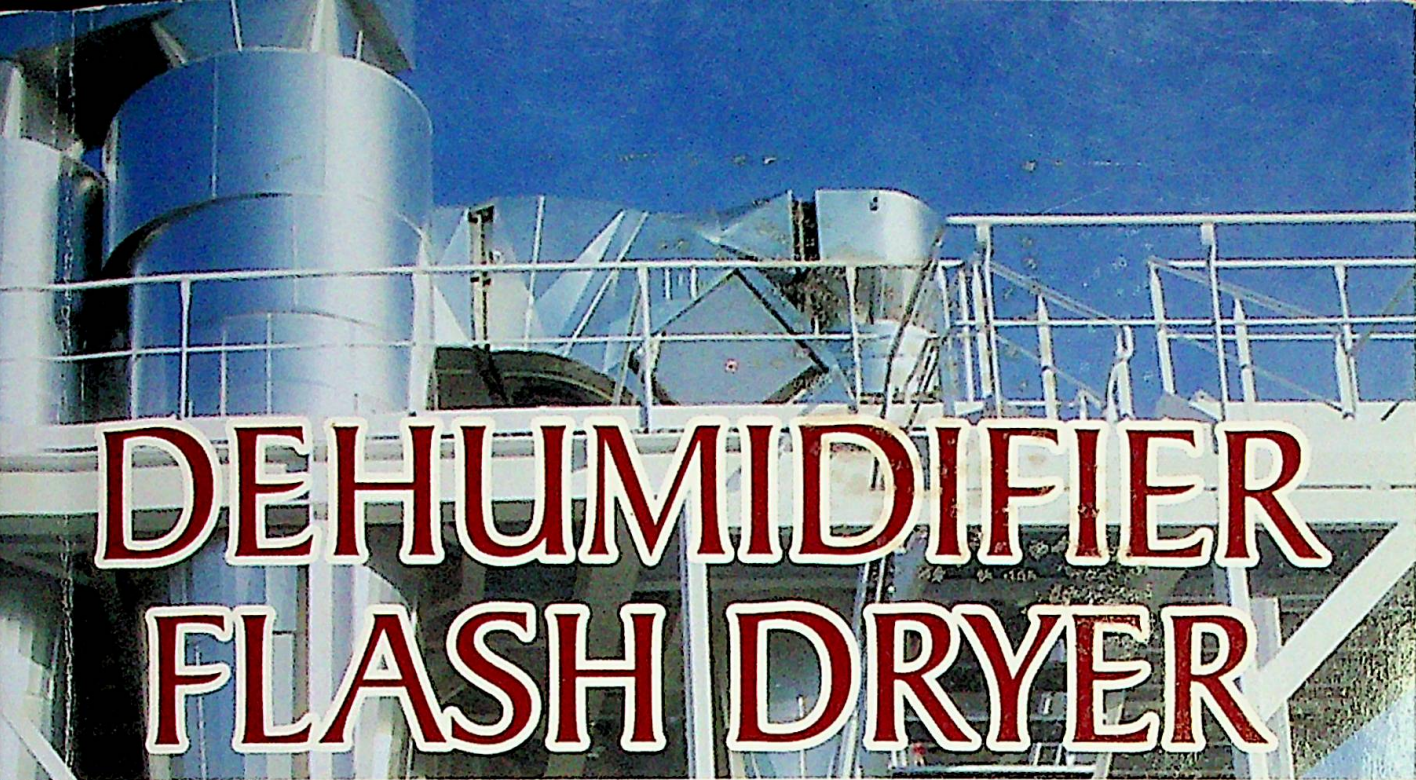




DEHUMIDIFIER FLASH DRYER

(Upgrading Batubara Peringkat Rendah Sumatera Selatan)

IRWIN BIZZY



DEHUMIDIFIER - FLASH DRYER

(Upgrading Batubara Peringkat Rendah Sumatera Selatan)

IRWIN BIZZY

Penerbit



**Dilarang memperbanyak, mencetak atau menerbitkan
sebagian maupun seluruh buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit**

Ketentuan Pidana

Kutipan Pasal 72 Undang-undang Republik Indonesia

Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000,00 (lima juta rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

DEHUMIDIFIER - FLASH DRYER

(Upgrading Batubara Peringkat Rendah Sumatera Selatan)

Penulis : Irwin Bizzy
Layout : Tim Noerfikri
Desain Cover : Haryono

Hak Penerbit pada **NoerFikri**, Palembang
Perpustakaan Nasional Katalog dalam Terbitan (KDT)
Anggota IKAPI (No. 012/SMS/13)

Dicetak oleh:

CV. AMANAH

Jl. KH. Mayor Mahidin No. 142

Telp/Fax : 366 625

Palembang – Indonesia 30126

E-mail : noerfikri@gmail.com

Cetakan : November 2017

Hak Cipta dilindungi undang-undang pada penulis
All right reserved

ISBN : 978-602-447-113-2

PRAKATA

Segala puji hanya milik Allah SWT. Shalawat dan salam untuk Rasulullah SAW, keluarga, para sahabat, serta mereka yang mengikutinya. Alhamdulillah, penulis bersyukur bahwa tulisan yang berjudul *Humidifier-Flash Dryer* merupakan gabungan teknologi yang untuk mengurangi uap air dalam udara dan digunakan sebagai fluida untuk mengurangi kadar air dalam partikel batubara peringkat rendah. Pengurangan kadar air dalam batubara peringkat rendah dengan waktu yang sangat singkat diperlukan untuk meningkatkan nilai kalorinya. Waktu yang sangat singkat ini merupakan ciri khusus *flash dryer* dalam memproses pengurangan kadar air partikel batubara peringkat rendah atau partikel-partikel yang lainnya.

Harapan penulis agar buku ini bermanfaat bagi para ilmuwan dan pembaca umumnya dalam upaya menyebarkan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi generasi anak bangsa Indonesia menghadapi masa depan yang penuh rintangan dan peluang untuk terus berinovasi khususnya dalam bidang teknologi sumber daya alam. Sumber daya alam terus digunakan untuk membangun, akan tetapi wajib menjaga kelestarian alam sekitarnya agar pembangunan dapat berkelanjutan.

Akhirnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberi masukan dan dorongan terwujudnya buku ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Sriwijaya, Dekan dan para Wakil Dekan, Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, tim peneliti terdiri dari Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T. dan

Ir. M. Zahri Kadir, M.T. serta para dosen dan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Tak lupa, penulis mengucapkan dan permohonan maaf kepada istri dan anak-anak bila waktunya cukup tersita selama penulisan buku ini. Semoga Allah SWT menerima amal kita sebagai amal shaleh untuk bekal menghadapi waktu akhir yang kita tidak pernah tahu kapan waktu itu akan datang. Amin.

Palembang, 28 Oktober 2017

Irwin Bizzy

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI	v
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
 BAB 2 <i>AIR CONDITIONING, HUMIDIFIER, DAN DEHUMIDIFIER</i>	 7
2.1 Sifat-Sifat Udara dan Air	7
2.2 Siklus dan Diagram p-h	9
2.3 Diagram Psikrometrik	12
2.4 Penyebaran Udara	13
2.5 Humidifier dan Dehumidifier	19
 BAB 3 SISTEM AC SPLIT YANG DIMODIFIKASI.....	 23
3.1 Peralatan Uji Sistem AC Split	24
3.2 Hasil Pengujian	26
3.3 Analisis Data	28
 BAB 4 <i>FLASH DRYER</i>	 31
4.1 Flash Dryer dan Proses Pengeringan Batubara	 31
4.2Kebutuhan Energi untuk Proses Pengeringan	 40
 BAB 5 BATUBARA PERINGKAT RENDAH	 43
5.1 Klasifikasi Batubara	46
5.2 Gambut	50
5.3 Batubara Lignit	50
5.4 Batubara Subbituminus	51
5.5 Batubara Bituminus	51
5.6 Batubara Antrasit	51
5.7 Analisis Proksimat.....	51
5.8 Analisis Ultimat.....	52
5.9 Kadar Air Total	52

5.10 Kandungan Zat Terbang	52
5.11 Kadar Abu	53
5.12 Kadar Karbon Tertambat	53
 BAB 6 DEHUMIDIFIER DAN FLASH DRYER.....	55
6.1 Pengertian Dehumidifier dan flash dryer.....	55
6.2 Desain siklon	57
6.3 Blower	58
6.4 Motor Listrik	58
6.5 Indoor.....	59
6.6 Outdoor.....	59
6.7 Heater	59
 DAFTAR PUSTAKA	60

BAB 1

PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi dunia merupakan dua faktor yang saling terkait satu sama lain. Jumlah penduduk sebuah negara bertambah akan berdampak kepada meningkatnya kebutuhan dasar, seperti sandang dan pangan, tempat tinggal, dan kendaraan. Peningkatan jumlah penduduk berkaitan erat dengan semakin baiknya sistem pelayanan kesehatan bagi manusia sehingga menambah usia hidup rata-rata penduduk bumi ini. Pertumbuhan penduduk yang sangat cepat juga menghawatirkan, khusus jika dikaitkan dengan daya dukung bumi yang sangat terbatas. Selanjutnya, setiap negara berkeinginan pula adanya pertumbuhan ekonomi setiap tahunnya. Salah satu upaya meningkatkan pertumbuhan ini adalah memperbanyak industrialisasi, pembangunan infrastruktur, dan ekspor sumber daya alam, seperti minyak, batubara, dan gas. Korelasi jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang satu sama lain saling membutuhkan, tidak bisa salah satu diabaikan tetapi keduanya diperlukan dalam melanjutkan sistem kehidupan di dunia ini antara manusia dan lingkungannya. Keseimbangan merupakan sebuah keharusan dalam menjaga keberlanjutan sistem alam ini.

Sebaliknya, jika pertambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi memiliki dampak lain, seperti berkurangnya lahan pertanian dikarenakan diubah menjadi kawasan permukiman dan industri. Iklim juga berubah, adanya kenaikan temperatur atmosfer bumi dan salah satu penyebabnya adalah berkurangnya pohon sebagai penopang siklus kehidupan ini atau hutan tropis sebagai penopang kehidupan di muka bumi ini. Tumbuh-tumbuhan di hutan inilah yang berperan mengubah kembali CO_2 dari berbagai sumber yang mengeluarkannya menjadi O_2 yang berguna untuk proses oksidasi selanjutnya. Mahluk hidup, khususnya manusia membutuhkan oksigen dan pohon untuk menyerap karbon dioksida yang dihasilkan oleh manusia, seperti proses pembakaran bahan bakar di pabrik, di kendaraan, dan lainnya. Pohon menghasilkan oksigen yang dibutuhkan oleh manusia. Bila pohon

berkurang akan menyebabkan berkurangnya proses penciptaan oksigen yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Siklus kehidupan ini seharusnya tetap seimbang demi keberlanjutan kehidupan yang telah diciptakan oleh Allah SWT, Sang Pencipta Alam Semesta ini. Ruang terbuka hijau atau disingkat RTH di setiap wilayah perkotaan perlu ditingkatkan sebagai penyeimbang kehidupan manusia dan lingkungannya.

Manusia diciptakan-Nya sebagai sebuah makhluk yang sempurna, memiliki akal dan nafsu. Akal sangat “powerful”. Al quran sendiri tidak kurang dari 43 kali menggunakan kata “akal” dalam bentuk verba seperti “*afala ta’qilũn*” (apakah engkau tidak berpikir?) Sepuluh ayat lainnya menggunakan verba “pikir” seperti *la’allakum tafakkarũn* (agar engkau memikirkannya). Teguran agar manusia menggunakan akalnya seoptimal mungkin (Purwanto, 2015). Manusia dengan akalnya mampu membuat teknologi untuk kebutuhannya, mampu mengubah energi untuk menggerakkan sesuatu, seperti kendaraan, pesawat udara, kapal laut, bahkan mampu menjelajahi angkasa luar sampai ke bulan dengan pesawat antariksanya. Sungguh luar biasa penciptaan akal ini oleh-Nya. Bila tidak ada akal, manusia tidak mampu melakukan perubahan-perubahan dan rekayasa teknologi. Sebaliknya, bila akal tidak mampu mengatasi nafsu yang berlebihan pada diri manusia, hasilnya akan merusak alam. Salah satu adalah pemanasan global yang diakibatkan oleh naiknya temperatur atmosfer bumi.

Kenaikan temperatur bumi menyebabkan adanya pelanggaran “keseimbangan”. Sebagaimana ditegaskan Allah SWT (Q.S. al-Rahman/55:7-8) bahwa “Dan langit pun ditinggikan oleh-Nya, serta diletakkan oleh-Nya prinsip keseimbangan. Agar janganlah kamu (manusia) melanggar (prinsip) keseimbangan itu”. Sungguh Allah SWT telah memberikan petunjuk diperlukannya keseimbangan dengan penciptaan langit. Keseimbangan adalah hukum Allah SWT, sunatullah, untuk seluruh jagad raya dan merupakan prinsip utama hidup seorang muslim. Bila prinsip keseimbangan ini dilihat dari sudut interaksi manusia dengan lingkungan hidup, prosesnya dimulai sejak manusia dilahirkan sampai meninggal dunia. Sejak manusia lahir

membutuhkan oksigen untuk menjalankan proses kehidupannya. Oksigen mampu membuat manusia menjadi tumbuh dari bayi menjadi anak terus berkembang menjadi orang dewasa yang dalam tubuhnya diciptakan pula oleh Allah SWT sebuah nafsu dan akal. Nafsu dan akal ibarat sebuah prosesor sangat canggih dalam sebuah sistem komputer. Manakala nafsu dan akal tidak seimbang akan menghasilkan sebuah malapetaka bagi manusia dan lingkungannya, sebaliknya bila keduanya seimbang akan tercipta sebuah kedamaian, kenyamanan, dan kebaikan bagi lingkungannya. Tubuh manusia merupakan sebuah komputer super canggih yang diciptakan-Nya dan belum ada manusia yang mampu menyaingi penciptaan-Nya yang sempurna ini sampai akhir zaman.

Demikian pula, ketika tubuh manusia terasa tidak nyaman berada di temperatur atmosfir melebihi 25 °C, tubuh manusia melalui sensor yang berada di bawah kulit tubuhnya merasa gerah atau tidak nyaman. Ketidaknyamanan ini membuat manusia dengan akalnya menemukan mesin penyejuk udara atau *Air Conditioning* atau disingkat AC. Mesin penyejuk udara ini merupakan sebuah penemuan yang mengambil dari peristiwa alam yang telah ada sejak berabad-abad sebelumnya, yaitu adanya malam (dingin) dan siang (panas) yang diciptakan-Nya. Sekali lagi, kemampuan akal manusia telah membuktikan mampu menciptakan sesuatu untuk kenyamanan dirinya dan ilmu yang didapat berasal dari alam ciptaan-Nya.

Selanjutnya, dengan penemuan mesin penyejuk udara telah menyebabkan setiap rumah dan kantor memiliki ruangan yang selalu dipasang AC untuk mengkondisikan ruangan menjadi nyaman. Semakin banyak AC digunakan akan semakin meningkat pemakaian listrik yang berdampak pada meningkatnya kebutuhan energi. Peningkatan penggunaan AC ini semakin besar dikarenakan pusat-pusat perbelanjaan modern memakai AC untuk menjaga kenyamanan konsumen yang berbelanja. AC dibuat oleh manusia agar tubuh manusia mampu beraktivitas optimal dalam kondisi ruangan yang nyaman. Setiap tubuh manusia memiliki kriteria nyaman yang berbeda-beda. Rata-rata orang Indonesia membutuhkan temperatur 23 °C sampai dengan 25 °C agar nyaman bekerja di sebuah ruangan.

Untuk ruangan yang kecil, biasanya memakai AC Split dan ruangan yang besar dengan jumlah orang yang banyak dipakai AC sentral.

Lebih lanjut, udara ruangan terdiri dari beberapa unsur, seperti nitrogen, oksigen, dan uap air. Berdasarkan penelitian, sistem udara panas tidak menghilangkan uap air dari udara bila berada dalam sebuah penukar kalor. Ketika sebuah sampel udara dipanaskan, jumlah uap air di udara sampel tetap sama. Peristiwa ini dinamakan sebagai kelembaban mutlak dan diukur dalam butir per pound udara persatuan volume. Untuk membuat 1 pound air dibutuhkan 7.000 butir kelembaban. Demikian pula, ketika uap air dipanaskan tidak ada perubahan kuantitas air. Oleh karena itu, jumlah uap air di sampel udara yang masuk ke penukar kalor akan menjadi jumlah yang sama dalam pasokan udara ke ruangan yang menggunakan AC.

Kelembaban relatif atau *relative humidity* merupakan sebuah istilah penting dalam sistem AC. Kelembaban relatif adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan uap air yang terkandung di dalam campuran air-udara dalam fase gas. Kelembaban relatif dari suatu campuran udara-air didefinisikan sebagai perbandingan dari tekanan parsial uap air dalam campuran terhadap tekanan uap jenuh air pada temperatur tersebut dalam satuan persen.

Peralatan untuk mengurangi kelembaban udara melalui proses dehumidifikasi dinamakan *Dehumidifier*. Proses dehumidifikasi merupakan suatu proses penurunan kadar air dalam udara. *Dehumidifier* bekerja dengan menarik dan menyedot air di udara dalam ruangan dialirkan melalui pipa-pipa pendinginan sehingga terjadi pengembunan. Titik-titik air yang terkumpul dari proses ini dibuang melalui tangki pembuangan atau ke luar melalui saluran pembuangan atau proses dehidrasi sehingga udara yang disebarkan ke dalam ruangan menjadi kering dan hangat atau adanya kenaikan temperatur.

Sedangkan, *flash dryer* merupakan sebuah peralatan yang mampu mengeringkan sebuah produk dengan cepat dan waktu yang singkat. *Flash dryer* ini memiliki kolom atau ruang pengeringan berupa saluran dalam sebuah pipa tegak atau horizontal tergantung kebutuhan di lapangan. Fluida pengering biasanya memakai udara panas dengan kondisi temperatur dan kelembaban relatif tertentu.

Untuk menghembuskan udara ke dalam kolom pengering digunakan sebuah *blower* dengan kecepatan hembus yang sangat tinggi.

Uraian yang lebih rinci tentang *dehumidifier* dan *flash dryer* ini dijelaskan lebih lanjut pada bab-bab selanjutnya dengan beberapa persamaan matematika dan sekaligus penjelasan mengenai pengembangan sistem ini dari para peneliti. Tak lupa disajikan uraian tentang batubara peringkat rendah untuk memperkaya isi buku ini. Provinsi Sumatera Selatan memiliki cadangan batubara peringkat rendah cukup besar.

BAB 2

AIR CONDITIONING, HUMIDIFIER DAN DEHUMIDIFIER

Pengertian AC, *humidifier*, dan *dehumidifier* berbedakah? Kadangkala membingungkan buat orang awam untuk membedakannya mengingat *humidifier* berada dalam sistem AC itu sendiri. Sistem AC yang saat ini banyak dipakai untuk menyamankan ruangan adalah sistem AC split. Sistem AC split terdiri dari komponen utama yaitu kompresor, kondenser, katup ekspansi atau pipa kapiler, dan evaporator. Sedangkan, fluida yang digunakan sebagai pemindah kalor adalah refrigeran. Kompresor digerakkan oleh sebuah motor listrik. Kompresor berfungsi untuk menaikkan tekanan dan temperatur refrigeran dari evaporator ke kondenser. Kondenser berfungsi mengeluarkan kalor dari refrigeran sebelum melalui katup ekspansi atau pipa kapiler. Katup ekspansi berfungsi menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran. Selanjutnya, refrigeran masuk ke evaporator untuk menyerap udara panas ruangan dengan cara udara dihisap oleh blower melalui pipa-pipa yang ada dalam evaporator, refrigeran yang telah menyerap kalor ini dihisap oleh kompresor untuk dinaikkan tekanan dan temperaturnya. Demikian seterusnya, proses siklus AC berjalan dengan refrigeran mengalir dalam pipa-pipa secara tertutup.

2.1 Sifat-Sifat Udara dan Air

Menurut (Moran and Howard N., 2006) bahwa sifat merupakan karakteristik makroskopik dari sistem seperti massa, volume, energi, tekanan, dan temperatur, di mana nilai numeriknya dapat diberikan pada waktu tertentu tanpa mengetahui perilaku sebelumnya atau asal usul sistem tersebut. Sedangkan, pengertian sistem adalah apapun yang ingin dipelajari. Bisa saja sistem yang dipelajari sangat sederhana, seperti benda bebas atau sangat rumit, seperti sebuah pembangkit listrik tenaga uap atau PLTU, sebuah kilang minyak, dan lainnya. Kadangkala, mungkin ingin dipelajari sejumlah materi yang terkandung di dalam tangki tertutup yang berdinding kaku, bisa saja ingin mempertimbangkan sesuatu seperti jalur pipa di mana gas alam

mengalir di dalamnya. Komposisi materi di dalam sistem mungkin diperbaiki atau mungkin berubah melalui reaksi kimia atau nuklir. Demikian pula, bentuk atau volume sistem yang dianalisis tidak selalu konstan, seperti ketika gas dalam silinder ditekan oleh piston atau balon yang ditiup. Untuk itu, pengertian sistem tersebut sangat sederhana, akan tetapi diperlukan pengidentifikasi sebelum lebih jauh menganalisisnya dengan membuat batasan-batasan sistemnya.

Saat ini, akan dipelajari adalah sifat-sifat udara dan air. Udara terdiri dari beberapa komposisi (Arismunandar, 2005) yaitu berdasarkan perbandingan volume (%) dan perbandingan berat (%). Komposisi udara berdasarkan perbandingan volume terdiri dari Nitrogen (N_2) = 79,09 %, Oksigen (O_2) = 20,95 %, Argon (Ar) = 0,93 %, Karbon Dioksida = 0,03 %, dan sedikit uap air, debu, minyak dan lainnya. Komposisi udara berdasarkan perbandingan berat terdiri dari Nitrogen (N_2) = 75,53 %, Oksigen (O_2) = 23,14 %, Argon (Ar) = 1,28 %, Karbon Dioksida = 0,05 %, dan sedikit uap air, debu, minyak dan lainnya.

Untuk itu, udara yang diciptakan-Nya ini memiliki sifat-sifat, seperti berbentuk gas, mempunyai massa, menempati ruang, mempunyai tekanan, memuai apabila dipanaskan, menyusut apabila didinginkan, mampu berpindah dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah, selalu ada di mana saja, tidak dapat dilihat tetapi dapat dirasakan, serta bentuk, volume, dan massa jenisnya dapat berubah-ubah. Yang terpenting, semua makhluk hidup yang ada di bumi membutuhkan udara untuk tumbuh dan bertahan hidup.

Sedangkan, air yang juga diciptakan-Nya memiliki sifat-sifat, seperti dapat berubah bentuk, mampu mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah, mampu meresap di antara celah-celah yang kecil, kapilaritas atau mampu melawan gaya gravitasi, memiliki permukaan datar, memiliki massa, menempati ruang, mampu melarutkan beberapa zat, dan mampu menekan ke segala arah.

Berdasarkan sifat-sifat udara dan air di atas, para ilmuwan membuat beberapa persamaan matematika yang bermanfaat untuk

merancang alat untuk kebutuhan makhluk hidup. Menurut (Engkos A dan Nanang, 2016) bahwa massa udara (m_u) terdiri dari massa udara kering (m_{uk}) dan massa uap air (m_{ua}):

$$\dot{m}_u = \dot{m}_{uk} + \dot{m}_{ua} \quad (2-1)$$

Rasio kelembaban atau *humidity ratio* (ω):

$$\omega = \frac{\dot{m}_{ua}}{\dot{m}_{uk}} \quad (2-2)$$

$$\frac{\dot{m}_u}{\dot{m}_{uk}} = 1 + \omega \quad (2-3)$$

$$\dot{m}_{uk} = \frac{\dot{m}_u}{1 + \omega} \quad (2-4)$$

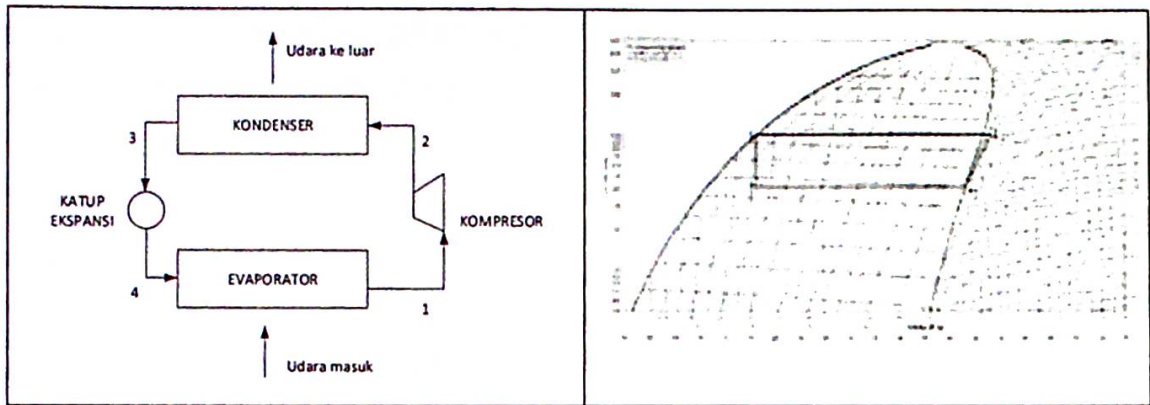
Panas yang dimiliki sendiri oleh udara setiap kg udara kering, persamaan entalpinya (h) adalah entalpi udara kering (h_{uk}) + entalpi uap air (h_{ua}):

$$h = h_{uk} + h_{ua} \quad (2-5)$$

2.2 Siklus dan Diagram p-h

Gambar 2.1 adalah skema proses siklus AC dan diagram tekanan (p) - entalpi (h) atau biasa dinamakan diagram p-h yang ideal. Refrigeran yang digunakan adalah R410-A. Refrigeran tipe ini memiliki kelebihan, yaitu mengandung *hydro-flouro-carbon* atau HFC yang tidak merusak lapisan ozon, jenis pelumas yang dipakai pada kompresor adalah oli sintetis, lebih efisien menyerap dan melepaskan panas, dan kerja kompresor relatif lebih ringan atau tidak cepat panas.

Proses siklus AC yang ideal terdiri dari proses 1-2 adalah proses kompresi isentropik di kompresor, proses 2-3 adalah proses tekanan dan temperatur konstan di kondenser, proses 3-2 adalah proses penurunan tekanan dan temperatur di katup ekspansi, dan proses 4-1 adalah proses tekanan dan temperatur konstan di evaporator.



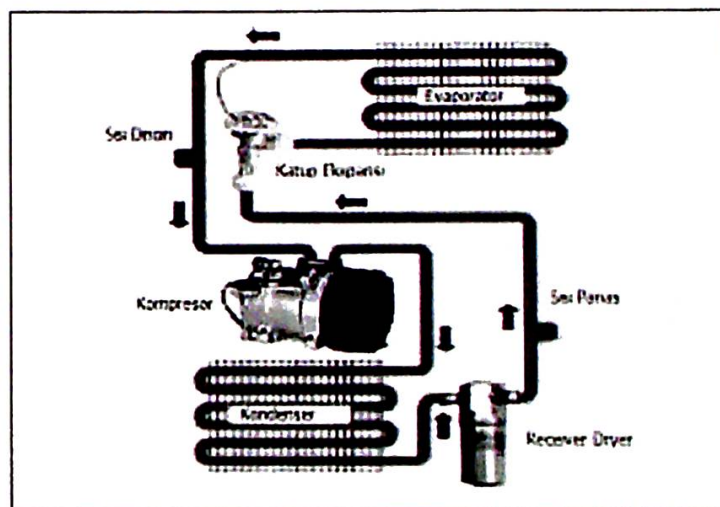
Gambar 2.1. Siklus dan Diagram p-h

Kompresor adalah unit tenaga dari sistem sebuah AC. Ketika AC dijalankan, kompresor mengubah refrigeran dari evaporator dalam bentuk gas yang bertekanan rendah menjadi gas yang bertekanan tinggi. Gas bertekanan dan bertemperatur tinggi ini kemudian diteruskan menuju kondensor. Kondensor merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengubah/mendinginkan gas yang bertekanan tinggi dari kompresor menjadi cairan yang bertekanan tinggi. Cairan refrigeran lalu dialirkan ke pipa kapiler. Fungsi pipa kapiler adalah menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran cair. Kadangkala dalam beberapa sistem AC, selain dipasang pipa kapiler juga dipasang katup ekspansi. Katup ekspansi dipasang untuk mengontrol aliran refrigeran cair yang melalui pipa kapiler.

Refrigeran cair kondisi titik 3 adalah cair jenuh atau *saturated liquid*, kemudian melalui katup ekspansi atau pipa kapiler masuk ke evaporator dalam keadaan tekanan dan temperatur rendah atau adanya penurunan tekanan dari titik 3 ke titik 4. Kondisi titik 4 adalah campuran refrigeran dalam bentuk uap dan cair atau *vapor* dan *liquid*. Pipa-pipa evaporator yang berisi refrigeran cair akan menyerap energi (udara panas) yang dihembuskan oleh blower sebagai beban pendingin dan akibatnya refrigeran cair berubah menjadi refrigeran uap jenuh atau *saturated vapor* di kondisi titik 1 sebelum masuk kompresor. Selanjutnya, campuran refrigeran kemudian masuk ke akumulator atau pengering diteruskan ke kompresor. Refrigeran yang ke luar kompresor di kondisi titik 2 adalah dalam bentuk gas, kemudian masuk ke kondenser dan keluarnya berada pada kondisi titik 3 dengan refrigeran kondisi cair jenuh. Kalor yang terdapat dalam bentuk gas di

pipa-pipa kondenser dibuang ke udara atmosfer dengan cara dihembuskan udara menggunakan blower. Demikian, proses siklus AC berjalan secara kontinyu dengan urutan proses dari titik-titik 1-2-3-4-1 untuk mendapatkan kondisi udara ruangan dalam keadaan nyaman.

Komponen utama AC yang ditunjukkan pada gambar 2-2 terdiri dari kompresor, kondenser, evaporator, katup ekspansi, dan pengering (*receiver dryer*). Refrigeran berada dalam pipa-pipa, mengalir melalui komponen-komponen ini. Pipa berwarna biru menerangkan refrigeran ke luar dari katup ekspansi menuju evaporator terus masuk ke kompresor.



Gambar 2.2 Komponen AC Split

Pemberian tanda pada pipa berwarna biru untuk menjelaskan secara umum keadaan refrigeran berada dalam kondisi masih dingin (temperatur dan tekanan rendah, lihat proses 3-4-1 pada gambar 2-1) atau bentuk refrigeran masih cair (*liquid*), cair jenuh (*saturated liquid*), campuran (*vapor and liquid*), atau uap jenuh (*saturated liquid*) sebelum masuk kompresor. Sebaliknya, pipa warna merah menjelaskan secara umum keadaan refrigeran telah dalam keadaan panas (temperatur dan tekanan bertambah, lihat proses 1-2-3 pada gambar 2-1), di mulai saat refrigeran ke luar kompresor mengalir ke pengering, kondenser sampai masuk katup ekspansi atau bentuk refrigeran telah menjadi gas dalam saluran pipa-pipa tersebut.

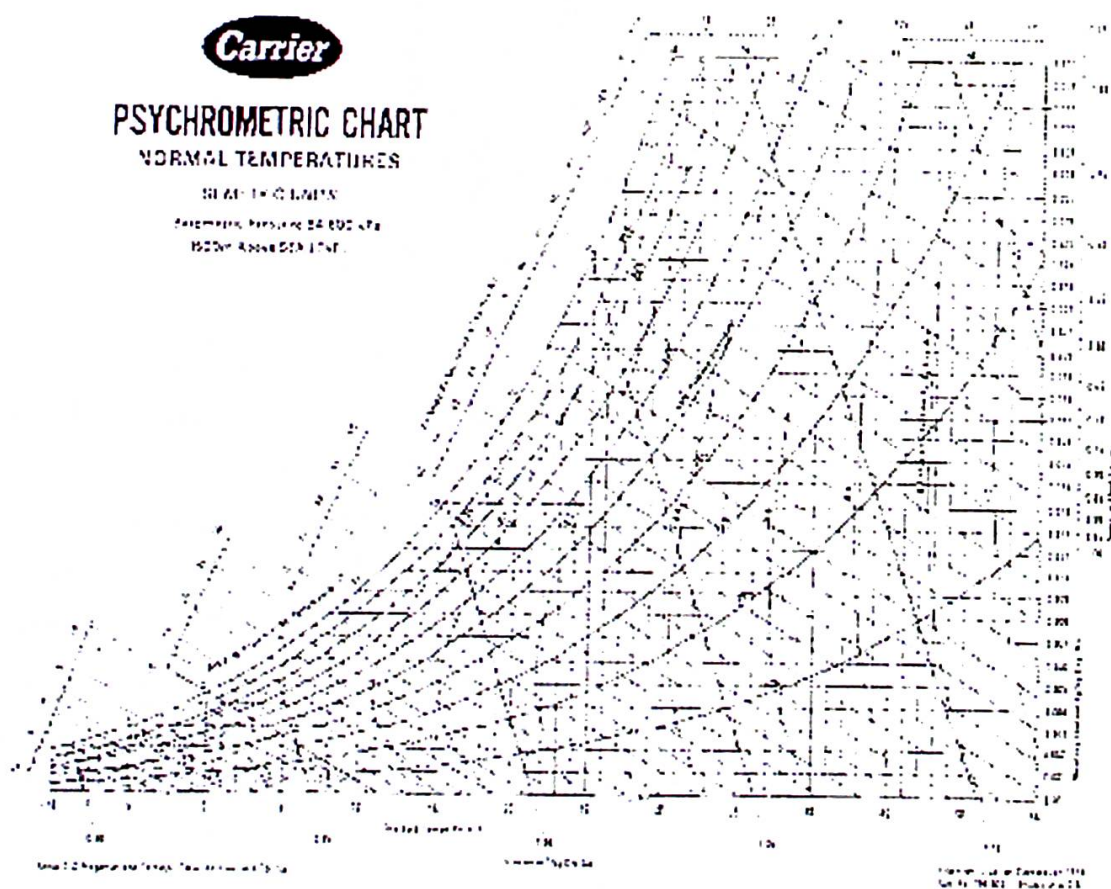
Adapun berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 077/MENKES/PER/V/2011 pasal 3 bahwa persyaratan kualitas udara dalam ruang rumah, faktor risiko dan upaya

penyehatan udara dalam ruang rumah, serta tata laksana pengawasan kualitas udara dalam ruang rumah. Persyaratan kualitas udara meliputi kualitas fisik, kualitas kimia, dan kualitas biologi.

2.3 Diagram Psikrometrik

Diagram psikrometrik berkaitan erat dengan udara. Udara terdiri dari udara basah dan udara kering. Pengertian udara basah atau lembab adalah udara yang kandungan uap airnya masih cukup tinggi, sedangkan udara kering adalah udara yang sama sekali tidak mengandung uap air. Diagram psikrometrik merupakan diagram yang menguraikan sifat-sifat termal dari udara.

Gambar 2.2 memperlihatkan diagram psikrometrik dalam satuan SI yang banyak digunakan oleh para insinyur untuk menganalisis udara.



Gambar 2.3 Diagram Psikrometrik

Beberapa istilah yang dipakai dalam diagram psikrometrik adalah Temperatur Bola Kering atau *Dry Bulb Temperature* diberi simbol T_{db} , Temperatur Bola Basah atau *Wet Bulb Temperature* diberi simbol T_{wb} , Kelembaban Relatif atau *Relative Humidity* diberi simbol RH, perbandingan kelembaban atau *Ratio Moisture Content* kg/kg *Dry Air* diberi simbol ω , Volume Spesifik Udara Kering atau volume m^3/kg *dry air* diberi simbol v , Titik Embun atau *Dew Point* diberi simbol DP, Entalpi atau *Enthalpy* diberi simbol h , dan Faktor Kalor Sensibel atau *Sensible Heat Factor* diberi simbol SHF.

2.4 Penyegaran Udara

2.4.1 Kompresor

Sebagaimana diuraikan sebelumnya, kompresor adalah sebuah alat yang mampu mengkompresi gas dari tekanan rendah menjadi tekanan tinggi. Penggunaan kompresor di dalam sebuah AC split juga untuk menaikkan tekanan refrigeran yang ke luar evaporator masuk kompresor ke tekanan yang lebih tinggi ketika ke luar kompresor masuk kondenser. Kompresor digerakkan oleh sebuah motor listrik. Adapun beberapa kompresor yang digunakan dengan konstruksi yang berbeda-beda, seperti kompresor torak, kompresor sekrup, dan kompresor sudu luncur. Masing-masing kompresor ini memiliki kelebihan dan kekurangannya.

Untuk itu, prinsip kerja kompresi gas dalam kompresor berkaitan dengan perubahan volume gas. Menurut (Sularso, 1983) bahwa hukum Boyle menyatakan jika gas dikompresikan atau diekspansikan pada temperatur tetap, maka tekanannya (P) akan berbanding terbalik dengan volumenya (V). Persamaan yang dapat dibuat berdasarkan pernyataan hukum Boyle ini:

$$P_1V_1 = P_2V_2 = \text{tetap} \quad (2-6)$$

Tekanan (P) dan Volume (V) dalam satuan SI masing-masing adalah Pascal = Pa untuk satuan tekanan dan meter pangkat tiga = m^3 untuk satuan volume. Apabila proses kompresi gas dikaitkan dengan temperatur (T), gas memiliki koefisien muai jauh lebih besar

dibandingkan zat lainnya. Hukum Charles menyatakan pada proses tekanan tetap, volume gas berbanding lurus dengan temperatur mutlaknya (K).

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2-7)$$

Lebih lanjut, persamaan keadaan untuk gas merupakan penggabungan dari Hukum Boyle-Charles dan berikut persamaannya:

$$PV = GRT \quad (2-8)$$

Konstanta gas (R) dalam satuan meter per K, besarnya tetap untuk suatu gas tertentu dan berat gas (G) dinyatakan dalam satuan Newton = N. Untuk gas ideal, persamaan (2-8) dapat ditulis dalam bentuk yang lain:

$$P\vartheta = RT \quad (2-9)$$

$$\frac{P\vartheta}{T} = R = \text{tetap} \quad (2-10)$$

Volume spesifik (ϑ) adalah volume (V) dibagi berat (G) dalam satuan m^3 per N.

Proses kompresi gas dapat dilakukan berdasarkan proses isothermal, adiabatik, dan politropik. Kompresi isothermal merupakan suatu proses yang sangat berguna dalam analisa teoritis, akan tetapi untuk perhitungan kompresor tidak banyak kegunaannya dikarenakan tidak mungkin menjaga temperatur udara yang tetap di dalam silinder yang bergerak sangat cepat saat terjadi proses kompresi gas. Hubungan P dan ϑ dapat diperoleh dari persamaan (2-9), untuk $T = \text{tetap}$ didapat $P\vartheta = \text{tetap}$ dan dapat ditulis:

$$P_1\vartheta_1 = P_2\vartheta_2 = \text{tetap} \quad (2-11)$$

Kompresi adiabatik merupakan suatu proses kompresi dengan mengisolasi silinder secara sempurna terhadap panas sehingga tidak ada panas yang ke luar dan masuk ke dalam gas. Kompresi adiabatik dipakai untuk kajian teoritis, dalam prakteknya sulit menerapkan isolasi sempurna. Persamaan kompresi gas adiabatik:

$$P\vartheta^k = \text{tetap} \quad (2-12)$$

$$P_1\vartheta_1^k = P_2\vartheta_2^k \quad (2-13)$$

di mana $k = c_p/c_v$

Kompresi politropik merupakan proses kompresi gas yang sesungguhnya. Persamaan kompresi politropik:

$$P\vartheta^n = \text{tetap} \quad (2-14)$$

$$P_1\vartheta_1^n = P_2\vartheta_2^n \quad (2-15)$$

Notasi n disebut indeks politropik dan harganya antara 1 (proses isothermal) dan k (proses adiabatik) atau $1 < n < k$. Untuk kompresor biasa $n = 1,25 \sim 1,35$.

Temperatur yang dicapai oleh gas yang ke luar dari kompresor dalam proses adiabatik dapat diperoleh secara teoritis:

$$T_d = T_s \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/mk} \quad (2-16)$$

T_d = temperatur gas ke luar kompresor (K)

T_s = temperatur isap gas masuk kompresor (K)

m = jumlah tingkat kompresor ($m = 1, 2, 3$, dan seterusnya)

Efisiensi kompresor di bagi dalam 2 (dua) macam, yaitu efisiensi volumetrik dan efisiensi adiabatik keseluruhan. Efisiensi volumetrik adalah rasio volume gas yang dihasilkan pada kondisi tekanan dan temperatur isap (Q_s) (m^3/min) dan perpindahan torak (Q_{th}) (m^3/min):

$$\eta_{\theta} = \frac{Q_s}{Q_{th}} \quad (2-17)$$

Efisiensi volumetrik juga ditentukan berdasarkan persamaan:

$$\eta_{\theta} \approx 1 - \varepsilon \left\{ \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{1/n} - 1 \right\} \quad (2-18)$$

$\varepsilon = V_c/V_s$ = volume sisa relatif

P_d = tekanan ke luar dari silinder tingkat pertama

P_s = tekanan isap dari silinder tingkat pertama

n = koefisien ekspansi gas yang tertinggal di dalam volume sisa = 1,2
(untuk udara)

Efisiensi adiabatik keseluruhan didefinisikan sebagai daya yang diperlukan untuk memampatkan gas dengan siklus adiabatik (teoritis) (L_{ad}), dibagi dengan daya yang sesungguhnya diperlukan kompresor pada porosnya (L_s).

$$\eta_{ad} = \frac{L_{ad}}{L_s} \quad (2-19)$$

Besarnya daya adiabatik teoritis dapat dihitung dengan persamaan:

$$L_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s Q_s}{6120} \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/mk} - 1 \right] \text{ (kW)} \quad (2-20)$$

P_s = tekanan isap tingkat pertama (kgf/m² abs)

P_d = tekanan ke luar dari tingkat terakhir (kgf/m² abs)

Q_s = jumlah volume gas yang ke luar dari tingkat terakhir (m³/min)
dinyatakan pada kondisi tekan dan temperatur isap

$k = c_p/c_v$

m = jumlah tingkat kompresi

Bila satuan tekanan dalam Pascal (Pa), persamaan yang dipakai:

$$L_{ad} = \frac{mk}{k-1} \frac{P_s Q_s}{6000} \left[\left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{(k-1)/mk} - 1 \right] \text{ (kW)} \quad (2-21)$$

Persamaan menghitung kerja kompresor berdasarkan beda entalpi (W_C):

$$W_C = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2-22)$$

2.4.2 Motor Listrik

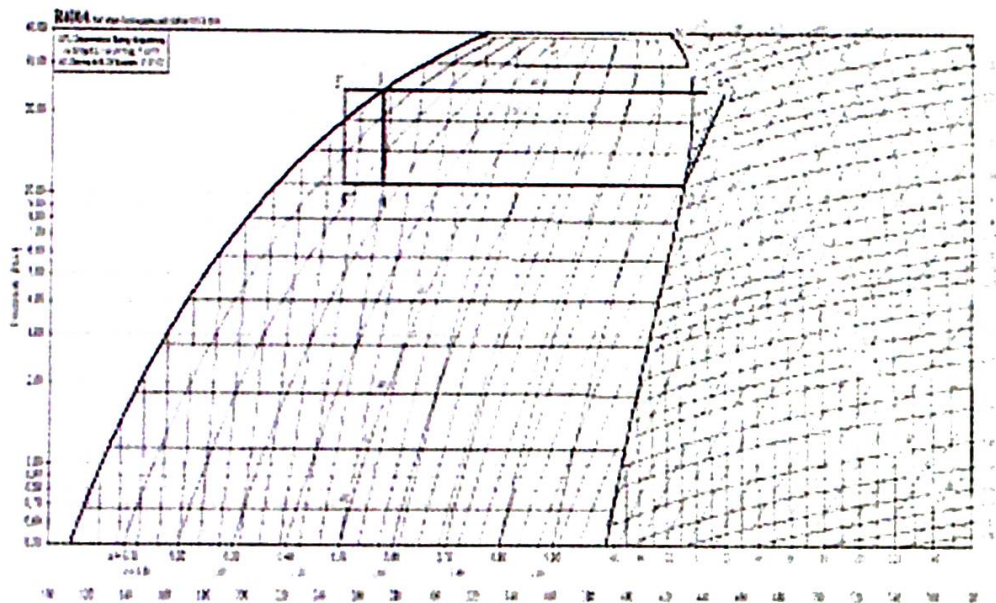
Motor listrik adalah suatu alat yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau gerak. Motor listrik dapat berputar disebabkan adanya peristiwa gaya elektromagnetik atau gaya Lorentz. Gaya Lorentz ini merupakan gaya yang timbul pada kawat berarus yang melintasi atau memotong medan magnetik. Salah satu pemanfaatan gerak berputar yang dihasilkan oleh motor listrik ini adalah menggerakkan kompresor AC split. Sumber energi utama dari motor listrik adalah listrik. Bila ditinjau dari sumber arus listrik yang digunakan untuk menggerakkan motor listrik, ada 2 (dua) macam motor listrik, yaitu motor DC (*Direct Current*) dan motor AC. Motor DC menggunakan sumber arus listrik DC dan motor AC menggunakan sumber arus listrik AC.

2.4.3 Kondenser

Kondenser dikenal juga sebagai salah satu bagian dari komponen utama AC Split. Kondenser juga sering dinamakan bagian *outdoor* dari AC Split yang merupakan gabungan dari kondenser dan kompresor menjadi satu kesatuan sebagai unit *outdoor*. Penamaan ini didasarkan pada kenyataan kedua komponen ini menghasilkan panas sehingga dipasang di bagian luar ruangan.

Fungsi utama kondenser dalam sistem AC split adalah mengubah refrigeran dalam bentuk gas menjadi refrigeran cair (proses 2-3 dalam gambar 2-1). Kondenser merupakan sebuah penukar kalor atau *heat exchanger* yang terdiri pipa-pipa, sirip-sirip, dan *blower* atau *fan* yang membantu secara paksa (perpindahan kalor konveksi paksa) mengeluarkan kalor dari refrigeran dalam bentuk gas ke bentuk cair.

Selain itu, temperatur dan tekanan refrigeran juga menurun dari titik 2 ke titik 3.



Gambar 2.4 Diagram P – h untuk kondisi *subcooled*

Perubahan refrigeran dalam bentuk gas ke cair seratus persen (*liquid*) atau cair jenuh (*saturated liquid*) dalam kondenser bergantung keadaan yang diinginkan dalam desain. Jika perubahannya sampai ke cair dinamakan *subcooled* (terjadi pergeseran kurva ke kondisi cair, proses 3-3'). Kurva pergeseran ini, dicontohkan pada gambar 2-4.

Kondisi titik 3 adalah berada pada garis cair jenuh atau *saturated liquid* dan titik 3' adalah berada pada keadaan cair atau *liquid*. Manfaat terjadinya proses *subcooled* ini antara lain terjadinya penambahan entalpi dalam proses di evaporatornya ($h_1 - h_{4'} > h_1 - h_4$) sehingga semakin besar refrigeran cair menerima kalor dari luar, bertambah besar laju penerimaan kalor oleh refrigeran di evaporator (Q_E). Persamaan laju perpindahan kalor yang dibuang ke udara oleh kondenser (Q_C):

$$Q_C = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (2-23)$$

2.4.4 Katup Ekspansi dan Pipa Kapiler

Katup ekspansi dan pipa kapiler berfungsi hampir sama yaitu untuk menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran yang ke luar

kondenser menuju ke evaporator. Secara konstruksi keduanya memiliki perbedaan.

Sedangkan pipa kapiler berukuran diameter yang kecil dibandingkan pipa-pipa yang ada dalam sistem AC dan refrigerasi. Sebagai contoh, pipa kapiler AC dengan daya ½ sampai 2 PK berukuran 0,5 inci sampai 0,7 inci. Salah satu penyebab kerusakan sistem AC dan refrigerasi adalah tersumbatnya pipa kapiler. Untuk mengatasi agar pipa kapiler tidak mudah tersumbat, sebelumnya dipasang penyaring atau dikenal dengan *receiver dryer* (gambar 2-2) agar kotoran-kotoran yang terdapat dalam refrigeran dapat disaring.

2.4.5 Evaporator

Evaporator adalah sebuah alat yang berfungsi mengubah sebagian atau keseluruhan refrigeran dalam bentuk cair menjadi uap. Evaporator juga memiliki prinsip, menukar kalor dan memisahkan uap yang terbentuk dari cairan. Persamaan laju kalor yang diserap oleh evaporator:

$$Q_E = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (2-24)$$

2.5 Humidifier dan Dehumidifier

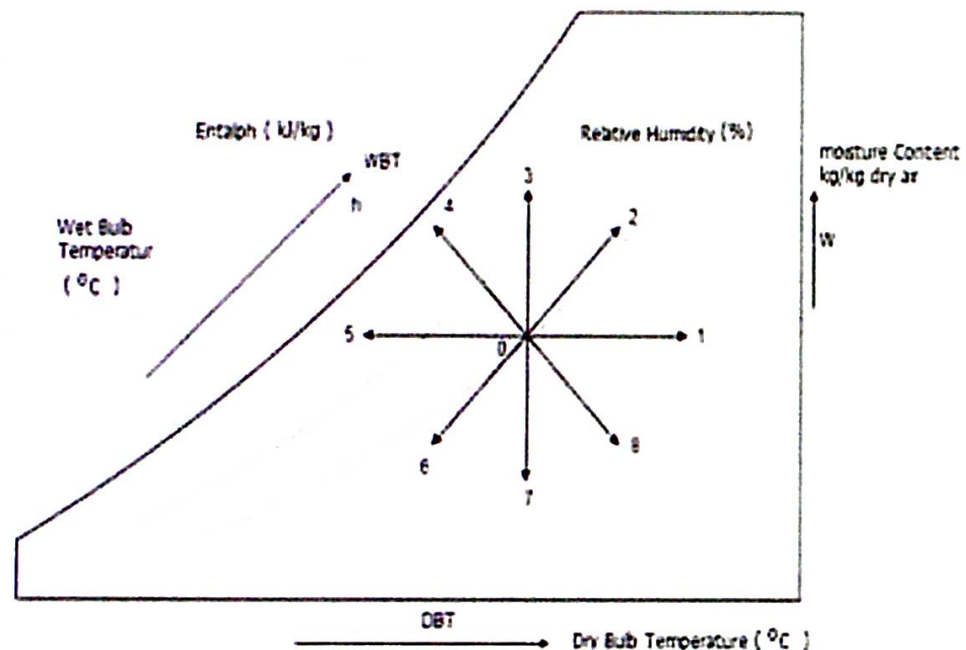
Humidifier merupakan peralatan yang dapat menambah jumlah uap air di udara dalam suatu ruangan atau aliran udara. Sedangkan, *dehumidifier* merupakan alat yang bermanfaat untuk menurunkan kelembaban udara dengan cara menyerap udara yang lembab dan memprosesnya menjadi air yang akan ditampung dalam suatu wadah. Kelembaban umumnya terjadi di ruangan yang panas di mana sirkulasi udara segar yang tidak dapat mengalir dengan baik pada ruangan.

Adapun proses yang dialami udara dikelompokkan menjadi 8 (delapan) proses dengan bantuan diagram psikrometrik (Andrianto Setyawan, 2010), yaitu:

- 1) Pemanasan Sensibel
- 2) Pemanasan dan Humidifikasi
- 3) Humidifikasi
- 4) Pendinginan dan Humidifikasi

- 5) Pendinginan Sensibel
- 6) Pendinginan dan Dehumidifikasi
- 7) Dehumidifikasi
- 8) Pemanasan dan Dehumidifikasi

Ke delapan proses di atas dapat diperlihatkan dengan diagram psikrometrik untuk udara, seperti gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses udara dalam diagram psikromterik

- 0-1 : Proses pemanasan sensibel yang terjadi pada udara dengan dengan cara menaikkan temperatur bola kering udara tanpa penambahan uap air. Sebagai contoh, udara dialirkan melalui koil pemanas.
- 0-2 : Pemanasan dan humidifikasi yang terjadi pada udara yang mengalami pemanasan dengan penambahan uap air. Sebagai contoh, udara disemprotkan air dengan temperatur lebih tinggi dibanding temperatur bola kering udara.
- 0-3 : Humidifikasi terjadi pada udara tanpa mengalami pemanasan atau pendinginan tetapi terjadi penambahan uap air. Sebagai contoh, udara disemprotkan air pada temperatur yang sama dengan temperatur bola kering.

- 0-4 : Pendinginan dan humidifikasi terjadi pada udara yang mengalami pendinginan dan penambahan uap air. Sebagai contoh, udara yang disemprotkan air secara alami.
- 0-5 : Pendinginan sensibel terjadi pada udara yang mengalami pendinginan tanpa penambahan atau pengurangan uap air. Sebagai contoh, udara yang didinginkan oleh koil yang temperaturnya lebih rendah dibanding temperatur bola basah tetapi sama atau lebih tinggi daripada temperatur titik embunnya.
- 0-6 : Pendinginan dan dehumidifikasi terjadi pada udara yang mengalami pendinginan dengan pengurangan uap air. Sebagai contoh, udara yang didinginkan oleh koil yang temperaturnya lebih rendah dibanding temperatur titik embunnya.
- 0-7 : Dehumifikasi terjadi pada udara yang mengalami pengurangan uap air tanpa pemanasan atau pendinginan. Sebagai contoh, udara yang melewati dehumidifier (dapat juga berupa silica gel).
- 0-8 : Pemanasan dan dehumidifikasi terjadi pada udara yang mengalami pemanasan dan pengurangan uap air. Sebagai contoh, udara melewati koil pemanas dan *dehumidifier*.

BAB 3

SISTEM AC SPLIT YANG DIMODIFIKASI

Latar belakang pengujian ini (Bizzy, 2016) dan (Bizzy, 2017) didasarkan pada kondisi cuaca suatu daerah di Indonesia sepanjang tahun sangat bervariasi. Cuaca panas dan hujan merupakan kondisi umum cuaca di Indonesia setiap tahun. Salah satu kota di Indonesia adalah kota Palembang. Kota Palembang merupakan daerah yang awalnya memiliki lahan rawa yang cukup luas dengan sungai Musi yang mengalir membelahi kota ini sebagai ikon kota yang alami. Semakin lama semakin berkurang lahan rawanya dikarenakan jumlah penduduk kota Palembang semakin bertambah setiap tahun. Pertambahan penduduk kota Palembang terus diikuti dengan kebutuhan akan tempat tinggal, tempat perbelanjaan, dan perkantoran. Dampak yang nyata adalah kenaikan temperatur dan kelembaban udara atmosfer sehingga telah menciptakan lingkungan yang tidak nyaman sebagai tempat tinggal khususnya orang yang berada dalam sebuah ruangan. Pengertian tempat tinggal di sini adalah rumah tangga, tempat perbelanjaan, dan perkantoran. Untuk itu, orang menggunakan AC untuk mendapatkan kenyamanan ruangan yang standar. Penggunaan AC yang semakin bertambah untuk kebutuhan rumah tangga, tempat perbelanjaan, dan perkantoran akan menaikkan jumlah kebutuhan listrik kota Palembang.

Sistem AC memiliki kaitan erat dengan *dehumidifier*. Dehumidifier merupakan sebuah peralatan untuk menurunkan kelembaban udara. Dehumidifier bekerja menarik dan menyedot air di udara dalam ruangan, dialirkan melalui pipa-pipa pendinginan sehingga terjadi pengembunan. Titik-titik air yang terkumpul dari proses ini dibuang melalui saluran pembuangan atau proses dehidrasi, sehingga udara yang disebarkan ke dalam ruangan menjadi kering dan terjadi kenaikan temperatur.

Untuk itu, penelitian sistem AC dan dehumidifier terus dilakukan oleh para peneliti agar mampu menghemat pemakaian energi listriknya. Hemat energi dan potensi pengurangan beban puncak AC dengan pemakaian humidifier telah diteliti dan mampu menghemat

energi listrik pertahunnya (Aduda, 2014). Konsumsi energi dan pola pemakaian AC merupakan data penting dalam upaya mengevaluasi efisiensi penggunaan energi untuk membuat standarisasi kebijakan energi di Cina (Wu, 2017). Bahkan, penelitian mengenai penghematan konsumsi energi sistem AC di perkantoran dengan memanfaatkan energi matahari cukup menjanjikan (Ilie, 2017). Manajemen energi khusus penggunaan AC yang sumber energinya dari fosil perlu dilakukan pembatasan penggunaannya dalam rangka mengurangi pemanasan global (Kabeel, 2014). Menurut (Nada, 2015) bahwa produksi air tawar dari sistem AC hibrid yang diteliti meningkat oleh karena rasio udara segar, temperatur udara dan bola basah luar. Sedangkan, analisis eksergi (Ghazikhani, 2016) dan pembuatan model matematika (Bassuoni, 2014) serta simulasi sistem termodinamika pada pemanas udara dan refrigerasi untuk dua kondenser dan satu evaporator (Kosasih, 2016) telah dilakukan untuk mempelajari parameter kinerja dehumidifier. Beberapa faktor penting yang menyebabkan menurunnya kelembaban adalah meningkatnya temperatur masuk dehumidifier dan desikator, konsentrasi pengering yang masuk, dan rasio kelembaban udara masuk. Demikian pula, efek kecepatan udara masuk dehumidifier juga diteliti dengan didasarkan pemodelan aliran dua fasa (Kosasih, 2017).

Selain, telah dilakukan penelitian mengenai penghematan energi di atas, peranan refrigeran yang digunakan dalam sistem AC split penting dalam penentuan unjuk kerjanya. Menurut (Sreelal, 2014) yang telah meneliti 4 (empat) tipe refrigeran menghasilkan cairan pendingin yang paling sesuai adalah R424A, yang dapat digunakan sebagai pengganti R22.

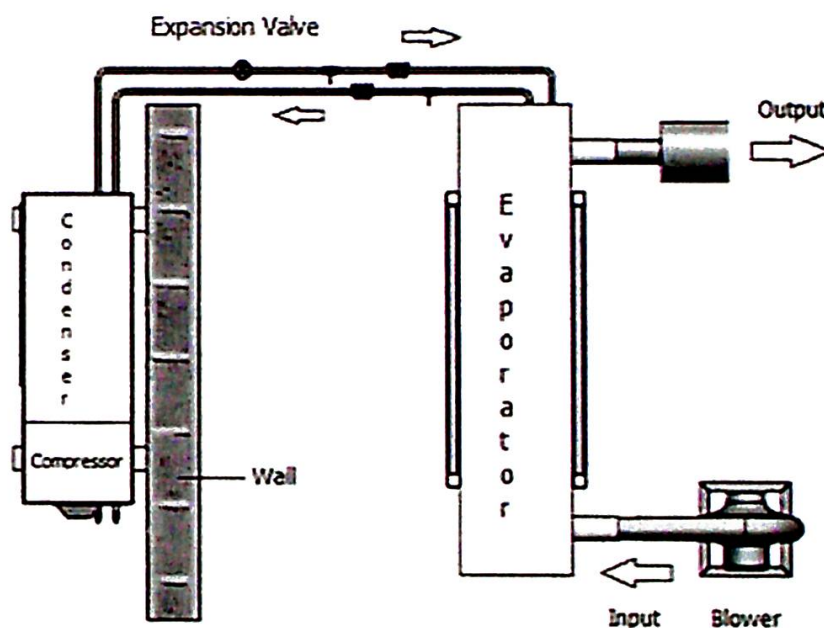
Penelitian yang dilakukan pada sistem AC split yang dimodifikasi telah menghasilkan beberapa petunjuk adanya pengaruh bukaan katup dan udara yang diberikan ke sistem evaporator yang dimodifikasi.

3.1 Peralatan Uji Sistem AC Split

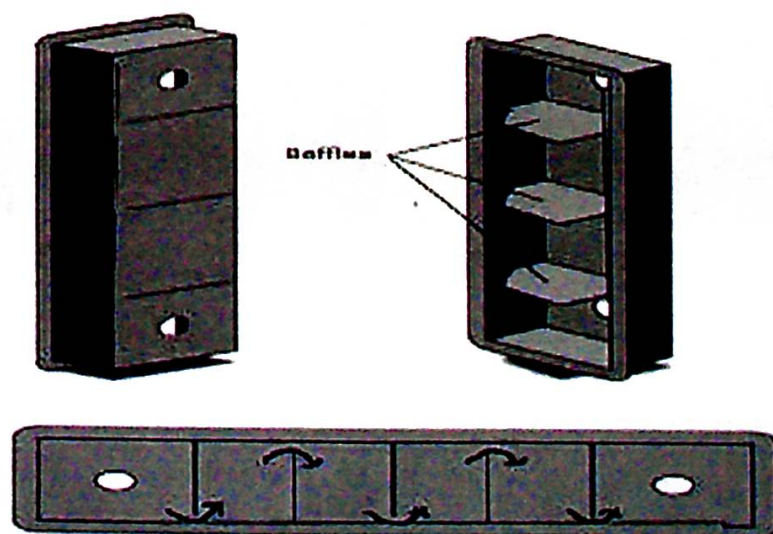
Diagram skematik dari fasilitas pengujian Air Conditioning dengan evaporator yang telah dimodifikasi ditunjukkan pada gambar

3.1. Fasilitas pengujian AC terdiri dari komponen utama yaitu kompresor, condenser, katup ekspansi, dan evaporator. Katup ekspansi yang dipasang merupakan pengganti pipa kapiler untuk memudahkan pengaturan laju aliran refrigeran masuk evaporator.

Spesifikasi AC Split yang digunakan dalam pengujian adalah 2 PK dengan refrigeran yang digunakan R401-A. Pipa kapiler diganti dengan sebuah *needle valve* untuk memudahkan pengaturan bukaan katup, evaporator dimodifikasi dengan cara membuat alirannya seperti *shell and tube* seperti gambar 3.2.



Gambar 3.1 Peralatan Uji AC Split Dimodifikasi



Gambar 3.2 Pola Penyekat dan Aliran Udara di Evaporator

Evaporator AC split dimodifikasi bentuknya menyerupai aliran fluida dalam sebuah *shell* dan *tube*, diberi 3 (tiga) sekat (gambar 3.2). Dimensi *shell and tube evaporator* adalah 900 x 223 x 195 mm dan diisolasi dengan asumsi tidak ada panas yang ke luar dan masuk sistem ini. Blower berfungsi untuk menghisap udara atmosfer dan dialirkan ke dalam evaporator. Laju aliran udara dan bukaan katup ekspansi divariasikan untuk memperoleh data pengujian. Sedangkan pengukuran temperatur dan tekanan ke masing-masing menggunakan termokopel tipe K dan manometer tekanan.

Metodologi penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan membuat alat uji berupa seperangkat sistem AC split dengan daya 2 PK (gambar 3.1). Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi cuaca, bukaan katup ekspansi, dan laju aliran udara memasuki evaporator yang telah dimodifikasi (gambar 3.2). Refrigeran yang digunakan adalah R410-A.

Udara atmosfer dihisap menggunakan blower dan dialirkan ke dalam evaporator. Kecepatan udara blower divariasikan 9 m/s, 10 m/s, 11 m/s, dan 12 m/s. Udara ditiupkan melalui pipa paralon berdimensi 2 inchi. Sedangkan katup ekspansi yang digunakan dengan variasi bukaan katup $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, dan $\frac{4}{4}$.

Pengujian dilakukan per 15 menit dan dirata-ratakan untuk masing-masing data, disesuaikan dengan variasi bukaan katup ekspansi dan laju aliran udara yang dihembus oleh blower. Tabel 3.1 berikut menjelaskan data peralatan uji sistem AC yang digunakan.

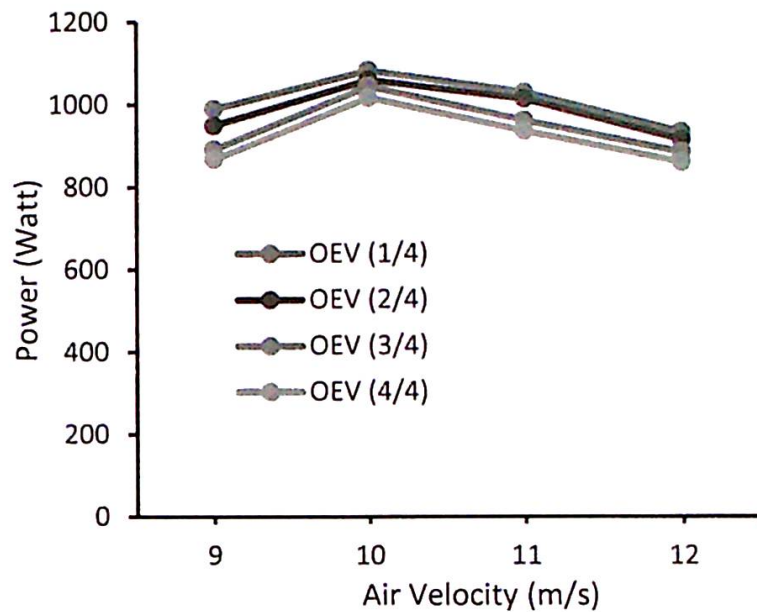
Tabel 3.1 Data Peralatan Uji Sistem Ac Split

No	Nama Data	Nilai	Satuan
1	Daya	2	PK
2	Kapasitas Pendinginan	5200	Watt
3	Kapasitas Pemanasan	5300	Watt
4	Dimensi <i>Indoor</i>	970 x 315 x 235	mm
5	Dimensi <i>Outdoor</i>	800 x 590 x 300	mm

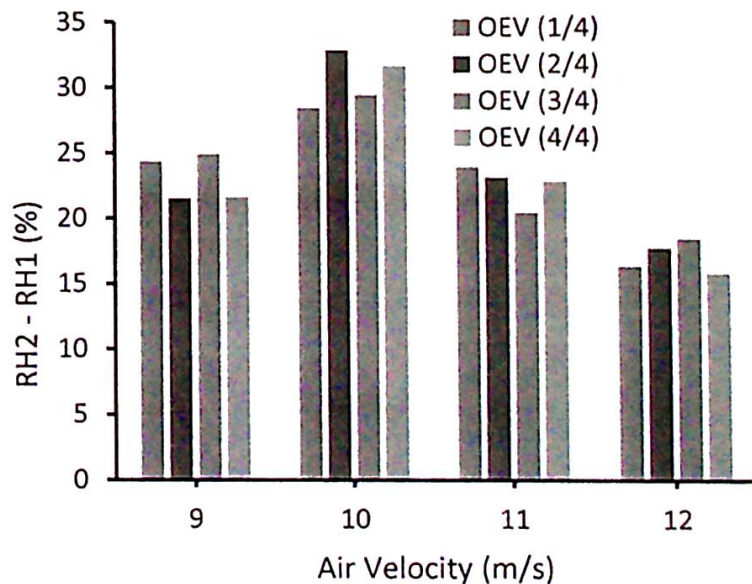
3.2 Hasil Pengujian

Beberapa pengujian telah dilakukan terhadap sistem AC yang

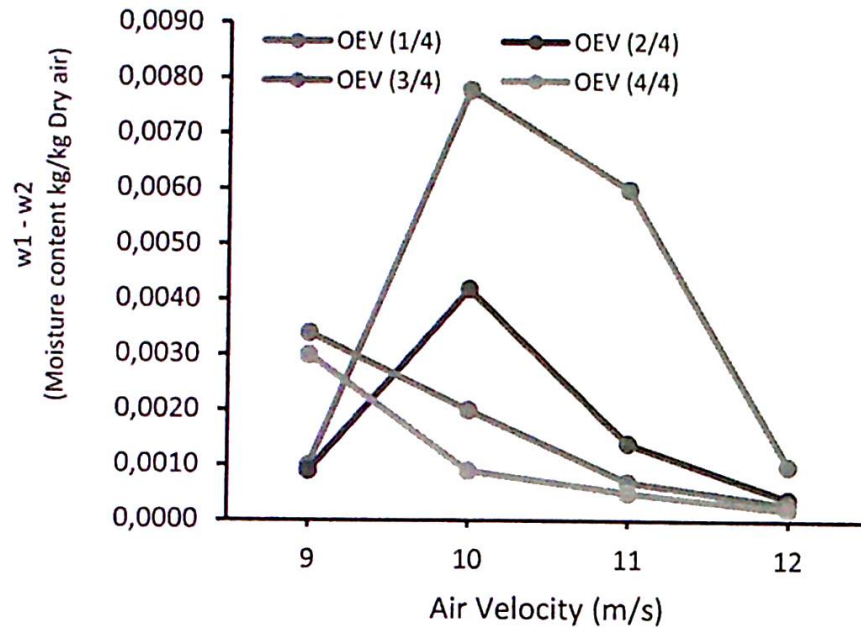
dimodifikasi ini, variasi kecepatan blower 9 m/s, 10 m/s, 11 m/s, 12 m/s, dan pembukaan katup ekspansi (OEV = Opening of Expantion Valve) $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, dan $\frac{4}{4}$. Berikut hasil pengujian sistem AC Split dengan sistem evaporator yang dimodifikasi:



Gambar 3.3 Buka an Katup, Kecepatan, dan Daya



Gambar 3.4 Buka an Katup, Kecepatan, dan Kelembaban Relatif



Gambar 3.5 Efek Rasio Uap Air per Udara Kering

Kenaikan daya terjadi pada kecepatan udara yang ditiupkan ke evaporator dari 9 m/s ke 10 m/s tetapi daya menurun pada kecepatan 11 m/s dan 12 m/s (gambar 3.3). Pengaruh cuaca panas dan hujan akan mempengaruhi temperatur dan kelembaban relatif udara masuk dan ke luar evaporator (gambar 3.4). Selisih kelembaban relatif ke luar dan masuk evaporator terbesar ($RH2 - RH1$) % terjadi pada kecepatan udara blower 10 m/s. Perubahan kelembaban relatif dan temperatur atmosfer sekitar peralatan uji sangat mempengaruhi rasio uap air dan udara kering yang dihasilkan (gambar 3.5). Laju aliran udara semakin besar memasuki evaporator akan menurunkan selisih rasio uap air per udara kering, kecuali kecepatan 10 m/s menghasilkan selisih rasio uap air per udara kering yang terbesar.

3.3 Analisis Data

Berdasarkan data eksperimen dan perhitungan diketahui pengaruh bukaan katup ekspansi dan kecepatan udara pada sistem AC Split yang dimodifikasi akan mempengaruhi daya, selisih kelembaban relatif, dan selisih rasio uap air per udara kering.

Semakin besar kecepatan udara diberikan ke sistem evaporator dan penambahan bukaan katup ekspansi menyebabkan terjadinya penurunan daya, penurunan selisih prosentasi kelembaban relatif masuk dan ke luar sistem evaporator ($RH2 - RH1$), dan penurunan

selisih rasio uap air per udara kering.

Pengujian sistem AC split ini, memperlihatkan adanya kecenderungan kenaikan daya, kenaikan selisih prosentasi kelembaban relatif masuk dan ke luar evaporator ($RH_2 - RH_1$), dan kenaikan selisih rasio uap air per udara kering ($w_1 - w_2$) untuk bukaan katup ekspansi $1/4$ dan $2/4$, tetapi bukaan katup $3/4$ dan $4/4$ cenderung turun pada kecepatan udara blower 10 m/s.

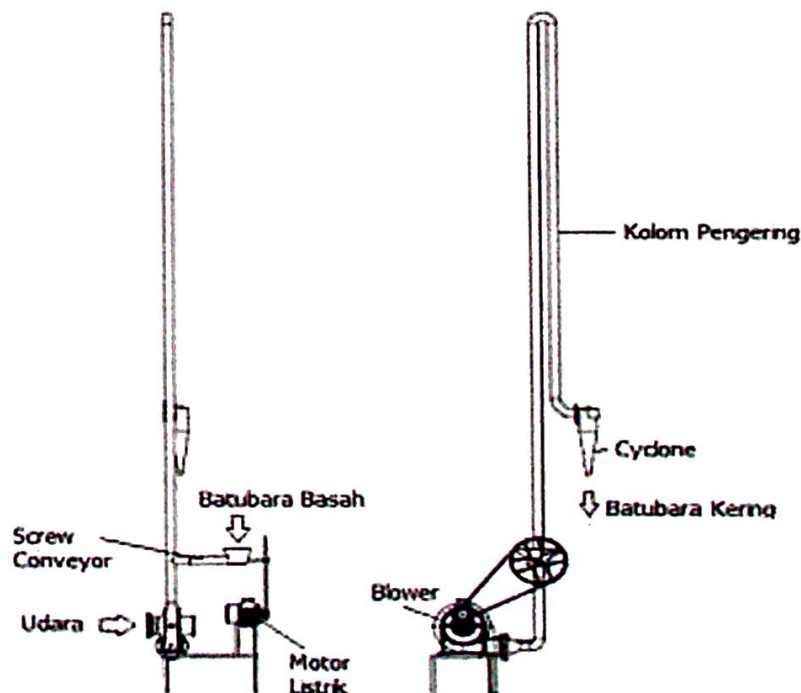
BAB 4

FLASH DRYER

Flash dryer sering juga dinamakan sebagai *pneumatic dryer* atau sebuah metode pengeringan yang sangat cepat dalam waktu yang singkat. Peralatan ini digunakan untuk proses pengeringan produk dengan cara menguapkan air permukaan produk. Peralatan ini banyak dipakai di industri pembuatan tepung dengan partikel yang sangat halus. Ukuran partikel atau *mesh* akan menentukan jumlah uap air produk yang dapat dikeluarkan. Mekanisme perpindahan kalor konduksi dan konveksi dipakai dalam menganalisis proses penguapan air permukaan produk dan *flash dryer* dikelompokkan dalam mesin pengoperasian yang kontinyu.

4.1 *Flash Dryer* dan Proses Pengeringan Batubara

Peralatan ini terdiri dari beberapa komponen penting, yaitu kolom pengering berupa pipa lurus (kolom pengering), *cyclone*, *screw conveyor*, dan *blower*. Skematik peralatan ini ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Flash Dryer*

Massa udara dengan kondisi temperatur dan kelembaban relatif tertentu yang dipengaruhi oleh cuaca saat pengukuran, dihisap oleh blower untuk mengeringkan batubara dalam kondisi basah dengan kandungan uap air (*moisture content*) tertentu. Batubara yang dimasukan melalui saluran pemasukan didorong oleh *screw conveyor* masuk ke dalam kolom pengering. Oleh karena, dorongan udara akan ke luar melalui saluran siklon (*cyclone*) yang memisahkan antara gas dan batubara kering, gas ke luar ke atas dan batubara kering ke bawah. Peristiwa pengeringan batubara ini dikatakan juga sebagai *coal upgrading* atau peningkatan nilai kalori batubara dengan cara mengeluarkan kandungan uap air yang ada dalam batubara. *Flash dryer* juga dimungkinkan dipakai secara khusus untuk sebuah proses dengan kondisi partikel-partikel yang sensitif terhadap panas, mudah meledak, mudah terbakar. Salah satu alasannya adalah waktu tinggal atau *residence time* partikel-partikel yang sangat singkat dalam ukuran detik dalam kolom pengering.

Batubara yang dimasukan ke dalam kolom pengering berupa serbuk atau partikel yang memiliki ukuran atau *mesh* tertentu (lihat tabel 4.1).

Tabel 4.1 Konversi U.S *Mesh* ke satuan SI

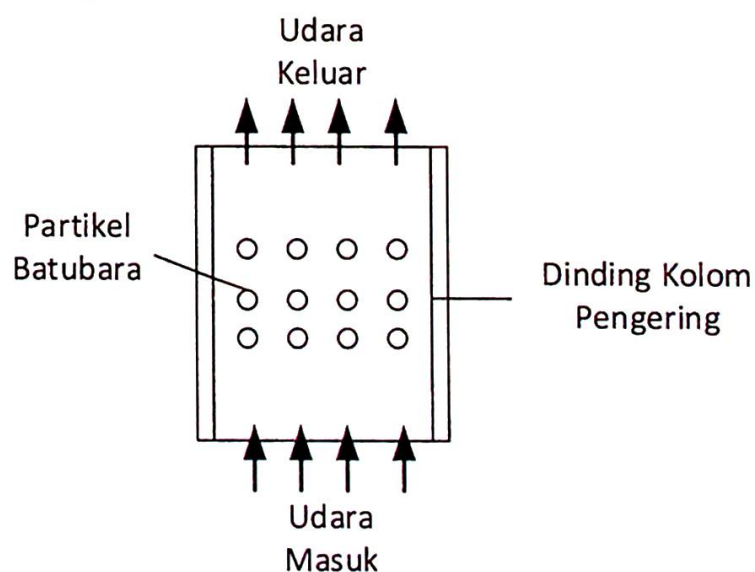
No	U.S <i>Mesh</i>	SI (mm)
1	3	6,730
2	4	4,760
3	5	4,000
4	6	3,360
5	7	2,830
6	8	2,380
7	10	2,000
8	12	1,680

Salah satu tujuan dibuatkan *mesh* agar batubara yang akan dikeringkan lebih mudah mengeluarkan uap air permukaannya. Selain itu, proses pengeringan batubara di dalam kolom pengering di *flash dryer* merupakan fenomena proses perpindahan kalor konduksi dan

konveksi. Berikut dijelaskan fenomena yang terjadi jika partikel (partikel yang dikeringkan adalah batubara) dikeringkan di dalam kolom pengering (lihat gambar 4.2). Perpindahan kalor konduksi terjadi dalam partikel menuju permukaan partikel dan perpindahan kalor konveksi terjadi dari permukaan partikel ke udara pengeringnya. Kinetika proses pengeringan dari partikel-partikel yang berada dalam kolom pengering dapat diuraikan secara umum dengan kurva-kurva laju pengeringan dan uap air partikelnya.

Ketika sebuah benda padat dikeringkan, berarti ada upaya untuk mengeluarkan air yang ada dalam benda padat tersebut dengan cara pemanasan atau pendinginan. Metode pemanasan dan pendinginan memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri-sendiri, akan tetapi kedua metode ini memiliki kesamaan yaitu membutuhkan energi dalam proses pengeringannya. Biasanya, keperluan energi untuk metode pemanasan akan jauh lebih besar dibandingkan dengan metode pendinginan.

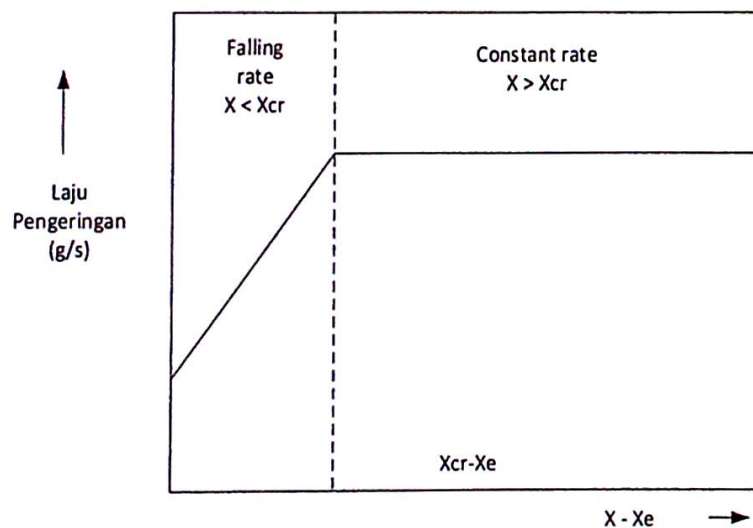
Selain itu, pada proses pengeringan dibutuhkan sebuah fluida yang mampu memindahkan air dalam benda padat tersebut dan yang sering dipakai adalah udara dan uap atau *steam*. Udara juga memiliki uap air bawaannya atau sendiri sehingga kandungan uap air yang ada dalam udara perlu diperhatikan ketika menganalisis proses pengeringan menggunakan udara.



Gambar 4.2 Skema Proses Pengeringan Partikel Batubara

Demikian juga, jika menggunakan uap sebagai fluida pengering. Uap juga masih mengandung air walau dalam jumlah yang sedikit. Dengan bantuan peralatan blower, udara dengan kecepatan, temperatur, dan kelembaban yang dimilikinya akan mengeluarkan uap air dalam benda padat. Laju pengeringan (*drying rate*) dan jumlah uap air (*moisture*) dari benda padat yang mampu dikeluarkan merupakan 2 (dua) komponen penting dalam proses pengeringan.

Terdapat 2 (dua) mekanisme pengeringan yang dapat diamati yaitu *Constant Rate* dan *Falling Rate* (lihat gambar 4.3). Gambar 4.3 berdasarkan proses pengeringan dalam peralatan *Batch dryer* dengan bahan partikel adalah PVC (6514) dan partikelnya berdiameter 140 μm . Mekanisme *Constant Rate* adalah proses pengeringan dengan laju yang konstan. Sedangkan *Falling Rate* adalah proses pengeringan dengan laju yang bertambah atau terjadi kenaikan kurva pengeringannya (Baeyens, 1995).



Gambar 4.3 Kurva Laju Pengeringan Partikel Benda Padat

Mekanisme pengeringan uap air dari partikel-partikel diawali dengan terjadinya difusi uap ke lingkungannya dari permukaan partikel menembus sebuah lapisan *film* udara pengeringnya. Dengan cara ini hanya uap air permukaan saja yang dapat diuapkan atau dikeluarkan dari partikel-partikel tersebut. Mekanisme pemindahan uap air adalah ekuivalen terhadap penguapan dari sebuah partikel dan mekanisme ini

tidak tergantung kondisi alami partikel tersebut, tetapi bergantung pada kondisi permukaan luar partikel saja.

Selanjutnya, laju pengeringan uap air partikel dikontrol oleh laju perpindahan kalor konveksi. Temperatur permukaan partikel sama dengan temperatur bola basah atau *wet bulb temperature* (T_{wb}). Sedangkan, periode proses pengeringan awal dapat dijelaskan oleh persamaan perpindahan kalor konveksi dengan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi sebagai fungsi temperatur. Berikut persamaan perpindahan kalor konveksi:

$$q_{konv} = h A (T_a - T_p) = h A (T_a - T_{wb}) \quad (4-1)$$

h = koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2.K$)

A = luas permukaan partikel (m^2)

T_a = temperatur udara atau gas atau uap (K)

$T_p = T_{wb}$ = temperatur permukaan partikel atau bola basah (K)

Fenomena pengeringan terdiri dari periode laju pengeringan awal dalam kondisi konstan yang dibatasi sampai tingkat kandungan uap air lebih besar dibandingkan kandungan uap air kritisnya. Setelah itu, pemindahan uap air melalui pori-pori bagian dalam benda yang dikeringkan mendominasi proses ini (bergantung pada sifat-sifat alami yang dimiliki oleh benda yang dikeringkan). Pemindahan uap air dari bagian dalam ini melalui mekanisme difusi dan kapilaritas. Umumnya, periode pengeringan ini memberikan waktu yang agak lama. Sedangkan, untuk proses pengeringan di *flash dryer* yang sangat singkat, kadangkala pemindahan uap air melalui pori-pori ini diabaikan, terutama untuk partikel-partikel yang dikeringkan mempunyai ukuran kecil seperti tepung.

Untuk itu, ada 3 (tiga) tahapan yang perlu diperhatikan dalam proses pengeringan, yaitu data-data dasar, analisis termodinamika, dan analisis hidrodinamik. Dalam proses pengeringan batubara peringkat rendah khususnya, dibutuhkan persamaan-persamaan matematis, seperti persamaan balans energi, bilangan Nusselt, bilangan Reynolds, dan bilangan Prandtl. Balans energi dikaitkan antara udara panas yang

diberikan ke partikel-partikel batubara untuk mengeluarkan uap air di dalamnya. Oleh karena itu, dibutuhkan data-data antara lain, kapasitas partikel dan udara, temperatur partikel, sifat-sifat udara, uap air, dan partikel. Selain itu, diperlukan juga data-data hidrodinamik, seperti densitas dan viscositas udara, diameter partikel, densitas partikel, kekerasan dan ketahanan terhadap erosi. Data-data psikrometrik udara dan partikel-partikel yang dikeringkan juga diperlukan, seperti kandungan uap air, kelembaban relatif, dan temperatur saat masuk *flash dryer*. Demikian pula, diperlukan data partikel-partikel yang akan dikeringkan, seperti kandungan uap air kritis. Selama kandungan uap air kritis bergantung pada kondisi proses pengeringan, penentuannya direncanakan sesuai desain yang digunakan. Untuk flash dryer yang hanya mengeluarkan uap air permukaan saja, kandungan uap air ke luar harus lebih besar daripada kandungan uap air kritisnya. Selanjutnya, data geometri *flash dryer* dibutuhkan, seperti panjang dan diameter yang disesuaikan dengan kondisi ruangan di lapangan dan faktor teknis lainnya.

Menurut (Mills, 2004) bahwa tipe partikel yang dikeringkan dalam sebuah pipa dengan udara kecepatan tinggi memiliki beberapa kriteria yang perlu dicermati. Pertama, untuk partikel halus dibutuhkan kecepatan udara atau *conveying air velocity* sebesar 12 m/s, untuk partikel granular halus diperlukan kecepatan udara 16 m/s, dan untuk partikel yang ukurannya lebih besar dan mempunyai kerapatan yang tinggi dibutuhkan kecepatan udara lebih besar lagi. Selain itu, sepanjang pipa juga terjadi penurunan tekanan dan laju aliran volumetrik bertambah. Pemodelan termodinamika dapat dirumuskan:

$$\frac{p_1 \dot{V}_1}{T_1} = \frac{p_2 \dot{V}_2}{T_2} \quad (4-2)$$

p = tekanan udara absolut ($\text{kN/m}^2 \cdot \text{abs}$)

$\dot{V}$ = laju aliran udara (m^3/s)

T = temperatur (K)

Jika $T_1 = T_2 = T = \text{konstan}$, dirumuskan:

$$p_1 \dot{V}_1 = p_2 \dot{V}_2 \quad (4-3)$$

Kecepatan partikel dalam kolom pengering dipengaruhi oleh gaya angkat atau *drag force*. Untuk itu, perlu diperhatikan keadaan partikel tersuspensi dalam udara, kecepatan partikel akan lebih kecil dibandingkan kecepatan udara, sebaiknya kecepatan partikel diukur. Jika kolom pengering diletakkan secara vertikal, disarankan kecepatan partikel sama dengan 0,7 kecepatan udara dan bila diletakkan secara horizontal, kecepatan partikel sama dengan 0,8 kecepatan udara. Besaran nilai konstanta 0,7 dan 0,8 ditentukan berdasarkan ukuran partikel, bentuk partikel, dan densitas udara. Demikian pula, penurunan tekanan terjadi di titik umpan partikel dan belokan pipa (kecenderungan partikel membentur bagian belakang belokan yang menyebabkan terjadinya perlambatan kecepatan partikel).

Selanjutnya, rasio pembebanan benda padat atau *solids loading ratio* ($\emptyset$) adalah sebuah parameter yang berguna untuk memvisualisasi aliran. Rasio pembebanan benda padat adalah rasio laju aliran massa partikel yang dialirkan dibagi dengan laju aliran massa udara untuk membawa partikel tersebut. Bentuk persamaan tak berdimensinya dirumuskan:

$$\emptyset = \frac{\dot{m}_p}{3,6 \dot{m}_a} \quad (4-4)$$

$\dot{m}_p$ = laju aliran massa partikel (ton/h)

$\dot{m}_a$ = laju aliran massa udara (kg/s)

Nilai rasio pembebanan benda padat bergantung pada ukuran pipa, beda tekanan, vertikal atau horizontal dan kecepatan udara. Semakin tinggi nilai $\emptyset$, beda tekanan semakin meningkat pula.

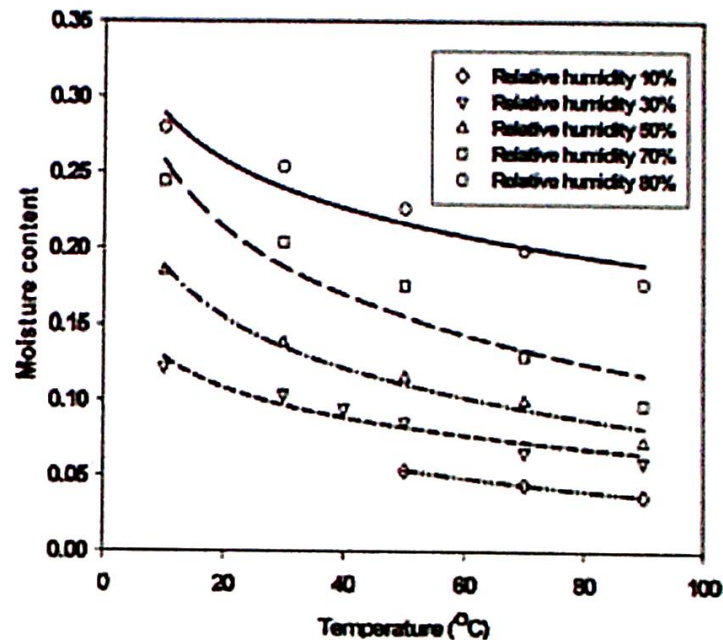
Lebih lanjut, saat membahas partikel yang dikeringkan adalah batubara energi rendah atau *low rank coal*, menarik untuk mengetahui lebih jauh keadaan kandungan uap air yang ada dalam batubara itu sendiri. Menurut Karthikeyan (2009) bahwa tipe air di dalam batubara terdiri dari (1) *Interior adsorption water*, (2) *Surface adsorption water*, (3) *Capillary water*, (4) *Interparticle water*, dan (5) *Adhesion water*. *Interior adsorption water* merupakan air yang terkandung dalam pori-pori dan saluran-saluran yang kecil dalam setiap partikel batubara,

diendapkan selama pembentukan batubara tersebut. *Surface adsorption water* merupakan air yang terkandung pada permukaan batubara yang membentuk lapisan molekul air yang berdekatan dengan molekul batubara, tetapi hanya pada permukaan partikelnya saja. *Capillary water* merupakan air yang terkandung dalam kapiler dan celah-celah kecil ditemukan antara dua atau lebih partikel. *Interparticle water* merupakan air antar partikel terkandung dalam kapiler dan celah-celah kecil ditemukan antara dua atau lebih partikel. *Adhesion water* merupakan air adhesi yang membentuk lapisan atau film di sekitar permukaan partikel individu atau mengelompok.

Proses pengeringan batubara peringkat rendah juga mengeluarkan senyawa organik yang sebagiannya berbahaya buat lingkungan bila melewati ambang batas yang dipersyaratkan oleh peraturan perundang-undangan. Park (2014) meneliti efisiensi pengeringan batubara Indonesia tipe *lignite* memakai peralatan pengering *Batch-Circulating Fluidized Bed* dengan kandungan air 35 wt%, variasi temperatur 80 – 150 °C, dan kecepatan gas 2 – 2,7 m/s. Perubahan-perubahan *moisture content* batubara sebelum dan setelah eksprimen dikarakteristikkan menggunakan analisis proksimat, analisis ultimat, *Higher Heating Value* (HHV), *Lower Heating Value* (LHV), analisis dimensi partikel, dan keseimbangan *moisture content*. Penelitian ini menghasilkan penurunan *moisture content* 70 – 80 wt% (*wet basis*, wb) ketika kecepatan gas naik 2 m/s dan temperatur gas nya 150 °C. Penggunaan model matematik yang sederhana juga telah dipakai untuk memprediksi perilaku pengeringan batubara ini dan dibandingkan dengan hasil-hasil eksprimen yang telah dilakukan. Berikut gambar 4.4 menjelaskan kurva Keseimbangan *moisture content* batubara jenis *lignite* sebagai sebuah fungsi temperatur dan kelembaban relatif memakai peralatan pada batas temperatur konstan dan kelembaban relatif konstan.

Batubara peringkat rendah ini memiliki nilai jual yang rendah sehingga lebih banyak digunakan langsung untuk bahan bakar di PLTU dengan menggunakan teknologi pengeringan sebelum dibakar di ruang bakar. Teknologi pengeringan cukup bermacam-macam yang digunakan, dimulai yang paling sederhana menyimpan batubara dalam

sebuah rumah *stockpile* sampai menggunakan peralatan pengering khusus, seperti *Fluidized Bed Dryer*, *Rotary dryer*, *Conveyor Dryer*, *Spray Dryer*, *Flash Dryer*, dan lainnya.



Gambar 4.4 Keseimbangan *moisture content* batubara jenis lignite-fungsi temperatur dan kelembaban relatif (Park, 2014)

Kadangkala di lapangan, batubara peringkat rendah dicampur dengan batubara peringkat yang lebih tinggi agar mampu menghasilkan nilai kalor yang dipersyaratkan dalam proses pembakaran. Saat ini, teknologi CFB (*Circulated Fluidized Bed*) banyak digunakan. Cara kerja teknologi CFB adalah membakar batubara peringkat rendah secara kontinyu (mengatur kecepatan dan tekanan udara pembakaran) dengan mensirkulasi sisa batubara dalam bentuk padat masuk kembali ke ruang bakar dan abunya ditangkap sebelum ke luar ke cerobong. Salah satu yang meneliti *Rotary Dryer* adalah Chun (2012) yang menghasilkan efisiensi yang tinggi. Sedangkan, waktu tunggu atau *residence time* dan kebutuhan energi dalam proses pengeringan merupakan faktor yang diperhitungkan dalam merancang sebuah peralatan pengering. Penelitian pengeringan batubara juga dilakukan oleh Guldogan (2002), Tahmasebi (2012), Kim (2013), Liu (2015), Komatsu (2015).

4.2 Kebutuhan Energi untuk Proses Pengeringan

Sebuah proses pengeringan membutuhkan energi yang cukup besar, rata-rata hampir 10-20% industri pengeringan memakai energi dari total kebutuhan energi sebuah negara, terutama untuk mensuplai panas laten bagi penguapan air dari sebuah produk yang akan dikeringkan (Kemp, 2012). Ada 3 (tiga) cara untuk mengurangi kebutuhan energi untuk proses pengeringan, yaitu mengurangi beban penguapan, menambah efisiensi pengering, dan memperbaiki sistem suplai energi.

Berikut persamaan-persamaan yang memiliki hubungan dalam mengurangi kebutuhan energi:

1) Beban Penguapan

Persamaan jumlah energi minimum yang disuplai untuk proses pengeringan:

$$E_{v,min} = M_v \Delta H_v \quad (1)$$

Kadangkala cukup memakai persamaan laju suplai panas untuk proses pengeringan:

$$Q_{v,min} = W_v \Delta H_v \quad (2)$$

Untuk sebuah proses kontinyu:

$$Q_{v,min} = W_s (X_{in} - X_{out}) \Delta H_v \quad (3)$$

Untuk sebuah proses yang tidak kontinyu:

$$Q_{v,min} = M_s \left(\frac{-dX}{dt} \right) \Delta H_v \quad (4)$$

di mana:

ΔH_v = entalpi evaporasi spesifik (J/kg)

W_v = laju penguapan / evaporasi (kg/s)

2) Suplai Energi Pengering

Untuk sebuah alat pengering konveksi kontinyu menggunakan udara panas, udara panas yang bersumber dari peralatan pemanas:

$$Q_{heater} = W_g c_{pg} (T_{g,in} - T_{g,a}) \quad (5)$$

$T_{g,in}$ = temperatur udara masuk alat pemanas

$T_{g,a}$ = temperatur udara yang disuplai/ke luar alat pemanas

Balans energi yang sederhana pada alat pengering kontinyu bahwa panas yang diberikan oleh udara panas $\approx$ beban evaporasi + panas sensibel benda padat + rugi-rugi panas:

$$W_g C_{Pg} (T_{g,in} - T_{g,out}) \approx W_s (X_{in} - X_{out}) \Delta H_v + W_s C_{Ps} (T_{g,out} - T_{g,in}) + Q_{loss} \quad (6)$$

$$Q_{heater} = \frac{(T_{g,in} - T_{g,out})}{(T_{g,in} - T_{g,out})} [W_s (X_{in} - X_{out}) \Delta H_v + Q_{s,sens} + Q_{loss}] \quad (7)$$

$T_{g,out}$ = temperatur rata-rata

Panas laten bervariasi dengan temperatur, rata-rata kebutuhan evaporasi panas laten adalah 2.501 kJ/kg pada 0 °C dan 2.256 kJ/kg pada 100 °C, pada temperatur ambien sekitar 20 °C dibutuhkan 2.400 kJ/kg. Untuk itu, proses pengeringan atau mengeluarkan air dari sebuah benda padat membutuhkan energi minimum absolut sebesar 2.400 kJ/s atau 2.400 kW.

BAB 5

BATUBARA PERINGKAT RENDAH

Menurut Krevelen (1981) bahwa di dalam struktur bumi, unsur carbon hampir tidak lebih layaknya seperti sebuah elemen jejak, terbagi dalam total massa yang begitu kecil hanya sebesar 0,04 persen. Bahkan kandungan karbon dari kerak bumi (di kedalaman sekitar 5.000 meter) tidak melebihi hanya 0,1 persen. Akan tetapi unsur carbon merupakan sebuah elemen yang sangat penting, selain dibutuhkan di bumi ini juga kadang kala merugikan. Keberadaan carbon dibutuhkan dikarenakan fungsi utamanya adalah untuk proses pembakaran. Keberadaan carbon sangat banyak dalam batubara sehingga orang berlomba-lomba memanfaatkan batubara untuk proses pembakaran, misal untuk memanaskan air menjadi uap, uap diubah menjadi energi kinetik dalam turbin uap dan turbin uap menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Sebaliknya, salah satu dampak negatif hasil pembakaran adalah emisi hasil pembakaran berupa gas beracun, CO_2 , CO , NO_x , dan SO_x . Bila emisi ini besar akan berdampak terhadap lingkungan hidup, akan tetapi Allah SWT telah menciptakan penangkal mengatasi emisi ini yaitu tumbuh-tumbuhan dan lainnya yang mampu menyerap emisi khususnya CO_2 dan tumbuh-tumbuhan akan mengeluarkan O_2 untuk kebutuhan makhluk hidup termasuk manusia. Demikianlah, siklus yang telah diciptakan-Nya sehingga bumi ini tetap terjaga keseimbangannya. Apabila keseimbangan ini terabaikan maka akan terjadilah bencana, seperti longsor, banjir, kekeringan, gelombang tinggi air laut, musnahnya habitat hewani dan nabati maupun lainnya yang merupakan unsur-unsur yang sangat diperlukan manusia untuk keberlangsungan hidupnya.

Pertambahan populasi penduduk dan pertumbuhan ekonomi dunia yang semakin tahun semakin meningkat telah menambah kebutuhan akan energi dunia. Bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, batubara, dan gas memiliki keterbatasan cadangannya di dunia mengingat membutuhkan waktu yang lama untuk terciptanya energi fosil ini. Sebaliknya, tidak bisa dihindari bahwa bertambahnya pemakaian energi dunia ini akan membuat bertambahnya emisi gas

beracun ke lingkungan bila tidak dikendalikan sebelum dilepas ke atmosfer. Isu *Global Warning* merupakan sebuah bentuk kekhawatiran masyarakat dunia akan meningkatnya temperatur bumi akibat rusaknya lapisan ozon di atmosfer. *Global warning* adalah pemanasan global berupa kenaikan temperatur muka bumi global. Salah satu dampaknya adalah perubahan iklim, perubahan variabel iklim yang terjadi secara berangsur-angsur dalam jangka waktu antara 50 sampai 100 tahun. Variabel iklimnya berupa temperatur udara, kelembaban udara, tekanan atmosfer, kondisi awan, intensitas sinar matahari, curah hujan, dan angin. Aktivitas manusia maupun aktivitas alam itu sendiri akan menciptakan terjadinya pemanasan global. Beberapa aktivitas ini yang berkontribusi pada kenaikan temperatur bumi, seperti meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca dan terjadi percepatan penipisan lapisan ozon. Kegiatan penggunaan bahan bakar kayu, minyak bumi, gas alam dan batubara oleh industri, kendaraan bermotor, pembakaran hutan, dan rumah tangga menghasilkan emisi berupa gas CO₂ atau karbon dioksida. Sedangkan proses pengangkutan batubara, minyak bumi, dan gas alam dapat menghasilkan gas CH₄ atau *methane*. Termasuk kegiatan industri yang menghasilkan bahan baku, pembakaran biomassa yang tidak sempurna, serta kegiatan penguraian oleh bakteri di tempat pembuangan akhir, ladang padi, dan peternakan. Terakhir, kegiatan pemakaian pupuk nitrogen yang berlebihan di dalam usaha penanaman padi menghasilkan gas N₂O atau Nitrous Oksida. Penyumbang terbesar dari ketiga kegiatan ini adalah gas CO₂ dan CH₄. Sedangkan, bahan-bahan yang merusak lapisan ozon terdiri dari kegiatan industri pendingin udara, seperti kulkas dan *Air Conditioning* atau disingkat AC, pesawat terbang, katalisator proses industri, bahan pencegah kebakaran, dan fumigasi yang menggunakan CFC, Halon, Aerosol, Solvent, dan Metil Bromida.

Batubara adalah sumber daya alam berupa energi yang sangat diminati saat ini mengingat batubara memiliki nilai jual yang relatif stabil dibandingkan sumber daya alam bentuk energi fosil lainnya. Berbagai cara dilakukan untuk memanfaatkan batubara khususnya yang memiliki kadar air atau *moisture content* yang tinggi yang dikenal dengan batubara peringkat rendah atau *low rank coal*,

disingkat LRC. LRC ini kadangkala dinamakan batubara energi rendah dikarenakan nilai kalorinya rendah. *Upgrading* LRC merupakan solusi yang saat ini banyak digunakan agar terjadi peningkatan nilai kalor batubara tersebut. Salah satu cara adalah membuat briket atau biobriket. Briket merupakan blok bahan yang dapat dibakar yang digunakan sebagai bahan bakar untuk memulai dan mempertahankan api. Sedangkan, biobriket memiliki fungsi yang sama akan tetapi merupakan pencampuran batubara dengan bahan lain, seperti tempurung kelapa, cangkang sawit, sekam padi, dan limbah-limbah pertanian lainnya yang memiliki cukup untuk mampu meningkatkan nilai kalori biobriket. Pemanfaatan limbah biomassa ini merupakan solusi yang menguntungkan dikarenakan energi dari biomassa dikategorikan sebagai energi baru terbarukan. Biomassa adalah sumber energi alami yang selalu dapat diperbarui dan cadangan energi yang selalu tersedia. Bila limbah biomassa ini dicampur dengan LRC untuk menghasilkan biobriket akan mampu meningkatkan nilai kalor dan memperlambat pemakaian batubara itu sendiri. Standar biobriket yang dipakai dalam pengujian briket dan biobriket adalah Standar Nasional Indonesia atau SNI atau standar yang dibuat oleh negara-negara lain sesuai mutu yang diinginkan.

Batubara identik dengan banyaknya jumlah unsur karbon yang dimilikinya. Kata karbon berasal dari kata latin *carbo* yang berarti batubara. Unsur yang terbesar dari batubara adalah karbon atau simbol kimianya adalah C yang memiliki nomor atom 6 dengan 4 elektron valensi yang akan digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Selain itu, karbon adalah unsur yang menduduki peringkat ke empat di alam semesta setelah hidrogen, helium, dan oksigen. Di dalam struktur bumi, karbon menduduki peringkat ke lima belas di kerak bumi, dan yang paling menakjubkan adalah karbon menduduki peringkat ke dua dalam tubuh manusia. Menakjubkan sekali bahwa karbon ditemukan di atmosfer bumi dalam bentuk karbon dioksida atau CO_2 .

Meskipun kecil persentasinya dalam atmosfer akan tetapi memainkan peran yang sangat penting untuk keberlangsungan kehidupan makhluk di dunia, termasuk karbon dioksida digunakan oleh tanaman selama proses fotosintesis dan alga laut juga menyerap karbon

dioksida untuk proses fotosintesis. Uniknya, alga yang tadi menyerap karbon dioksida melepaskan kembali karbon dioksida tersebut lalu alga tadi mati. Tanaman menyerap karbon dioksida yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara oleh industri dan tanaman mengeluarkan oksigen atau O_2 untuk kebutuhan makhluk hidup termasuk manusia. Tanaman yang sudah tua melalui proses yang panjang dalam lapisan bumi akan menghasilkan batubara. Batubara digunakan untuk membangkitkan energi oleh manusia dalam menjalankan kehidupannya. Siklus ini berputar seperti roda yang tidak pernah berhenti, keseimbangan siklus karbon dioksida yang hakiki ini adalah bukti kebesaran Sang Pencipta alam ini.

Kembali ke topik utama, batubara merupakan salah satu andalan sumber energi yang berasal dari fosil oleh banyak negara di dunia. Saat ini, Indonesia mengandalkan batubara dikarenakan cadangannya yang cukup besar di Pulau Kalimantan dan Sumatera. Secara umum, batubara juga dikenal dari warna fisiknya yang berwarna hitam gelap sehingga dikategorikan dalam bentuk arang oleh masyarakat kebanyakan.

Berikut diperlihatkan perbandingan nilai energi yang terkandung dalam setiap 1 kg dari masing-masing jenis bahan bakar dengan pembandingnya untuk 1 kWh listrik sama dengan 3,6 MJ.

Tabel 5.1 Perbandingan Energi Jenis-Jenis Bahan Bakar

No	Jenis Bahan Bakar	Energi (MJ)
1.	Batubara Peringkat Rendah (<i>Brown Coal</i>)	9,0
2.	Kayu (<i>Wood</i>)	14,7
3.	Batubara Peringkat Tinggi (<i>Hard Coal</i>)	29,3
4.	Gas Alam (<i>Natural Gas</i>) (setara 1 m ³)	31,7
5.	Minyak (<i>Fuel Oil, Light</i>)	42,7
6.	Premium (<i>Gasoline</i>)	43,5

5.1 Klasifikasi Batubara

Menurut Krevelen (1981) bahwa klasifikasi batubara dimulai ketika pada abad ke 19 terjadi revolusi industri dengan kebutuhan akan

bahan bakar untuk menjalankan ketel uap, yaitu batubara ringan (*bright coal*), batubara hitam (*black coal*), dan batubara coklat (*brown coal*). Pengklasifikasian batubara ini terus berlanjut hingga diputuskan untuk membuat sebuah klasifikasi yang berstandar internasional, mengingat batubara juga merupakan salah satu potensi untuk diperdagangkan oleh setiap negara yang memiliki batubara.

Beberapa standar internasional (Nasir, 2012) mengenai klasifikasi batubara adalah klasifikasi ASTM, International, NCB, Australia, Jerman, Rusia, China, dan Jepang. Klasifikasi ASTM terdiri dari Antrasit, Bituminus, Subbituminus, dan lignit. Antrasit dikelompokkan dalam *meta-antrasit*, *antrasit*, *semi-antrasit*; Bituminus dikelompokkan dalam *low volatile bituminus coal*, *medium volatile bituminus coal*, *high volatile A bituminus coal*, *high volatile B bituminus coal*, *high volatile C bituminus coal*; Subbituminus dikelompokkan dalam *subbituminus A coal*, *subbituminus B coal*, dan *subbituminus C coal*; dan lignit dikelompokkan dalam *lignit* dan *brown coal*. Klasifikasi batubara internasional terdiri dari *Hard Coal* dan *Brown Coal/Lignite*. Klasifikasi NCB atau *National Coal Board* terdiri dari kadar zat terbang, kode peringkat batubara, dan nama batubara. Klasifikasi batubara Australia terdiri dari *low rank coal* dan *high rank coal*. Klasifikasi batubara Jerman atau DIN mengelompokkan batubara berdasarkan kandungan zat volatil dan nilai kalor batubara. Klasifikasi batubara Rusia dikelompokkan menjadi batubara jenis Bituminus dan antrasit, jenis lignit dan subbituminus. Klasifikasi batubara China didasarkan *volatile matter* yang dimiliki oleh batubara tersebut. Klasifikasi batubara Jepang berdasarkan JIS atau Japan Industrial Standard yaitu atas nilai kalor batubara.

Melalui kebijakan energi nasional, pemerintah Republik Indonesia telah mencanangkan peningkatan pemakaian batubara untuk kepentingan dalam negeri dan mulai mengurangi ekspor batubara. Penggunaan energi yang bersumber dari batubara akan ditingkatkan sekitar 33 % dari total energi Indonesia pada tahun 2025. Saat ini, mendekati 70% produksi batubara Indonesia dimanfaatkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai bahan bakar pembangkit

listrik, 10% untuk pembuatan semen, dan sisanya untuk bahan bakar industri atau proses metalurgi (Arif, 2014).

Provinsi Sumatera Selatan sebagai salah satu penghasil batubara di Indonesia memiliki potensi untuk mendukung kebijakan nasional tersebut. Potensi cadangan batubara yang dimiliki oleh Provinsi Sumatera Selatan yang terbesar berkualitas rendah atau *lignite* atau *brown coal* hingga *subituminous* dengan kandungan kalori 5.000 – 6.500 kcal/kg tetapi memiliki kadar *sulfur* dan *ash* rendah. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia atau SNI (SNI13-6011-1999, 1999) bahwa klasifikasi batubara Indonesia dibagi menjadi dua yaitu *Brown coal* dan *Hard coal*. *Brown coal* atau batubara energi rendah adalah jenis batubara dengan peringkat paling rendah, bersifat lunak, mudah diremas, mengandung air yang tinggi (10-70%), dan terdiri atas *soft brown coal* dan *lignitic* atau *hard brown coal* yang memperlihatkan struktur kayu. Nilai kalorinya < 7.000 kalori/gram (*dry ash free-ASTM*). *Hard coal* didefinisikan sebagai semua jenis batubara yang memiliki peringkat lebih tinggi dari *brown coal*, bersifat lebih keras, tidak mudah diremas, kompak, mengandung kadar air yang relatif rendah, umumnya struktur kayu tidak tampak lagi, dan relatif tahan terhadap kerusakan fisik pada saat penanganan atau *coal handling*. Nilai kalorinya > 7.000 kalori/gram (*dry ash free-ASTM*).

Untuk itu, perlu diupayakan peningkatan kualitas batubara jenis ini. Kualitas batubara dapat diartikan sebagai sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara sering didasarkan pada maseral (komposisi tampilan mikroskopi batubara, terbentuk dari bagian-bagian tumbuhan, seperti kulit kayu, akar, dan daun) dan mineral penyusunnya, dan tingkatan kualifikasinya. Proses pembatubaraan dimulai dari tumbuh-tumbuhan mati, gambut atau *peat*, *lignite*, *sub-bituminous*, *bituminous*, dan *anthracite*. Analisis kimia yang dilakukan pada batubara menggunakan analisis *proksimat* dan *ultimat*. Analisis *proksimat* dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*). Sedangkan analisis *ultimat* dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara, seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur

tambahan, dan unsur lainnya (seperti beberapa unsur logam pengotor yang terjebak saat pembentukan batubara).

Pemanfaatan batubara dalam industri sering dikaitkan dengan nilai kalori, *total moisture*, dan kandungan abu atau *ash*. *Total moisture* batubara merupakan permasalahan tersendiri ketika berada dalam proses pembakaran dikarenakan energi banyak habis digunakan untuk membakar air dan terjadi kerak hasil pembakaran di ruang bakar sehingga mengurangi efisiensi pembakaran di ruang bakar. Untuk itu, perlu mengurangi *total moisture* dalam batubara ini dengan memprosesnya melalui peralatan pengering, seperti *rotary dryer*, *screw dryer*, *flash dryer*, dan lainnya. Fluida yang dipakai untuk mengeringkan kadar uap air dalam batubara ini juga bermacam-macam. Udara dan uap panas merupakan fluida yang banyak dipakai untuk mengeluarkan kadar uap air dalam batubara.

Selain itu, menurut (Cahyadi, 2015) bahwa batubara memiliki 6 (enam) sifat, yaitu sifat kimia, sifat fisis, sifat mekanis, sifat termal, sifat listrik, dan sifat abu. Sifat kimia batubara diperoleh dari analisis proksimat dan ultimat. Analisis proksimat terdiri dari kandungan air, zat terbang, kadar abu, dan karbon tetap. Analisis ultimat digunakan untuk mengetahui unsur-unsur, seperti karbon, hidrogen, nitrogen, dan sulfur. Sifat fisis yang dimiliki batubara, yaitu berat jenis, porositas, struktur pori, dan reflektivitas. Sifat mekanis yang dimiliki batubara, yaitu *grindability* (untuk menghancurkan batubara), *friability* (tes kekuatan), *dustiness index* (tes jumlah debu), *hardness* (kekerasan), dan *elastisitas* (kualitas). Sifat termal yang dimiliki batubara, yaitu nilai kalor, kapasitas panas, *indeks swelling* (mengukur kecenderungan batubara membengkak akibat pembakaran), konduktivitas panas, plastisitas, dan indeks Agglomerasi (penggumpulan). Sifat listrik yang dimiliki batubara, yaitu resistivitas listrik, konstanta dielektrik, dan sifat magnetik. Sifat abu yang dimiliki batubara, yaitu analisa oksida logam, analisa mineralogi, *ash fusibility*, dan karakteristik *slagging* dan *fouling* (kemampuan batubara membentuk deposit abu dan kerak).

5.2 Gambut

Pembentukan batubara dapat dibagi dalam 2 (dua) tahapan, yaitu penggambutan atau *peatification* dan pembatubaraan atau *coalification*. Gambut atau *peat* merupakan tahapan awal batubara mulai terbentuk. Keberadaan gambut berada di kawasan rawa dan daerah yang memiliki iklim tropis yang lama dalam setahun akan mempercepat terbentuknya gambut. Singkatnya, proses pembentukan gambut dimulai dari tumbuhan-tumbuhan tua yang mati dan menumpuk di kawasan rawa, makin lama semakin tebal, terjadi pula penurunan dasar rawa, diuraikan oleh bakteri. Menurut (Arif, 2014) terjadi penguraian dalam kondisi anaerob menjadi karbon dioksida, air, dan asam *humic*. Proses ini dikatakan *humifikasi* dengan gambut sebagai hasil akhirnya. Sumatera Selatan memiliki lahan gambut yang luas dan sering menimbulkan masalah ketika musim kemarau dikarenakan lahan gambut mudah terbakar.

5.3 Batubara Lignit

Setelah terbentuknya gambut, tahapan selanjutnya adalah pembentukan batubara. Perubahan gambut menjadi batubara dikarenakan adanya pengaruh tekanan dan temperatur serta waktu proses biokimia, fisik, dan kimia yang sangat lama sehingga terjadi peningkatan kandungan karbon tetapi terjadi penurunan kadar air dan oksigen (Arif, 2014). Selanjutnya, gambut akan berubah menjadi lignit. Lignit juga sering dinamakan *brown coal* yang dikategorikan sebagai batubara peringkat rendah di mana kedudukan lignit dalam tingkat klasifikasi batubara berada pada daerah transisi dari jenis gambut ke batubara. Lignit adalah batubara yang berwarna hitam dan memiliki tekstur seperti kayu. Kadangkala, lignit dikatakan sebagai batubara muda yang kandungan airnya masih cukup tinggi.

5.4 Batubara Subbituminus

Batubara subbituminus merupakan jenis batubara peralihan antara jenis *lignite* dan *bitumine*. Batubara jenis ini memiliki warna hitam yang mempunyai kandungan air, zat terbang, dan oksigen yang masih tinggi serta memiliki kandungan karbon yang rendah. Sifat-sifat

tersebut menunjukkan bahwa batubara jenis ini merupakan batubara peringkat rendah atau batubara energi rendah.

5.5 Batubara Bituminus

Batubara jenis ini merupakan batubara yang berwarna hitam dengan tekstur ikatan yang baik. Nilai kalor batubara ini cukup tinggi sehingga banyak diminati oleh perusahaan yang bergerak di sektor pembangkit listrik sebagai bahan bakar untuk memanaskan air menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi di bagian ketel uap atau boiler. Selanjutnya, uap ini dapat digunakan pada turbin uap untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.

5.6 Batubara Antrasit

Antrasit merupakan batubara paling tinggi tingkatan dengan kandungan karbon lebih dari 93% dan kandungan zat terbang kurang dari 10%. Antrasit memiliki sifat yang keras, kuat, dan berwarna hitam mengkilat sehingga dipakai untuk pemanas, dijadikan kokas, dan memproduksi gas.

5.7 Analisis Proksimat

Analisis proksimat adalah salah satu analisis kimia untuk mengetahui kandungan zat dan unsur dari suatu sampel bahan. Satu sampel hasil analisis merupakan kumpulan dari beberapa zat yang mempunyai sifat yang sama (fraksi).

Menurut Simorangkir (2013) bahwa analisis proksimat batubara bertujuan untuk menentukan kadar air dalam batubara (*moisture content*) ini mencakup nilai *free moisture*, *total moisture*, abu (*ash*), zat terbang (*volatile matter*), dan karbon tertambat (*fixed carbon*). Batubara tidak mengandung abu, akan tetapi mengandung zat anorganik berupa mineral. Abu merupakan residu anorganik hasil proses pembakaran batubara yang terdiri dari oksida logam, seperti Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O dan senyawa-senyawa non logam, seperti silika oksida atau SiO_2 , kalsium oksida (CaO), karbonat, dan mineral-mineral lainnya. Sedangkan, karbon tertambat ialah kadar karbon tetap

yang terdapat dalam batubara setelah *volatile matter* dipisahkan dari batubara.

5.8 Analisis Ultimat

Analisis ultimat batubara dilakukan untuk menentukan kadar Carbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), dan Sulfur (S) serta unsur-unsur tertentu lainnya dalam batubara.

5.9 Kadar Air Total

Menurut (Arif, 2014) bahwa kadar air total atau *total moisture* (TM) terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu kandungan air bebas (*free moisture* atau *air-dry loss*) dan kandungan air bawaan (*inherent moisture*). Kadar TM dalam % dapat dihitung dengan rumus:

$$TM = \frac{A-B}{B} \times 100 \% \quad (5-1)$$

A = berat sebelum diangin-anginkan dan dipanaskan (gram)

B = berat setelah diangin-anginkan dan dipanaskan (gram)

5.10 Kandungan Zat Terbang

Kandungan zat terbang atau *volatile matter* disingkat VM merupakan senyawa organik atau anorganik yang hilang saat batubara yang telah dihilangkan kandungan airnya dipanaskan pada temperatur tinggi dan waktu tertentu (Arif, 2014). Berdasarkan ASTM, kandungan VM ditentukan dari selisih bobot sampel batubara sebelum dan sesudah dipanaskan dengan temperatur 950 °C selama 7 (tujuh) menit dalam keadaan vakum. Kadar VM dalam % dapat dihitung dengan rumus:

$$VM = \left(\frac{A-B}{A} \times 100\% \right) \quad (5-2)$$

A = berat sampel sebelum dipanaskan (gram)

B = berat sampel setelah dipanaskan (gram)

5.11 Kadar Abu

Menurut (Arif, 2014) bahwa abu yang terkandung dalam batubara merupakan senyawa anorganik yang terkandung pada batubara sejak proses pembentukan atau terbawa pada saat proses penambangan. Abu (*ash*) batubara dihasilkan dari proses pembakaran batubara. Kadar abu batubara dapat ditentukan dengan cara pembakaran yang bertahap (60 menit pada temperatur 450 – 500 °C, berikutnya pada temperatur 700 – 750 °C). Kadar abu dalam % dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Ash} = \left(\frac{A-B}{A} \times 100\% \right) \quad (5-3)$$

A = berat contoh sebelum dipanaskan (gram)

B = berat contoh setelah dipanaskan (gram)

5.12 Kadar Karbon Tertambat

Menurut (Arif, 2014) bahwa karbon tertambat atau *fixed carbon* (FC) merupakan banyaknya karbon yang tersisa setelah *moisture*, VM, dan *ash* dihilangkan. Kadar FC dalam % dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{FC} = 100\% - \% \text{TM} - \% \text{VM} - \% \text{Ash} \quad (5-4)$$

TM = kadar total moisture (%)

VM = kadar volatile matter (%)

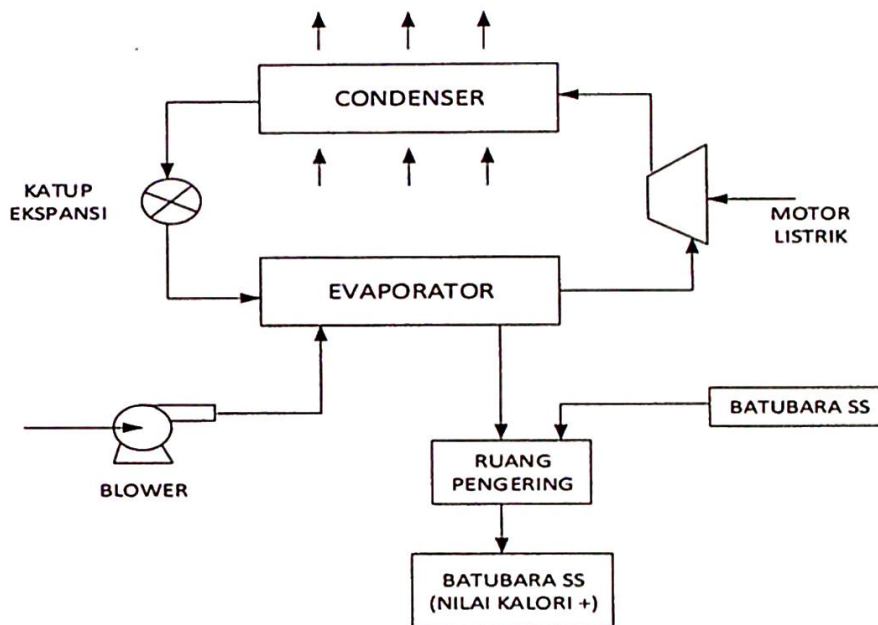
Ash = kadar abu (%)

BAB 6

DEHUMIDIFIER DAN FLASH DRYER

6.1 Pengertian *Dehumidifier* dan *Flash Dryer*

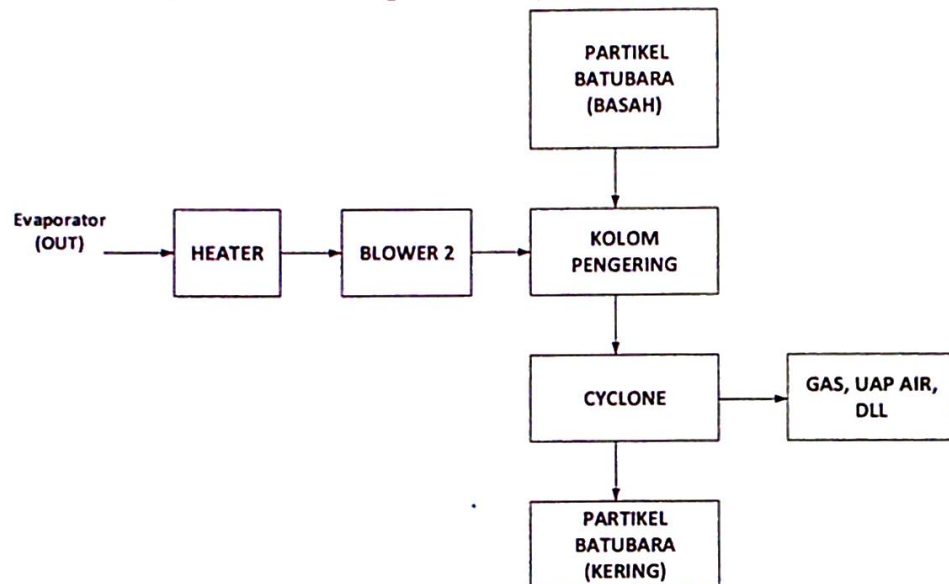
Dehumidifier dan *flash dryer* merupakan sebuah peralatan yang menggabungkan 2 (dua) teknologi dengan tujuan menurunkan kadar air partikel dengan udara kering dan laju pengeringan yang sangat cepat. Berikut skema penggabungan kedua teknologi ini.



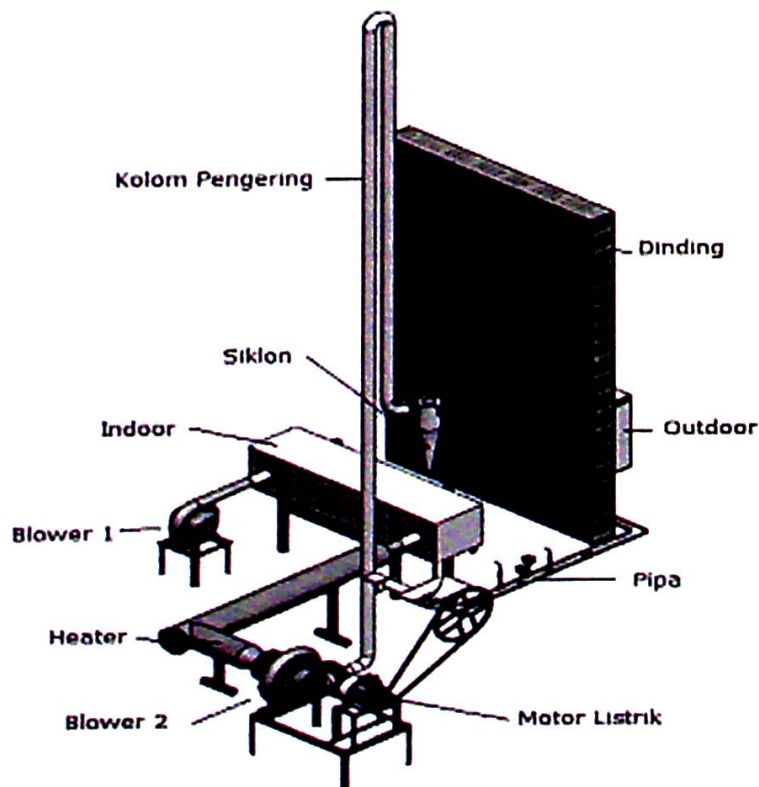
Gambar 6.1 Skema Dehumidifier dan Flas Dryer

Udara atmosfer dihisap oleh blower dan dialirkan ke pipa-pipa evaporator untuk menurunkan kadar air yang ada di dalam udara atmosfer. Udara atmosfer yang masuk evaporator memiliki temperatur dan kelembaban relatif tertentu akan diproses di evaporator. Proses di evaporator merupakan proses penyerapan sebagian energi yang dimiliki oleh udara dalam bentuk kalor. Penyerapan energi ini dilakukan oleh refrigeran yang ada dalam pipa-pipa di evaporator sehingga refrigeran masuk pipa-pipa evaporator dalam kondisi uap-cair diubah menjadi uap jenuh atau *saturated vapor* bahkan sampai uap panas lanjut atau *superheat steam* ketika keluar dari pipa-pipa evaporator apabila diinginkan.

Udara kering yang ke luar dari saluran evaporator dialirkan ke ruang pengering dalam peralatan *flash dryer* melalui pipa pemanas atau *heater* dan blower. Adapun manfaat udara kering dilalui dalam koil pemanas untuk menaikkan temperatur udara. Berikut skema proses upgrading batubara di peralatan *flash dryer* (gambar 6.3).



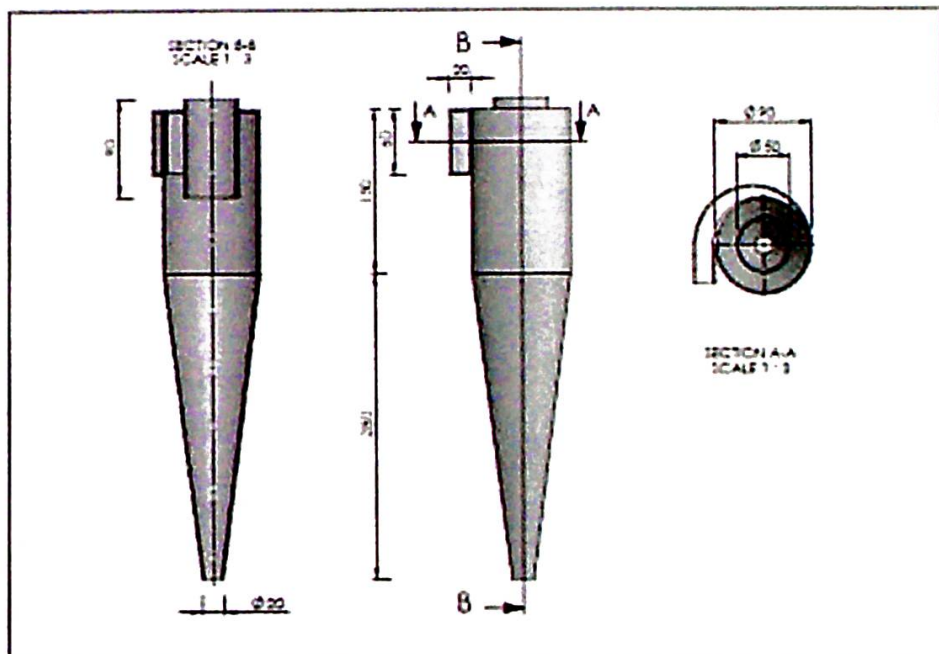
Gambar 6.2 Skema Upgrading Batubara di *Flash Dryer*



Gambar 6.3 Dehumidifier dan *Flash Dryer*

6.2 Desain Siklon

Siklon atau *cyclone* merupakan sebuah peralatan yang dipakai untuk memisahkan partikel-partikel yang berat dan ringan. Partikel-partikel ringan ini dapat juga berupa gas (sebagai contoh: sulfur, uap air, debu, dan lainnya) berdasarkan massa jenis dan dimensinya. Adapun pemisahan ini terjadi dikarenakan adanya gaya sentrifugal dan tekanan rendah. Berikut dijelaskan skematik cara kerja siklon pada gambar 6.3.

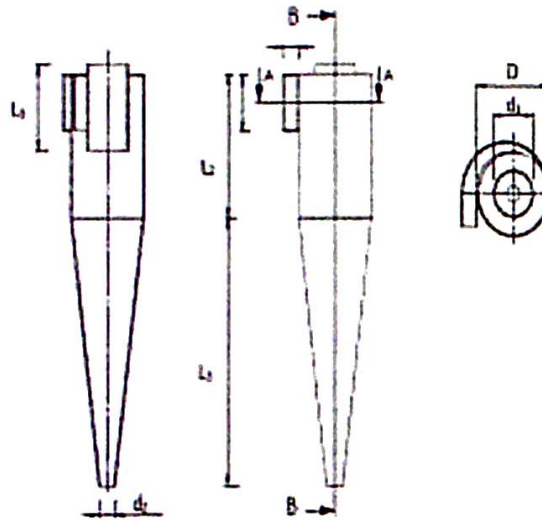


Gambar 6.4 Siklon

Udara dan partikel-partikel batubara masuk ke siklon dari saluran samping, kemudian diinduksikan ke bagian siklon yang berbentuk kerucut dan memutarnya (ada gaya sentrifugal) berdasarkan aliran *vortex*. Partikel dengan ukuran besar dan berat di dorong ke arah luar aliran *vortex*. Oleh karena, adanya gaya gravitasi menyebabkan partikel-partikel batubara akan jatuh ke arah sisi dinding siklon menuju ke bawah ke saluran ke luar. Sedangkan, partikel-partikel yang memiliki kerapatan yang lebih kecil, seperti debu, gas, dan uap air ke luar melalui saluran bagian atas siklon. Semakin besar ukuran partikel-partikel batubara, semakin bertambah efisiensinya tetapi akan cenderung konstan pada ukuran partikel tertentu.

Rancang bangun dimensi siklon yang sederhana dapat memakai langkah-langkah:

- a. Buat skematik dimensi-dimensi siklon (gambar 6.4).



Gambar 6.5 Skematik dimensi siklon

- b. Pilih kapasitas Q (m^3/s) dan kecepatan V (m/s) siklon.
- c. Hitung diameter siklon D (m) menggunakan persamaan:

$$D = (5,7 Q/V)^{0,5}$$
- d. Hitung dimensi bagian siklon lainnya dengan persamaan-persamaan:
 $d_1 = 0,5 D$; $d_2 = 0,25 D$; $L_1 = 3 D$; $L_2 = 1,6 D$;
 $S = 0,9 D$; $H = 0,6 D$; $W = 0,18 D$
- e. Hitung tekanan statik siklon dengan persamaan:

$$P = C \times (p \times Q^2) / (2 \times d_1^2 \times W \times H) \text{ (N/m}^2\text{)}$$

6.3 Blower

Blower termasuk dalam klasifikasi kompresor (Sularso, 1983) yang berfungsi untuk meniup fluida yang bertekanan agak rendah. Umumnya, fluida yang dipakai adalah udara atau gas. Jenis-jenis blower adalah turbo, radial, dan aksial.

6.4 Motor Listrik

Motor listrik digunakan untuk menggerakkan *screw conveyor* untuk mendorong partikel batubara ke dalam kolom pengering di *flash dryer*. Untuk menyesuaikan putaran motor listrik dan *screw conveyor*

digunakan sabuk atau *belt* yang dipasang pada masing-masing *pulley* penggerak dan yang digerakan.

6.5 Indoor

Indoor adalah sebuah istilah yang digunakan untuk peralatan evaporator yang dipasang di bagian ruangan yang ingin didinginkan. Peralatan ini terdiri dari pipa-pipa tembaga yang diberi sirip agar mampu menyerap udara kalor atau panas ruangan.

6.6 Outdoor

Outdoor adalah sebuah istilah yang dipakai untuk peralatan kondensor yang didalamnya juga terdapat kompresor, motor listrik, katup ekspansi dan pipa kapiler. Peralatan ini diletakkan di luar ruangan agar memudahkan membuang kalor dari pipa-pipa tembaga yang diberi sirip-sirip.

6.7 Heater

Heater atau pemanas merupakan peralatan yang dipakai untuk meningkatkan temperatur udara. Peralatan ini terdiri kabel listrik yang dibungkus di dalam sebuah pipa bersirip. Biasanya dipasang peralatan kontrol untuk mengatur temperatur yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aduda KO, Zeiler W, Boxem G, De Bont K. 2014. On the use of electrical humidifiers in office buildings as a demand side resource. *Procedia Comput Sci*: 32(2014) 723–30.
- Arif, Irwandy. 2014. Batubara Indonesia. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Arismunandar, Wiranto., Saito, Heizo. 2005. *Penyegaraan Udara*. Jakarta: PT Pradnya Paramita (Persero).
- Baeyens, J., Gauwbergen, D.Van., Vinckier, I. 1995. Pneumatic drying: the uses of large-scale experimental data in a design procedure. *Powder Technology*: 83 (1995) 139-148.
- Bassuoni, MM. 2014. A simple analytical method to estimate all exit parameters of a cross-flow air dehumidifier using liquid desiccant. *Journal of Advance Research*: 5(2) 175–82.
- Bizzy, Irwin., Sipahutar, Riman., Ibrahim, Eddy., Faizal, Muhammad., dan Kosasih, A. Engkos. 2017. Effects of air speed and expansion valve openings on moisture content and dry air ratio in a modified air conditioning evaporator system. 3rd International Conference on Mechanical Engineering (ICOME 2017).
- Bizzy, Irwin., Wijaya, Soni. 2016. Pengaruh bukaan katup pengatur terhadap tekanan evaporator pada unit air conditioning split. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya: Penelitian Mandiri.
- Cahyadi, Darmawan. 2015. PLTU Batubara Superkritikal yang efisien-karakterisasi batubara. Jakarta: BPPT Press.
- Chun, Young Nam., Lim, Mun Sup., Yoshikawa, Kunio. 2012. Development of a high-efficiency rotary dryer for sewage sludge. *Journal Material Cycles Waste Management*: 14 (2012) 65-73.
- Engkos A, K. and Nanang, R. (2016) 'Combination of Electric Air Heater and Refrigeration System to Reduce Energy Consumption: Simulation of Thermodynamic System', *International Journal of*

Technology, 2, pp. 288–295.

- Ghazikani, M., Khazaee, I., and Vahidifar, S. 2016. Exergy analysis of two humidification process methods in air-conditioning systems. *Energy and Buildings*: 124(2016) 129-140.
- Guldogan, Yilser., Durusoy, Tulay., Bozdemir, Tijen. 2002. Effects of Heating Rate and Particle Size on Pyrolysis Kinetics and Gediz Lignite. *Energy Sources*: 24(2002) 753-760.
- Ilie A, Dumitrescu R, Girip A, Cublesan V. 2017. Study on technical and economical solutions for improving air- conditioning efficiency in building sector. *Energy Procedia*: 112(2017) 537–44.
- Kabeel, AE., Abdelgaied, M., Sathyamurthy, R. 2014. Performance improvement of a hybrid air conditioning system using the indirect evaporative cooler with internal baffles as a pre-cooling unit. *Energy Procedia*: 62(2014) 629–38.
- Karthikeyan, Muthusamy., Zhonghua, Wu., Mujumdar, Arun S. 2009. Low-rank coal drying technologies-current status and new development. *Drying Technology*: 27(2014) 403-415.
- Kemp, Ian C. 2012. Fundamentals of Energy Analysis of Dryers. *Modern Drying Technology*: 4(2012) 1-45.
- Kim, Hyun-Seok., Matsushita, Yohsuke., Oomori, Motohira., Harada, Tatsuro., Miyawaki, Jin., Yoo, Seong-Ho., Mochida, Isao. 2013. Fluidized bed drying of Loy Yang brown with variation of temperature, relatif humidity, fluidization velocity and formulation of its drying rate. *Fuel*: 105(2013) 415-424.
- Komatsu, Yosuke., Sciazko, Anna., Kim ijima, Sh inji., Hashimoto, Akira. Kaneko, Shozo., Szm yd, Janusz S. 2015. An experimental investigation on the drying kinetics of a single coarse particle of Belchatow lignite in an atmospheric superheated steam condition. *Fuel Processing Technology*: 131(2015) 356-369.
- Kosasih, E.A., Nanang, R. 2016. Combination of Electric Air Heater and Refrigeration System to Reduce Energy Consumption:

- Simulation of Thermodynamic System. *International Journal of Technology*: 2(2016) 288–95.
- Kosasih, E.A., Nanang, R. 2017. Use of a Double Condenser in a Dehumidifier with a Spray Dryer for Vitamin A Extraction in Tomato as a Heat-sensitive material. *AIP Conference Proceedings*: 1–7.
- Krevelen, D.W. 1981. *Coal (Typology-Chemistry-Physics-Constitution)*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Liu, Ming., Qin, Yuanzhi., Yan, Hui., Han, Xiaoqu., Chong, Datong. 2015. Energy and water conservation at lignite-fired power plants using drying and water recovery technologies. *Energy Conversion and Management*: 105(2015) 118-126.
- Mills, David. (2004). *Pneumatic conveying design guide*. Third Edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Moran, M.J. and Howard N., S. (2006). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. Fifth Edition. John Wileys & Sons, Inc.
- Nada SA, Elattar HF, Fouda A. 2015. Performance analysis of proposed hybrid air conditioning and humidification – dehumidification systems for energy saving and water production in hot and dry climatic regions. *Energy Conversion Management*: 96(2015) 208–27.
- Park, Jae Hyeok., Lee, Chang-Ha., Park, Young Cheol., Shun, Dowon., Park, Jaehyeon. 2014. Drying efficiency of Indonesia Lignite in a Batch-Circulating Fluidized Bed Dryer. *Drying Technology*: 32(2014) 268-278.
- Purwanto, Agus. 2015. *Ayat-Ayat Semesta, Sisi-Sisi Al Qur'an yang Terlupakan*. Bandung: PT Mizan Pustaka.
- Setyawan, Andriyanto. 2009. *Sistem Tata Udara II*. Bandung: Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara.

- Simorangkir, Tiffani A. 2013. Analisis Proximate, Analisis Ultimate dan Analisis Miscellaneous pada Batubara.
- Sreelal B, Hariharan R. 2014. The Effect of Air Velocity in Liquid Desiccant Dehumidifier Based on Two Phase Flow Model Using Computational Method. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*: 2(7)142–152.
- Sularso., Tahara, Haruo. 1983. Pompa & kompresor-pemilihan, pemakaian, dan pemeliharaan. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Tahmasebi, Arash., Yu, Jianglong., Han, Yanna., Li, Xianchun. 2012. A study of chemical structure changes of Chinese lignite during fluidized-bed drying in nitrogen and air. *Fuel Processing Technology*: 101(2012) 85-93.
- Wu J, Liu C, Li H, Ouyang D, Cheng J, Wang Y, et al. 2017. Residential air-conditioner usage in China and efficiency standardization. *Energy*: 119(2017):1036–46.



TENTANG PENULIS

Irwin Bizzy, lahir di Belinyu Bangka, 28 Mei 1960, merupakan anak kedua dari Abu bakar bin Umar dan Nurainah binti Abdul Cholik. Menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 1 Belinyu, SMP Negeri Belinyu, SMA YPN Belinyu, dan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada tahun 1993, melanjutkan studi S2 bidang konversi energi di ITB Bandung (tamat tahun 1996) dan ikut beasiswa program riset di Toyohashi University of Technology di Jepang pada tahun 1996-1997.

Sejak lulus S1 bekerja di swasta dan asisten dosen di Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya hingga sekarang. Selain mengajar, pernah ditugaskan sebagai wakil direktur Baliteks Unsri (2001-2004), Kepala Bidang Fisra Bappeda SPM (2004-2005), dan Kepala Bappeda SPM Kabupaten Bangka Tengah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung (2006-2011), staf ahli bidang energi di Balitabangnovda Provinsi Sumatera Selatan sejak tahun 2014 sampai sekarang, dan menjadi konsultan bidang Rekayasa Teknik dan Audit Energi di berbagai perusahaan.

Menikah dengan Nurhayati tahun 1989 dan dikarunia tiga anak yaitu Irvan Putra alumnus Universiti Utara Malaysia (UUM), Radifa Cendana Putri alumnus Osaka Sogo College of Design (Jepang) dan Osaka University of Arts (Jepang), dan Irsyadi Surya Putra (mahasiswa Jurusan Hubungan Internasional Universitas Padjajaran Bandung dan Universitas Bina Darma Palembang).

Penerbit dan Percetakan

NoerFikri

Jl. Mayor Mahidin No. 142

Tlp./Fax. 0711-366625

E-mail : noerfikri@gmail.com

Palembang - Indonesia

ISBN 978-602-447-113-2



978-602-447-113-2