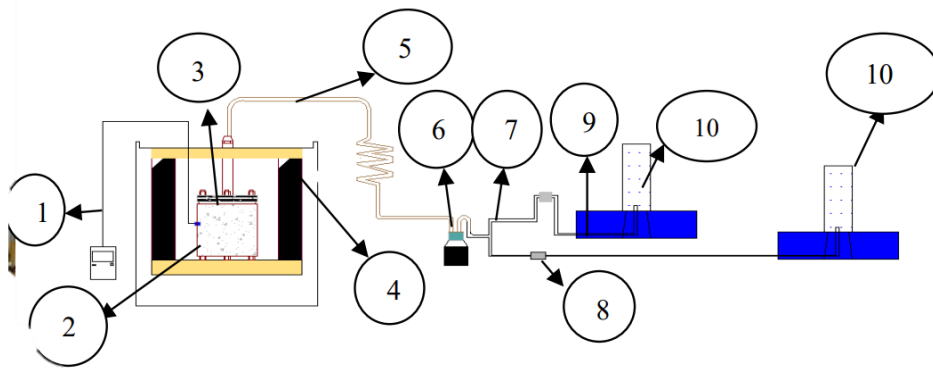


BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

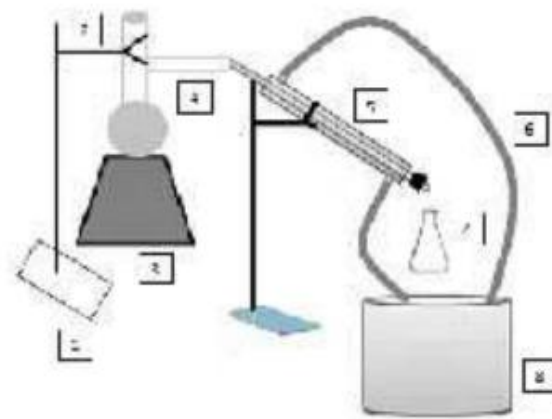
2.1 Penelitian Terdahulu

Putra dkk. (2016) telah melakukan penelitian tentang perancangan alat pengolah limbah ban. Penelitian ini menggunakan temperatur yang telah ditentukan yaitu 350°C, 550°C dan 750°C. Dalam penelitian ini memiliki skema dengan menggunakan 10 bagian komponen yaitu 1. Thermocouple, 2. Tungku, 3. Reaktor, 4. Pemanas, 5. Kondensor, 6. Penampungan minyak, 7. Pipa Pengaliran Gas, 8. Katup, 9. Bak Air, 10. Bak penampungan Gas. Hasil penelitian tersebut memiliki kesimpulan bahwa proses ini secara simultan menghasilkan produk bahan bakar berupa gas, cair, dan padat dengan tidak menghasilkan limbah/polusi.



Gambar 2. 1 Pirolisis dengan reaktor vertikal
Sumber: (Putra dkk, 2016)

Arita dkk. (2015) telah melakukan penelitian tentang perancangan alat pengolah limbah ban menjadi bahan bakar alternatif. Dalam penelitian ini merancang sistem pengolahan dengan dimensi limbah ban yang telah di potong-potong menjadi ukuran 0,5 x 0,5 cm. Penelitian ini menggunakan 10 bagian komponen yang menunjang proses kinerja alat yaitu 1. Kompor 2. Tungku Pembakaran 3. Termokopel 4. Klem 5. Kondensor 6. Selang 7. Erlenmeyer 8. Penampung Kondensat 9. Selang penghubung tungku dan kondensor 10. Statif. Dengan adanya penelitian ini, peneliti kesimpulan mengenai pada pemanasnya yang dimana pemanas yang digunakan yaitu kompor konvensional. Dengan menggunakan kompor konvensional akan menimbulkan asap yang dapat menyebabkan polusi udara.



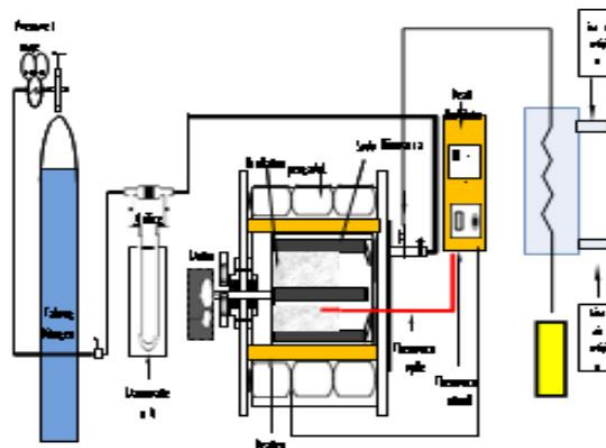
Gambar 2. 2 Skema alat destilasi bahan bakar cair karet ban bekas
Sumber: (Arita dkk, 2015)

Supriyanto dkk, (2017) telah melakukan penelitian tentang perancangan alat pengolah limbah ban. Dalam penelitian ini dilakukan melalui proses craking. Proses ini bekerja dengan cara melakukan perubahan melalui rantai polyolefins menjadi hidrocarbons. Penelitian ini dilakukan agar dapat mengetahui berapa kandungan minyak yang mampu dihasilkan dari limbah ban tersebut. Proses craking melalui teknologi pirolisis ini dibantu dengan reaktor pirolisis yang sudah diatur dengan beberapa macam suhu seperti 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, serta 400°C. Adapun hasil memperlihatkan minyak paling banyak dihasilkan saat di temperature 350°C yaitu sebanyak 21%. Pada penelitian ini menggunakan reaktor dengan dimensi panjang reaktor 60 cm dan berdiameter 27 cm serta sambungan antara tempat minyak pirolisis dengan vacuum cleaner.



Gambar 2. 3 Pirolisis dengan reaktor vertikal dan burner kompor LPG
Sumber: (Supriyanto dkk, 2017)

Hendra dkk. (2018) telah melakukan penelitian tentang perancangan alat pengolah limbah ban. Dalam perancangan ini menggunakan metode pirolisis dengan type reaktor *rotary kiln*. Dimana *rotary kiln* merupakan dapur pembakaran limbah ban yang akan berputar selama proses pirolisis. Dalam penelitian ini parameter pirolisis yang dikaji adalah temperatur dengan variasi sebesar 250°C, 350°C, 450°C, dan 550°C. Metode pirolisis *rotary kiln* yang diberikan dapat meningkatkan kualitas produk char terhadap nilai karakteristik pembakaran.



Gambar 2. 4 pirolisis dengan metode reaktor Rotary Kiln
Sumber: (Hendra dkk, 2018)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Jenis-jenis Pemanasan

Dalam pengelolaan limbah ban menjadi bahan bakar alternatif dibutuhkan suatu tahap pemanasan yang bertujuan untuk dapat membuat limbah ban menghasilkan fase gas dalam proses pirolisis. Berikut ini merupakan jenis-jenis pemanasan yang umum digunakan dalam proses pirolisis, yaitu:

1. Pemanasan Konduksi

Pemanasan konduksi terjadi ketika panas mengalir langsung dari permukaan panas, seperti logam, ke bahan yang akan diolah melalui kontak fisik. Pada reaktor pirolisis berbasis konduksi, bahan padat ditempatkan di atas atau di dalam kontak dengan permukaan pemanas, sehingga panas secara perlahan ditransfer melalui permukaan bahan. Metode ini cenderung lambat namun menghasilkan pemanasan yang seragam pada bahan, sehingga cocok untuk pirolisis dengan laju rendah di mana kontrol temperatur yang stabil diinginkan.

2. Pemanasan Konveksi

Pemanasan konveksi menggunakan aliran gas panas yang mengelilingi bahan pirolisis, mengalirkan panas melalui medium gas untuk meningkatkan suhu material. Di dalam reaktor, gas panas sering disirkulasikan secara aktif untuk membawa energi ke permukaan bahan. Pemanasan konveksi efektif untuk mempercepat proses, terutama ketika digunakan gas pembawa yang dapat mengalirkan produk pirolisis keluar dari reaktor, membantu mencegah reaksi balik dan meningkatkan efisiensi konversi bahan.

3. Pemanasan Radiasi

Pemanas radiasi merupakan panas yang diberikan melalui radiasi elektromagnetik, seperti sinar inframerah atau gelombang mikro, yang langsung diserap oleh bahan dan menyebabkan kenaikan suhu. Metode ini memungkinkan pemanasan cepat dan dalam, terutama pada bahan yang memiliki sifat dielektrik baik, sehingga dapat memecah molekul lebih efisien. Gelombang mikro, misalnya, memungkinkan penetrasi ke bagian dalam bahan, membuatnya lebih efektif untuk pirolisis material yang memerlukan pemanasan merata di seluruh volume.

4. Pemanasan Listrik atau Joule Heating

pemanasan listrik merupakan arus listrik yang dialirkan melalui bahan yang bersifat konduktif atau melalui elektroda yang kontak dengan bahan, menghasilkan panas melalui resistansi elektrik. Joule heating menghasilkan panas secara langsung pada material, sehingga sangat efisien untuk bahan yang konduktif seperti logam atau karbon. Metode ini menawarkan kontrol suhu yang baik dan cocok untuk pirolisis skala laboratorium atau industri pada bahan yang tahan terhadap arus listrik.

5. Pemanasan Induksi

Pemanasan induksi memanfaatkan medan magnet yang bergantian untuk menghasilkan panas pada bahan konduktif seperti logam atau material yang memiliki sifat magnetik. Dalam pirolisis, metode ini memungkinkan pemanasan yang cepat dan efisien tanpa kontak langsung, karena panas dihasilkan di dalam bahan itu sendiri. Pemanasan induksi umumnya digunakan untuk bahan yang memerlukan pemanasan intensitas tinggi secara lokal, dan memungkinkan kontrol suhu dengan akurasi tinggi pada zona tertentu dalam reaktor pirolisis.

2.2.2 *Pyrolysis*

Menurut Aladin dkk. (2023) dalam bukunya menjelaskan pirolisis berasal dari kata *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi. Proses pirolisis didefinisikan sebagai proses degradasi atau penguraian senyawa-senyawa makromolekul berbasis karbon dengan pemanasan suhu tinggi (300°C atau lebih) tanpa oksigen untuk menghasilkan *charcoal* (arang terkarbonisasi), gas/uap, cairan tar (oil). Manfaat terbesar dalam proses pirolisis yaitu aplikasi dalam konversi dan penyediaan energi, menarik bahan-bahan limbah seperti limbah ban, limbah sampah berbasis karbon yang tidak memiliki nilai ekonomi bahkan menjadi perusak estetika lingkungan, dengan penerapan teknologi pirolisis ini dapat diubah menjadi sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Berdasarkan laju pemanasan, pirolisis juga dibagi menjadi 3 jenis diantaranya yaitu:

1. Pirolisis Lambat (*slow pyrolysis*)

Proses pirolisis lambat ini dilakukan pada laju pemanasan lambat (<50°C/menit) atau sekitar 0,1-1 K/detik dan suhu yang digunakan relatif

rendah (300-600°C). Waktu tinggal bahan dalam reaktor (450-550 detik) dengan produk utama char atau charcoal sekitar 35% dan gas sekitar 35-40%.

2. Pirolisis Cepat (*flash pyrolysis*)

Proses pirolisis cepat ini dilakukan pada laju pemanasan cepat (50-200°C/detik), suhu yang digunakan relatif sedang (500-600°C), waktu tinggal bahan dalam reaktor 0,5-10 detik dan ukuran partikel dibawah 1 mm dengan produk utama yang dihasilkan adalah oil atau bio-oil 50-70% kemudian gas 30%. Proses pirolisis cepat ini sangat disarankan untuk sasaran produk minyak *bio-oil*.

3. Pirolisis Kilat (*flash pyrolysis*)

Proses pirolisis kilat ini dilakukan pada laju pemanasan sangat cepat (<200°C/detik) dengan suhu pemanasan sangat tinggi diatas 700°C, waktu tinggal bahan dalam reaktor selama 0,5 detik dan ukuran partikel yang digunakan sangat kecil sekitar 105-250 µm atau dibawah 0.2 mm. Produk utama oil atau bio-oil mencapai 70-75%. Dari kedua jenis pirolisis yaitu pirolisis cepat dan pirolis kilat, reaktor pirolisis sudah dikondisikan terlebih dahulu mencapai suhu target, seperti pada suhu 700-800°C, lalu bahan berbasis karbon dimasukkan kedalam reaktor tersebut.

2.3 Jenis-jenis Reaktor Pirolisis

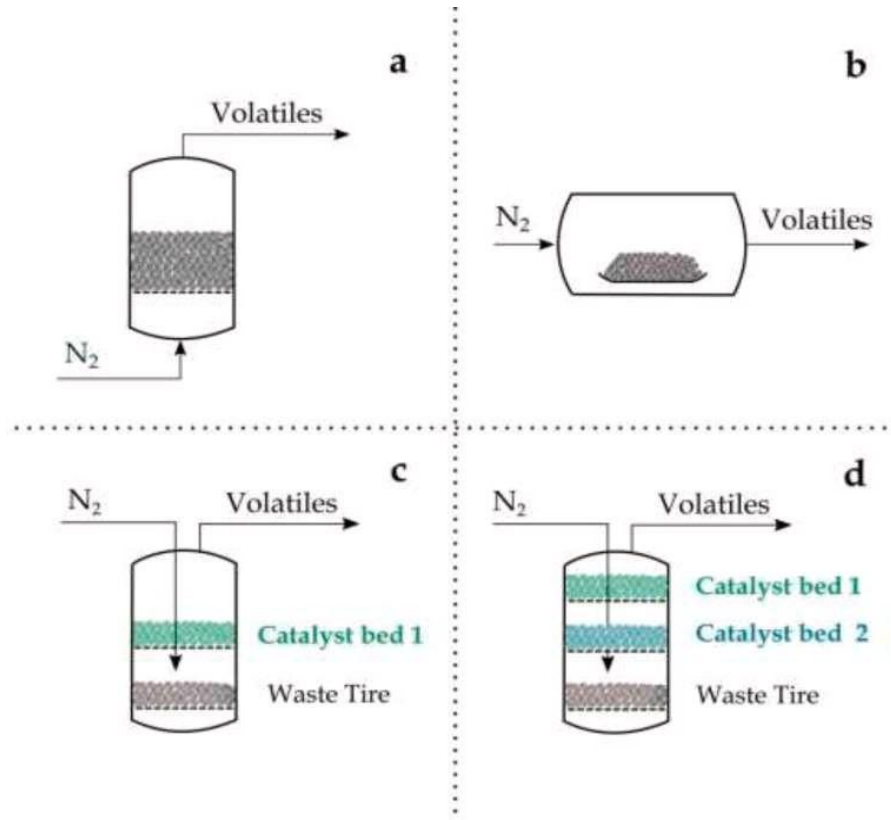
Reaktor pirolisis adalah alat pengurai limbah ban yang dilakukan dengan cara memanaskan tanpa adanya oksigen (O₂). Reaktor merupakan alat utama dalam proses pengolahan limbah ban menjadi bahan bakar alternatif. Cara kerja reaktor pirolisis limbah ban adalah limbah ban akan dimasukan dan berdiam didalamnya kemudian raktor akan dipanaskan dengan suhu panas yang tinggi untuk limbah ban menghasilkan uap dan char.

Menurut Gao dkk. (2022) ada beberapa jenis reaktor pirolisis yaitu sebagai berikut:

1. *Fixed Bed*

Fixed Bed adalah salah satu jenis utama peralatan pirolisis limbah ban yang digunakan dalam studi skala laboratorium karena kemudahan dalam pengoperasiannya dan biaya rendah. Fixed Bed terbagi menjadi beberapa jenis yaitu:

- Fixed Bed* Vertikal
- Fixed Bed* horizontal
- Fixed Bed* Katalis satu langkah
- Fixed Bed* Katalis dua langkah



Gambar 2. 5 Schematic diagram of fixed bed experimental equipment; vertical fixed bed (a), horizontal fixed bed (b), one-step catalytic bed (c), and two-step catalytic bed (d).

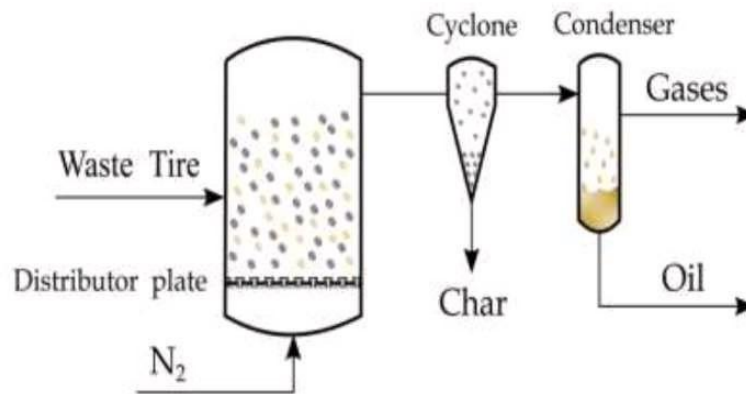
Sumber: (Gao dkk, 2022)

Kelebihan dari reaktor *Fixed Bed* dalam pengolahan limbah ban menjadi bahan bakar alternatif adalah Pencampuran baliknya kecil, Cairan dan katalis dapat dihilangkan secara efektif, kehilangan mekanis katalis kecil, struktur *Fixed Bed* sederhana, dan *Fixed Bed* cocok untuk menangani berbagai ukuran dan bentuk padatan bahan baku tanpa masalah segregasi seperti pemisahan katalis bahan baku mentah. Kelebihan paling signifikan dari *Fixed Bed* adalah *Fixed Bed* dapat ditambahkan sesuai dengan kebutuhan proses karena bentuknya yang sederhana.

2. *Fluidized Bed*

Fluidized Bed merupakan reaktor yang menggunakan gas atau cairan untuk melewati lapisan padat granular untuk membuat partikel padat naik dalam

suspensi dan memungkinkan reaksi gas-padat atau reaksi cair-padat terjadi. Kelebihan dari reaktor *Fluidized Bed* meliputi laju pemanasan yang cepat, operasi dalam kondisi pirolisi yang cepat, efisiensi pemanfaatan panas yang tinggi, waktu tinggal gas yang pendek, mengurangi tingkat reaksi sekunder, dan memfasilitasi proses operasional berkelanjutan dengan kontrol yang mudah, namun reaktor *Fluidized Bed* juga memiliki kekurangan seperti konsumsi energi yang tinggi dan pendinginan memerlukan waktu yang lama karena throughput gas yang tinggi. Reaktor *Fluidized Bed* digunakan di industri dalam proses pengolahan limbah ban menjadi bahan bakar alternatif karena merupakan operasi berkelanjutan, memungkinkan peningkatan skala proses, dan menghasilkan minyak yang lebih tinggi.

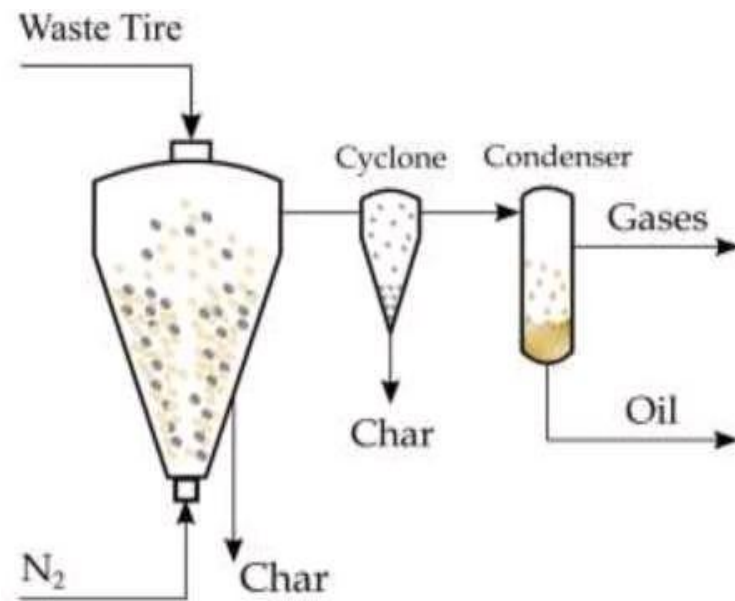


Gambar 2. 6 Schematic diagram of fluidized-bed pyrolysis apparatus
Sumber: (Gao dkk, 2022)

3. *Conical Spouted Bed*

Reaktor *Conical Spouted Bed* merupakan reaktor yang mirip dengan reaktor *Fluidized Bed*, namun pada reaktor *Conical Spouted Bed* berbentuk kerucut dengan kelebihan tambahan berupa bagian kerucut pada reaktor yang melekat untuk menangani padatan lengket dan tidak beraturan seperti limbah ban. Kelebihan dari *Conical Spouted Bed* yaitu memiliki waktu tinggal yang singkat dan mengurangi reaksi sekunder dari partikulat dan memiliki desain yang lebih sederhana dari pada *Fluidized Bed*. Pada reaktor *Conical Spouted Bed* dapat membuat kecepatan tinggi pergerakan gas sehingga menghasilkan kontak yang intens gas dan fase padat, yang membantu

meningkatkan perpindahan panas dan massa antara gas dan fase padat hal tersebut dapat meningkatkan laju pemanasan padatan.

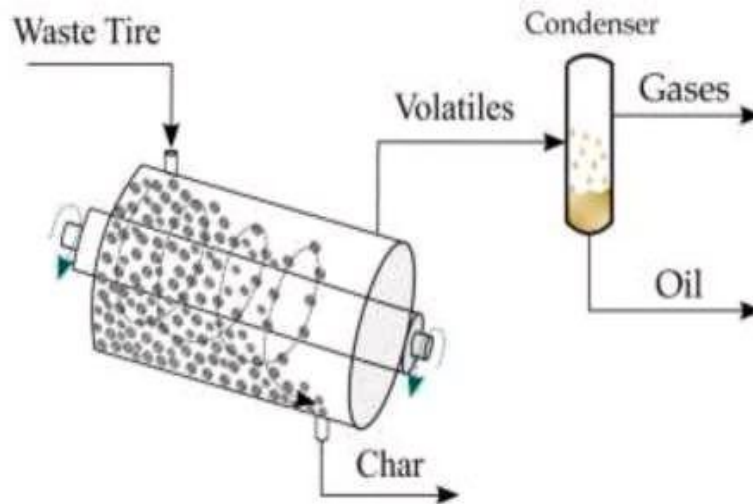


Gambar 2. 7 Schematic diagram of the conical spouted bed bench scale process for waste tire pyrolysis

Sumber: (Gao dkk, 2022)

4. Rotary Kiln Reaktor

Rotary Kiln Reaktor banyak digunakan dalam pengolahan pirolisis limbah ban menjadi bahan bakar alternatif karena memiliki kemampuan untuk beradaptasi dan mengelolah limbah ban dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi. Drum atau tabung reaktor *Rotary Kiln* dibangun untuk menghasilkan silinder horizontal atau miring yang berputar disekitar porosnya. *Rotary Kiln Reaktor* telah berhasil diterapkan dalam bidang proses pirolisis limbah padat karena memiliki kelebihan yaitu dapat melakukan kontrol yang baik dalam proses pirolisis, terutama waktu tinggal padat limbah dalam reaktor, namun *Rotary Kiln Reaktor* juga memiliki kekurangan yaitu seperti distribusi suhu yang tidak merata dan histeresis, yang mengakibatkan kehilangan panas yang melimpah dan konsumsi energi yang tinggi.

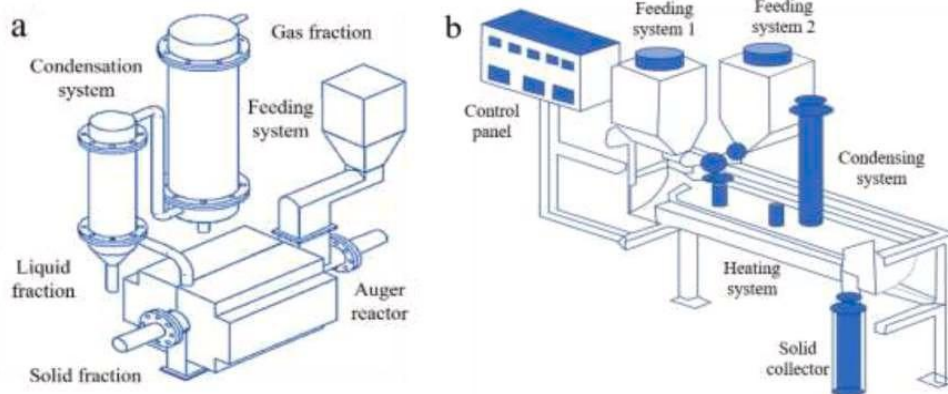


Gambar 2. 8 Schematic diagram of the rotary kiln reactor pyrolysis system
Sumber: (Gao dkk, 2022)

5. *Auger Reactor*

Reaktor dengan tipe Auger sangat populer dan banyak di gunakan pada proses pirolisi dalam beberapa tahun terakhir karena memiliki efisiensi perpindahan panasnya yang lebih tinggi, tingkat konversi ban yang lebih baik, permintaan gas pembawa yang rendah, kebutuhan energi yang rendah, dan keunggulan lainnya. Kelebihan dari Auger Reactor adalah kemudahan portabilitas dan ukuran spesifik yang rendah hal itu membuat memungkinkan penggunaannya yang dimana portabilitas Auger Reactor kondusif untuk mengurangi biaya yang terkait dengan transportasi, pengelolaan, dan logistik limbah. Ada dua jenis *Auger Reactor* yaitu:

- a. *Single Auger Reactor*
- b. *Twin-Auger Reactor*



Gambar 2. 9 Experimental set-up of the single auger reactor (a) and twin-auger reactor (b)
Sumber: (Gao dkk, 2022)

2.4 Perhitungan Dimensi Reaktor dan Tungku

Dimensi dalam perancangan reaktor sangatlah penting untuk pabrikan dan agar sesuai dengan kapasitas pengolahan yang diinginkan. Untuk dapat mengetahui dimensi yang dirancang dengan kapasitas limbah ban 10 kg dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

• Volume Reaktor

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

ρ = Density Ban (Kg/m³)

m = massa (Kg)

V = Volume (m³)

• Panjang Reaktor

$$h = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

V = Volume (m³)

π = Phi

r = jari-jari (m)

h = panjang (m)

• **Volume Tungku**

$$V = \pi r^2 h \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

V = Volume (m³)

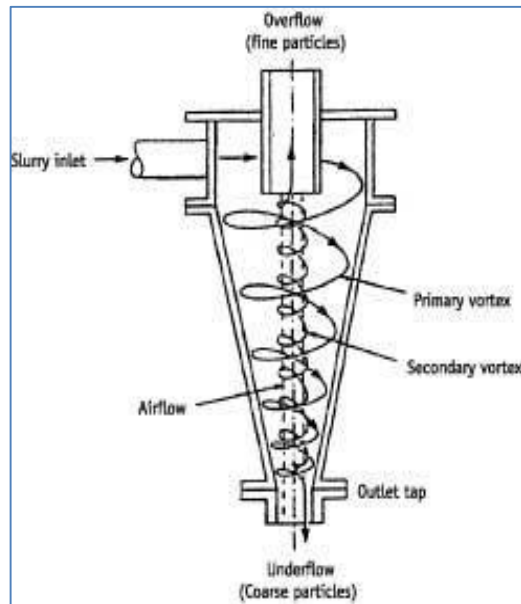
π = Phi

r = jari-jari (m)

h = panjang (m)

2.5 Siklon (Cyclone Separator)

Menurut Ridhuan dan Yudistira. (2017) Siklon (*Cyclone*) adalah metode pemisah antara partikel-partikel dari aliran udara atau gas karena adanya gaya sentrifugal. Gravitasi dan pengaruh putaran digunakan untuk memisahkan campuran fluida dan padatan. Suatu aliran udara kecepatan putar tinggi yang terbentuk dalam suatu wadah silinder atau kerucut dinamakan sebuah Siklon (*Cyclone*).



Gambar 2. 10 Siklon (Cyclone)
Sumber: (Ridhuan dan Yudistira, 2017)

Gas cyclone separator sangat menunjang proses produksi oleh sebab itu *gas cyclone separator* sangat banyak digunakan dalam bidang industri. *Gas cyclone separator* memiliki peran penting dalam proses pemisahan partikel-partikel padat dari fluida gas yang bertujuan untuk pemulihan produk sebab geometrisnya yang sederhana, relatif ekonomis dalam hal daya dan fleksibilitas. Peletakan posisi saluran inlet pada *Gas cyclone separator* sangat mempengaruhi proses kinerja *cyclone* sebab saluran inlet yang berada dibagian atas memiliki efisiensi pemisahan yang lebih tinggi (Wang dkk, 2006).

Prinsip Kerja *Cyclone Separator*

Fluida gas yang dihasilkan dari reaktor akan masuk kedalam cyclone dan menghasilkan pusaran, gravitasi dan pengaruh pusaran digunakan untuk meisahkan campuran fluida dan padatan. Partikel-partikel yang lebih besar (tebal) dalam putaran aliran udara lebih lamban mengalir melengkung sulit dari aliran udara dan mencapai dinding luar, jatuh kemudian ke bagian bawah siklon yang mana partikel ini dapat terbuang.mempunyai satu inlet tangensial menuju badan silinder, yang menyebabkan aliran gas menjadi berputar-putar. Partikel-partikel kemudian terlempar menuju dinding pada badan *cyclone*. Ketika partikel mencapai lapisan

batas yang stagnan pada dinding, kemudian partikel-partikel tersebut meninggalkan arus aliran gas dan akhirnya jatuh dari dinding.

Menurut Fuad. (2020) ada 3 jenis cyclone berdasarkan sumber masukan *inlet*-nya yaitu sebagai berikut:

2.5.1 Cyclone Separator dengan masukan Inlet tangensial

Jenis cyclone ini memiliki bentuk yang khas dan mudah dikenali serta banyak digunakan pada pembangkit listrik, industri semen, pabrik pakan ternak dan banyak industri proses lainnya.



Gambar 2. 11 Cyclone Separator dengan masukan Inlet tangensial
Sumber: (Fuad, 2020)

2.5.2 Cyclone Separator menggunakan Inlet Axial

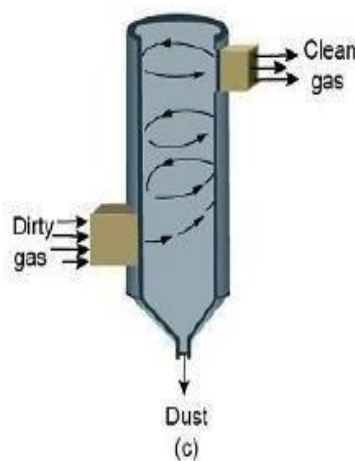
Gas penuh debu masuk dari atas dan diarahkan kepada pola pusaran (*vortex*) oleh baling-baling yang menempel pada pusat tabung. Masukan dengan bentuk aksial biasanya digunakan pada multi *cyclone*, karena memberikan efisiensi yang lebih tinggi.



Gambar 2. 12 Cyclone Separator menggunakan Inlet Axial
Sumber: (Fuad, 2020)

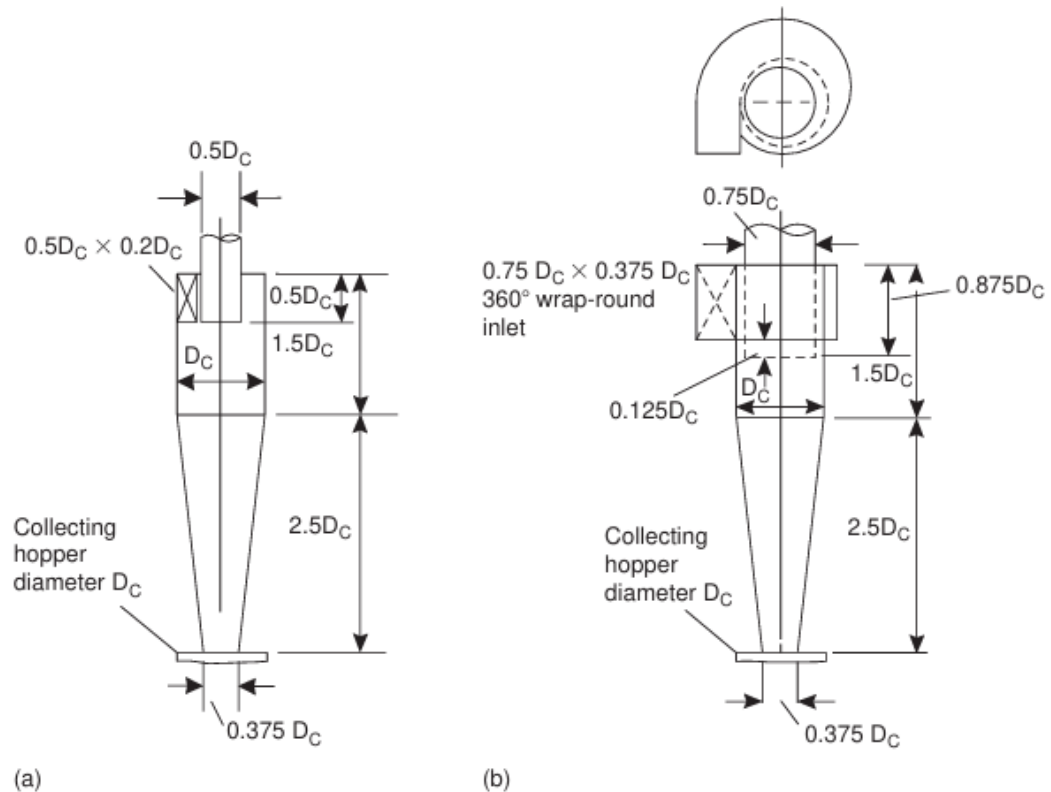
2.5.3 Cyclone Separator menggunakan Inlet Tangensial (dibawah)

Cyclone yang sering digunakan untuk menangkap partikulat lalu dimasukkan kedalam air. Pada bentuk ini, udara masuk secara tangensial dibagian bawah, membentuk *vortex*. *Cyclone Separator* dapat dirancang untuk banyak aplikasi. Masing-masing dari tiga bentuk *cyclone* ini memiliki desain dasar yang sama.



Gambar 2. 13 Cyclone Separator menggunakan Inlet Tangensial (dibawah)
Sumber: (Fuad, 2020)

Menurut Sinnott. (2014) menjelaskan mengenai perancangan siklon (*cyclone*) berdasarkan metode stairmand yaitu *high efficiency cyclone* dan *high gas rate cyclone*. Metode stairmand yang digunakan merupakan cara yang sangat sederhana dikarenakan hanya menggunakan satu parameter yaitu diameter D_C . Adapun rasio standar dari metode stairmand berdasarkan parameter diameter D_C adalah sebagai berikut.

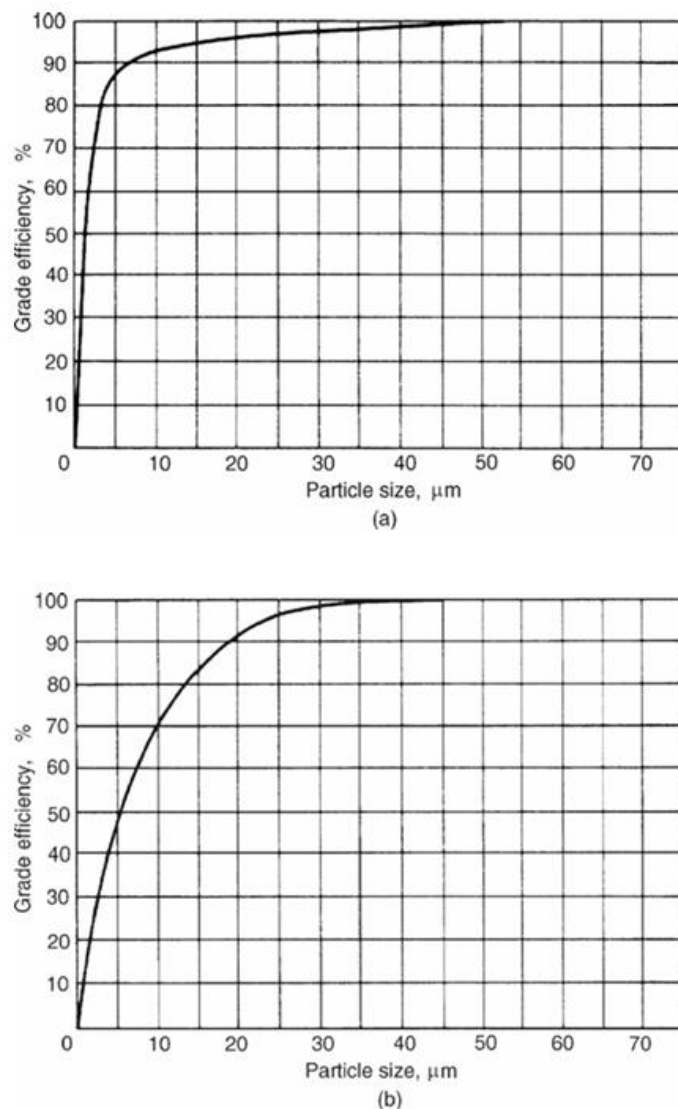


Gambar 2. 14 Standard cyclone dimension. (a) High-efficiency cyclone. (b) High gas-rate cyclone.

Sumber: (Sinnott, 2014)

Gambar diatas merupakan rasio standar cyclone berdasarkan parameter D_C . Pada gambar (a) untuk *High-efficiency cyclone* dan gambar (b) untuk *High gas-rate cyclone*.

Dua jenis cyclone berdasarkan sistem kerja memiliki kurva karekteristik kinerja yang berbeda yaitu sebagai berikut.



Gambar 2. 15 Performance curves, standard conditions. (a) High-efficiency cyclone performance curves, standard conditions. (b) High gas-rate cyclone.
Sumber: (Sinnott, 2014)

Dari kurva diatas menjelaskan bahwa pada *high efficiency cyclone* memiliki kinerja yang baik pada partikel yang kecil sedangkan pada *high gas-rate cyclone* memiliki kinerja lebih banyak terhadap partikel besar dan laju aliran gas yang tinggi. Kurva diatas juga digunakan untuk memprediksi ukuran siklon yang berukuran berbeda dengan siklon standar. Menurut Sinnott. (2014) untuk merancang cyclone yang baru harus membandingkan dengan ukuran standarnya yaitu hubungan variabel perancangan dengan standar dan dinotasikan dengan angka 1 yaitu sebagai berikut.

$$d_2 = d_1 \left[\left(\frac{D_{c2}}{D_{c1}} \right)^3 \times \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{\Delta \rho_1}{\Delta \rho_2} \times \frac{\mu_2}{\mu_1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana d_1 = diameter rata-rata partikel yang dipisahkan pada kondisi standar, pada efisiensi pemisahan yang dipilih, gambar kurva (a) atau (b),

d_2 = diameter rata-rata partikel yang dipisahkan dalam desain yang diusulkan, pada efisiensi pemisahan yang sama,

D_{c1} = diameter siklon standar = 8 inci (203mm),

D_{c2} = diameter siklon yang diusulkan, mm,

Q_1 = standard flow rate:

for high efficiency design = $223 \text{ m}^3/\text{h}$,

for high throughput design = $669 \text{ m}^3/\text{h}$.

Q_2 = laju aliran yang diusulkan, m^3/h ,

$\Delta \rho_1$ = perbedaan densitas padat-fluida pada kondisi standar = 2000 kg/m^3 ,

$\Delta \rho_2$ = perbedaan kepadatan, desain yang diusulkan,

μ_1 = viskositas fluida uji (udara pada 1 atm, 20°C)

= $0,018 \text{ mN s/m}^2$

μ_2 = viskositas, cairan yang diusulkan

Menurut Sinnott. (2014) kecepatan inlet pada cyclone berkisaran 9 – 27 m/s dan optimumnya 15 m/s.

Langkah perancangan siklon:

Tentukan jenis siklon: high efficiency atau high gas-rate cyclone?

Tentukan distribusi ukuran padatan yang akan diproses,

Tentukan % efisiensi (= % recovery),

Tentukan jumlah siklon parallel,

Tentukan D_c untuk $v = 15 \text{ m/s}$. Bandingkan D_c perancangan dengan D_c standar.

Jika D_c perancangan terlalu besar maka kembali ke langkah 4,
 Hitung scaling faktor dan menyusun scale curve,
 Hitung % efisiensi. Jika tidak sesuai dengan yang diinginkan, kembali ke langkah 3,
 Gambar siklon dan dimensinya.

➤ Menyusun Scale Curve

Berdasarkan asumsi stairmand: $\eta_{d1} = \eta_{d1}$ seperti gambar 2.15 kurva

d2	d1= d2 / scaling factor	η_{d1}
data	Hasil perhitungan	Baca fig 10.45

➤ Menghitung efisiensi total

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Massa Terkumpul}}{\text{Massa dalam umpan}} = \frac{\sum P \cdot X_{pi}}{\sum F \cdot X_{Fi}}$$

$$\text{Efisiensi Total} = \eta_T = \frac{\sum P \cdot X_{pi}}{\sum F}$$

$$\text{Efisiensi single particle size} = \eta_i = \frac{P \cdot X_{pi}}{F \cdot X_{Fi}}$$

XFi	di	Hi+ f (di; scaled curve)	Pxi = $\eta_i \cdot F \cdot X_{Fi}$
data	data	Baca garfik scaled curve	dihitung

2.6 Kalor dan Perhitungan Kebutuhan Kalor dalam Proses Pirolisis

Kalor merupakan suatu energi yang dapat berpindah dari benda yang memiliki suhu tinggi ke benda yang memiliki suhu lebih rendah. Perpindahan kalor dapat berupa konduksi, radiasi, dan konveksi. Kalor juga dapat menaikkan dan menurunkan suhu, semakin besar kenaikan suhu maka kalor yang di terima juga semakin besar, begitu juga dengan sebaliknya (Salo dkk, 2023)

Rumus perhitungan kalor (Q):

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Menurut Syaharani dkk. (2024) untuk menghitung kalor secara matematis dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = C_p \cdot m \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$$C_p = \text{Calor Jenis} \left(\frac{kJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$Q = \text{Nilai Calor (J atau kJ)}$$

$$m = \text{massa (Kg)}$$

$$\Delta T = \text{Temperature awal} - \text{temperatur ruang (} ^\circ C \text{)}$$

2.7 Rumus Perhitungan Efisiensi Thermal

Perhitungan energi panas digunakan untuk mengetahui besarnya kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan reaktor dan udara didalam tungku.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta_t \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

$$Q = \text{kalor (Joule)}$$

$$m = \text{massa (kg)}$$

$$C_p = \text{kalor jenis (J/kg} ^\circ C \text{)}$$

$$\Delta_t = \text{perubahan suhu (} ^\circ C \text{)}$$

Perubahan suhu menunjukkan selisih antara suhu akhir dan suhu awal dalam proses pemanasan

$$\Delta_t = T_{akhir} - T_{awal} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\Delta_t = \text{Perubahan Suhu (} ^\circ C \text{)}$$

$$T_{akhir} = \text{Suhu Akhir (} ^\circ C \text{)}$$

$$T_{awal} = \text{Suhu Awal (} ^\circ C \text{)}$$

Volume digunakan untuk menentukan jumlah udara yang terdapat didalam tungku.

$$V = \pi r^2 h \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$$V = \text{Volume (m}^3 \text{)}$$

$$r^2 = \text{jari jari (m)}$$

h = panjang/tinggi (m)

Massa udara dihitung dari volume dan densitas udara.

$$m = \rho \cdot V \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

m = Massa (kg)

ρ = Kalor jenis udara (kg/m³)

V = Volume (m³)

Total energi yang dibutuhkan untuk memanaskan reaktor dan udara.

$$Q_{total} = Q_{reaktor} \times Q_{udara} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

Q = kalor reaktor (joule)

Q = kalor udara (joule)

Energi yang dihasilkan dari bahan bakar dihitung berdasarkan massa dan nilai kalor

$$Q_{lpg} = m_{lpg} \times LHV \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

Q = Energi (joule)

m = massa LPG (kg)

LHV = Nilai Kalor (j/kg)

Efisiensi digunakan untuk mengetahui seberapa besar energi bahan bakar yang dapat dimanfaatkan.

$$\eta = \frac{Q_{total}}{Q_{lpg}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

η = Efisiensi (%)

Q_{total} = Energi yang digunakan (J)

Q_{lpg} = Energi dari bahan bakar (J)

2.8 Kondensor

Kondensor adalah alat yang berfungsi untuk mengubah uap atau gas menjadi cair pada sistem pendingin. Secara sederhana kondensor merupakan alat penukar

kalor (*heat exchanger*) yang bertujuan untuk mengkondensasikan fluida dengan mengubah fase zat gas menjadi cair dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Kondensasi terjadi jika suhu satu rasidari gas, kemudian pada gas terjadi perubahan fase menjadi cair (Hermansyah, 2020)

Menurut Putri dkk. (2017) ada dua cara yang terjadi dalam perpindahan panas dan proses perubahan fase gas menjadi fase cair (kondensasi) pada kondensor, yaitu:

Proses Kondensasi Dengan Bantuan Air

Air berfungsi untuk menyerap panas dari refrigerant uap. Refrigerant uap yang mengalir dalam kondensor disimpan dalam suatu tempat atau air dilewatkan pada kondensor yang terdapat refrigerant uap. Refrigerant uap memiliki temperature yang lebih tinggi dibandingkan dengan air yang masuk memiliki temperature lebih rendah.

Panas dari refrigerant uap diserap air melalui dinding kondensor. Air tersebut membawa panas dari wadah melalui saluran keluar. Kelebihan dari bahan air adalah memiliki sifat membawa dan memindahkan panas yang jauh lebih baik dari pada udara.

Proses Kondensasi Dengan Bantuan Udara

Udara berfungsi untuk membuang panas dari refrigerant uap melalui kondensor. Kipas digunakan untuk dapat meghembuskan udara kepermukaan kondensor. Karena udara lebih dingin dari refrigerant uap maka terjadi *heat transfer* dari refrigerant uap ke udara bebas melalui permukaan kondensor.

Menurut Putri dkk. (2017) menjelaskan ada ada terdapat tiga tipe-tipe kondensornya menurut pendinginnya, yaitu:

1. Kondensor Dengan Pendingin Air (*Water Cooled*)

Ada 3 jenis kondensor dengan pendingin air, yaitu *shell and tube*, *shell and coil*, dan *double tube*. Yang paling umum adalah kondensor *shell and tube*, dimana air mengalir melalui bagian dalam pipa tabung dan refrigerant dikondensasikan pada bagian tabung. Tipe kondensor *shell and coil* terdiri dari satu spiral *bare tube coil* yang ditutup dengan shell logam yang dilas , terkadang juga menggunakan rusuk-rusuk.

Ketika refrigerant uap dimasukkan pada shell dan mengelilingi coils, air kondensasi akan disirkulasikan melalui coils tersebut. Uap refrigerant uap yang mempunyai suhu panas masuk melalui atas coils. Dalam kondensor *double tube*, terdiri dari dua tube didesain dengan dimana *tube* satu didalam *tube* yang lain dengan air mengalir melalui pipa bagian dalam, ketika refrigerant mengalir berlawanan arah pada ruang tar dalam dan luar *tube*.

Kondensor Dengan Pendingin Udara (*Air Cooled*)

Kondensor pendingin udara menggunakan konveksi natural atau paksa untuk mengurangi panas, kondensor terbuat dari baja, tembaga atau aluminium. Tube tersedia dengan rusuk-rusuk untuk meningkatkan perpindahan panas. Kondensor jenis ini umumnya digunakan untuk kapasitas mesin yang kecil.

Faktor-faktor penting untuk menentukan kapasitas kondensor adalah:

Luas permukaan yang diinginkan.

Jumlah udara per menit yang dipakai untuk mendinginkan.

Perbedaan suhu antara bahan pendingin dengan udara diluar.

Kondensor Dengan Pendingin Campuran Air dan Udara (*Evaporative*)

Kondensor *evaporative* adalah kombinasi antara kondensor dengan menerapkan dingin yang dirakit menjadi satu unit atau kondensor yang menggunakan udara dan air sebagai media pendinginnya. Kondensor ini memiliki proses pendinginan yang lebih ekstra akibat penggabungan antara pendingin air dan udara.