

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian pustaka dan teori yang berkaitan dengan rancang bangun *rotary kiln* kontinyu pengering. Kajian pustaka bertujuan memberikan penjelasan dari alat yang dibuat, dalam kajian pustaka juga berisi beberapa materi rumus perhitungan terkait pembuatan alat *rotary kiln* kontinyu yang akan dibuat. Dalam dasar teori terkumpul dasar perhitungan, sifat, teori dan hal - hal yang diambil untuk dijadikan sebagai parameter atau acuan desain alat.

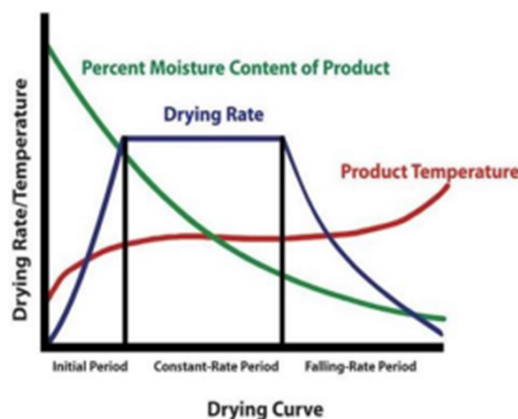
2.1 Proses Pengeringan

Proses pengeringan merupakan proses pemindahan atau pengeluaran kandungan air bahan hingga mencapai kandungan air tertentu agar kecepatan kerusakan bahan dapat diperlambat. Proses pengeringan ini dipengaruhi oleh suhu, kelembaban udara lingkungan, kecepatan aliran udara pengering, kandungan air yang diinginkan, energi pengering, dan kapasitas pengering. Pengeringan adalah suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Secara umum keuntungan dari pengawetan ini adalah bahan menjadi awet dengan volume bahan menjadi kecil sehingga memudahkan dalam pengangkutan (Winarno, dkk., 1980).

Pengeringan yang terlampau cepat dapat merusak bahan makanan, karena permukaan bahan terlalu cepat kering sehingga kurang bisa diimbangi dengan kecepatan gerakan air bahan menuju permukaan. Karenanya menyebabkan

pengerasan pada permukaan bahan sehingga air dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhambat. Disamping itu, operasional pengeringan dengan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak bahan. Pengaturan suhu dan lamanya waktu pengeringan dilakukan dengan memperhatikan kontak antara alat pengering dengan alat pemanas (baik itu berupa udara panas yang dialirkan maupun alat pemanas lainnya).

Pengeringan makanan memiliki dua tujuan utama. Tujuan pertama adalah sebagai sarana pengawetan makanan. Mikroorganisme adalah penyebab utama kerusakan makanan, mikroorganisme tidak dapat berkembang dan bertahan hidup pada lingkungan yang berkadar air rendah. Tujuan kedua adalah untuk meminimalkan biaya distribusi bahan makanan karena makanan yang telah dikeringkan akan memiliki berat yang lebih rendah dan ukuran yang lebih kecil. (Kuntjoko, Dkk, 1989).



Gambar 2. 1 Kurva Laju Pengeringan
(sumber : <https://teknik-pengeringan.tp.ugm.ac.id/>)

Terdapat 3 periode dalam proses pengeringan, yaitu periode awal (*initial period*) yaitu dimana panas sensibel digunakan untuk menaikkan temperatur

bahan makanan, laju penguapan air meningkat seiring dengan waktu. Periode laju konstan (*constant rate period*) yaitu dimana terjadi proses penguapan air bebas dari permukaan bahan makanan, laju penurunan kadar air bahan makanan konstan. Periode laju menurun (*falling rate period*) yaitu dimana pada tahap ini laju pengeringan menurun, pergerakan air dari bagian dalam bahan makanan menuju ke permukaan menjadi faktor penentu kecepatan penurunan kadar air. (Rahayoe, S. 2017).

Metode pengeringan bahan makanan terbagi menjadi dua yaitu metode alami dan metode buatan. Pengeringan metode alami yaitu memanfaatkan sumber panas alami yaitu sinar matahari sedangkan pengeringan metode buatan yaitu memanfaatkan bantuan alat atau mesin dalam proses pengeringan. Proses pembakaran terbagi menjadi dua, yaitu yang pertama panas berasal dari hasil memanaskan suatu logam dengan kompor/burner. Yang kedua yaitu panas langsung dari api yang dihasilkan burner/kompor.



Gambar 2. 2 Contoh Panas Langung dari Api Burner

(sumber : <https://ramesia.com/harga-mesin/mesin-cooking/gas-open-burner/>)

2.2 Deskripsi Kacang Merah



Gambar 2. 3 Kacang Merah

(Sumber : https://sayurbox-blog-stage.s3.amazonaws.com/uploads/2021/01/beans-316592_1280.jpg)

Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris* L) atau umumnya disebut dengan buncis, merupakan sejenis sayuran kekacang yang berbuah dan sangat kaya dengan kandungan protein. Kacang Merah memiliki dua tipe, yang pertama *Phaseolus vulgaris* L (kacang merah merambat). Yang ke dua Kidney bean, yaitu kacang merah tegak yang tingginya tidak lebih dari 60 cm. Kacang merah memiliki kadar air 16 % dari kandungan kacang merah itu sendiri. Kandungan batas aman kandungan air dalam bahan berbeda-beda antara satu komoditas dengan komoditas lainnya. Misalnya untuk penyimpanan dan pengolahan buah-buahan kandungan air yang aman adalah sekitar 10% sedangkan untuk komoditas biji-bijian 14% dan sayuran 18%. Kacang merah termasuk salah satu jenis sayuran yang sangat mudah mengalami kerusakan setelah pemanenan, baik kerusakan fisik (fisiologis), mekanis, maupun mikrobiologis (serangan hama dan penyakit). Untuk mencegah kerusakan-kerusakan tersebut, maka perlu penanganan hasil panen yang baik. Salah satu cara untuk memperpanjang umur simpan kacang merah adalah pengeringan. Cara ini cukup banyak digunakan untuk penanganan pascapanen produk-produk hasil pertanian (Aprawardhanu, 2012).

2.3 Pengertian Rotary Kiln

Rotary Kiln atau *Kiln* putar adalah perangkat *pyroprocessing* yang digunakan untuk meningkatkan bahan material sampai suhu tinggi (kalsinasi) dalam suatu proses berkelanjutan. Bahan yang diproduksi menggunakan *rotary kiln* meliputi: semen, *limestone*, refraktori, metakolin, titanium dioksida, alumina, vermikulit, pelet bijih besi, karbon aktif (Jikar, Prashant, Dhokey, Narendra, 2020).

Rotary kiln merupakan silinder yang berputar di sekitar sumbu longitudinal. Secara umum, *Rotary kiln* bekerja secara kontinyu. Bahan diumpankan dari ujung inlet dan keluar melalui ujung outlet yang lain. Pada *Rotary kiln*, pemanas dialirkan secara *countercurrent*. Beberapa *Rotary kiln* memiliki kemiringan tertentu dan beberapa yang lain diposisikan secara horizontal ($s = 0$). Kemiringan *Rotary kiln* memudahkan gerakan bahan secara aksial. Sementara dalam radial, pergerakan bahan bergantung pada kecepatan putar (N), rasio bahan padat, cair, dan persentase volume reaktor yang ditempati oleh bahan (%FR) (Alonso et al, 2017).

Rotary kiln disusun berbaring secara horizontal dan berputar pada putaran rendah di sekitar sumbu longitudinal. Kemiringan silinder bertujuan untuk membuat perpindahan bahan padat secara aksial dari ujung inlet menuju *outlet kiln* pada ujung yang berbeda. Selama pengangkutan aksial, ketinggian bed solid berubah sepanjang panjang tungku. Dengan demikian, permukaan perpindahan panas lokal berubah dalam arah aksial (Herz et al, 2016). Silinder berputar bekerja secara simultan sebagai alat pengangkut dan pengaduk yang membantu untuk mencampur dan memutar material ke arah radial (Vijayan dan Sendhilkumar, 2014).

2.4 Prinsip Alat Rotary Kiln

Kiln adalah bejana silinder, diletakkan pada posisi horizontal dan sedikit miring, yang diputar perlahan pada porosnya. Material yang akan diolah dimasukkan dimasukkan ke bagian atas silinder. Karena *kiln* berputar, maka material secara bertahap bergerak menuju ujung bawah, dan tentunya akan mengalami sejumlah pengadukan dan pencampuran. Gas panas melewati sepanjang *kiln*, kadang- kadang dalam arah yang searah dengan material yang diproses (co-current), tetapi biasanya dalam arah yang berlawanan (counter-current). Gas panas dapat dihasilkan dalam tungku eksternal, atau dapat dihasilkan oleh api di dalam tungku. Api yang dihasilkan dari burner-pipe atau firing pipe berperan seperti Bunsen- burner yang besar. Bahan bakar untuk pembakaran ini bisa berasal dari gas, minyak atau batu bara bubuk, yang paling banyak dipakai adalah batu bara bubuk (Eka, 2011).

2.5 Konstruksi/Rangka

Menurut Wahyu dan Sumiaty (2009), komponen dasar dari *Rotary kiln* adalah sebagai berikut :

1. Kiln Shell

Kiln shell Ini terbuat dari plat baja ringan yang di rol, ketebalannya biasanya antara 15 dan 30 mm, dilas untuk membentuk sebuah silinder yang panjangnya bisa mencapai 230 m dengan diameter 6 m. Penempatannya biasanya terletak pada posisi poros arah timur/barat karena untuk mencegah Eddy current. Ukuran diameter dibatasi sampai pada diameter tertentu karena untuk mencegah kecenderungan shell yang akan berubah bentuk penampangnya menjadi oval yang

disebabkan oleh berat kiln tersebut, hal ini merupakan konsekuensi kiln selama berputar. Untuk ukuran panjangnya tidak ditentukan berapa batasnya, tetapi akan menjadi sulit untuk mengatasi perubahan panjang/pemuaian akibat dari pemanasan dan pendinginan jika kiln terlalu panjang (biasanya sekitar 0,1 – 0,5 %)



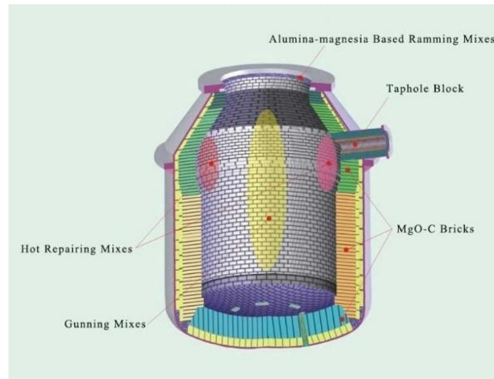
Gambar 2. 4 Kiln Shell

(sumber : <https://henginheavy.com/rotary-kiln-shell-p00161p1.htm>)

2. Refractory Lining (lapisan tahan api)

Tujuan dari lapisan refraktori adalah untuk melindungi shell baja dari suhu tinggi di dalam *kiln* dan untuk melindunginya dari sifat korosif dari material proses. Refractory Lining dapat terdiri dari batu bata tahan api atau beton cor tahan api. Refraktori dipilih berdasarkan suhu di dalam *kiln* dan sifat kimia dari bahan yang diproses. Dalam beberapa proses, misalnya semen, umur refraktori dapat bertahan lama dengan menjaga lapisan dari bahan yang diproses pada permukaan refraktori. Ketebalan lapisan umumnya dalam kisaran 80 - 300 mm. Tipikal refraktori akan mampu mempertahankan penurunan suhu 1000 °C atau lebih antara permukaan panas dengan permukaan dingin. Suhu shell perlu dipertahankan sekitar 350 °C untuk melindungi baja dari kerusakan dan scanner inframerah digunakan untuk memberikan peringatan dini "hot- spot" apabila terjadi indikasi kegagalan

pada refraktori.

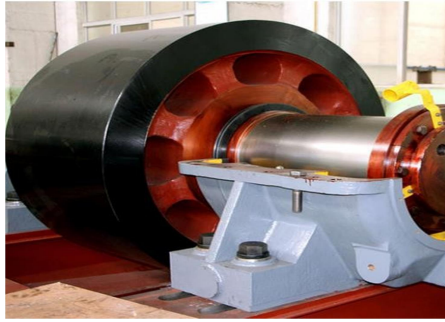


Gambar 2. 5 Refractory Lining

(sumber: <https://www.ladleref.com/solution-for-converter/>)

3. Support Tyres dan Rollers

Ban, kadang-kadang disebut *riding rings*, biasanya terdiri dari baja cor tunggal annular (single annular steel casting), yang kemudian permukaannya dihaluskan. Perlu beberapa ketelitian desain agar ban sesuai dan pas dengan shell, tetapi masih memungkinkan gerakan termal. Rol harus menopang *kiln* dan memungkinkan untuk berotasi dengan meminimalisir gesekan sekecil mungkin. Sebuah *kiln* yang dirancang bagus, ketika listrik terputus maka akan berayun seperti pendulum berkali-kali sebelum datang untuk berhenti. Pada umumnya *kiln* dengan dimensi 6 x 60 m, memiliki massa sekitar 1100 ton termasuk refraktori dan segala isinya, dan akan ditopang tiga ban dan set rol sepanjang *kiln*. *Kiln* yang panjang mungkin memiliki 8 set rol, sementara *kiln* yang pendek mungkin hanya memiliki dua. *Kiln* biasanya berotasi pada 0,5 - 2 rpm, tapi kadang-kadang juga sampai 5 rpm.

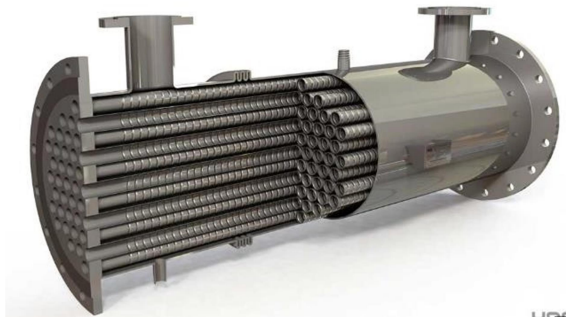


Gambar 2. 6 Support Tyres dan Rollers

(sumber: <https://cementequipmentspares.com/vertical-miling-machine/grind-roller.html>)

4. Internal Heat Exchanger

Pada *kiln* terjadi pertukaran panas yang mungkin oleh konduksi, konveksi dan radiasi. Dalam proses suhu rendah, pada bagian *kiln* yang lebih dingin karena dimensi *kiln* yang panjang sehingga pemanasan awal belum merata, maka *kiln* sering dilengkapi dengan penukar panas internal untuk mendorong pertukaran panas antara gas dan feed. Alat ini terdiri dari scoop atau lifter yang memancarkan feed melalui aliran gas, atau mungkin menyisipkan logam yang panas di bagian atas *kiln* dan memberikan panas ke feed saat feed dimasukkan ketika *kiln* berputar. Penukar panas yang paling umum digunakan terdiri dari rantai menggantung menyerupai tirai dengan aliran gas.



Gambar 2. 7 Internal Heat Exchanger

(sumber: : <https://www.hrs-heatexchangers.com/news/hrs-helps-ad-plant-tap-into-additional-heat-from-existing-chp/>)

2.6 Mekanisme kerja *Rotary Kiln*

Umpan *kiln* berasal dari suspension preheater yang masuk dari ujung *kiln* dan dari ujung yang lain disebarkan gas panas. Di dalam *kiln* terjadi proses kalsinasi lanjutan ($\pm 15\%$) dan sintering sehingga raw meal menjadi clinker. Kemiringan *kiln* dan putaran *kiln* menyebabkan material bergerak ke ujung pembakaran dan kemudian jatuh ke dalam air quenching coller yang dilengkapi dengan cooling air fan untuk pendinginan lebih lanjut (Wijaya, 2000).

Dari arah yang berlawanan gas panas hasil pembakaran batu bara dihembuskan oleh burner, sehingga terjadi kontak panas dan perpindahan panas antara umpan *kiln* dengan gas panas. Kontak panas tersebut akan mengakibatkan terjadinya reaksi kimia untuk membentuk komponen semen. Pembakaran akan terus berlangsung sampai terbentuk klinker dan akan keluar menuju clinker cooler. Selama proses pembakaran, material akan melewati beberapa zona dalam *kiln* dengan range suhu yang berbeda-beda sehingga dalam *kiln* akan terjadi reaksi kimia pembentukan senyawa penyusun material butiran

2.7 Jenis jenis *Rotary kiln*

Terdapat dua jenis *Rotary kiln* yaitu direct fired *Rotary kiln* dan indirect fired *Rotary kiln* yaitu:

- 7 1. Direct Fired Rotary Kiln merupakan bejana silinder shell tunggal dengan penambahancincin di dalam silinder untuk memperlambat laju bahan padat ketika diumpankan dari inlet (bagian yang ditinggikan) menuju outlet (bagian bawah). Media pemanas mengalir berlawanan arah (counter- current)

dengan pergerakan bahan. Kiln dipanaskan oleh pembakar gas langsung terhadap kulit luar shell kiln. Suhu di dalam tungku dikontrol dengan menyesuaikan panas dari pembakar (Boateng 2016). Sistem pemanas direct fired berbeda dari sistem pemanas uap karena udara yang dipanaskan untuk kiln berasal langsung dari pembakaran bahan bakar. Udara panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dilewatkan langsung di dalam silinder untuk menyuplai kebutuhan panas Rotary kiln (Boone, 2014).



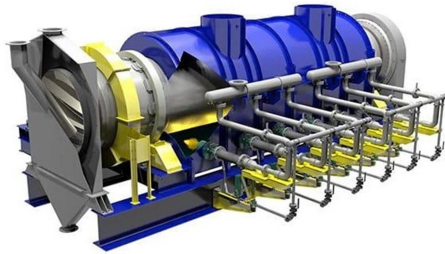
Gambar 2. 8 Direct Fired

(sumber : <https://feeco.com/rotary-kiln-design-direct-fired-vs-indirect-fired/>)

1 Indirect Fired

Rotary Kiln Indirect fired Rotary kiln terdiri dari bejana silinder shell ganda. Shell bagian dalam mirip dengan direct fired Rotary kiln. Ruangan antar shell dipanaskan baik oleh gas pembakaran atau uap. Shell silinder bagian dalam dibulatkan sehingga memungkinkan gas atau uap panas masuk dan dapat memanaskan bahan. Suhu bahan dikontrol dengan memonitor suhu gas inlet dan outlet (Awakasi, 2008). Pemanasan kiln tipe indirect fired Rotary kiln dilakukan secara eksternal. Kiln ini dirancang untuk aplikasi proses di mana kontak langsung antara bahan dan gas penyuplai panas tidak diinginkan. Dalam hal ini, sumber panas berasal dari luar ruang bakar. Indirect fired Rotary kiln memiliki ukuran yang kecil, biasanya berdiameter hingga 1,3 m (50in.) dan banyak digunakan untuk aplikasi khusus seperti kalsinasi pada

bahan khusus. Indirect fired Rotary kiln memberikan kemampuan pemanasan mencapai suhu tinggi. Dalam beberapa kasus, pemanasan kiln tipe indirect fired dapat mencapai suhu 2400C. Kiln ini juga dapat digunakan pada proses dengan waktu tinggal yang ditentukan (Awakasi, 2008). Aplikasi umum dari indirect fired Rotary kiln diantaranya yaitu kalsinasi, reduksi, oksidasi terkontrol, karbonisasi, reaksi solid-state dan pemurnian, termasuk remediasi limbah dalam skala kecil, yang membutuhkan suhu yang sangat tinggi dan kontrol yang ketat. Bahan yang umum diproses dalam indirect fired Rotary kiln meliputi fosfor, titanat, seng oksida, dan ferrites kuarsa. Indirect fired Rotary kiln diproduksi menggunakan bahan komersial yang ekonomis (Awakasi, 2008).



Gambar 2. 9 Indirect Fired

(Sumber: : <https://feeco.com/rotary-kiln-design-direct-fired-vs-indirect-fired/>)

2.8 Proses perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut. Karena perbedaan suhu terdapat di seluruh alam semesta, maka hal - ikhwal aliran panas bersifat seuniversal hal – ikhwal yang berkaitan dengan tarikan gravitasi. Tetapi tidak sebagaimana halnya gravitasi, aliran panas tidak dikendalikan oleh sebuah hubungan yang unik, namun oleh kombinasi dari

berbagai hukum fisika yang tidak saling bergantung (Frank K dan Priyono A, 2000).

2.8.1 Perpindahan kalor secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam 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 (Frank K dan Priyono A, 2000).

Untuk menghitung perpindahan panas secara konduksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$dQ = k.A.\frac{dT}{dX} \text{ (Joule/jam)}.....(2.1)$$

(<https://www.physicsforums.com/threads/dq-dt-ka-dt-dx-heat-transfer-what-is-q-t-solution.807739/>)

Keterangan :

K = Konduktivitas termal $\frac{\text{joule}}{\text{jam}} .m.K$

A = Luas permukaan penghantar (m^2)

dT = Perpindahan suhu ($T_1 - T_2$) (°C atau K)

dX = Tebal dinding (m)

2.8.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat, cair dan gas (Frank K dan Prijono A, 2000).

Kalor yang dipindahkan secara konveksi dinyatakan dengan persamaan Newton, yakni :

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

(<https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/convection-heat-transfer-data-often-reported-heat-transfer-coefficient-h-defined-dot-q-h-d-q105083287>)

Keterangan :

- q = Kalor yang dipindahkan (w)
- h = Koefisien perpindahan panas secara konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- A = Luas bidang permukaan perpindahan panas (m^2)
- ΔT = Beda antara suhu permukaan dan suhu fluida lingkungan yang ditentukan ($^\circ C$)

Perpindahan kalor dengan jalan aliran dalam industri kimia merupakan cara pengangkutan kalor yang paling banyak dipakai. Oleh karena konveksi hanya dapat terjadi melalui zat yang mengalir, maka bentuk pengangkutan kalor ini hanya terdapat pada zat cair dan gas. Pada pemanasan zat cair/gas terjadi aliran, karena massa yang akan dipanaskan tidak sekaligus di bawa ke suhu yang sama tinggi. Oleh karena itu bagian yang paling banyak atau yang pertama dipanaskan memperoleh massa jenis yang lebih kecil daripada bagian massa yang lebih dingin. Sebagai akibatnya terjadi sirkulasi, sehingga kalor akhirnya tersebar pada seluruh zat. Perpindahan panas secara konveksi merupakan perpindahan energi

antara permukaan padatan dan cairan atau gas yang berdekatan, dimana gas atau cairan tersebut sedang bergerak. Perpindahan panas konveksi dibedakan menjadi dua, yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi terjadi akibat adanya pergerakan fluida, oleh karena itu konveksi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu konveksi alami dan konveksi paksa. Konveksi alami adalah perpindahan energi termal melalui fluida seperti cairan atau udara, tetapi tidak melalui sentuhan. Gerakan siklus air mendidih dalam panci adalah contoh konveksi alami. Air hangat di dasar panci mengembang, naik ke atas panci, mendingin, dan jatuh di dalam panci yang sama. Agar konveksi terjadi, energi termal harus mengalir melalui cairan atau gas. Konveksi alami didorong oleh perubahan panas, kepadatan, dan efek gravitasi. konveksi paksa terjadi ketika alat mekanis digunakan untuk memindahkan fluida guna memanaskan, mendinginkan, atau mengeringkan suatu objek. Blower, kipas, dan pompa adalah contoh alat mekanis yang digunakan untuk memindahkan fluida. Dalam beberapa kasus, konveksi paksa dapat digunakan untuk mempercepat konveksi alami.

2.8.3 Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan (Frank K dan Prijono A, 2000).

$$Q_{Radiasi} : \sigma \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \dots (2.3)$$

(<https://www.slideshare.net/alenpepa14/perpindahan-panas-bu-lidia>)

Keterangan :

$Q_{Radiasi}$ = Laju perpindahan panas secara radiasi (W)

σ = Konstanta Stefan Boltzman yang nilainya $5,669 \times 10^{-8}$

A = Luasan perpindahan panas (m^2)

T_1 = Temperatur permukaan benda (K)

T_2 = Temperatur sekitar permukaan benda (K)

2.9 Laju Pengeringan Konstan

Proses pengeringan dilakukan dengan melalui dua periode yaitu periode konstan dan periode kecepatan penurunan. Periode kecepatan konstan seringkali disebut sebagai periode awal, dimana kecepatannya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan perpindahan massa dan panas.

Pada periode laju pengeringan konstan perhitungannya dapat dilakukan sebagai berikut:

$$R : \frac{\Delta W}{A \Delta t} = \frac{W_p \Delta X}{A \Delta t} \dots (2.4)$$

(<https://id.scribd.com/presentation/465552378/Drying-2>)

Keterangan :

R : Laju pengeringan $\frac{kg}{m^2 \text{ jam}}$

W_p : Berat bahan basah (kg)

X : Kandungan air

A : Luas permukaan bahan yang dikeringkan (m^2)

t : waktu pengeringan (jam)

2.10 Bahan Bakar LPG (Liquified Petroleum Gas)



Gambar 2. 10 Gas LPG

(sumber : <https://myeco.id/sesama-produksi-pertamina-ini-perbedaan-gas-lpg-dan-bright-gas/>)

Bahan bakar merupakan bahan yang digunakan dalam proses pembakaran. Gas *LPG (Liquified Petroleum Gas)* adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponen utama dari LPG ini terdiri dari propane (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) sebanyak 99% dengan perbandingan komposisi 30:70 serta terdiri dari 1% etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}).

LPG berwujud gas bila dikeluarkan dari tabungnya, namun bila di dalam tabung sebagian berwujud cair dan sebagian berwujud uap. Hal ini diakibatkan oleh adanya perubahan temperatur yang diperkecil dan tekanan yang diperbesar. Gas LPG mempunyai massa jenis yaitu sebesar $2,47 \text{ kg/m}^3$. Nilai kalor pembakaran dari gas LPG yaitu sebesar $11.254,61 \text{ kcal/kg}$.

2.11 Komponen Perancangan Mesin Pengering *Rotary Kiln* Kontinyu

Dalam perancangan mesin pengering *rotary kiln*, terdapat beberapa

komponen- komponen yang saling berhubungan guna menunjang beroperasinya mesin pengering *rotary kiln* kontinu ini. Terdapat motor listrik sebagai motor penggerak yang nantinya akan menjadi sumber tenaga yang menghasilkan putaran, dan putaran tersebut akan ditransmisikan oleh mekanisme bergerak seperti pulley, v-belt, dan lain-lain

2.11.1 Motor Listrik



Gambar 2. 11 Motor Listrik
(sumber: <https://www.electronicglobal.com/>)

Motor listrik adalah suatu komponen utama dalam sebuah konstruksi permesinan yang berfungsi sebagai sumber daya mekanik untuk menggerakkan suatu poros. Komponen lain yang dihubungkan dengan poros diantaranya adalah puli atau roda gigi yang kemudian dihubungkan dengan sabuk atau rantai untuk menggerakkan komponen lain.

Pada motor listrik energi listrik diubah menjadi energi mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnet yaitu dimana kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak- menolak dan kutub-kutub tidak senama akan tarik- menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar. (Royn, 2012).

Daya penggerak secara umum dapat diartikan sebagai kemampuan yang

dibutuhkan untuk melakukan kerja, yang dinyatakan dalam Watt, HP ataupun Nm/s. Penentuan besar daya yang dibutuhkan perlu memperhatikan beberapa hal yang mempengaruhinya, diantaranya adalah harga gaya, torsi, kecepatan putar dan berat yang bekerja pada mekanisme tersebut. (Widarto,2008). Berikut rumus untuk mencari harga gaya, torsi, kecepatan putar dan berat.

a. Daya yang dibutuhkan

$$P = T \times \omega \dots\dots\dots (2.5)$$

$$P = \frac{T \times 2 \times \pi \times n}{60} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

P : Daya (watt)

T : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan Sudut (Rad/s)

n : Putaran (rpm)

b. Torsi yang Dibutuhkan (Nm)

$$T = F \times r \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Jari-jari (m)

c. Gaya yang Terjadi

$$F = m \times g \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan

F = Gaya (N)

m = Massa (kg)

g = Gravitasi (m/s²)

2.11.2 Reduser



Gambar 2. 12 Reducer

(sumber : <https://www.dutamakmurgearindo.com/perbandingan-speed-reducer-dan-gearbox/>)

Reduser merupakan bagian sistem transmisi yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah tenaga dari motor. Prinsip kerja reduser yaitu putaran dari motor diteruskan ke *input shaft* melalui hubungan antara *clutch*/kopling, kemudian diteruskan ke *main shaft* (poros utama), karena adanya perbedaan rasio dan bentuk dari gigi-gigi tersebut sehingga putaran yang dikeluarkan berbeda, tergantung dari rpm yang diinginkan. Reduser memiliki rasio putaran yang bervariasi, yaitu rasio 1:10, 1:20, 1:30, dst. Perhitungan pada reduser yaitu sebagai berikut:

$$i = \frac{n_1}{n_m} \dots (2.7)$$

Keterangan:

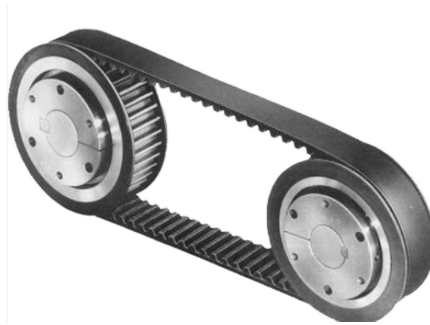
i = Rasio reduser

n₁ = Putaran yang dihasilkan reduser/putaran poros (rpm)

n_m = Putaran motor (rpm)

2.11.3 Pulley dan Belt

Pulley dan *Belt* adalah suatu elemen mesin yang digunakan untuk meneruskan putaran dari suatu poros ke poros lain sehingga terjadi perubahan energi. Adapun fungsi lain dari *pulley* adalah untuk menghantarkan daya. Daya ini akan diteruskan menuju mesin pencetak bakso yang dimana pada perancangan ini terdapat enam *pulley* dengan berbagai ukuran. *Pulley* ini nantinya akan dikopel menggunakan sebuah sabuk (*belt*) agar daya dari motor listrik dapat diteruskan menuju pencetak bakso.



Gambar 2. 13 Belt dan pulley

(sumber: <https://www.linearmotiontips.com/pulley-balancing-belt-drives-always-necessary/>)

- d. Untuk menentukan Daya Rencana (P_d) puli dan sabuk (Sularso, 1991)

$$P_d = F_c \times p \dots (2.8)$$

Keterangan :

F_c = Faktor Koreksi

p = Daya (kW)

P_d = Daya Rencana (kW)

- e. Untuk menentukan Perbandingan Transmisi puli (i) (Sularso dan Kiyokatsu Suga, (2004)

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_p}{d_p} \dots (2.9)$$

- f. Kecepatan Linier Sabuk-V (v) (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2004)

$$v = \frac{\pi}{60} = \frac{dp \times n1}{1000} \dots(2.10)$$

g. Untuk menentukan Jarak antar poros puli (C) (Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2002)

$$c = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(Dp - dp)^2}}{8} \dots(2.11)$$

$$B = 2L - 3,14 (Dp + dp) \dots(2.12)$$

h. Untuk menentukan panjang sabuk (L)

$$L = 2.C + \frac{\pi}{2} (dp + Dp) + \frac{1}{2} (Dp - dp)^2 - \frac{c}{4c} (Dp - dp)^2 \dots\dots(2.13)$$

$$L = 2.C + \frac{\pi}{2} (dp + Dp) + \frac{c}{4c} (Dp - dp)^2 \dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

dp = Diameter puli 1 (mm)

Dp = Diameter puli 2 (mm)

C = Jarak sumbu poros (mm)

L = Panjang keliling sabuk (mm)

$n1$ = Putaran puli penggerak (rpm)

$n2$ = Putaran puli yang digerakan (rpm)

Vc = Kecepatan sabuk

Mp = Momen punter

Untuk menentukan Gaya tarik efektif (Sularso, *Dasar Perencanaan & Pemilihan Elemen Mesin*, 1997)

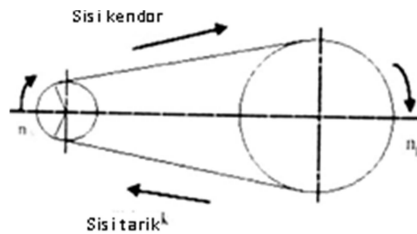
$$F_{rated} = \frac{102 \cdot Pd}{v} \dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

F_{rated} = Gaya tarik efektif (kgf)

P_d = Daya perencanaan (kW)

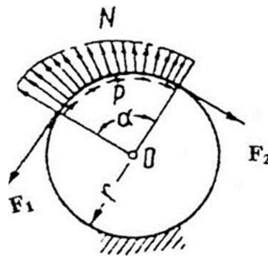
v = Kecepatan keliling (m/s)



Gambar 2. 14 Gaya tarik pada belt

(sumber: Sularso, Dasar perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, 1997)

Perencanaan *belt* didasarkan atas hubungan secara analitis antara fleksibilitas belt terhadap tarikan pada *belt* yang melingkar pada pulley, yang dinyatakan dengan persamaan:



Gambar 2. 15 Distribusi tarikan atau gaya pada belt

(sumber: Sularso, Dasar perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, 1997)

Keterangan :

α = sudut kontak antara belt dengan puley

F_1 = gaya tarik pada bagian yang kencang

F_2 = gaya tarik pada bagian yang kendur

P = distribusi tarikan / gaya

N = gaya normal

r = jari-jari pulley

Hubungan antara F_1 , F_2 , koefisien gesek (f) dan sudut kontak (α) secara

analitis fleksibilitas belt yang melingkar pada pulley, dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini: (Dobrovolsky, 1985)

$$Fe = F1 - F2.....(2.16)$$

$$Fe = \frac{T1}{r}.....(2.17)$$

$$\frac{F1}{F2} = e^{f \cdot \alpha} = m...(2.18)$$

Keterangan :

Fe = Gaya efektif, selisih antara $F1$ dan $F2$

F = koefisien gesek, nilainya dipengaruhi oleh temperatur kerja dan creep, diasumsikan konstan 0,3.

M = hanya sebagai lambang saja untuk menyingkat.

$F1$ = gaya tarik belt pada bagian yang kencang (besar)

$F2$ = gaya tarik belt pada bagian yang kendur (kecil)

Tegangan yang timbul akibat beban (σ_d)

Penampang *belt* dapat dipilih dengan dasar tegangan yang diambil dan tegangan bending yang bekerja pada belt persatuan luas serta faktor kecepatan dan sudut kontak. Apabila seluruh beban bekerja pada belt maka tegangan yang timbul akibat beban dapat ditentukan dengan persamaan : (*V. Dobrovolsky, Machine Elements*, 1970)

$$\alpha = 180^\circ - \frac{Dp - dp}{C} 60.....(2.19)$$

Keterangan :

C = Jarak sumbu poros

dp = Diameter pulley penggerak (mm)

Dp = Diameter pulley yang digerakkan (mm)

2.11.4 Poros



Gambar 2. 16 Poros

(sumber: M. Nur Kholis & Abdul Majid, 2017)

Poros merupakan salah satu elemen mesin yang sangat penting, karena hampir setiap mesin mempunyai poros. Pada sebuah mesin, poros berfungsi untuk mentransmisikan daya yang disertai dengan putaran, di samping itu juga berfungsi untuk menahan beban.

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{Pd}{n} \dots (2.20)$$

(Sumber: <https://maretaramadhanis.wordpress.com/2016/05/13/macam-macam-poros/>)

Keterangan :

T = Momen rencana (Kg.mm)

Pd = Daya Rencana (kW)

n = Putaran Poros (rpm)

2.11.5 Bantalan (*Bearing*)



Gambar 2. 17 Bearing
(Sumber: <https://www.monotaro.id/blog/artikel/jenis-bearing>)

Bearing atau bantalan merupakan elemen mesin yang digunakan untuk menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur. Perencanaan bantalan disesuaikan dengan beban yang bekerja pada poros tersebut, sehingga poros dapat bekerja dengan baik.

Perencanaan dan pemilihan bantalan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

1. Beban Ekuivalen Bantalan Radial (P_r) (Sularso, 1997 : 135)

$$P_r = X \times V \times F_r + Y \times F_a \dots (2.21)$$

Keterangan:

P_r = Beban ekuivalen bantalan radial (kg)

X = Faktor beban

V = Faktor putaran

F_r = Beban radial (kg)

Y = Faktor beban

F_a = Beban aksial (kg)

2. Faktor Kecepatan Putaran Bantalan (Sularso, 1997 : 136)

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n_1}\right)^{1/3} \dots (2.22)$$

Keterangan :

f_n = Faktor kecepatan putaran bantalan (rpm)

n_1 = putaran poros (rpm)

3. Faktor Umur Bantalan (Sularso,1997 : 136)

$$f_h = f_n \frac{C}{Pr} \dots (2.23)$$

Keterangan:

f_h = Faktor umur bantalan

f_n = Faktor kecepatan putaran bantalan (rpm)

C = Beban normal spesifik (kg)

Pr = Beban equivalen (kg)

4. Umur Nominal Bantalan (L_h) (Sularso,1997 : 136)

$$L_h = 500 \times f_h^3 \dots (2.24)$$

Keterangan:

L_h = Umur nominal bantalan (Jam)

f_h = Faktor umur bantalan

2.12 Efisiensi Pengeringan

Efisiensi merupakan penggunaan sumber daya secara minimum guna pencapaian hasil yang optimum. Efisiensi mesin (*machine efficiency*) adalah rasio energi yang dikeluarkan (atau kerja yang dilakukan) oleh mesin dengan energi yang dibutuhkan (atau kerja yang dibutuhkan) untuk mengoperasikannya (yaitu,

output energi/input energi).

Rumues untuk mencari efesiensi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \dots (2.25)$$

Keterangan:

η = Efisiensi (%)

Q_{out} = Energi output (Watt)

Q_{in} = Energi input (Watt)

Efisiensi pengeringan *rotary drying* merupakan perbandingan antara jumlah energi yang digunakan pada proses pengeringan dengan jumlah energi yang diberikan pada pembakaran bahan bakar (*McCabe, 1985*)

$$\eta = \frac{Q_p}{Q_{bb}} \times 100\% \dots (2.26)$$

Keterangan:

η = Efisiensi (%)

Q_p = Energi pengeringan (Watt)

Q_{bb} = Energi bahan bakar (Watt)

2.13 Energi Bahan Bakar

Bahan bakar adalah bahan yang digunakan dalam proses pembakaran, bahan bakar mempunyai unsur yang terdiri dari C, H, O, N, S, yang tiap unsur-unsurnya tidak sama untuk beda kualitas maupun beda jenis bahan bakarnya (padat, cair, gas). Energi bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Suharto, 1991):

$$Q_{bb} = N K_{bb} \times \dot{m}_{bb} \dots (2.27)$$

Keterangan:

Q_{bb} = Energi bahan bakar (Watt)

NKbb = Nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

$\dot{m}_{bb}$ = Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

Dimana laju aliran massa bahan bakar dapat dihitung dengan rumus (Suharto,1991):

$$\dot{m}_{bb} = \frac{V \times \rho}{t} \dots (2.28)$$

Keterangan:

V = Volume bahan bakar yang digunakan (liter)

ρ = Massa jenis bahan bakar (kg/liter)

t = Waktu (s)

Sedangkan volume bahan bakar yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{m_b}{\rho} \dots (2.29)$$

Keterangan:

V = Volume bahan bakar yang digunakan (liter)

ρ = Massa jenis bahan bakar (kg/liter)

m_b = Massa bahan bakar yang digunakan (kg)

2.14 Energi Proses Pengeringan

Besarnya energi proses pengeringan yaitu merupakan panas yang berasal dari burner yang disalurkan melalui saluran udara panas yang masuk kedalam tabung pengering dan mengalir di dalam tabung pengering kemudian keluar melewati saluran outlet. Sehingga besarnya energi proses pengeringan adalah sebagai berikut:

$$Q_p = \dot{m}_{udara}(h_2 - h_1) \dots(2.30)$$

Keterangan:

Q_p = Energi untuk proses pengeringan (Watt)

$\dot{m}_{udara}$ = Laju aliran massa udara (kg/s)

h_1 = Besarnya entalpi udara panas masuk pengering (kJ/kg)

h_2 = Besarnya entalpi udara panas keluar pengering (kJ/kg)

Di mana laju aliran massa udara dapat dihitung dengan rumus (Yunus,1994):

$$\dot{m}_{udara} = \rho_{udara} \times A \times v_{udara} \dots(2.31)$$

$\dot{m}_{udara}$ = Laju aliran massa udara (kg/s)

Keterangan:

ρ_{udara} = Massa jenis udara (kg/m³)

A = Luasan (m²)

v_{udara} = Kecepatan aliran udara (m/s)

Besarnya panas spesifik udara kering (C_p) dapat dilihat pada tabel sifat-sifat udara pada tekanan atmosfer. Entalpi udara merupakan jumlah dari entalpi udara kering dan entalpi uap air. Entalpi udara (h) didapatkan dengan rumus sebagai berikut (Yunus,1994):

$$h = h_{a\ udara\ kering} + \omega \times h_{fg\ uap\ air} \dots(2.32)$$

Maka besarnya entalpi udara (h) dapat ditulis sebagai berikut. (Yunus,1994)

$$h = (C_p \times T_0)_{udara\ kering} + \omega \times h_{fg\ uap\ air} \dots(2.34)$$

Keterangan:

h = Entalpi udara (kJ/kg udara kering)

C_p = Panas spesifik udara kering (kJ/kg^oK)

T_0 = Temperatur udara kering ($^{\circ}\text{K}$)

ω = Kelembaban mutlak udara (kg uap air / kg udara kering)

h_{fg} = Enthalpi uap (kJ/kg uap air)

Udara atmosfer dapat disebut sebagai campuran gas ideal yang tekanannya merupakan jumlah dari tekanan parsial udara kering (P_a) dan uap air (P_v). Maka besarnya kelembaban mutlak udara (ω) dapat dicari sebagai berikut (Yunus, 1994):

$$\omega = 0,622 \times \frac{m_b}{\rho} \dots (2.35)$$

$$\omega = 0,622 \times \frac{P_v}{(P_t - P_v)}$$

Keterangan:

ω = Kelembaban mutlak udara (kg uap air / kg udara kering)

P_t = Tekanan total campuran udara-uap air (Kpa)

P_a = Tekanan parsial aktual udara kering (Kpa)

P_v = Tekanan parsial aktual uap air (Kpa)

Kelembaban relative / relative humidity (RH) merupakan ukuran derajat kejenuhan udara pada temperature tertentu. Besaran ini menyatakan persentase kejenuhan udara yaitu pada saat $RH = 100\%$ berarti udara dalam keadaan jenuh dan pada saat $RH = 0\%$ berarti udara dalam keadaan kering sempurna. RH didefinisikan sebagai rasio antara tekanan parsial aktual uap air dengan tekanan parsial saturasi uap air pada temperatur tertentu. Besarnya RH dapat dicari sebagai berikut

$$RH = \frac{P_v}{P_{sat}} \times 100 \% \dots (2.36)$$

Keterangan:

RH = Kelembaban relatif (%)

P_v = Tekanan parsial aktual uap air (KPa)

P_{sat} = Tekanan parsial saturasi uap air (KPa)