukar kalor yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Cara menghitung perpindahan panas pada alat penukar kalor
2. Cara proses pengeringan Kernel buah sawit pada alat penukar kalor

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa koefisien perpindahan panas pada alat penukar kalor
2. Menghitung *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) untuk aliran counter flow
3. Menganalisa laju perpindahan panas alat penukar kalor untuk proses pengeringan inti sawit

1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini, agar tidak menyimpang dari inti pokok bahasan, maka diberikan batasan masalah. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Analisa sistem alat penukar kalor pada pengeringan kernel (inti) buah sawit pada alat penukar kalor.
2. Pengujian alat penukar kalor meliputi: melihat temperature *heater*, temperatur yang keluar dari pipa-pipa *heater*.
3. Pengujian dilakukan pada jenis alat penukar kalor East Force tipe EF 39/39/2R/2P – 2½"

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan temperatur yang benar dan sesuai pada alat penukar kalor.
2. Mengetahui perpindahan panas konveksi pada proses pengeringan kernel buah sawit pada sistem alat penukar kalor.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

BAB I: Pendahuluan:

Pada bab ini diberi penjelasan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II: Tinjauan Pustaka:

Pada bab ini dijelaskan mengenai dasar teori yang dipakai untuk membahas permasalahan didalam skripsi.

BAB III: Metodologi Penelitian:

Pada bab ini tentang analisa proses pengeringan kernel silo dengan menggunakan alat penukar kalor

BAB IV: Hasil Dan Pembahasan

Pada bab ini dijelaskan/diuraikan mengenai proses kerja alat yang mencakup proses pengeringan kernel (Inti) buah kelapa sawit.

BAB V: Kesimpulan Dan Saran:

Pada bab ini memberikan penjelasan mengenai hasil pengeringan dari mesin yang telah dibuat dengan memberikan kesimpulan dan saran.

Daftar Pustaka

Lampiran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stasiun Pengolahan Inti (*Kernel Station*)

Campuran *fibre* dan inti yang keluar dari *screw press* akan diolah untuk menghasilkan *shell* (*shell*) dan ampas (*fibre*) sebagai bahan boiler dan inti kelapa sawit diolah lagi sehingga menjadi minyak inti sawit. Terlihat pada gambar 2.1 seperti dibawah ini.



Gambar 2.1 alat pengering kernel (inti)
(sumber : PT.GUNUNG SAWIT MAS)

Adapun bagian – bagian dari stasiun pengolahan inti adalah sebagai berikut :

1. ***Cake Breaker Conveyor.***

Fungsinya adalah untuk mengantarkan ampas dan *nuts* ke *depericarper* serta mengurangi kadar air *fibre* sehingga memudahkan kerja blower pada *depericarper*. Alat ini terdiri dari pedal- pedal yang diikat pada poros yang berputar 52 rpm. Kemiringan pedal – pedal diatur sehingga pemecahan gumpalan terjadi dengan sempurna.

2. ***Depericarper.***

Depericarper adalah alat untuk memisahkan ampas dan *nuts*, serta membersihkan *nuts* dari sisa – sisa serabut yang masih melekat pada *nuts*. Alat ini terdiri dari kolom pemisah dan drum pemolis (*polishing drum*).

3. ***Nuts Polishing Drum.***

Nuts polishing drum merupakan alat untuk memisahkan *fibre* yang masih melekat pada *nuts*.

4. ***Nuts Silo.***

Nuts silo adalah alat yang digunakan untuk tempat pemeraman *nuts* yang selanjutnya bila *nuts* tersebut telah cukup kering akan dipecah dengan alat pemecah (*ripple mill*).

5. *Ripple Mill.*

Ripple Mill adalah alat pemecah *nut*. Didalam *ripple mill*, *nuts* akan dipecahkan menjadi inti (*kernel*) dan *shell* (*shell*).

6. *Light Tenera Separation (LTDS 1).*

LTDS adalah pemisahan campuran pertama yang berkerja berdasarkan atas berat dan kemampuan hisap blower.

7. *Light Tenera Dust Separation (LTDS 2).*

Bentuk dan cara kerja sama dengan LTDS 1, bentuk tromol tegak dan berfungsi untuk membersihkan *kernel* dari *shell – shell* kasar dan *kernel* pecah yang ringanakan masuk ke *shell hopper*, sedangkan *kernel* yang lebih berat tidak terhisap oleh blower sehingga akan jatuh ke *kernel transfer conveyor*.

8. *Claybat*

Prinsip kerja *Claybath* hampir sama dengan pemisah *kernel* dengan menggunakan *hidrocyclone*. Pemisahan *kernel* dengan *shell* menggunakan *claybath* menggunakan $CaCO_3$, pemisahannya berdasarkan berat jenis, *shell* yang lebih berat akan tenggelam dengan batuan larutan $CaCO_3$ dan *kernel* akan terapung, *shell* dan inti pecah tersebut akan dipompakan ke *vibrating screen*, *shell* dan inti pecah akan terpisah sendiri dan agar *kernel* bersih terhadap $CaCO_3$ maka dibilas dengan menggunakan air dingin. *Shell* yang terpisah masuk ke *shell transfort* dengan bantuan blower sedangkan *kernel* jatuh ke *kernel distributing conveyor* dan masuk ke *kernel silo* dengan bantuan *kernel elevator*.

9. *Kernel Silo.*

Kernel silo adalah silinder tegak yang berlubang – lubang tempat penyimpanan dan pengeringan *kernel* sebelum disimpan di *bulk silo kernel*. Pengeringan menggunakan suhu 40 –70°C agar *kernel* tidak berjamur dan dapat tahan lebih lama serta mencegah naiknya kadar asam lemak bebas.

10. *Kernel Bin.*

Kernel Bin adalah tempat penyimpanan *kernel* sebelum diolah menjadi minyak inti (*kernel oil*), *kernel bin* ini suhunya harus juga dijaga, agar *kernel* dalam keadaan kering dan tidak lembab.

2.2 Pengeringan

Pengeringan bertujuan untuk memperpanjang umur simpan dengan cara mengurangi kadar air suatu bahan agar tidak ditumbuhi oleh mikroorganisme pembusuk. Dalam proses pengeringan dilakukan pengaturan terhadap suhu, kelembaban (*humidity*) dan aliran udara. Dengan pengeringan kualitas produk dapat dipertahankan terhadap perubahan fisik dan kimiawi yang dipengaruhi oleh perubahan kadar air, sehingga mengurangi biaya penyimpanan, pengemasan dan juga biaya transportasi, selain itu produk kering dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan produk baru. Pengeringan merupakan salah satu cara untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang dikandung melalui penguapan energi panas (Ari, 2007). Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus

dikeluarkan dari dalam bahan. Pengeringan inti yang berkembang ialah tipe rectangular. Alat ini mengeringkan inti dengan udara panas (steam) yaitu mengalirkan udara melewati heater yang terdiri dari spiral berisi uap panas dengan temperature 130°C Udara panas dihernbuskan dan keluar dari lobang yang sudah ada sehingga pengeringan inti setiap lapisan terjadi dengan baik. Masa pengeringan tergantung pada kadar air dalam inti yang dipengaruhi oleh sistem perebusan buah, fermentasi biji dan sistem pemisahan inti dan cangkang. Pengeringan yang terlalu lama bisa mengakibatkan oksidasi dan penggosongan di bagian minyak inti. Pengeringan inti yang baik ialah pengeringan dengan suhu rendah dengan tujuan untuk penguapan bias berjalan lambat dan merata di permukaan dan bagian dalam inti, jika pengeringan dengan suhu tinggi maka akan terjadi kerusakan inti.

Unjuk kerja dapat diartikan sebagai tingkat pencapaian hasil atau “*The degree of accomplishment*” (Rue and Byars, 1981). Sering pula disebut tingkat pencapaian tujuan suatu alat. Penilaian terhadap unjuk kerja atau disebut juga kinerja merupakan suatu kegiatan yang sangat penting. Penilaian dimaksud bisa dibuat sebagai masukan guna mengadakan perbaikan untuk peningkatan kinerja suatu alat pada waktu berikutnya (Mac Donald and Lawton, 1977).

2.3 Mekanisme Pengeringan

Udara yang terdapat dalam proses pengeringan mempunyai fungsi sebagai pemberi panas pada bahan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air.

Fungsilaindari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan yang dikeringkan. Kecepatan pengeringan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar air akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengeringan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat (Muarif, 2013).

a. Proses Perpindahan Panas

Proses perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan suhu udara pengering dengan suhu bahan yang dikeringkan, dimana suhu udara pengering lebih tinggi dari suhu bahan. Panas yang dialirkan melalui udara pengering akan meningkatkan suhu bahan, sehingga air dalam bahan berubah menjadi uap air.

b. Proses Perpindahan Massa Uap Air

Peningkatan suhu bahan karena proses perpindahan panas akan menyebabkantekanan uap air di dalam bahan lebih tinggi dari tekanan uap air pada udara pengering, sehingga terjadi perpindahan uap air bahan ke udara. Kelembaban relatif udara pengering akan turun dengan adanya peningkatan suhu udara pengering, Hal ini menyebabkan kelembaban relatif udara pengering lebih rendah dari kelembaban relatif bahan. Selanjutnya panas yang dialirkan ke permukaan bahan akan meningkatkan tekanan uap air bahan sehingga tekanan uap air bahan lebih tinggi dari tekanan uap air udara pengering. Dengan kondisi demikian akan terjadi perpindahan massa uap air daribahan ke udara pengering dan disebut sebagai proses penguapan. Proses penguapan air dari bahan akan terus

berlangsung sampai terjadi kesetimbangan tekanan uap air antara bahan dengan penguapan.

Pengaruh temperatur dan humiditas udara penguapan terhadap pelepasan uap air adalah saling berhubungan. Semakin tinggi temperatur udara diikuti dengan humiditas udara yang lebih rendah pada volume udara tertentu akan meningkatkan kapasitasnya dalam mengikat uap air. Temperatur udara yang lebih tinggi menambah kemungkinan perpindahan panas pada produk. Ketika yang terakhir ini terjadi, tekanan uap didalam produk meningkat dan evaporasi uap air dari permukaan menjadi lebih mudah (Menon and Mujumdar, 1987).

Ketika penguapan berlangsung dan kandungan uap air pada volume tetap terus bertambah, kapasitas udara untuk mengakomodir lebih banyak uap semakin berkurang. Oleh karenanya udara jenuh disekitar produk harus segera digantikan dengan menetapkan kondisi tertentu untuk temperature dan humiditas udara, maka jumlah uap air yang dihilangkan tergantung pada volume udara yang dibawa pada kontak dengan produk. Ketika evaporasi uap air tidak terbatas, menjaga atau meningkatkan laju aliran udara dapat menjamin keberlangsungan proses penguapan.

Prinsip penguapan biasanya akan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Dua fenomena ini menyangkut perpindahan panas kedalam dan perpindahan massa keluar. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan penguapan adalah:

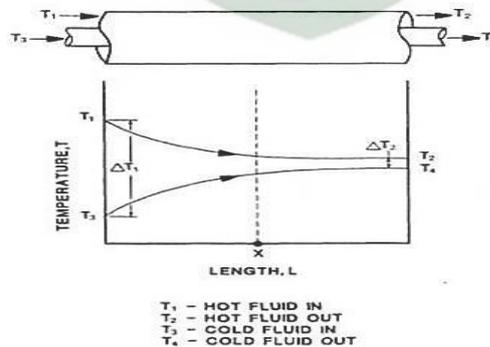
- a. Luas permukaan
- b. Perbedaan suhu sekitar
- c. Kecepatan aliran udara
- d. Tekanan Udara

2.4 Klasifikasi alat Penukar Kalor Berdasarkan Susunan Aliran Fluida.

Yang dimaksud dengan susunan aliran fluida di sini adalah berapa kali fluida mengalir sepanjang penukar kalor sejak saat masuk hingga meninggalkannya serta bagaimana arah aliran relatif antara kedua fluida (apakah sejajar/parallel, berlawanan arah/counter atau bersilangan/cross).

a) Pertukaran Panas Dengan Aliran Searah (*Co-Current/Parallelflow*)

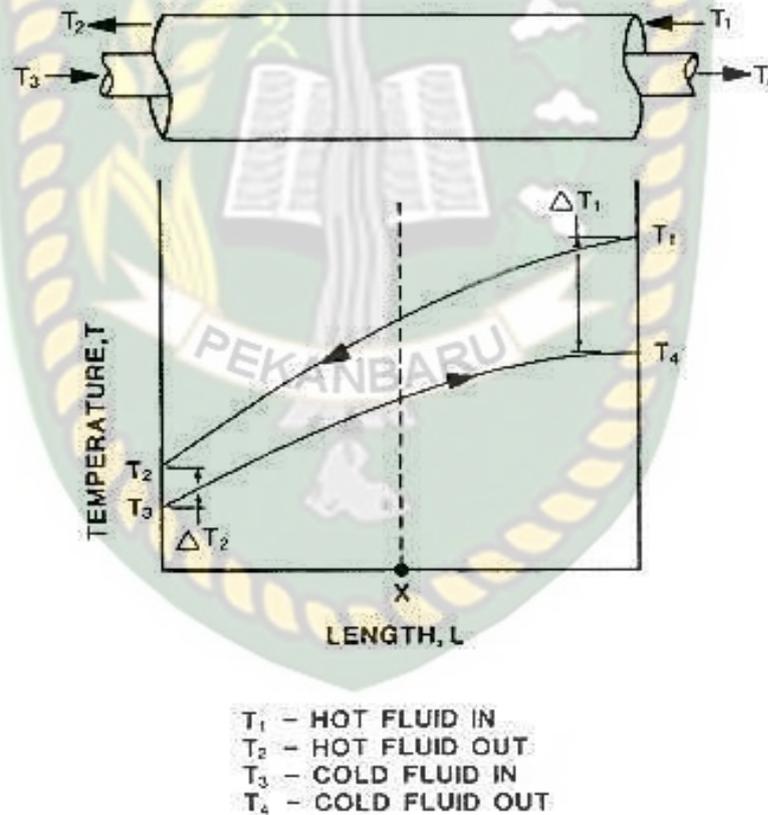
Apabila arah aliran dari kedua fluida di dalam penukar kalor adalah sejajar. Artinya kedua fluida masuk pada sisi yang satu dan keluar dari sisi yang lain mengalir dengan arah yang sama. Karakter penukar panas jenis ini temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar.



Gambar 2.2 aliran *parallel flow* dan profil *temperature*
 (Sumber: Donald Q. Keren. 1983)

B) Pertukaran Panas Dengan Aliran Berlawanan Arah (*Counter Current / Flow*)

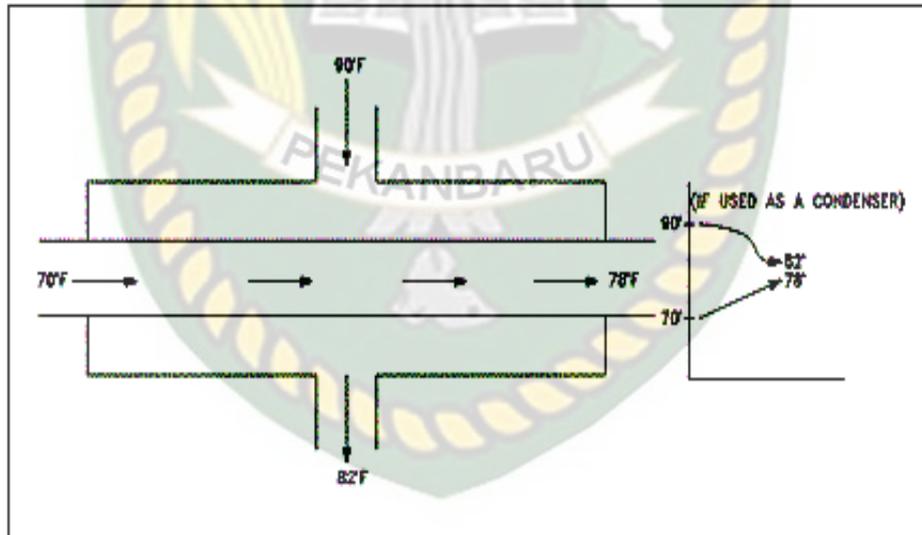
yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan. Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima panas (temperatur fluida dingin) saat keluar penukar kalor (T_4) lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor (temperatur fluida panas) saat meninggalkan penukar kalor.



Gambar 2.3 aliran *counter flow* dan profil temperatur
(Sumber: Donald Q. Keren.1983)

C) Pertukaran Panas Dengan Aliran Silang (Cross Flow)

Artinya arah aliran kedua fluida saling bersilangan. Contoh yang sering kita lihat adalah radiator mobil dimana arah aliran air pendingin mesin yang memberikan energinya ke udara saling bersilangan. Apabila ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh panas dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.



Gambar 2.4 aliran *cross flow* dan profil temperature
 (Sumber: Donald Q. Keren. 1983)

2.5 Proses Perpindahan Kalor

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut.

2.6 Heat Exchanger

Heat Exchanger (HE) adalah suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari satu fluida ke fluida lain yang membutuhkan panas. Jenis penukar panas yang sederhana ialah sebuah wadah dimana fluida yang panas dan fluida yang dingin dicampur secara langsung. Dalam sistem demikian kedua suhu mencapai suhu akhir yang sama, dan jumlah panas yang berpindah dapat diperkirakan dengan mempersamakan kerugian energi dari fluida yang lebih panas dengan perolehan energi oleh fluida yang lebih dingin. Contohnya seperti peralatan perpindahan panas menggunakan pencampuran fluida-fluida secara langsung adalah pemanas air pengisi ketel terbuka. Berdasarkan arah aliran fluida, *Heat Exchanger* dapat dibedakan menjadi (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986):

1. *Heat Exchanger* dengan aliran searah (*co-current/parallel flow*)

Pertukaran panas jenis ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi *Heat Exchanger* yang sama, mengalir dengan arah yang sama, dan keluar pada sisi yang sama. Karakter *Heat Exchanger* jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari *Heat Exchanger* (T_{co}) tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar (T_{ho}), sehingga diperlukan media pendingin atau media pemanas yang banyak (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986).

2. *Heat Exchanger* dengan aliran berlawanan arah (*counter-current flow*)

Heat Exchanger jenis ini memiliki karakteristik; kedua fluida (panas dan dingin) masuk ke *Heat exchanger* dengan arah berlawanan, mengalir dengan arah berlawanan dan keluar *Heat exchanger* pada sisi yang berlawanan. (Frank Kreith, Arko Prijono, M.Sc, 1986) Pada dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung.

a. Secara kontak langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui interfase / penghubung antara kedua fluida. Contoh : aliran steam pada kontak langsung yaitu 2

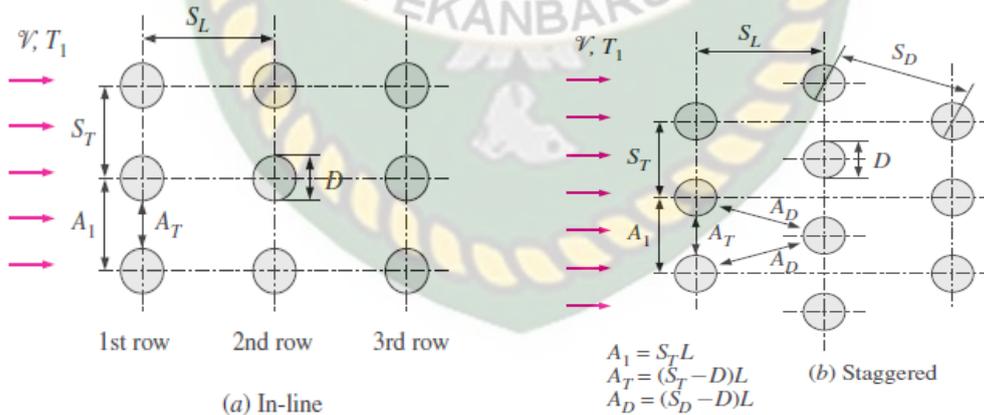
zat cair yang immiscible (tidak dapat bercampur), gas-liquid, dan partikel padat-kombinasi fluida.

- b. Secara kontak tak langsung

Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dindingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

2.7 Aliran Menyilang Rangkaian Tabung (*Tube Banks*)

Karena terlalu banyak susunan alat penukar-kalor yang menyangkut tabung yang tersusun rangkap, maka masalah perpindahan kalor dalam rangkaian tabung (*Tube Banks*) merupakan hal yang penting dan mempunyai nilai praktis. Karakteristik perpindahan-kalor pada rangkaian tabung yang segaris atau selang-seling diperelajari oleh Grimson.



Gambar 2.5 Tabung garis segaris, dan tabung garis selang-seling.

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

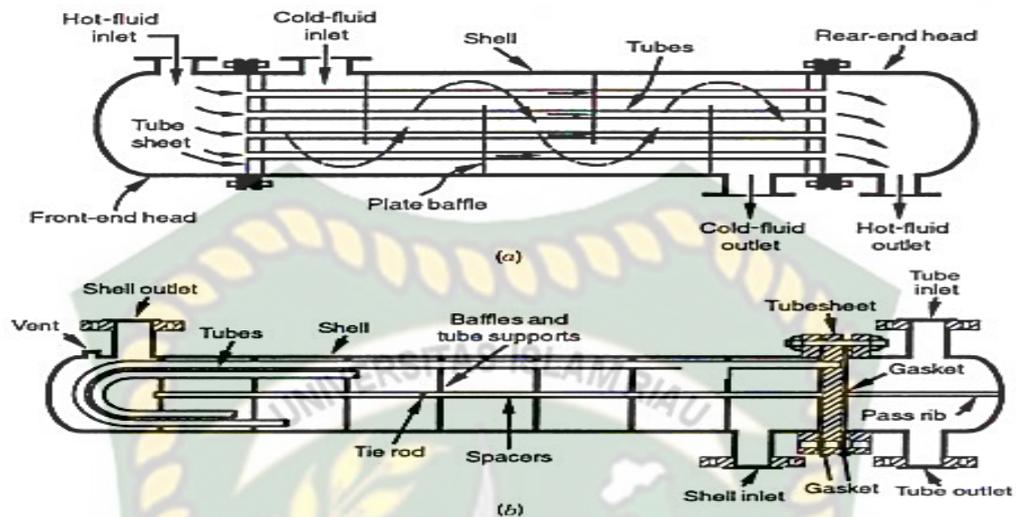
2.8 Jenis-jenis *heat exchanger*

Jenis-jenis *heat exchanger* dapat dibedakan atas :

a. Jenis *Shell and Tube*

Jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam industri perminyakan. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* (tabung/slinder besar) dimana didalamnya terdapat suatu *bundle* (berkas) pipa dengan diameter yang relatif kecil. Satu jenis fluida mengalir didalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir dibagian luar pipa tetapi masih didalam *shell*. *Shell and tube heat exchanger* biasanya digunakan dalam kondisi tekanan relatif tinggi, yang terdiri dari sebuah selongsong yang di dalamnya disusun suatu *annulus* dengan rangkaian tertentu (untuk mendapatkan luas permukaan yang optimal). Fluida mengalir di selongsong maupun di *annulus* sehingga terjadi

perpindahan panas antara fluida dengan dinding *annulus* misalnya *triangular pitch* (pola segitiga) dan *square pitch* (pola segiempat).



Gambar 2.6 *shell and tube heat exchanger*

(Sumber: Yunus A.Cengel, 2007)

(a) satu jalur shell, satu jalur tube

(b) satu jalur shell, dua jalur tube

b. Concentric Tube Heat Exchanger (Double Pipe)

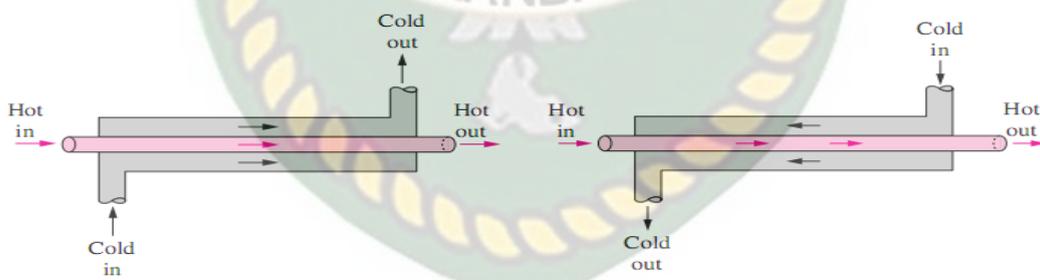
Double pipe heat exchanger atau *consentric tube heat exchanger* yang ditunjukkan pada gambar 1 di mana suatu aliran fluida dalam pipa seperti pada gambar 1 mengalir dari titik A ke titik B, dengan *space* berbentuk U yang mengalir di dalam pipa. Cairan yang mengalir dapat berupa aliran *cocurrent* atau *Counter current*. Alat pemanas ini dapat dibuat dari pipa yang panjang dan dihubungkan satu sama lain hingga membentuk U. *Double pipe heat exchanger* merupakan alat yang cocok dikondisikan untuk aliran dengan laju aliran yang kecil.

Exchanger ini menyediakan *true counter current flow* dan cocok untuk *temperature crossing*, tekanan tinggi dan rendah untuk kebutuhan yang moderat

(range surface area: 1 – 6000 ft²). Hairpin heat exchanger tersedia dalam:

- Single tube (double pipe) atau berbagai tabung dalam suatu hairpin shell (multitube),
- Bare tubes, finned tube, U-Tubes,
- Straight tubes,
- Fixed tube sheets

Double pipe heat exchanger sangatlah berguna karena ini bisa digunakan dan dipasang pada pipe-fitting dari bagian standar dan menghasilkan luas permukaan panas yang besar. Double pipe exchanger biasanya dipasang dalam 12-, 15-, atau 20-ft panjang efektif, panjang efektif dapat membuat jarak dalam each leg over di mana terjadi perpindahan panas dan mengeluarkan inner pipe yang menonjol melewati the exchanger section. Susunan dari concentric tube ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

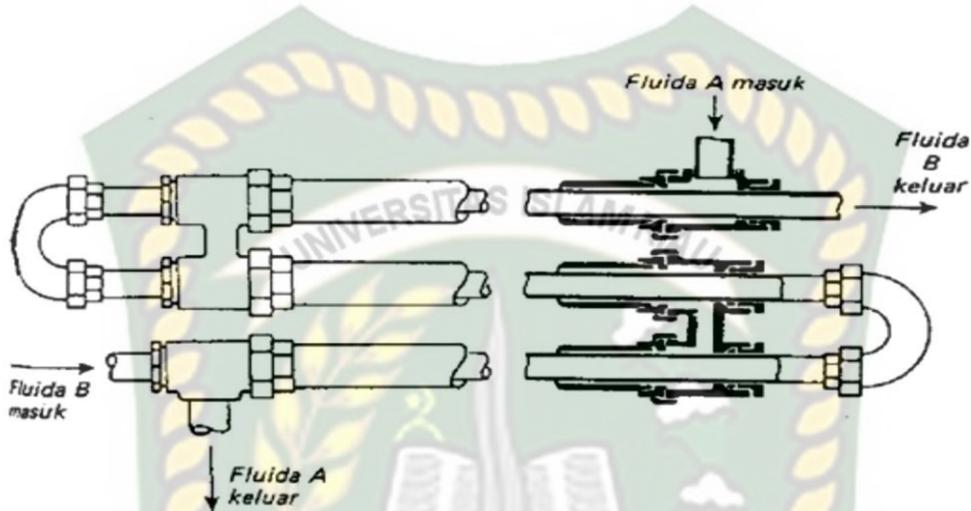


Gambar 2.7 Double pipe heat exchanger aliran cocurrent dan counter current

(Sumber :Yunus. A. Chengel, 2007)

Pada susunan cocurrent maka fluida di dalam tube sebelah dalam (inner tubes) maupun yang di luar tube (dalam annulus), artinya satu lintasan tanpa

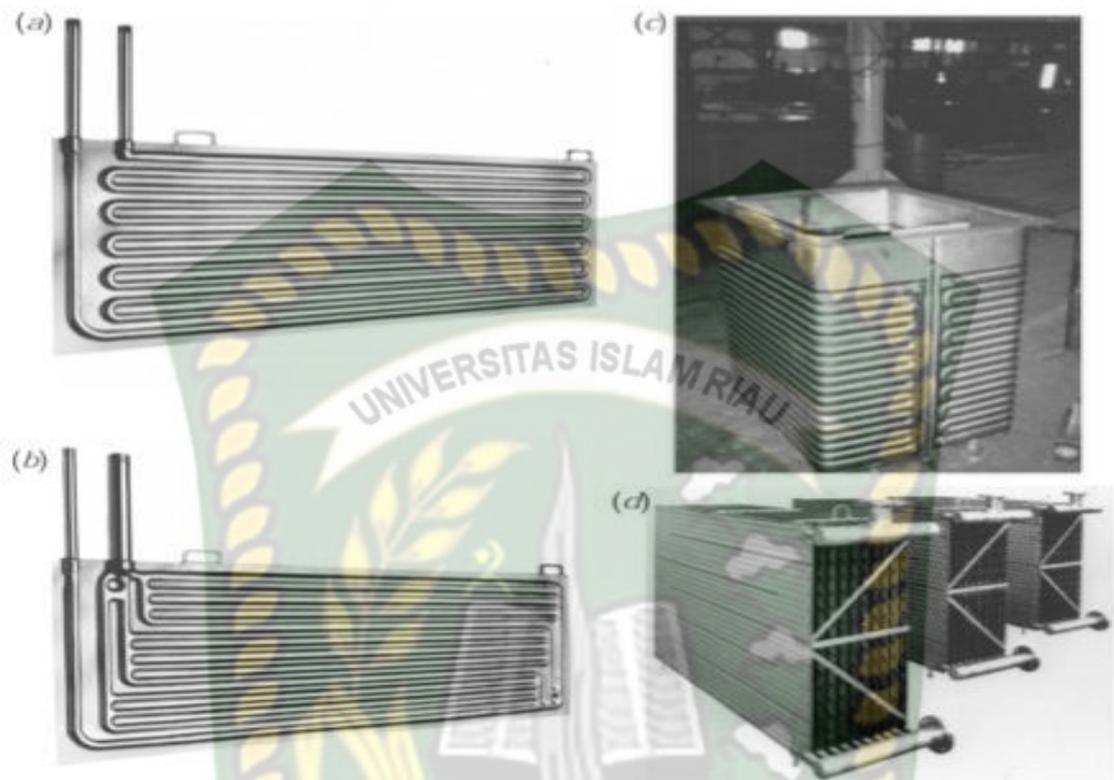
cabang. Sedangkan pada aliran *countercurrent*, di dalam *tube* sebelah dalam dan fluida di dalam *annulus* masing-masing mempunyai cabang seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.8 *Double-pipe heat exchangers in series*
(Sumber: Donald Q. Keren. 1983)

C. Panel Koil Pipa

Heat exchanger tipe ini menggunakan semacam pipa yang dipasangkan ke sebidang plat dengan proses pengelasan, stamping, atau proses roll-bond sehingga didapatkan sebuah desain heat exchanger yang diberi istilah panelcoil. Material yang digunakan untuk panelcoil umumnya adalah baja karbon, stainless steel, titanium, nikel, dan monel. Penggunaan heat exchanger tipe ini ada pada industri farmasi, industri fiber, industri kimia, industri makanan, dan juga pada penyerap panas tenaga matahari.



Gambar 2.9 Panelcoil Pipa

Sumber: Yunus A.Cengel, 2007)

Panelcoil Heat Exchanger:

(a) Satu jalur (single-flow)

(b) Multiple-flow

(c) Vessel

(d) Spot-Welded Econocoil Bank

d. Jenis spiral

Jenis ini mempunyai bidang perpindahan panas yang melingkar. Karena alirannya yang melingkar maka sistem ini dapat melakukan *Self Cleaning* dan mempunyai efisiensi perpindahan panas yang baik, akan tetapi konstruksi seperti ini tidak dapat dioperasikan pada tekanan tinggi.

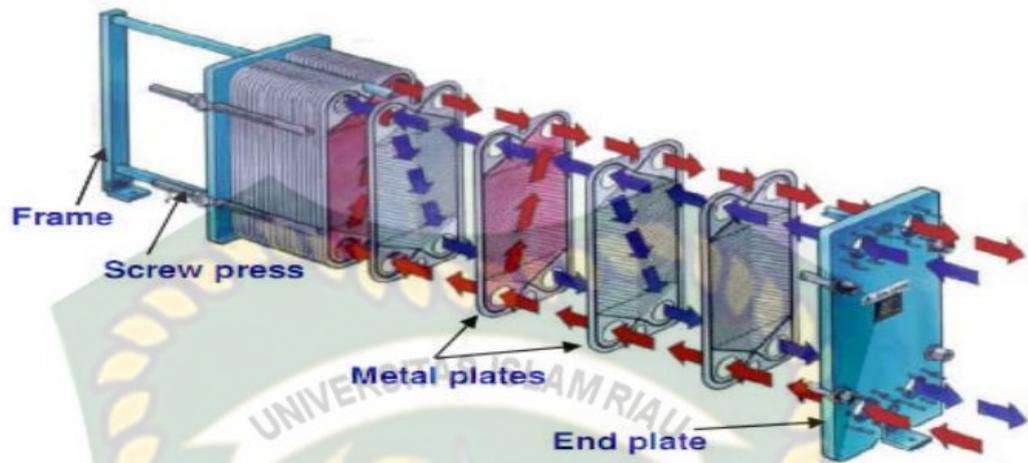


Gambar 2.10 Spiral Exchanger

(Sumber:academia.edu)

e. Gasket plate exchanger

Mempunyai bidang perpindahan panas yang terbentuk dari lembaran plat yang dibuat beralur. Lualan fluida (biasanya untuk cairan) terdapat diantara lembaran pelat yang dipisahkan gasket yang dirancang khusus sehingga dapat memisahkan aliran dari kedua cairan. Perawatannya mudah dan mempunyai efisiensi perpindahan panas yang baik. Berikut gambar alat penukar kalor tipe *gasket plate exchanger*



Gambar 2.11 Gasket plate exchanger
(Sumber: Yunus A.Cengel, 2007)

2.9 Mekanisme Perpindahan Panas

Mekanisme Perpindahan Panas dibagi menjadi tiga , yaitu :

- a. Perpindahan Panas Konduksi
- b. Perpindahan Panas Radiasi
- c. Perpindahan Panas Konveksi

1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dengan panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam suatu medium (padat,cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut

teori kinetik, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul –molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan positif relative molekul-molekulnya disebut energi dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun energi dalam elemen zat.

Bila molekul-molekul disatu daerah memperoleh energi kinetik rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh molekul-molekul disuatu daerah yang berdekatan, sebagaimana diwujudkan oleh adanya beda suhu, maka molekul-molekul yang memiliki energi yang lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul didaerah yang bersuhu lebih rendah. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida, tetapi didalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi.

(*Frank Kreith*, dkk, 1986).

2. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses dengan mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Panas radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk bak (*bacth*) gelombang (kumpulan) energi yang terabatas. Gerakan panas radiasi didalam ruang mirip perambatan cahaya dan dapat diuraikan dengan teori gelombang.

Bilamana gelombang radiasi menjumpai benda yang lain, maka energi diserap di dekat permukaan benda tersebut. (*Frank Kreith*, dkk, 1986).

Ada beberapa sumber radiasi yang kita kenal disekitar kehidupan kita, contohnya adalah televisi, lampu penerangan, alat pemanas makanan (*microwave oven*), komputer, dan lain-lain. Radiasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau disebut juga dengan foton adalah jenis radiasi yang tidak mempunyai massa dan muatan listrik. Misalnya adalah gamma dan sinar-X, dan juga termasuk radiasi tampak seperti sinar lampu, sinar matahari, gelombang *microwave*, radar dan handphone, (Batan, 2008).

3. Perpindahan panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. (*Frank Kreith*, dkk)

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya diatas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka

akan bercampur, dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya. (*Frank Kreith, dkk*)

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara, yaitu :

- Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*)
Adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya. Contoh : plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.
- Konveksi paksaan (*forced convection*) Adalah perpindahan panas yang aliran panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar. Contoh : plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

2.10 Jenis Jenis Heater

Heater disini sebagai alat penukar kalor yang berbentuk pipa, dimana pipa-pipa tersebut berisi uap (*steam*) yang berasal dari *back pressure valve* (BPV), lalu panas yang dihasilkan *heater* dihisap oleh *fan*.

Jenis-jenis *Heater* dapat dibedakan atas :

- a. *Heater* SC 39/39/2R/1P – 2½

Heater jenis ini yang sering digunakan untuk pabrik buah kepala sawit kapasitas 30-45 ton.

► Jenis *Heater* SC 39/39/2R/1P – 2½:

SC : Kode heater

39 : Mewakili ukuran *heater* satuan 39 inch yang setara 990,6 mm tinggi

39 : Mewakili ukuran *heater* satuan 39 inch yang setara 990,6 mm panjang

2R : Mewakili 2 baris lubang pipa-pipa

1P : mewakili 1 lintasan ke heater

2½ Mewakili ukuran *Header* dalam menampung *steam*



Gambar 2.12 *Heater* SC 39/39/2R/1P – 2½/2

(Sumber: *East force*, 2015)

b. *Heater* SC 39/39/2R/2P – 2¹/₂

Heater jenis ini yang sering digunakan untuk pabrik buah kepala sawit kapasitas 30-45 ton.

➤ Jenis *Heater* EF 39/39/2R/2P – 2¹/₂:

EF : Kode heater

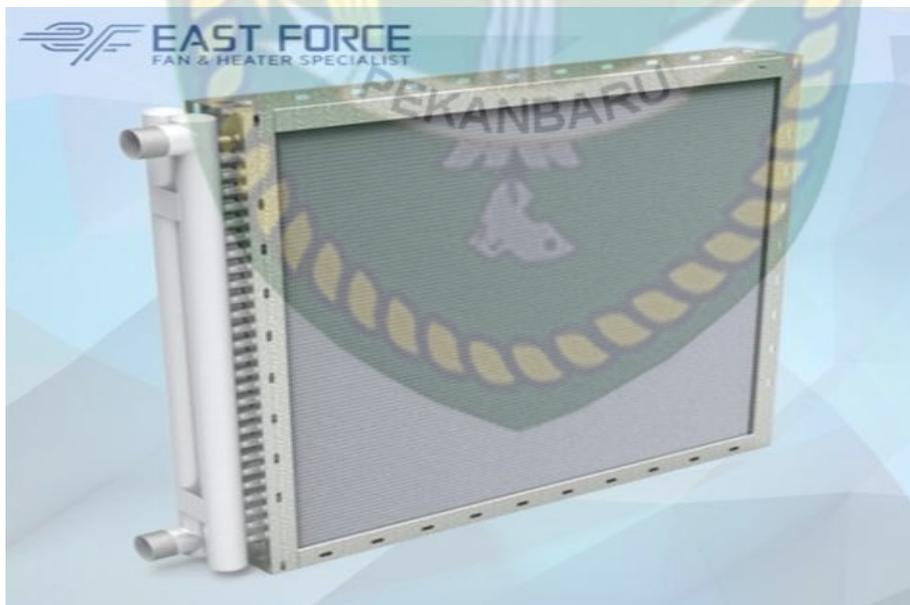
39 : Mewakili ukuran *heater* satuan 39 inch yang setara 990,6 mm tinggi

39 : Mewakili ukuran *heater* satuan 39 inch yang setara 990,6 mm panjang

2R : Mewakili 2 baris lubang pipa-pipa

2P : mewakili 2 lintasan ke heater

2¹/₂: Mewakili ukuran *Header* dalam menampung *steam*



Gambar 2.13 *Heater* EF 39/39/2R/2P – 2¹/₂

(Sumber: *East force*, 2015)

2.11 Persamaan Konveksi Paksa Pada Alat Pengering Kernel buah sawit

Dalam penelitian ini akan digunakan tahap pertama yaitu tahap untuk mendapatkan data unjuk kerja alat pengering. Unjuk kerja suatu alat pengering dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut :

1. Koefisien Perpindahan panas konveksi

- Kecepatan aliran maksimum gas asap pada susunan pipa staggered

$$S_D = \sqrt{S^2 L + (ST/2)^2}$$

${}^{\circ}V_{max}$

$${}^{\circ}V_{max} =$$

$$\frac{S_T}{2(S_D - D)} {}^{\circ}V, (m/s) \dots \dots \dots \text{Pers.2.1}$$

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

Dimana :

S_T = Jarak antara pipa dengan pipa yang lain arah vertikal (m)

S_D = Jarak antara pipa dengan pipa yang lain arah miring (m)

${}^{\circ}V$ = kecepatan Aliran Udara Gas Asap (m/s)

- Reynolds Number (Re_D)

$$Re_D = \frac{\rho {}^{\circ}V_{max} D}{\mu} = \frac{{}^{\circ}V_{max}}{\nu} \cdot D \dots \dots \dots \text{Pers.2.2}$$

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

Dimana :

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

V_{max} = Kecepatan aliran maksimum gas asap (m/s)

D = Diameter pipa-pipa pemans (m)

μ = Viskositas dinamik ($\frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$)

Untuk menghitung *nusselt number* aliran turbulen, maka digunakan Tabel. 7-2 buku (Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

- Bilangan *Nusselt* (Nu_D)

$$Nu_D = C Re_D^m Pr^n (Pr/Pr_s)^{0.25} \dots\dots\dots \text{Pers.2.3}$$

(Sumber :Yunus A.Cengel, 2007)

- Koefisien perpindahan panas (h) :

$$h = \frac{Nu_{D,NL} k}{D}, (\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}) \dots\dots\dots \text{Pers.2.4}$$

(Sumber :Yunus A.Cengel, 2007)

Dimana :

$$k = \text{Thermal Conductivity (W/m}^\circ\text{C)}$$

- Permukaan daerah perpindahan panas (A_s)

$$A_s = N\pi DL, (\text{m}^2) \dots\dots\dots \text{Pers.2.5}$$

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

Dimana :

N = Jumlah pipa-pipa pemanas

L = Panjang pipa-pipa pemanas (m)

nilai konstanta C dan eksponen n di berikan dalam tabel 2.1 menurut parameter geometri yang digunakan untuk menggambarkan susunan berkas tabung.

Table 2.1 Perbandingan h untuk kedalaman N baris terhadap kedalaman 10 baris.

N_l	1	2	3	4	5	7	10	13
In-line	0.70	0.80	0.86	0.90	0.93	0.96	0.98	0.99
Staggered	0.64	0.76	0.84	0.89	0.93	0.96	0.98	0.99

(Sumber :Yunus A.Cengel, 2007)

- Laju aliran massa udara (\dot{m})

$$\dot{m} = \rho_1 V(N_T S_T L),$$

(kg/s).....Pers.2.6

Nilai ρ_1 didapat dari temperatur luar dilihat pada tabel *Property and charts (SI units)*. Yunus A. Cengel. Tabel A-15

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

Dimana :

$$A = \text{Luas penampang masuk udara (m}^2\text{)}$$

- Temperatur keluar (T_e)

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{A_s h}{\dot{m} c_p}\right), \quad (^\circ\text{C}) \dots \text{Pers. 2.7}$$

Dimana :

A = Luas penampang masuk udara (m²)

T_s = Temperatur udara pipa-pipa pemanas (°C)

T_i = Temperatur gas asap cerobong (°C)

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007.)

- Perbedaan Temperatur

$$\Delta T_{in} = \frac{(T_s - T_e) - (T_s - T_i)}{\ln[(T_s - T_e)/(T_s - T_i)]}, \text{ (}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.8}$$

Dimana :

T_s = Temperatur udara pipa-pipa pemanas (°C)

T_i = Temperatur gas asap cerobong (°C)

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

- Nilai Perpindahan Panas

$$\dot{Q} = hA_s \Delta T_{in}, \text{ (W)} \dots\dots\dots \text{Pers. 2.9}$$

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

2. Koefisien Perpindahan panas konveksi menyeluruh

- Mencari luas penampang (A)

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{Pers.2.10}$$

(Sumber : Mc Cabe. 1993)

- Mencari perhitungan nilai $\dot{m} = \text{kg/s}$

$$\dot{m} = (V_{udara} \times A) \times \rho_{udara} \text{ (kg/s)} \dots\dots\dots \text{Pers.2.11}$$

(Sumber : Arismunandar Wiranto, Saito Heizo. 2000)

- Mencari nilai \dot{Q}

$$\dot{Q} = [\dot{m}C_p(T_{in} - T_{out})](W).....Pers.2.12$$

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

- Mencari nilai A_i

$$A_i = n\pi D_i L (m^2).....Pers.2.13$$

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

- Mencari perhitungan log mean perbedaan suhu = $\Delta T_{in,CF}$

$$\Delta T_{in,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} (^\circ C).....Pers.2.14$$

(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

- Koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh.

$$U_i = \frac{\dot{Q}}{A_i F \Delta T_{in,CF}} (W/m^2 \cdot ^\circ C).....Pers.2.15$$

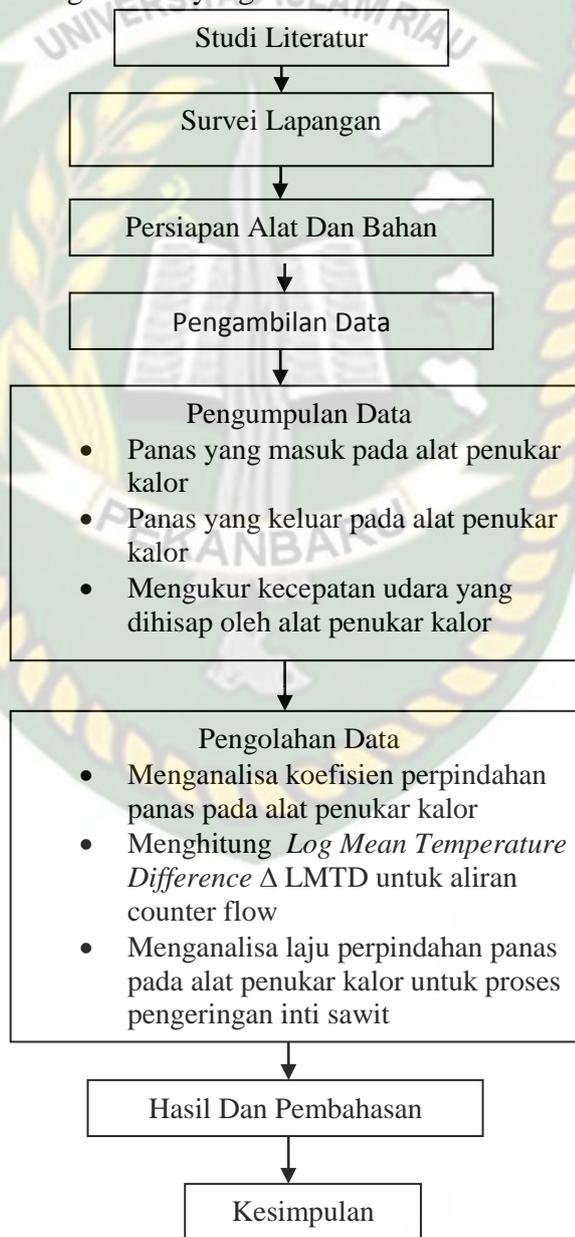
(Sumber : Yunus A.Cengel, 2007)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian alat pengering kernel (inti) buah kelapa sawit dapat dilihat pada diagram alir yang tertera dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Tahap studi literatur yaitu studi untuk mengumpulkan bahan-bahan referensi yang diperlukan dan berhubungan dengan masalah-masalah yang akan dibahas. Studi ini dilakukan dengan mempelajari dan mengkaji penelitian-penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan alat pengeringan inti sawit. Studi literatur biasa didapat dari berbagai sumber, seperti: jurnal, buku, dan skripsi. Studi literatur berguna sebagai dasar dalam pembahasan masalah sebagai acuan untuk ketahap penelitian selanjutnya.

3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini bertempat di Pabrik Minyak Kelapa Sawit PT. GUNUNG SAWIT MAS (GSM) , Yang beroperasi di DESA. RANTAU PANJANG KECAMATAN. TAMBUSAI, KABUPATEN. ROKAN HULU (ROHUL) RIAU-INDONESIA .Waktu penelitian diambil mulai tanggal 30 Agustus 2019 sampai selesai.



Gambar 3.2 Pabrik Minyak Kelapa Sawit

(Sumber : PT.GUNUNG SAWIT MAS)

3.4 Tahap Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu

A. Tahap pra-penelitian

Tahapan ini merupakan tahap awal dimana penelitian melakukan studi literatur yang berhubungan dengan judul dan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian.

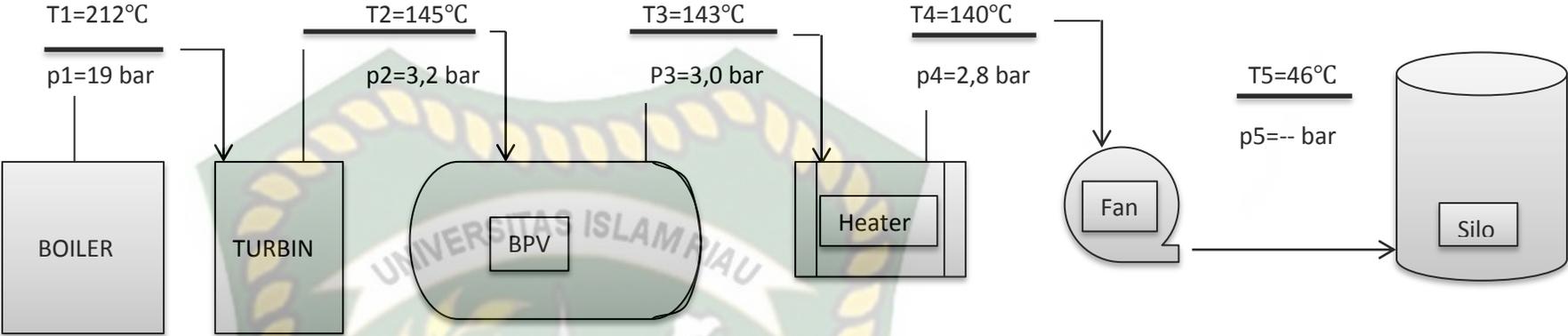
B. Tahap penelitian

Pada tahap ini melakukan kegiatan ini yaitu meliputi pengujian alat penukar kalor untuk pengeringan kernel buah sawit.

3.5 Sketsa Rangkaian Heater

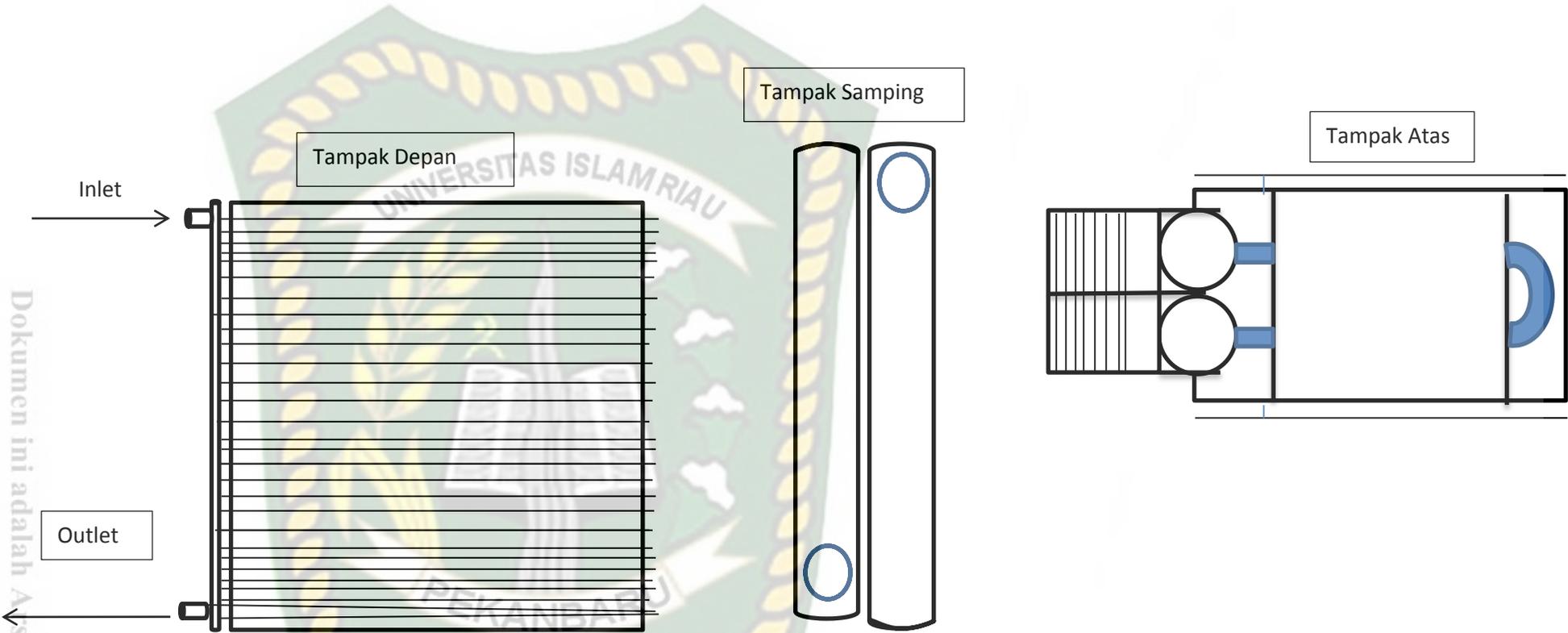
Pada alat penukar kalor ini berasal dari uap (Steam) boiler yang disalurkan ke turbin, sisa uap dari turbin di salurkan ke Back Pressure Vessel (BPV) kemudian uap yang berada di BPV dimanfaatkan dan di salurkan ke alat penukar kalor, dan diwaktu bersamaan *fan* menghisap udara panas yang disebabkan oleh udara lingkungan yang bersentuhan dengan pipa-pipa *heater*, dan udara panas yang di hisap oleh *fan* tersebut dimasukkan kedalam kernel silo.

SKETSA RANGKAIAN SISTEM PENGERING INTI SAWIT (KERNELSILO)



Gambar 3.3. Sketsa Silo

Sketsa Heater



Gambar 3.4 Sketsa Heater

3.6 Alat Penelitian

Alat penelitian bertujuan untuk melengkapi perlengkapan yang terdiri dari :

3.6.1 Heater

Adapun alat penukar kalor kernel (inti Sawit) yang digunakan pada penelitian ini yaitu alat pengering kernel (inti Sawit) dengan memanfaatkan panas *Heater*. terlihat pada gambar 3.5 seperti dibawah ini.



Gambar 3.5 Alat Pengering Kernel (inti)

(Sumber : *PT.GUNUNG SAWIT MAS*)

Alat pengering ini berkapasitas 15 ton/unit dan mempunyai 1 silo pengering menggunakan sistem perpindahan panas konveksi paksa, Pengering kernel (inti) menggunakan pemanasan dengan bantuan *steam* sebagai penghasil panas. Alat penukar kalor yang digunakan pengeringan kernel buah sawit yaitu: *Heater*

Heater berfungsi sebagai alat penghasil panas yang berasal dari *steam*. Alat ini terdiri dari pipa yang saling berhubungan dan pipa terpasang pada dinding *heater* yang terbuat dari baja *stainless steel*. Uap panas yang berasal boiler masuk ke turbin, dan sisa uap panas yang berada diturbin disalurkan ke *Back Pressure Vessel* (BPV) kemudian uap panas di BPV dimanfaatkan dan di salurkan kedalam ke pipa-pipa alat penukar kalor (*heater*) Sedangkan uap basahnya akan di buang melalui pipa buang. komponen utama alat yang telah dirakit seperti terlihat pada gambar 3.6 dan 3.7 seperti di bawah ini.

Heater jenis ini yang sering digunakan untuk pabrik buah kepala sawit kapasitas 30-45 ton.

Jenis *Heater* EF 39/39/2R/2P – 2½:

EF : Kode heater

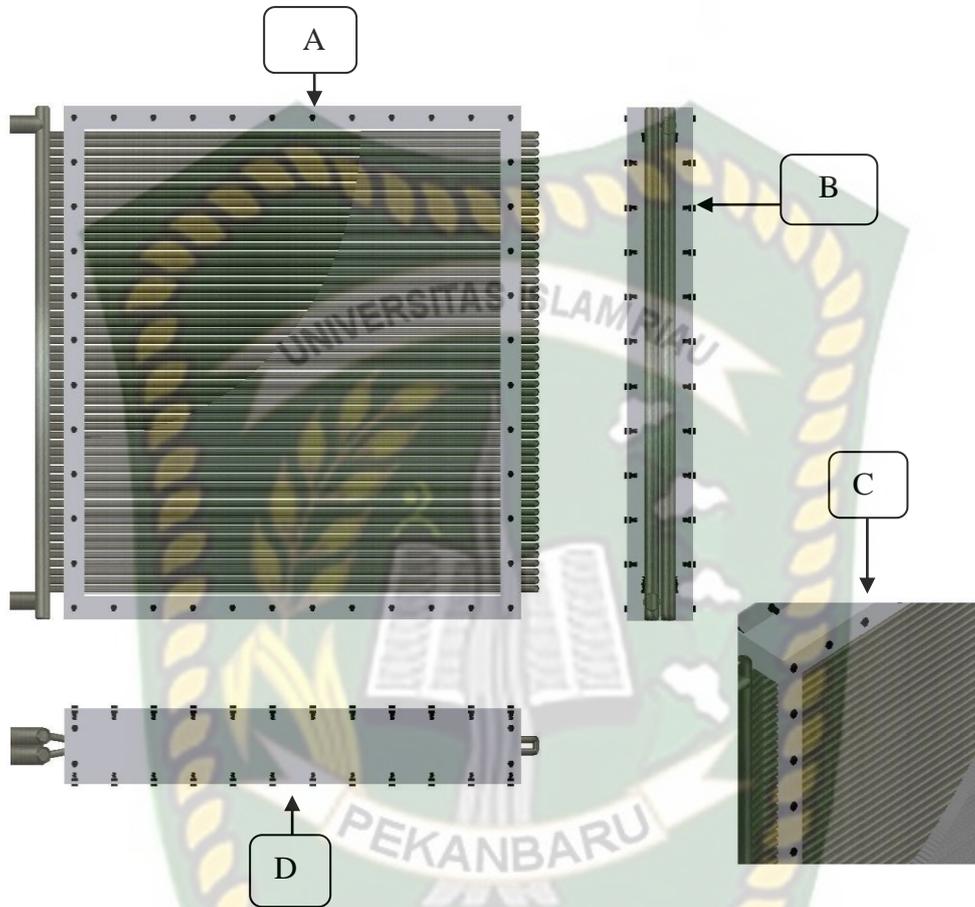
39 : Mewakili ukuran *heater* satuan 39 inch yang setara 990,6 mm tinggi

39 : Mewakili ukuran *heater* satuan 39 inch yang setara 990,6 mm panjang

2R : Mewakili 2 baris lubang pipa-pipa

2P : mewakili 2 lintasan ke heater

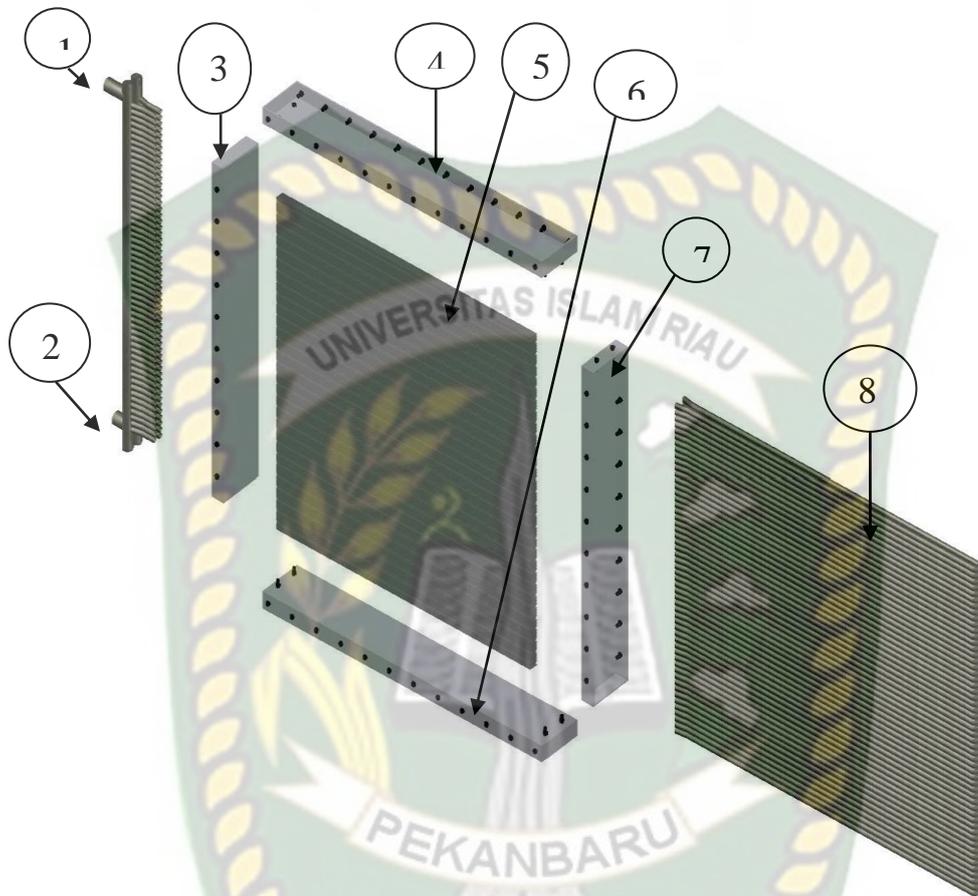
2½ : Mewakili ukuran *Header* dalam menampung *steam*



Gambar 3.6 Skema heater

Keterangan Gambar:

- A. Heater Tampak Depan
- B. Heater Tampak Samping
- C. Heater Tampak Depan Dengan Sirip Terbuka
- D. Heater Tampak Atas



Gambar 3.7 Skema Heater

Keterangan gambar :

1. Uap panas masuk header
2. Uap panas keluar header
- 3—7 bingkai tegak
- 4—6 bingkai datar
5. Sirip
8. Pipa heater

3.6.2 *Fan*

Fan disini sebagai alat untuk menghisap udara dingin berubah menjadi udara panas yang bersentuhan oleh pipa-pipa *heater*, udara panas yang dihisap oleh *fan* dengan kecepatan $3.5 \frac{m}{s}$ dan diteruskan ke ruang kernel silo. Jenis fan yang dipilih Tipe L secara luas digunakan untuk pabrik pengolahan inti sawit untuk silo pengeringan kernel. Semua ukuran bisa dipasang sesuai jenis posisi baik searah jarum jam atau anti searah jarumjam. Jenis *fan* tipe L bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.8 *Fan* jenis L

(sumber: *East force*,2015)

3.6.3 Silo

Silo adalah suatu alat yang berfungsi untuk menampung biji/nut yang berasal dari nut polising drum dimana setelah di tampung biji tersebut akan di

keringkan, selanjutnya biji dikeringkan di dalam silo dengan suhu 40°C-70°C selama 12-16 jam. Pengeringan biji ini merupakan lanjutan pada proses pengolahan biji yang berguna untuk mendapatkan hasil kerja mesin pemecah biji (*Hydrocyclone Separator*) yang lebih sempurna. Setelah terpisah dari tempurungnya inti sawit selanjutnya dicuci sampai bersih. Proses selanjutnya inti sawit dikeringkan sehingga kadar airnya tinggal 7%. Proses pengeringan dilakukan dalam suhu 40°C-70°C, ini dimasukan untuk memproduksi inti yang kadar kotoranya minimal sedikit dan kehilangan inti pada cangkang relative kecil.



Gambar 3.9 .Nut silo

(Sumber :PT.GUNUNG SAWIT MAS)

3.6.4 Anemometer

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur arah dan kecepatan angin. Satuan meteorologi dari kecepatan angin adalah Knots (Skala Beaufort). Sedangkan satuan meteorologi dari arah angin adalah $0^{\circ} - 360^{\circ}$ serta arah mata angin. Anemometer harus ditempatkan di daerah terbuka. *Anemometer* dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3.10 *Anemometer*

(Sumber: *Workshop Fakultas Teknik Uir*)

Spesifikasi *Anemometer*

- Mengukur kecepatan angin dan suhu
- Kisaran kecepatan angin: 0–30 m/s

- Kisaran suhu angin: -10 — 45°C (14 — 113°F)
- Arus/maks/membaca kecepatan angin rata
- Unit kecepatan angin: m/s, Km/h, ft/min, knots, mph
- Tampilan suhu di $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$
- Layar lcd backlight
- Matikan otomatis / manual
- Catu daya baterai 9v (Termasuk)

3.6.5 *Thermometer Infrared*

Thermometer infrared berfungsi untuk mengukur temperatur Heater. *Thermometer infrared* mampu mengukur suhu mulai dari -50°C sampai 550°C atau -58°F sampai 1022°F . *Thermometer infrared* dapat dilihat pada gambar 3.9



Gambar 3.11 *Thermometer Infrared*

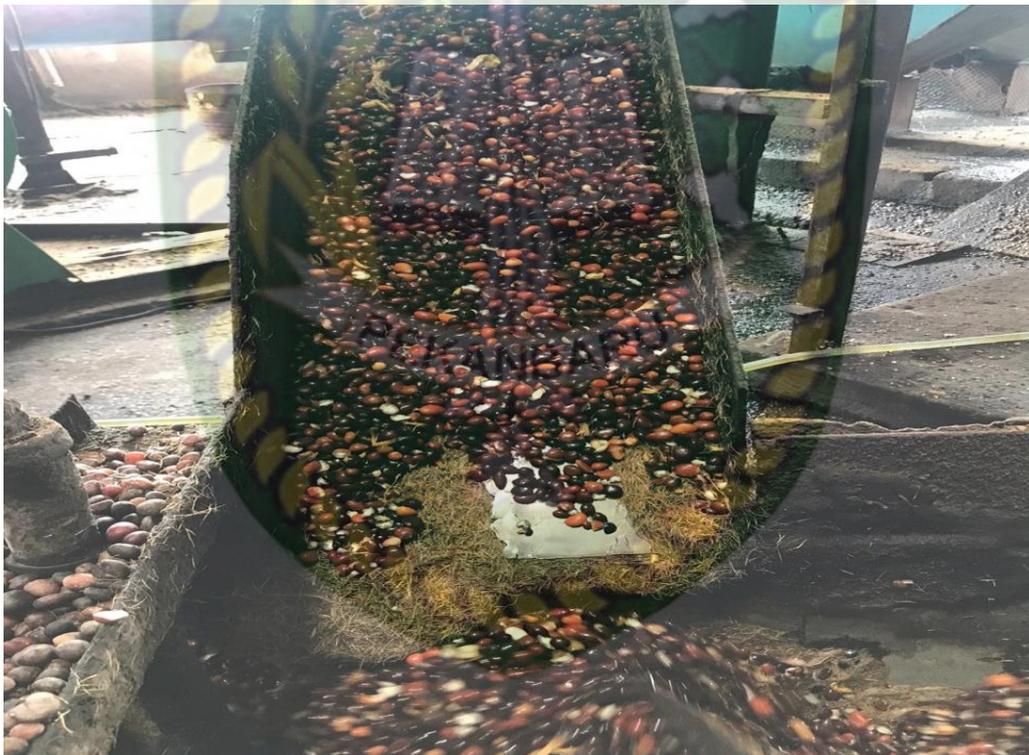
(Sumber: *Workshop Fakultas Teknik UIR*)

3.7 Bahan Penelitian

Bahan penelitian bertujuan untuk melengkapi perlengkapan data penelitian yang terdiri dari :

3.7.1 Inti Sawit (KERNEL)

Inti sawit yang digunakan pada penelitian ini yang masih mengandung air 15% -25%.



Gambar 3.12 Inti Sawit.

(Sumber : PT.GSM)

3.8 Prosedur Penetilian

A. Persiapan sebelum menjalankan

1. Ketika akan memulai start-up, pastikan kondensat didalam heater dikeluarkan melalui bypass valve dan secara perlahan-lahan buka katub supply steam
2. Pastikan bahwa tekanan steam masuk ke dalam heater adalah antara 2,4 s/d 3,4 barg dan mencukupi setiap waktu
3. Pastikan bahwa kapasitas udara yang mengalir melalui heater memadai yaitu antara 17.000 s/d 20.000 m³/hr

Pastikan bahwa total output panas dari heater ke silo cukup

B. pengujian ini yang akan diamati adalah :

1. Parameter spesifikasi pada alat penukar kalor
2. Parameter suhu masuk pada alat penukar kalor
3. Parameter suhu keluar pada alat penukar kalor
4. Parameter kecepatan udara yang dihisap pada alat penukar kalor

3.9 Prosedur Pengujian

1. Melihat spesifikasi alat penukar kalor yang dilengketi di alat penukar kalor.
2. Pengukuran suhu masuk pada alat penukar kalor menggunakan *Thermometer Infraret* kemudian mencatat hasilnya.
3. Pengukuran suhu keluar pada alat penukar kalor menggunakan *Thermometer Infraret* kemudian mencatat hasilnya.

4. Pengukuran kecepatan udara yang dihisap pada alat penukar kalor menggunakan *anemometer* kemudian mencatat hasilnya.
5. Pengukuran suhu lingkungan menggunakan *Thermometer infraret* kemudian mencatat hasilnya
6. Pengukuran suhu pada kernel silo menggunakan *Thermometer infraret* kemudian mencatat hasilnya

3.10 jadwal kegiatan penelitian

Agar penelitian tentang analisa perpindahan panas pada alat penukar kalor untuk proses pengeringan inti sawit dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 jadwal kegiatan penelitian

NO	Jenis Kegiatan	Bulan						5	6
		11	12	1	2	3	4		
1	Pembuatan proposal								
2	Studi literatur								
3	Persiapan alat dan bahan								
4	Seminar proposal								

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Alat pengering Kernel (inti)

Pengujian alat pengering kernel (inti) ini menggunakan 2 *heater* dan 1 *fan* dengan kecepatan aliran udara $3,5 \text{ m/s}$ putaran *fan* 1450 rpm. Dengan tujuan untuk mendapat kecepatan aliran udara yang lebih baik untuk meningkatkan unjuk kerja alat pengering kernel (inti) dengan menggunakan uap (*steam*) sebagai penghasil panas. Berikut adalah parameter secara umum yang harus diketahui saat melakukan pengujian alat pengering kernel (inti). Dari hasil pengujian alat pengering kernel (inti) dengan menggunakan *Heater* dan *fan* menghasilkan data yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data parameter spesifikasi pengujian dengan menggunakan alat penukar kalor

No	Parameter	Jenis Pengujian	Satuan
		kecepatan aliran udara 3,5(m/s)	
1	Tekanan uap (<i>steam</i>)	2,8	(Bar)
2	Putaran <i>Fan</i>	1450	(<i>rpm</i>)
3	Jumlah pipa <i>heater</i>	208	-
4	Diameter pipa <i>heater</i>	0,0158	M
5	Tebal tabung	1,2	Mm
6	Panjang tabung	1	M

(Sumber : PT.GSM)

Tabel 4.2 Data parameter hasil pengujian dengan menggunakan alat penukar kalor

NO	Parameter	Jenis Pengujian	Satuan
		Kecepatan aliran udara 3,5 (m/s)	
1	Kecepatan aliran udara	3,5	(m/s)
2	Steam masuk ke dalam <i>Heater</i>	141	(°C)
3	Steam keluar dari dalam <i>Heater</i>	122	(°C)
4	Suhu udara luar	25	(°C)
5	Suhu udara dalam silo	46	(°C)

(Sumber: PT.GSM)

4.2. Koefisien Perpindahan panas konveksi pada rangkunan tabung

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan parameter-parameter hasil pengujian, maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan data koefisien perpindahan panas pada alat pengering kernel (inti) pada temperatur 140°C bisa dilihat pada tabel A-15 *Temperature*

1. Perhitungan Untuk Kecepatan Aliran Udara 3,5 m/s

Diketahui :

$$\rho = 0,8542 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_1 = 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 2,345 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

$$k = 0,03374 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

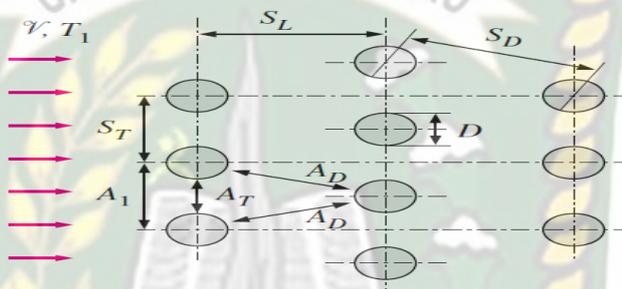
$$\text{Pr} = 0,7041$$

$$Pr_s = Pr_{@T_s} = 0,7073$$

$$C_p = 1012 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

Sumber : Tabel Property and charts (SI units). Yunus A. Cengel. Tabel A-15.

Susunan pipa-pipa pada alat pengering kernel (inti) ini adalah susunan pipa *staggered*, dimana pada gambar 4.1 memperlihatkan udara yang melalui rangkunan tabung pemanas.



Gambar 4.1. Rangkunan tabung pada alat pengering

Mencari nilai terbaik pada susunan pipa *tipe staggered* maka digunakan persamaan-persamaan alat penukar kalor sebagai berikut :

❖ Untuk mengetahui kecepatan aliran maksimal udara $S_L = 0,02 \text{ cm}$,

$S_T = 0,02 \text{ cm}$, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

- kecepatan aliran maksimal gas asap

Menghitung nilai S_D dapat digunakan persamaan

$$S_D = \sqrt{S^2 L + (S_T/2)^2}$$

$$S_D = \sqrt{0,02^2 + \left(\frac{0,02}{2}\right)^2}$$

$$= 0,022 \text{ m}$$

$${}^{\circ}V_{max} = \frac{S_T}{2(S_D - D)} {}^{\circ}V, (m/s)$$

$${}^{\circ}V_{max} = \frac{0,02}{2(0,022 - 0,016)} (3,5 \text{ m/s})$$

$$= 5,81 \text{ m/s}$$

❖ Untuk mengetahui jenis aliran didalam pipa-pipa pemanas maka dibutuhkan perhitungan bilangan *reynolds*, dengan persamaan sebagai berikut.

- *Reynolds Number* (Re_D)

$$Re_D = \frac{\rho {}^{\circ}V_{max} D}{\mu} = \frac{\rho {}^{\circ}V_{max}}{\nu}$$

$$Re_D = \frac{(0,8542 \text{ kg/m}^3)(5,81 \text{ m/s})(0,0158 \text{ m})}{2,345 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$$

$$= 3343 \text{ (Aliran Transisi, } Re \text{ 2000 } \geq \text{ 4000)}$$

❖ Untuk menghitung *nusselt number* aliran turbulen di dalam pipa , maka digunakan persamaan sebagai berikut.

- Bilangan *Nussel* (Nu_D)

$$Nu_D = C Re_D^m Pr^n (Pr/Pr_s)^{0.25}$$

$$Nu_D = 0,35 \left(\frac{0,02}{0,02}\right)^{0,2} (3343)^{0,6} (0,7041)^{0,36} \left(\frac{0,7041}{0,7073}\right)^{0,25}$$

$$= 40,10$$

Dari data pengujian alat pengering jumlah baris pipa-pipa pemanas $N_L = 4$, dan faktor koreksi didapat dari tabel pers. 2.2 , Maka $F = 0,89$. Sehingga Koefisien

perpindahan panas untuk semua pipa-pipa pemanas sebagai berikut.:

$$\text{Nu}_{D,NL} = F \cdot \text{Nu}_D$$

$$\begin{aligned}\text{Nu}_{D,NL} &= (0,89) (40,10) \\ &= 35,68\end{aligned}$$

maka :

- Koefisien perpindahan panas (h) :

$$h = \frac{\text{Nu}_{D,NL} k}{D}, \text{ (W/m}^2\text{ }^\circ\text{C)}$$

$$\begin{aligned}h &= \frac{35,68(0,03374 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{C})}{0,0158 \text{ m}} \\ &= 84,45 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

- Total jumlah pipa-pipa pemanas

$$\begin{aligned}N &= 4 \text{ baris} \times 52 \text{ kolom} \\ &= 208 \text{ Pipa}\end{aligned}$$

- Luas Permukaan daerah perpindahan panas (A_s)

$$A_s = N\pi DL, \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned}A_s &= 208(\pi)(0,0158 \text{ m})(1 \text{ m}) \\ &= 10,32 \text{ m}^2\end{aligned}$$

- Laju aliran massa udara (\dot{m})

$$\dot{m} = \rho_1 V(N_T S_T L), \text{ (kg/s)}$$

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \dot{m}_1 = (1,184 \text{ kg/m}^3)(3,5 \text{ m/s})(52)(0,02\text{m})(1\text{m}) \\ &= 4,30 \text{ (kg/s)}\end{aligned}$$

- Temperatur keluar (T_e)

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{A_s h}{\dot{m} C_p}\right), \quad (^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned}
 T_e &= 141 - (141 - 25) \exp\left(-\frac{10.32 \text{ m}^2 \times 84.45 \text{ W/m}^2\text{C}}{4.30 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1013 \text{ J/kg}^\circ\text{C}}\right) \\
 &= 46 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

- Perbedaan temperatur

$$\Delta T_{\text{in}} = \frac{(T_s - T_e) - (T_s - T_i)}{\ln[(T_s - T_e)/(T_s - T_i)]}, \quad (^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{\text{in}} &= \frac{(141 - 46) - (141 - 25)}{\ln[(141 - 46)/(141 - 25)]} \\
 &= 105,15 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

- Nilai Perpindahan Panas

$$\dot{Q} = h A_s \Delta T_{\text{in}}, \quad (\text{W})$$

$$\begin{aligned}
 \dot{Q} &= \left(84,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}\right) (10.32 \text{ m}^2) (105,15^\circ\text{C}) \\
 &= 9,1 \times 10^4 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi untuk tipe tabung *staggered* kecepatan aliran udara 3.5 m/s putaran *fan* 1450 rpm, Dapat dilihat tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi pada pipa-pipa, untuk kecepatan aliran udara 3.5 m/s

No	Kecepatan aliran udara (m/s)	v_{max}^o (m/s)	Re_D	Nu_D	H (W/m ² °C)	\dot{m} (kg/s)	T_e (°C)	ΔT_{In} (°C)	\dot{Q} (W)
1	3.5	5,81	3343	40,10	84.45	4.30	46	105,15	$9,1 \times 10^4$

4.3 Koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh

Setelah dilakukan pengujian dan mendapatkan parameter-parameter hasil pengujian, maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan data koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh pada alat pengering kernel (inti).

Diketahui :

$$N = 208 \text{ Tabung}$$

$$D = 0,0158 \text{ m}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$V_{udara} = 3.5 \text{ m/s}$$

$$T_{h,in} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{h,out} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{c,in} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{c,out} = 46 \text{ }^\circ\text{C}$$

Untuk mengetahui koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

- **Suhu rata-rata.**

$$(140+120)/2 = 130 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Nilai } C_p = 1012 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (\text{Tabel A-15})$$

Untuk mengetahui Koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh pada alat penukar kalor, digunakan persamaan sebagai berikut:

- **Mencari perhitungan luas penampang nilai $A = \text{m}^2$**

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi (0,0158)^2$$

$$A = 1,96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- **Mencari perhitungan nilai $\dot{m} = \text{kg/s}$**

$$\dot{m} = (V_{\text{udara}} \times A) \times \rho_{\text{udara}} \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = (3.5 \text{ m/s} \times 1.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \times (0,875 \text{ kg/m}^3)$$

$$\dot{m} = 6,0 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

- **Mencari nilai \dot{Q}**

$$\dot{Q} = [\dot{m} C_p (T_{in} - T_{out})] \text{ (W)}$$

$$\dot{Q} = (6,0 \times 10^{-4} \text{ kg/s}) \times (1012 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}) \times (140 - 120)^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{Q} = 15,18 \text{ W}$$

- Mencari nilai A_i

$$A_i = n\pi D_i L \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A_i = (208)\pi(0.0158)m \times (1)m$$

$$A_i = 10,32 \text{ m}^2$$

- Mencari perhitungan LMTD perbedaan suhu = $\Delta T_{\ln,CF}$

$$\triangleright \Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$$

$$= (140 - 46)$$

$$\Delta T_1 = 94 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\triangleright \Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$$

$$= (120 - 25)^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 95 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\triangleright \Delta T_{\ln,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$= \frac{(94-95)^\circ\text{C}}{\ln \left(\frac{94}{95} \right)^\circ\text{C}} = 94,49 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\left. \begin{aligned}
 P &= \frac{T_{h,out} - T_{h,in}}{T_{c,in} - T_{h,in}} = \frac{120 - 140}{25 - 140} = 0,17 \\
 R &= \frac{T_{c,in} - T_{c,out}}{T_{h,out} - T_{h,in}} = \frac{25 - 46}{120 - 140} = 1,05
 \end{aligned} \right\} F$$

$$F = 0,89$$

(Nilai F dilihat di grafik *Single-pass cross-flow with one fluid mixed and the other unmixed*. Yunus A. Cengel.)

- Koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh (*overall convection heat transfer coefficient*)

$$U_i = \frac{\dot{Q}}{A_i F \Delta T_{In,CF}} \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$= \frac{15,18 \text{ W}}{(10,32 \text{ m}^2) \times (0,89) \times (94,49 \text{ °C})}$$

$$U_i = 0,0174 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Hasil dari perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh untuk kecepatan aliran udara 3.5 m/s putaran *fan* 1450 rpm, dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh untuk kecepatan aliran udara 3.5 m/s

No	Kecepatan aliran udara (m/s)	A (m ²)	\dot{m} (kg/s)	\dot{Q} (w)	A_i (m ²)	$\Delta T_{In,CF}$ (°C)	U_i (W/m ² · °C)
1	3.5	1,96 x 10 ⁻⁴	6,0 x 10 ⁻⁴	15,18	10,32	104,14	0,0174

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka ditarik beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Hasil dari perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi pada pipa-pipa penukar kalor untuk kecepatan aliran udara 3,5 m/s, putaran *Fan* 1450 rpm, Hasil pengujian jenis susunan pipa tipe *staggered* kecepatan aliran maksimal udara 5,81 m/s menghasilkan jenis aliran didalam pipa-pipa pemanas $Re = 3343$ (Aliran Transisi, $Re\ 2000 \geq 4000$), Nilai *Nusselt number* aliran turbulen dalam pipa 40,10, menghasilkan koefisien perpindahan panas konveksi $84,45\ W/m^2\ ^\circ C$ dengan luas penampang $10,32\ m^2$, Laju aliran massa udara 4,30 kg/s, dengan temperatur keluar $46^\circ C$ di *heater* dan nilai perpindahan panas terhadap pipa-pipa alat penukar kalor $9,1 \times 10^4\ W$.
2. Hasil dari perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh pada alat penukar kalor kernel buah sawit untuk temperatur masuk $141\ ^\circ C$ dan temperatur keluar $122\ ^\circ C$ dengan suhu rata-rata $132\ ^\circ C$, hasil pengujian menghasilkan massa aliran udara $6,0 \times 10^4\ kg/s$ dengan luas penampang $1,96 \times 10^{-4}\ m^2$, Menghasilkan panas yang diserap oleh *fan* 15,18 W, nilai *logarithmic mean temperature difference* (LMTD) 104,14

°C, dan menghasilkan koefisien perpindahan panas konveksi menyeluruh $0,0158 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$.

5.2 Saran

Saran peneliti bagi rekan-rekan mahasiswa yang ingin melanjutkan penelitian ini dapat meneliti dengan jenis alat penukar kalor yang berbeda. Karena setiap pabrik kelapa sawit memiliki kapasitas pengeringan kernel buah sawit dengan jenis berbeda, dan penempatan alat penukar kalor yang berbeda-beda posisinya, oleh karena itu saran peneliti bisa membandingkan jenis alat penukar kalor manakah yang terbaik untuk pengeringan kernel buah sawit. selanjutnya penelitian alat pengering kernel silo ini masih jauh dari kata sempurna sehingga peneliti juga menerima ide rekan-rekan mahasiswa tentang alat ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bukhari & Maimuzar, Junaidi. 2011. *Pengembangan Dan Evaluasi Teknis Alat Pengering Kopra Jenis Tray Dryer*. Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negeri, Padang.

Bedan Adrian Allan D.Kras., 1948, *Heat Transfer Handbook*.

Cengel A. Yunus, 2007, *Heat Transfer, Second Edition*

Cengel, Y.A., and Boles, M.A., 1994, *Thermodynamics An Engineering Approach, 2nd ed*, McGraw-Hill Companies, United States of America.

Cengel, Yunus A. 1998. *Heat Transfer a Practical Approach*, University Of Nevada.

Decko Mike, 2017 ANALISA PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PADA SISTEM ALAT PENUKAR KALOR UNTUK PROSES PENGERINGAN KERNEL BUAH SAWIT, Universitas Islam Riau, Indonesia

East Force SDN BHD., 2015, *Fans and heating coils for the palm oil mills*

Holman, J.P., 1984, *Perpindahan Kalor, edisikelima*, Erlangga, Jakarta.

Kern, Donald Q., 1983. *Process Heat Transfer., International student edition*

Kreith, Frank. 1986. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*. Ed 3th Jakarta.

Lienhard, John H. IV and V., 2008. *A heat transfer text book, Third edition*

McCabe, W.I and J.c Smith. 1985. *Unit Operation of Chemical Engineering*. 4th edition, Kogakisha. Tokyo.

Muarif. 2013. *Rancang Bangun Alat Pengering*. www.digilibspolsri.com.

(Di Akses pada tanggal 23 Mei 2017).

Mujumdar, A. S., M. W. Woo., dan W. R. W. Daud. 1987. *Spray Drying Technology Volume 1*. VDM Verlag Dr. Muller Aktiengesellschaft & Co.KG. Germany.

Mac Donald and Lawton.1977. "*The curriculum and cultural reproduction*"

UK: Open University Press

Prasetyo. Ari. 2007,

Penelitian Pengeringan Ubi Kayu dengan Teknologi Tepat Guna,

