

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Pabrik kelapa sawit yang merupakan tandan buah segar (TBS) yang menjadi minyak kelapa sawit mentah (CPO) dan inti sawit sebagai produk antara dalam proses industry, salah satu faktor penentu keberhasilan dalam ekspansi sector perkebunan kelapa sawit. Ini dapat di proses menjadi sebagai komoditas akhir, termasuk makanan dan non-makanan. M Pardamean (2008)

Pabrik kelapa sawit terdiri dari unit pemerosesan yang menggunakan bebrbagai pendekatan mekanis, fisik, dan kimia. Mesin perebusan (Sterilizer) merupakan mesin yang sangat penting dalam proses produksi karena berfungsi sebagai landasan untuk operasi selanjutnya.

Pengolahan kelapa sawit di pabrik kelapa sawit secara alami berfungsi untuk menghasilkan minyak kelapa sawit yang berkualitas tinggi. Salah satu faktor penentu kualitas minyak sawit yang harus diperhatikan adalah kandungan asam lemak bebasnya yang rendah. Pada unit pemasakan, enzim lipase dinonaktifkan untuk menghentikan hidrolisis asam lemak menjadi asam lemak bebas, sehingga asam lemak dalam jumlah besar tidak terbentuk pada produk.

Dalam peroses selanjutnya, ada beberapa faktor yang harus dioptimalkan. Faktor-faktor tersebut antara lain suhu, tekanan, dan waktu perebusan, yang merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi proses selanjutnya seperti pemipilan dan pengepresan. Faktor-faktor tersebut juga memiliki pengaruh yang kuat terhadap kehilangan (losses) minyak dari buah sawit oleh karena itu suhu yang telah

ditentukan dan waktu perebusan digunakan untuk menghilangkan kehilangan minyak (losses).

Perebusan tandan buah segar dilakukan dengan menggunakan sistem tiga puncak dengan tekanan 2,8-3,0 kg/cm<sup>2</sup> pada suhu 130-135 °C selama 80-90 menit. Tekanan didih, suhu dan waktu semuanya dapat diatur untuk mencegah kehilangan minyak atau serat yang berlebihan pada tandan kosong, yang dapat mengakibatkan kerugian pada pabrik kelapa sawit. Sulit untuk menghilangkan kehilangan karena kehilangan minyak, terutama dalam air kondensat. Akibatnya, tindakan lebih lanjut dilakukan, selain penghilangan, untuk mengekstrak atau kehilangan minyak dalam kondensat dengan mengubah tekanan, suhu, dan waktu didih. Standar yang diakui untuk kehilangan kondensasi udara adalah 0,50. Dengan mengidentifikasi tekanan dan waktu yang tepat untuk digunakan selama perebusan, perusahaan mengurangi kerugian minyak (losses). Akibatnya kerugian minyak (losses) dari perebusan akan diminimalkan dengan semaksimal mungkin. L Masruroh (2021)

Peneliti tertarik untuk mengadakan penelitian mengenai masalah kehilangan panas dalam hal pengolahan kelapa sawit dengan mengusulkan waktu, tekanan, dan suhu perebusan yang ada pada PKS ASAM JAWA di Labuhan Batu Selatan. Untuk itu penulis mengambil judul Tugas Akhir **“ANALISA KEHILANGAN PANAS YANG TERJADI PADA MESIN PEREBUSAN KELAPA SAWIT (STERILIZER) DENGAN KAPASITAS 60 TON/JAM PADA PKS ASAM JAWA DI LABUHAN BATU SELATAN”** yang akan membahas tentang kehilangan panas pada mesin sterilizer.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti merumuskan beberapa masalah yang akan di bahas dalam laporan penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana mengatasi perpindahan panas pada mesin Sterilizer untuk perebusan kelapa sawit
2. Faktor apa saja yang mempengaruhi terjadinya panas pada mesin sterilizer perebusan kelapa sawit.
3. Bagaimana kesetimbangan energi pada proses perebusan kelapa sawit pada mesin sterilizer.

## **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah diperlukan untuk menghindari pembahasan atau pengkajian yang tidak terarah agar dalam pemecahan permasalahan dapat dengan mudah dilaksanakan, maka batasan masalah dalam penelitian ini hanya menganalisis bagaimana cara mengatasi perpindahan panas yang terjadi pada mesin sterilizer pada perebusan kelapa sawit, sehingga mesin tidak mudah rusak atau mengalami gangguan dibagian tertentu

## **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menganailisa perpindahan panas dan kehilangan panas yang terjadi pada mesin sterilizer pada proses perebusan TBS di PKS Asam Jawa.
2. Menghitung besarnya kehilangan panas pada dinding sterilizer serta mengetahui faktor-faktor penyebabnya.

3. Menentukan nilai kesetimbangan energi pada proses perebusan kelapa sawit untuk mengetahui efisiensi pemanfaatan energy panas.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Dalam penelitian ini ada beberapa manfaat yaitu :

1. Penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi pihak manajemen pabrik sebagai informasi lebih lanjut dalam pengambilan keputusan dalam perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan terhadap produksi perebusan kelapa sawit.
2. Menambah wawasan mengenai pengaruh perpindahan panas mesin sterilizer pada proses pengolahan buah kelapa sawit.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kelapa Sawit**

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) adalah tanaman perkebunan penting yang menghasilkan minyak makan, minyak industry, dan bahan bakar nabati (biodiesel). Tanaman kelapa sawit berasal dari afrika barat. Tanaman ini juga bisa tumbuh subur di Indonesia, Malaysia, dan beberapa negara lain. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.

Minyak kelapa sawit diperoleh dari pengolahan buah kelapa sawit. Secara gari besar, buah kelapa sawit terdiri dari dua bagian utam serabut buah (pericarp) dan inti (kernel). Serabut buah kelapa sawit terdiri dari tiga lapisan yaitu mesocarp atau pulp dan lapisan paling dalam disebut endocarp. Inti kelapa sawit terdiri dari lapisan kulit biji (testa), endodperm dan embiro. Mesocarp mengan dung kadar minyak rata-rata sebanyak 56%, inti (kernel) mengandung minyak sebesar 44%, .dan endocarp tidak mengandung minyak. Y.E.Yan Fauzi (2012).



Gambar 2.1. Tanaman Kelapa Sawait

Standar mutu minyak kelapa sawit dapat dibedakan menjadi dua yaitu, yang pertama benar-benar murni dan tidak ada campuran dari minyak nabati lain. Mutu minyak kelapa sawit tersebut dapat ditentukan dengan menilai sifat-sifat fisiknya, yaitu dengan mengukur titik lebur angka penyabunan dan bilangan yodium. Kedua, pengertian mutu sawit berdasarkan ukuran. Dalam hal ini syarat mutu diukur berdasarkan spesifikasi standar mutu internasional yang meliputi ALB, Air kotoran, Logam besi, Logam tembaga, Peroksida, dan ukuran pemucatan. Kebutuhan mutu minyak kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan baku industri pangan dan non pangan masing-masing berbeda. Oleh karena itu keaslian, kemurnian, kesegaran, maupun aspek higienisnya yang harus diperhatikan. Rendahnya mutu minyak kelapa sawit sangat ditentukan oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut dapat langsung dari sifat induk pohonnya, penanganan pascapanen, atau kesalahan selama pemrosesan dan pengangkutan.

Kelapa sawit memiliki banyak jenis, berdasarkan ketebalan cangkangnya kelapa sawit dibagi menjadi, Dura, Tenera dan Psipera. Dura merupakan jenis varietas kelapa sawit yang memiliki cangkang/tempurung tebal (2-8 mm), daging buah tipis, daging biji (kernel) besar dengan rendemen kandungan minyak rendah, yakni hanya sekitar 16-18%. Dalam persilangan varietas Dura digunakan sebagai pohon induk betina. Tenera merupakan jenis buah kelapa sawit yang merupakan hasil persilangan antara varietas Dura dan Pisifera. Tenera dikenal karena memiliki cangkang buah yang lebih tipis dibandingkan Dura, tetapi lebih tebal dari Pisifera, serta daging buah yang lebih tebal dan kandungan minyak yang tinggi. Hal ini membuat Tenera menjadi jenis kelapa sawit yang paling umum dan banyak

dibudidayakan karena produktivitasnya yang tinggi. Pisifera adalah salah satu varietas kelapa sawit yang memiliki ciri khas buah tanpa cangkang atau cangkang sangat tipis. Buah pisifera memiliki daging buah tebal namun daging bijinya tipis, dan inti buahnya hanya dilapisi serabut. Meskipun memiliki potensi kandungan minyak yang tinggi, pisifera jarang ditanam secara komersial karena bunga betinanya cenderung steril dan sulit menghasilkan buah. Pisifera sering digunakan sebagai induk jantan dalam persilangan dengan varietas Dura untuk menghasilkan varietas Tenera, yang memiliki karakteristik buah yang lebih baik. Jenis ini dianggap bibit unggul sebab melengkapi kekurangan masing masing induk dengan sifat cangkang buah tipis namun bunga betinanya tetap fertile. Beberapa tenera unggul persentase daging perbuahannya dapat mencapai 90% dan kandungan minyak dapat mencapai 28%.

Penilaian buah sawit dapat dibagi dalam beberapa kriteria yaitu :

1. Sangat mentah : 1-12,5 % buah luar atau 0-1 berondolan/kg tandan membrondol mentah.
2. Matang : 12,5-25 % buah luar atau 2 berondolan/kg tandan 25 % dari buah luar memberondol
3. Kurang matang : 25-50 % buah luar membrondol matang 3 50-75 % buah luar membrondol matang.
4. Lewat matang : 75-100 % buah luar membrondol lewat matang (ranum) 5 100 % buah luar membrondol dan sebagai berbau busuk lewat matang (busuk)

## 2.2. Stasiun Sterilizer

Sterillizer adalah bejana uap yang digunakan untuk merebus TBS. Pada pabrik pengolahan kelapa sawit di PT. Asam Jawa terdapat 4 (empat) unit sterillizer. Adapun seterillizer 1, 2, 3, & 4 dengan kapasitas masing-masing 9 lori, dimana 1 lori berkapasitas 2,4 ton TBS di harapkan mampu mencapai target produksi pengolahan TBS 60 ton/jam, dan lama perebusan antara 80 - 90 menit dengan temperatur 130 – 135°C. T.Sitepu (2011). Seperti terlihat pada gambar 2.2.



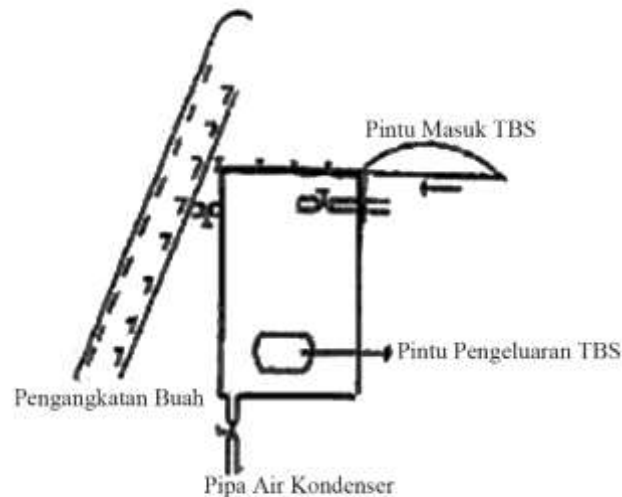
Gambar 2.2. Stasiun Strilizer

Sterilizer atau mesin perebusan kelapa sawit memiliki dua tipe yaitu vertical dan horizontal.

### 2.2.1. Sterilizer vertikal

*Sterilizer* vertikal berbentuk silinder dengan muatan 2-6 ton TBS. buah di isi melalui pintu atas dan dikeluarkan melalui pintu pengeluaran sebelah sisi depan bawah. Pada bagian *sterilizer* dialasi dengan pelat berlubang yang di pasang

menurun ke arah pintu sehingga memudahkan untuk mengeluarkan buah kelapa sawit dari mesin perebusan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Sterilizer* Vertikal

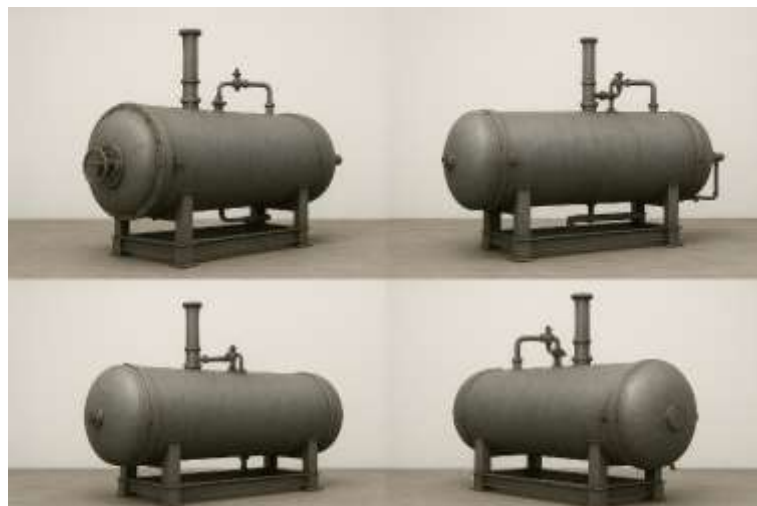
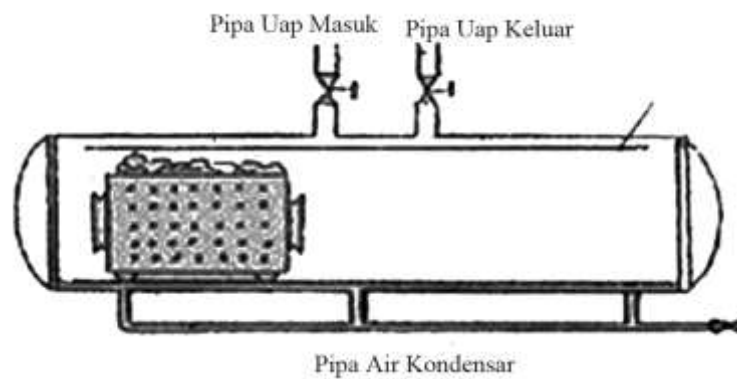
Mesin perebusan kelapa sawit atau *sterilizer* yang tipe tegak (vertikal) mempunyai kelemahan yakni :

- a. Kapasitas ruangan perebusan sangat kecil, karena alat besar membutuhkan ruangan yang cukup tinggi. Kapasitas ruangan perebusan 5 ton TBS.
- b. Bejana memuat buah yang diisi dengan menggunakan bunch elevator, sehingga buah mengalami tingkat kelakuan yang tinggi selama proses transportasi, sebagai salah satu penyebab kenaikan asam lemak bebas yang tinggi.
- c. Teknik pengoprasian yang lebih sulit dan membutuhkan tenaga yang lebih banyak terutama pada saat menutup dan membuka serta mengeluarkan buah dari dalam yang dilakukan secara manual.

Akibat kelemahan tersebut maka alat ini tidak lagi dikembangkan, atau tidak sesuai dengan kebutuhan usaha pengembangan kelapa sawit yang memerlukan kapasitas olahan yang tinggi.

### 2.2.2 *Sterilizer* Horizontal

*Sterilizer* horizontal atau bejana uap yang berbentuk silinder yang dipasang mendatar, ditumpu sesuai panjangnya. *Sterilizer* horizontal ini di isi dengan tandan buah yang di masukan kedalam lori. Lori ini yang berkapasitas 2,4 ton TBS. seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Sterilizer* Horizontal

*Sterilizer* horizontal dapat bermuatan 9 lori satu kali rebusan persatu *sterilizer*.

*Sterilizer* tipe horizontal merupakan bejana uap yang memiliki keuntungan antara lain :

- a. Kapasitas sterilizer 21,6 ton tandan buah segar dalam satu mesin perebusan.
- b. Pengoperasian lebih mudah dan praktis.
- c. Buah kelapa sawit tidak bersinggungan dengan dinding mesin perebusan, sehingga bahan yang di olah tidak akan menyebabkan bejana menjadai korosi. Buah diisi ke dalam lori dengan kapasitas 2,4 ton TBS.
- d. Pengisian uap masuk dan pembuangan uap keluar serta pembuangan air kondensat lebih mudah dilakukan.

Dalam tahap ini ada tiga cara perebusan TBS (*Triple Peak*) yaitu :

1. Sistem satu puncak adalah sistem perebusan yang mempunyai satu puncak akibat tindakan pembuangan dan pemasukan uap yang tidak merubah bentuk pola perebusan selama proses perebusan satu siklus.
2. Sistem dua puncak adalah jumlah puncak yang terbentuk selama proses perebusan berjumlah dua puncak akibat tindakan pembuangan uap dan pemasukan uap kemudian dilanjutkan dengan pemasukan, penahanan dan pembuangan uap selama perebusan satu siklus.
3. Sistem tiga puncak adalah jumlah puncak yang terbentuk selama perebusan berjumlah tiga sebagai akibat dari tindakan pemasukan uap, pembuangan uap, dilanjutkan dengan pemasukan uap, penahan dan pembuangan uap selama proses perebusan satu siklus. Perebusan dengan sistem tiga puncak teakanan (*triple peak*).

Di PKS Asam Jawa ini 4 bejana uap (*sterilizer*) ke empat mesin beroperasi dengan normal. Kapasitas dalam satu tabung mesin persbusan 9 lori dengan suhu 130 – 135°C, dengan tekanan pada puncak pertama 2,0 kg/cm<sup>2</sup> puncak kedua 2,5 kg/cm<sup>2</sup> dan puncak ketiga dengan tekanan 3,0 kg/cm<sup>2</sup> maka masa perebusan dengan waktu 80 - 90 menit. Di PKS Asam Jawa memiliki sistem perebusan yang digunakan sistem tiga puncak (*triple peak*).

Tabel 2.1. Tahap Proses Perebusan Triple Peak

	<b>Proses Peresbuan</b>	<i>Inlet</i>	<i>Condensate</i>	<i>Exhaust</i>	Waktu (Menit)	Tekanan Uap kg/cm <sup>2</sup>
1	Buang Udara I	Buka	Buka	Tutup	5 – 5	0 - 0,5
2	Naik Tekanan I	Buka	Tutup	Tutup	6 – 6	1,5 – 2,0
3	Buang Air	Tutup	Buka	Tutup	1 – 1	0,8 – 1,2
4	Afblas I (buang air, steam)	Tutup	Buka	Buka	2 – 2	0
5	Buang Udara II	Buka	Buka	Tutup	1 – 1	0 – 0,5
6	Naik Tekanan II	Buka	Tutup	Tutup	6 – 6	2,0 – 2,5
7	Buang Air	Tutup	Buka	Tutup	1 – 1	1,5 – 1,2
8	Afblas ke II	Tutup	Buka	Buka	2 – 2	0,5 – 0
9	Naik Tekanan III (1)/Tahan	Buka	Tutup	Tutup	18 – 19	2,8
10	Buang Udara III	Buka	Buka	Tutup	1 – 1	2,6 – 2,7
11	Naik Tekanan III (2)/Tahan	Buka	Tutup	Tutup	19 – 20	2,8
12	Buang Udara IV	Buka	Buka	Tutup	1 – 1	2,6 – 2,7
13	Naik Tekanan III (3)/Tahan	Buka	Tutup	Tutup	19 – 21	2,8
14	Buang Air	Tutup	Buka	Tutup	5 – 6	1,2 – 0,8
15	Afblas ke III (terakhir)	Tutup	Buka	Buka	3 – 3	0
<b>Jumlah Waktu Merebus</b>					90 - 95	

*Sumber PKS Asam Jawa*

Tujuan dari perebusan buah kelapa sawit atau tandan buah segar adalah :

1. Mengurangi Kadar air
2. Menonaktifkan *enzim lipase* yang mengakibatkan kenaikan asam lemak bebas (ALB) pada *Crude Palm Oil* (CPO)
3. Melunakan daging buah kelapa sawit
4. Melepaskan spiklet buah sehingga mempermudah pemipilan berondolan
5. Meleakangkan inti dari cangkang
6. Mematikan bakteri serta organisme yang ada pada TBS

### 2.3. Boiler

Ketel uap (boiler) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana, ketel uap ini yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya), sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam boiler. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Stasion Boiler

Sistem boiler terdiri dari:

#### 1. Sistem Air Umpan

Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan.

#### 2. Sistem Steam

Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi steam disebut air

#### 2.4. Steam (Uap)

*Steam* atau uap adalah gas yang dihasilkan dari proses yang disebut penguapan. Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan *steam* adalah air bersih. Air dari *water treatment* yang telah diproses di alirkan menggunakan pompa

ke *daerator tank* atau alat yang digunakan untuk menghasilkan gas terlarut hingga pada level yang telah ditentukan. Untuk merubah air menjadi air yang berbentuk fasa cair ke fasa gas (uap), energi panas ditambahkan untuk menaikkan temperatur yang bisa disebut dengan *sensible heat* atau panas sensibel. Ketika perubahan air menjadi uap mulai berjalan, temperaturnya tidak akan berubah lagi dengan penambahan panas. Energi panas yang diberikan untuk merubah fasa cair menjadi fasa gas dengan temperatur tetap disebut dengan *laten heat* dari penguapan.

Untuk kebutuhan *steam* (uap) bagi *Sterilizer*, pada PKS Asam Jawa menggunakan uap basah sebagai media pemanas guna perebusan tandan buah segar. Uap untuk kebutuhan perebusan harus disesuaikan dengan kemampuan *boiler* memproduksi uap, dengan sasaran bahwa tujuan perebusan dapat tercapai. Penyaluran uap ke dalam *Sterilizer* pada pabrik kelapa sawit yang lazim dikenal adalah *single peak system*, *double peak system*, dan *triple peak system*. Semakin tinggi tekanan perebusan, akan semakin cepat pula waktu perebusan. Tekanan yang tinggi dengan sendirinya memberikan temperatur yang tinggi. Temperatur yang terlalu tinggi dapat merusak kualitas minyak dan inti sawit (Harisandi, 2009).

## 2.5. Panas

Panas adalah suatu bentuk energi yang dipindahkan melalui batas sistem yang ada pada suatu temperatur yang lebih tinggi ke sistem lain atau lingkungan yang mempunyai temperatur yang lebih rendah, karena adanya perbedaan temperatur. Semua benda dalam kondisi yang tepat yaitu pada tekanan dan suhu yang sesuai akan bentuk padat, cairan dan gas. Eksistensi energi pada molekul suatu benda ditunjukkan dengan suhu benda tersebut. Dengan kata lain penambahan atau

pengurangan panas dapat merubah bentuk benda serta suhu benda tersebut. Sebagai contoh logam akan mencair jika diberi panas yang cukup untuk mencairkannya. Fenomena yang umum kita kenal adalah mencairnya es dan mendidihnya air. Kedua kondisi tersebut adalah salah satu contoh penambahan dan pengurangan panas terhadap suatu benda. Energi panas selalu berpindah dari sistem panas ke sistem dingin. Akibat perpindahan energi panas tersebut, molekul- molekul panas sistem bersuhu tinggi akan kehilangan energi kinetik dan suhunya akan lebih kecil. Pada kondisi seperti ini terjadi kesetimbangan termal dan suhu kedua benda akan sama. Secara induktif, semakin besar kenaikan suhu benda, semakin besar pula panas yang diserap.

Panas merupakan faktor ekstensif yang artinya bergantung pada jumlah zat, sedangkan suhu/temperatur merupakan faktor intensif yang tidak tergantung pada jumlah zat. Besar jumlah atau kuantitas panas biasanya bersimbol  $Q$  dan tergantung pada jumlah zat, jenis zat dan banyaknya zat. Ketiga faktor ini digabungkan menjadi satu kapasitas panas. Satuan SI untuk panas ialah Joule. Satuan lain untuk panas adalah kalori ( $1 \text{ Joule} = 0,239 \text{ kalori}$ ). Panas sangat dibutuhkan terutama pada proses pengolahan TBS, dimana panas yang berupa *steam* tersebut akan di alirkan ke *Sterilizer* untuk dilakukan perebusan TBS.

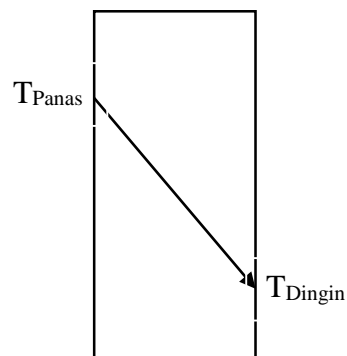
## 2.6. Perpindahan Panas

Proses Perpindahan Kalor merupakan ilmu untuk meramalkan 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. S.Iskandar (2014). 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.

### 2.3.1 Perpindahan Panas secara Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi ialah dimana proses perpindahan panas terjadi antara benda atau partikel partikel yang berkontak langsung, melekat satu dengan yang lainnya tidak ada pergerakan relative di antara benda benda tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Perpindahan Panas Konduksi

Arah aliran energi kalor adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Perpindahan panas konduksi dan difusi energi akibat aktivitas molekul sudah diketahui bahwa tidak semua bahan dapat menghantar kalor sama sepenuhnya. Dengan demikian, umpamanya seorang tukang hembus kaca dapat

memegang suatu barang kaca, yang beberapa cm lebih jauh dari tempat pegangan itu adalah demikian panasnya, sehingga bentuknya dapat berubah. Akan tetapi seorang pandai tempa harus memegang benda yang akan ditempa dengan sebuah tang. Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat, untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil. Siregar dan Lubis (2020)

Persamaan umum yang biasa digunakan dalam perpindahan panas dengan cara konduksi adalah

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

Dimana:

$q$  = Laju Panas (W)

$k$  = Konduktivitas termal ( $W/m^{\circ}C$ )

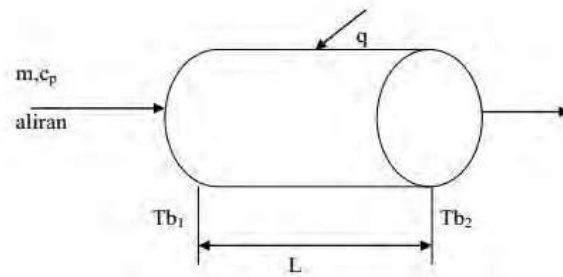
$dT$  = Perbedaan suhu ( $^{\circ}C$ )

$dX$  = Perbedaan panjang/ jarak (m)

$A$  = Luas permukaan ( $m^2$ )

### 2.3.2 Perpindahan Panas secara Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak. Begitu pula sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. perpindahan panas konveksi

Laju perpindahan panas konveksi secara didapat dengan menggunakan (hukum) newton, yaitu :

$$q = hA(T_s - T) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$q$  = Laju perpindahan panas, (  $W$  )

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (  $W/m^2C$  )

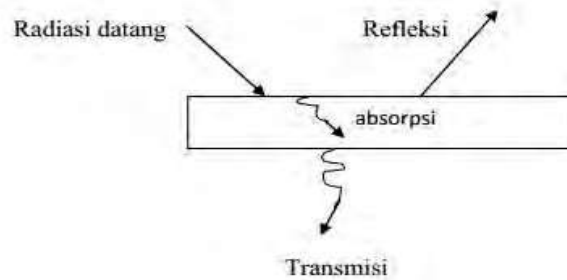
$A$  = Luasan penampang (  $m^2$  )

$T_s$  = Temperatur permukaan dinding (  $^{\circ}C$  )

$T$  = Temperatur rata rata fluida(  $^{\circ}C$  )

### 2.3.3 Perpindahan panas secara Radiasi

Perpindahan panas secara Radiasi merupakan energi yang dipancarkan oleh waktu benda yang berada pada temperatur nonzero. Radiasi tidak hanya dipancarkan oleh permukaan padat, namun juga dapat dipancarkan oleh gas cairan. Energi dari medan radiasi (radiation field) dihantarkan melalui gelombang elektromagnetik (foton). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Perpindahan Panas Radiasi

Energi pancaran atau energi radiasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan hukum *Stefan-Blotzmann* sebagai berikut :

$$q_r = \varepsilon \cdot AT^4 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

$q_r$  = Laju Perpindahan Radiasi ( W )

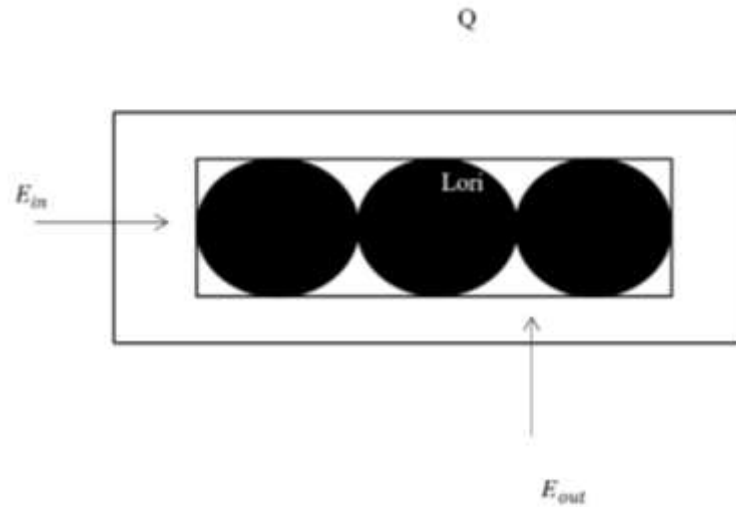
A = Luas Penampang (  $m^2$  )

T = Temperatur absolut dari permukaan (  $^{\circ}C$  )

$\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzmann(  $5,6703 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$  )

## 2.7. Keseimbangan Energi

Dari gambar 2.9. dapat diketahui bahwa ada energi masuk sistem berupa uap yang diinjeksikan ke dalam *sterilizer* yang nantinya akan diserap oleh kelapa sawit. Sedangkan untuk energi yang keluar berupa *heat loss* yang melalui dinding sterilizer dan energi yang dibawa oleh kondensat. Sehingga persamaan keseimbangan energi sebagai berikut:



Gambar 2.9. Kestimbangan Energy Pada Sterilizer

$$\Delta U = E_{in} - E_{out} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\Delta U = E_{uap} - (E_{kondensat} + E_{loss} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana :

$\Delta U$  = Perubahan energi dalam (Joule)

$E_{in}$  = Energi *thermal* masuk sistem (Joule)

$E_{out}$  = Energi *thermal* keluar sistem (Joule)

$Q_{loss}$  = Panas yang hilang melalui dinding sterilizer (Joule)

$E_{uap}$  = Energi uap yang masuk *sterilizer* (Joule)

$E_{kondensat}$  = Energi yang dibawa oleh kondensat (Joule)

#### 1. Energi Input kedalam Sterilizer

Energi yang masuk ke dalam sterilizer berasal dari uap yang diinjeksikan dari *back pressure vessel*. Kemudian energi termal uap tersebut diserap oleh kelapa sawit. Sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$E_{in} = E_{uap} \dots\dots\dots, (2.6)$$

Dengan

$$E_{in} = m_{uap} \times h_{uap} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$E_{uap}$  = Energi Termal yang dibawa oleh uap air (Joule)

$m_{uap}$  = Massa uap (kg)

$h_{uap}$  = Enthalpy uap (kj/kg)

Dengan mengasumsikan bahwa tidak ada kebocoran pada lori dan semua celah dalam sterilizer diisi oleh uap dengan tekanan dan suhu yang seragam maka =

$p_{uap}$  × dengan

$$V_{uap} = V_{sterilizer} - V_{lori} \dots\dots\dots (2.8)$$

## 2.8. Kondensasi

Kondensasi yang terjadi di dalam sterilizer diasumsikan kondensasi film. Kondensasi film adalah proses yang terjadi apabila cairan membasahi permukaan dimana sebuah smooth film terbentuk. [6]



Gambar.2.10.Kondensasi Film pada Plat Vertikal

Adapun cara untuk menghitung nilai koefisien konveksi *steam* ( $h_i$ ) dan koefisien konveksi udara luar ( $h_o$ ) yaitu :

1. Menghitung nilai koefisien konveksi *steam* ( $h_i$ ).
  - a. Menghitung *Jacob Number*

$$J_a = \frac{C_p (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

- $J_a$  : *Jacob Number*  
 $C_p$  : Kalor spesifik (J/kg.K)  
 $T_{sat}$  : Temperatur saturasi/*steam* (K)  
 $T_s$  : Temperatur permukaan plat (K)  
 $H_{fg}$  : Entalpi Kondensasi (kJ/kg)

- b. Menghitung *Modified Latent Heat*

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0,68 J_a) \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

- $h'_{fg}$  : *Modified latent heat* (kJ/kg)  
 $h_{fg}$  : Entalpi Kondensasi (kJ/kg)  
 $J_a$  : *Jacob Number*

- c. Menghitung Parameter Tak Berdimensi

$$P = \frac{K_1 L (T_{sat} - T_s)}{\mu h_{fg} (v^2/g)^{1/3}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

- $P$  : Parameter tak berdimensi  
 $k_1$  : Konduktivitas *thérmal liquid*(W/m.K)  
 $L$  : Panjang plat (m)  
 $T_{sat}$  : Temperatur saturasi/*steam* (K)

- $T_s$  : Temperatur permukaan plat (K)  
 $\mu$  : Viskositas (Ns/m<sup>2</sup>)  
 $h_{fg}$  : Entalpi Kondensasi (kJ/kg)  
 $\nu$  : Viskositas kinematik (m/s<sup>2</sup>)  
 $g$  : Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

d. Menghitung *Nusselt Number*

$$Nu_u = \frac{1}{P} [(0,024 P - 53) Pr^{\frac{1}{2}} + 89]^{4/3} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

- $Nu$  : *Nusselt Number*  
 $P$  : Parameter tak berdimensi P  
 $Pr$  : *Prandtl Number*

e. Menghitung Koefisien Konveksi

$$h_i = \frac{Nu k_1}{(\nu^2/g)^{1/3}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

- $h_i$  : Koefisien konveksi steam (W/m<sup>2</sup>.K)  
 $Nu$  : *Nusselt Number*  
 $k_1$  : Konduktivitas *thermal liquid* (W/m.K)  
 $\nu$  : Viskositas kinematik (m/s<sup>2</sup>)  
 $g$  : Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

2. Menghitung nilai koefisien konveksi udara ( $h_o$ ).

a. Menghitung *Rayleigh Number*.

$$Ra_a = \frac{g \beta (T_s - T_{udara}) D^3}{\nu \alpha} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

Ra : *Rayleigh Number*

g : Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub> : Temperatur permukaan plat (K)

Tudara : Temperatur udara luar sekitaran dinding Sterilizer (K)

α : Penyerapan panas (m<sup>2</sup>/s)

ν : Viskositas kinematik (m/s<sup>2</sup>)

b. Menghitung Nusselt Number

$$Nu_u = \left[ 0,60 + \frac{0,387 Ra_a^{1/6}}{[1 + (0,559/Pr)^{1/6}]^{3/27}} \right]^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

Nu : *Nusselt Number*

Ra : *Rayleigh Number*

Pr : *Prandtl Number*

C. Menghitung Koevisien Konveksi Udara.

$$h_o = \frac{Nu_u k}{D} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

h<sub>o</sub> : Koefisien konveksi udara (W/m<sup>2</sup>.K)

Nu : *Nusselt Number*

k : Konduktivitas (W/m.K)

D : Diameter dalam *Sterilizer* (m)

## 2.9. Konduktivitas Termal (Daya Hantar Panas).

Konduktivitas termal adalah sifat bahan yang menunjukkan seberapa cepat bahan itu dapat menghantarkan panas konduksi. Pada umumnya nilai k dianggap

tetap, namun sebenarnya nilai  $k$  dipengaruhi oleh suhu ( $T$ ). Konduktor merupakan bahan yang mempunyai konduktivitas yang baik, contohnya logam. Sedangkan isolator merupakan bahan yang mempunyai konduktivitas yang buruk, contohnya asbes.

Konduktivitas kalor yang teliti dari benda padat harus didapatkan melalui pengukuran langsung (eksperimental). Hal ini mengingat banyaknya faktor yang susah diukur atau diperkirakan. Dalam benda berongga, konduktivitas kalor sangat tergantung dari fraksi rongga, ukuran rongga dan fluida yang terdapat di dalam rongga. Pada umumnya, logam adalah konduktor kalor yang lebih baik dari nonlogam dan material kristal menghantar kalor lebih baik dari material *amorphous*. Bahan zat padat berongga yang kering (*dry porous*) adalah sangat sulit menghantarkan kalor sehingga sangat cocok untuk isolasi kalor. [7].

#### 2.3.4 Proses Kehilangan Panas

##### a. Kehilangan Panas

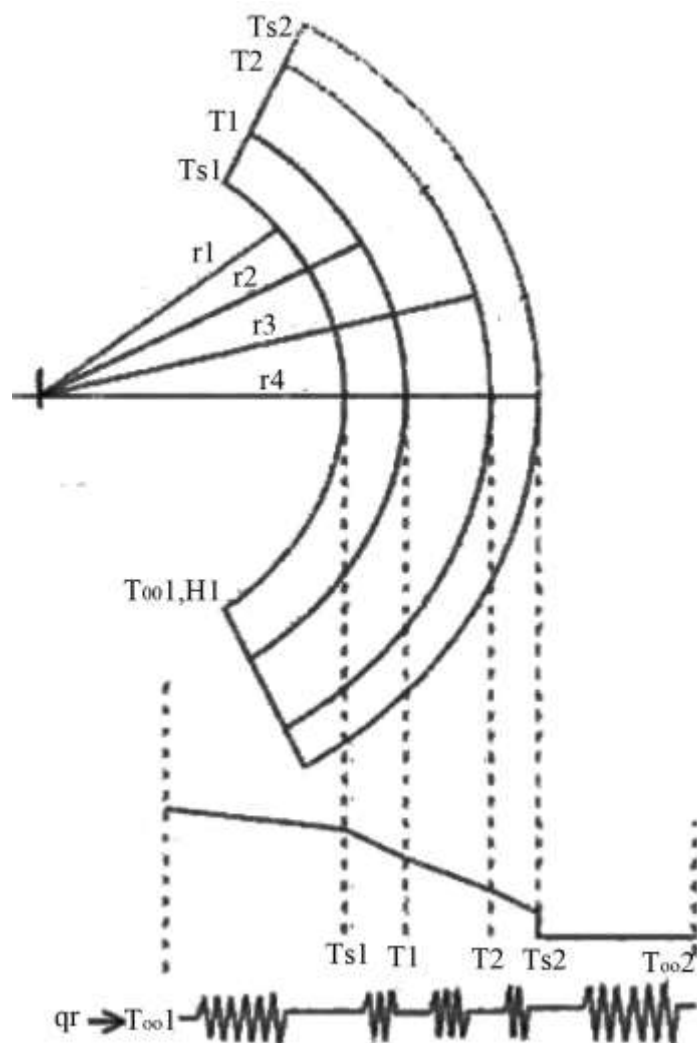
Perhitungan kehilangan panas dapat dihitung dengan mengetahui bentuk dari suatu alat. Bentuk dari suatu alat tersebut dapat berupa silinder dan persegi.

##### b. Pada Alat berbentuk Silinder

Perhitungan kehilangan panas pada alat berbentuk silinder dengan mengetahui diameter dalam dan diameter luar. Adapun alat yang berbentuk silinder misalnya seperti *Sterilizer*. Dimana dengan mengetahui diameter dari alat tersebut maka dapat diketahui jari jari dalam dan jari jari luar. Serta nilai hambatan termal (tahanan termal). Tahanan termal dihitung untuk

mendapatkan kehilangan panas yang terjadi di dalam *Sterilizer*.

Pada alat *Sterilizer* yang digunakan, dinding *Sterilizer* dilapisi dengan dua bahan isolator yang berfungsi untuk meminimalisir kehilangan panas yang akan terjadi melalui dinding *Sterilizer*. Pada alat yang berbentuk silinder tidak diperhitungkan luas dari alat tersebut, yang diperhitungkan hanya panjang dari alat tersebut. [8].



Gambar.2.11. Lapisan Dinding *Sterilizer*

Sehingga untuk perhitungan kehilangan panas melalui dinding *Sterilizer* dapat digunakan rumus berdasarkan hukum *Fourier* :

$$\frac{Q_{losses}}{1} = \frac{2 \pi (\Delta T)}{\Sigma R} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana  $\Delta T$  merupakan temperatur *steam* dikurang dengan temperatur udara luar

*Sterilizer*, sehingga rumus dapat dilihat sebagai berikut :

$$\frac{Q_{losses}}{1} = \frac{2 \pi (T_{steam} - T_{udara})}{\Sigma R} \dots\dots\dots(2.18)$$

$R_{th}$  atau  $\Sigma R$  merupakan total hambatan termal yang terjadi pada proses kehilangan panas melalui dinding *Sterilizer* dengan rumus yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$R_{th} = \Sigma R = R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o \dots\dots\dots(2.19)$$

$$R_{th} = \Sigma R = \frac{1}{h_i \times r_1} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{k_{plat}} + \frac{\ln(\frac{r_3}{r_2})}{k_1} + \frac{\ln(\frac{r_4}{r_3})}{k_2} + \frac{\ln(\frac{r_5}{r_4})}{k_3} + \frac{1}{h_o \times r_5} \dots(2.20)$$

Sehingga secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{Q_{losses}}{1} = \frac{2 \pi (T_{steam} - T_{udara})}{\frac{1}{h_i \times r_1} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{k_{plat}} + \frac{\ln(\frac{r_3}{r_2})}{k_1} + \frac{\ln(\frac{r_4}{r_3})}{k_2} + \frac{\ln(\frac{r_5}{r_4})}{k_3} + \frac{1}{h_o \times r_5}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

$Q_{losses}$  = Panas yang hilang melalui dinding *Sterilizer* (kJ)

L = Panjang *Sterilizer* (m)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur ( $^{\circ}C$  ke K)

$T_{steam}$  = Temperatur *steam* per peak perebusan ( $^{\circ}C$  ke K)

Tudara = Temperatur udara luar ( $^{\circ}C$  ke K)

$\Sigma R$  = Jumlah hambatan termal dari dinding *Sterilizer* (m.K/W)

$H_i$	= Koefisien konveksi <i>steam</i> (W/m <sup>2</sup> .K)
$H_o$	= Koefisien konveksi udara luar (W/m <sup>2</sup> .K)
$k_1$	= Konduktivitas termal lapisan 1 (W/m.K)
$k_2$	= Konduktivitas termal lapisan 2 (W/m.K)
$k_3$	= Konduktivitas termal lapisan 3 (W/m.K)
$r_1$	= Jari-jari dalam <i>Sterilizer</i> (m)
$r_2$	= Jari-jari luar <i>Sterilizer</i> (m)
$r_3$	= Jari-jari lapisan 1 (m)
$r_4$	= Jari-jari lapisan 2 (m)
$r_5$	= Jari-jari lapisan 3 (m)

c. Pada Alat Berbentuk Persegi

Perhitungan kehilangan panas pada alat berbentuk persegi, tidak memperhitungkan panjang dari suatu alat tersebut melainkan memperhitungkan luas dari alat tersebut.

Sehingga untuk perhitungan kehilangan panas pada alat berbentuk persegi dapat digunakan rumus berdasarkan hukum *Fourier* :

$$\frac{Q_{\text{losses}}}{A} = \frac{2 \pi (\Delta T)}{\Sigma R} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana  $\Delta T$  merupakan temperatur di dalam alat dikurang dengan temperatur udara luar, sehingga rumus dapat dilihat sebagai berikut :

$$\frac{Q_{\text{losses}}}{A} = \frac{2 \pi (T_{\text{dalam}} - T_{\text{udara}})}{\Sigma R} \dots\dots\dots(2.23)$$

$R_{\text{th}}$  atau  $\Sigma R$  merupakan total hambatan termal yang terjadi pada proses kehilangan panas

$$R_{\text{th}} = \Sigma R = R_i + R_p + R_1 + R_2 + R_3 + R_o \dots\dots\dots(2.24)$$

$$R_{th} = \Sigma R = \frac{1}{h_i} + \frac{\Delta X_p}{k_{plat}} + \frac{\Delta X_1}{k_1} + \frac{\Delta X_2}{k_2} + \frac{1}{h_o} \dots\dots\dots(2.25)$$

Sehingga secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{Q_{losses}}{A} = \frac{2 \pi (T_{dalam} - T_{udara})}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta X_p}{k_{plat}} + \frac{\Delta X_1}{k_1} + \frac{\Delta X_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan :

$Q_{losses}$  = Panas yang hilang (kJ)

A = Luas alat ( $m^2$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperature ( $^{\circ}C$  ke K)

$T_{dalam}$  = Temperatur di dalam alat ( $^{\circ}C$  ke K)

$T_{udara}$  = Temperatur udara luar ( $^{\circ}C$  ke K)

$\Sigma R$  = Jumlah hambatan termal dari alat (m.K/W)

$h_i$  = Koefisien konveksi di dalam alat ( $W/m^2.K$ )

$h_o$  = Koefisien konveksi udara luar ( $W/m^2.K$ )

$k_1$  = Konduktivitas termal lapisan 1 ( $W/m.K$ )

$k_2$  = Konduktivitas termal lapisan 2 ( $W/m.K$ )

$\Delta X_1$  = Tebal lapisan 1 (m)

$\Delta X_2$  = Tebal lapisan 2 (m)

#### d. Kehilangan Panas Melalui Tutup *Sterilizer*

Panas yang hilang melalui tutup sterilizer dapat dihitung sebagai berikut

$$Q_{losses} = \frac{(T_{steam} - T_{udara})}{\frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{t}{k_{plat} \cdot A} + \frac{1}{h_o \cdot A}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

$Q_{losses}$  = Panas yang hilang melalui tutup *Sterilizer* (kJ)

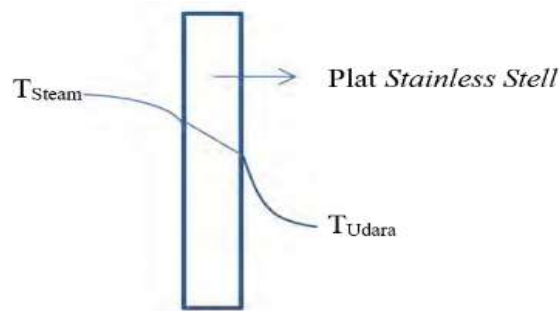
A = Luas tutup *Sterilizer* (m)

$T_{steam}$  = Temperatur *steam* per peak perebusan ( $^{\circ}C$  ke K)

$T_{udara}$  = Temperatur udara luar ( $^{\circ}C$  ke K)

$K_{plat}$  = Konduktivitas termal plat ( $W/m.K$ )

- $T$  = tebal plat tutup *Sterilizer* (m)  
 $H_i$  = Koefisien konveksi *steam* (W/m<sup>2</sup>.K)  
 $H_o$  = Koefisien konveksi udara luar (W/m<sup>2</sup>.K)



Gambar 2.12. Tutup *Sterilizer*

## 2.10. Efisiensi Termal

Efisiensi Termal Efisiensi termal yaitu perbandingan energi yang bermanfaat untuk merebus kelapa sawit (bahan baku) dengan energi yang masuk. [9]. Sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$\eta_{\text{sterilizer}} = \frac{E_{\text{used}}}{E_{\text{in}}} = \frac{\Delta U}{(m \times h)_{\text{uap}}} \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

$\eta_{\text{sterilizer}}$  = efisiensi sterilizer

$E_{\text{in}}$  = energi thermal masuk sistem (Joule)

$E_{\text{used}}$  = energi yang dimanfaatkan untuk merebus kelapa sawit (Joule)

$\Delta U$  = perubahan energi dalam (Joule)

$m$  = massa uap (kg)

$h$  = enthalpy uap (kJ/kg)