



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN KINERJA PENGERING SEMPROT
DENGAN PEMANFAATAN *DEHUMIDIFIER***

SKRIPSI

**MAULANA HIDAYAT
0906604930**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN KINERJA PENGERING SEMPROT
DENGAN PEMANFAATAN *DEHUMIDIFIER***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**MAULANA HIDAYAT
0906604930**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Maulana Hidayat

NPM : 0906604930

Tanda Tangan : 

Tanggal : 20-01-2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Maulana Hidayat
NPM : 0906604930
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Perbandingan Kinerja Pengereng Semprot Dengan Pemanfaatan *Dehumidifier*

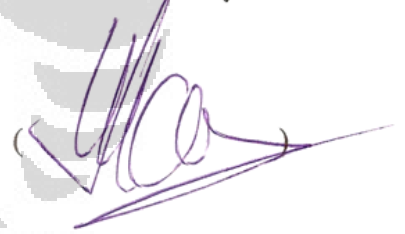
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, M.T.



Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng.



Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl. Ing



Penguji : Dr. Agus Sunjarianto Pamitran, ST., M.Eng



Ditetapkan di : Departemen Teknik Mesin

Tanggal : 20 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Teknik Mesin di Fakultas Teknik Universitas Indonesia, dan sebagai wadah untuk mengaplikasikan ilmu yang telah didapat pada masa perkuliahan.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak kesulitan yang dihadapi, baik yang disebabkan oleh keterbatasan waktu dan data maupun kemampuan penulis. Tetapi berkat bantuan dari berbagai pihak, penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu melalui kesempatan ini penulis mengungkapkan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi arahan, bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
2. Keluarga penulis, Kusmayadi (Bapak), Eti Kusmiati (Ibu) dan Zakki (Adik) atas dukungan do'a dan moril serta motivasinya hingga terselesaikannya skripsi ini;
3. Seluruh dosen pengajar dan staff laboratorium Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan dan mengajarkan ilmunya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan bermacam ilmu yang telah didapat;
4. Teman-teman satu bimbingan Bang Pandi, Pak Irwan dan Nurkholis atas kebersamaannya dalam menghadapi semua kendala penyelesaian skripsi ini;
5. Teman-teman seperjuangan PPSE Teknik Mesin UI angkatan 2008 dan 2009 atas kebersamaan dan bantuannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini dapat memberikan banyak manfaat dan wawasan khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Depok, Januari 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maulana Hidayat
NPM : 0906604930
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PERBANDINGAN KINERJA PENDINGER SEMPROT
DENGAN PEMANFAATAN *DEHUMIDIFIER***

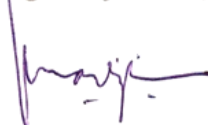
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Januari 2012

Yang menyatakan,



Maulana Hidayat

ABSTRAK

Nama : Maulana Hidayat
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Perbandingan Kinerja Pengereng Semprot Dengan Pemanfaatan *Dehumidifier*

Proses pengeringan pada industri pangan digunakan untuk pengawetan makanan yaitu dengan cara mengurangi kadar air sampai batas tertentu pada makanan tersebut untuk disimpan dalam beberapa waktu. Ini dilakukan untuk mencegah penurunan kualitas yang lebih buruk yang disebabkan oleh mikroorganisme, perubahan temperatur dan kelembaban. Salah satu metode pengeringannya adalah pengereng semprot. Dalam proses pengeringannya, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pengeringan, diantaranya adalah temperatur udara pengeringan, debit udara panas, massa bahan yang akan dikeringkan dan rasio kelembaban udara. Pada daerah yang lembab dan bahan yang sensitif lebih baik menggunakan pemanas refrigerasi dengan *dehumidifier* karena dapat dihasilkan udara yang lebih kering sehingga efisiensi pengeringan dapat ditingkatkan agar mendapatkan temperatur pengeringan seminimum mungkin, sehingga mengurangi tingkat kerusakan kandungan materialnya.

Kata kunci : pengereng semprot, kinerja pengeringan, *dehumidifier*.

ABSTRACT

Name : Maulana Hidayat
Study Progra : Mechanical Engineering
Thesis title : Comparison System Performance of Spray Dryer Using *Dehumidifier*

*The drying process used in the food industry for food preservation in the way to reduce the moisture content till needed level on the food to be stored. This is done to prevent a worse quality degradation caused by microorganisms, changes in temperature and humidity. One method of drying is spray drying. In the drying process, there are several factors that affect drying results, including the drying air temperature, the hot air discharge, the mass of material to be dried and air humidity ratio. In humid areas and sensitive material better use refrigeration heating with *dehumidifier* because it can be produced more dry air so that the drying efficiency can be improved in order to obtain a minimum drying temperature, thus reducing the level of damage to its material content.*

*Keywords: spray dryer, drying performance, *dehumidifier*.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Konsep Pengeringan.....	5
2.1.1 Prinsip Dasar Pengeringan.....	6
2.1.2 Laju pengeringan	7
2.2 Pengering Semprot	9
2.3 Karakteristik Hidratasi (penguapan air)	12
2.3.1 Kadar Air	12
2.3.2 Aktivitas Air	14
2.3.3 Karakteristik Udara.....	15
2.3.4 Diagram Psikrometrik.....	16
2.4 Sistem Refrigerasi	21
2.5 Perhitungan Laju Aliran Udara	21
2.6 Perpindahan Panas.....	23
2.6.1 Konveksi.....	23
2.6.2 Konduksi.....	23
2.6.3 Radiasi	24
2.7 Perpindahan Massa.....	24
2.7.1 Koefisien perpindahan massa	24
2.7.2 Difusi dalam gas	25
2.8 Bilangan Tak Berdimensi	25
2.8.1 Bilangan Reynolds.....	25
2.8.2 Bilangan Prandtl	27
2.8.3 Bilangan Schmidt	27
2.8.4 Bilangan Nusselt.....	27
2.8.5 Bilangan Sherwood.....	28
2.8.6 Bilangan Lewis	28
2.9 Persamaan Ranz-Marshall.....	28

BAB 3 METODE PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian.....	29
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.3 Skematik Sistem Dehumidifikasi Pada Pengering Semprot.....	30
3.4 Deskripsi Sistem Alat Pengujian.....	31
3.4.1 Komponen Sistem.....	31
3.4.2 Bahan Uji.....	37
3.5 Proses Pengkondisian Udara.....	37
3.6 Prosedur Eksperimen Pengering Semprot.....	39
3.7 Perhitungan Debit Udara.....	40
3.8 Teknik pengolahan data.....	41
3.8.1 Variasi parameter pengeringan.....	41
3.8.2 Perhitungan data eksperimen.....	41
 BAB 4 ANALISA DATA HASIL EKSPERIMEN	 43
4.1 Data Eksperimen.....	43
4.2 Temperatur Minimum Kering Berdasarkan m_{bahan}	45
4.3 Perbandingan Kinerja Sistem.....	47
 BAB 5 PENUTUP	 50
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
 DAFTAR PUSTAKA	 52

DAFTAR GAMBAR

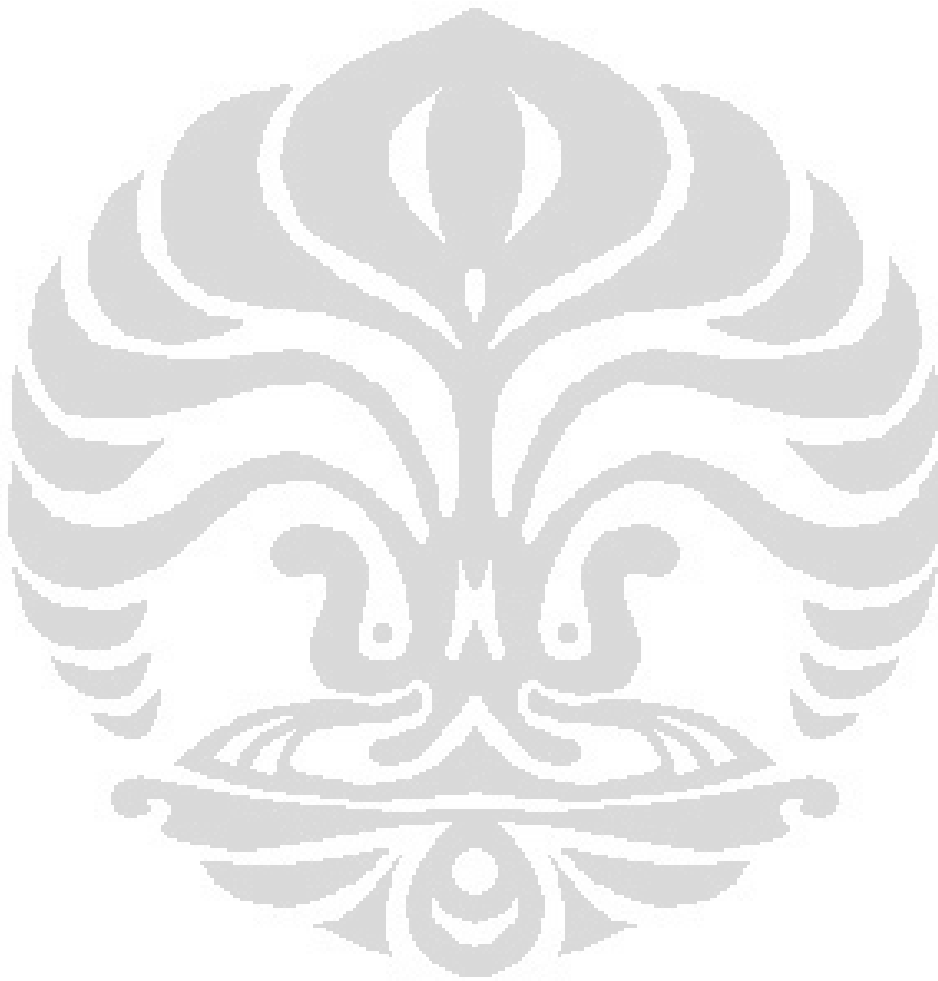
Gambar 2.1 Pergerakan air melalui celah kapiler bahan	7
Gambar 2.2 Bahan menyerap temperatur di sekitarnya.....	8
Gambar 2.3 Arah Kecepatan Udara Saat Pengeringan	9
Gambar 2.4 Pneumatik <i>nozzle</i> tipe pencampuran dalam	10
Gambar 2.5 Skema Pengering Semprot.....	11
Gambar 2.6 Aktifitas <i>Air vs Dry Basis Water Content</i>	15
Gambar 2.7 Diagram Psikometrik	17
Gambar 2.8 Psikometrik pada proses pemanasan.....	17
Gambar 2.9 Psikometrik pada proses pengeringan.....	18
Gambar 2.10 Psikometrik pada proses pendinginan.....	18
Gambar 2.11 Psikometrik pada proses pendinginan dehumidifikasi.....	19
Gambar 2.12 Psikometer (a) Psikometer tangan (b) <i>Aspirating Psychometer</i>	20
Gambar 2.13 Skema kerja pompa kalor.....	21
Gambar 2.14 Koefisien buang untuk <i>orifice</i> konsentris dalam pipa.....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 Skematik Alat Uji	30
Gambar 3.3 Rangkaian Pengering Semprot.....	31
Gambar 3.4 (a) Blower (b) Inverter	31
Gambar 3.5 (a) <i>Orifice</i> (b)Manometer Air	32
Gambar 3.6 (a) Kondensor (b) Evaporator (c) Kompresor.....	33
Gambar 3.7 (a) Ruang pemanas listrik, pengeringan dan <i>cyclone</i>	34
Gambar 3.8 <i>Pressure Regulator</i>	34
Gambar 3.9 Pompa Peristaltik	35
Gambar 3.10 <i>Pneumatic Nozzle</i>	35
Gambar 3.11 Bejana Pengukur Fluida.....	36
Gambar 3.12 Kontak Panel dan Termometer digital	36
Gambar 3.13 Termometer batang	37
Gambar 3.14 Clamp Meter	37
Gambar 3.15 Proses pemanasan udara dan pengeringan pada tipe pemanas listrik	38
Gambar 3.16 Proses dehumidifikasi dan pemanasan udara.....	39
Gambar 4.1 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada $\omega = 0.0067$ kg/kg da.....	43
Gambar 4.2 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada $\omega = 0.0082$ kg/kg da.....	43
Gambar 4.3 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada $\omega = 0.0106$ kg/kg da.....	44
Gambar 4.4 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada $\omega = 0.0138$ kg/kg da.....	44
Gambar 4.5 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada $\omega = 0.0187$ kg/kg da.....	44
Gambar 4.6 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} yang dikeringkan pada debit udara = 0.01180 m ³ /s	45

Gambar 4.7 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} yang dikeringkan pada debit udara = $0.01524 \text{ m}^3/\text{s}$	46
Gambar 4.8 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} yang dikeringkan pada debit udara udara = $0.01927 \text{ m}^3/\text{s}$	46
Gambar 4.9 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} yang dikeringkan pada debit udara = $0.02125 \text{ m}^3/\text{s}$	46
Gambar 4.10 Grafik hubungan kinerja sistem pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada \dot{m} udara = $0.01180 \text{ m}^3/\text{s}$	48
Gambar 4.11 Grafik hubungan kinerja sistem pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada \dot{m} udara = $0.01524 \text{ m}^3/\text{s}$	48
Gambar 4.12 Grafik hubungan kinerja sistem pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada \dot{m} udara = $0.01927 \text{ m}^3/\text{s}$	48
Gambar 4.13 Grafik hubungan kinerja sistem pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada \dot{m} udara = $0.02155 \text{ m}^3/\text{s}$	49



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Eksperimen	53
Lampiran 2 Sifat Termodinamika Udara Basah	56
Lampiran 3 Termodinamika Air di Titik Saturasi	58



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan tingkat biodiversitas tertinggi kedua di dunia setelah Brazil. Fakta tersebut menunjukkan tingginya keanekaragaman sumber daya alam hayati yang dimiliki Indonesia. Tidak sedikit dari hasil alam tersebut yang dapat diolah menjadi sumber bahan makanan. Namun dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk Indonesia dan distribusi penduduk yang tidak merata dengan tingkat kepadatan yang tinggi di Jawa dibandingkan di luar Jawa diperlukan strategi pembangunan yang tepat dalam menyediakan kebutuhan ketahanan pangan bagi masyarakat. Pembangunan ketahanan pangan merupakan salah satu pilar penopang kesejahteraan masyarakat, di mana peran ilmu pengetahuan dan teknologi harus diposisikan secara nyata dalam setiap kegiatan pembangunan ketahanan pangan.

Sistem pengeringan dalam aplikasinya dapat dilakukan dengan cara yang berbeda-beda, tergantung pada kebutuhan di mana sistem tersebut diterapkan. Pada industri pangan proses pengeringan digunakan untuk pengawetan makanan yaitu dengan cara mengurangi kadar air sampai batas tertentu pada makanan tersebut untuk disimpan dalam beberapa waktu. Ini dilakukan untuk mencegah penurunan kualitas yang lebih buruk yang disebabkan oleh mikroorganisme, perubahan temperatur dan kelembaban. Efek lainnya dari pengeringan juga akan menurunkan kualitas kandungan materialnya, misal serat, kandungan vitamin dan bahkan perubahan warna pada temperatur tertentu. Sebagai contoh vitamin C akan rusak kualitasnya pada suhu di atas 55 °C.

Salah satu metode pengeringannya adalah pengeringan semprot. Pengeringan semprot (*spray dryer*) cocok digunakan untuk pengeringan bahan pangan cair seperti sari buah (dikeringkan dalam bentuk larutan ekstrak buah). Cairan yang akan dikeringkan dilewatkan pada suatu *nozzle* sehingga keluar dalam bentuk butiran (*droplet*) cairan yang sangat halus. Butiran ini selanjutnya masuk ke dalam ruang pengering yang dilewati oleh aliran udara panas.

Dalam proses pengeringannya, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pengeringan, diantaranya adalah temperatur heater, *mass flow* udara panas, *mass flow* bahan yang akan dikeringkan dan sistem penyemprot (*nozzle*). Udara panas juga merupakan faktor penting untuk menentukan efisiensi dari pengering semprot. Dalam upaya peningkatan efisiensi dari pengering semprot banyak cara dilakukan antara lain dengan menggunakan pemanas listrik atau pemanas pompa kalor. Pada daerah yang lembab dan bahan yang sensitif lebih baik menggunakan pemanas refrigerasi dengan *dehumidifier* karena dapat dihasilkan udara yang lebih kering sehingga efisiensi pengeringan dapat ditingkatkan agar mendapatkan temperatur pengeringan seminimum mungkin, sehingga mengurangi tingkat kerusakan kandungan materialnya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini dirumuskan dengan melakukan eksperimen untuk mengetahui kinerja pengeringan yaitu temperatur minimum pengeringan pada pengering semprot dengan pemanfaatan *dehumidifer*. Seberapa pengaruh laju alir massa bahan, massa udara dan kelembaban udara terhadap penurunan temperatur minimum pengeringannya. Dengan menurunkan kelembaban udara maka diharapkan didapat temperatur pengeringan yang lebih rendah.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik pengering semprot dari beberapa variasi laju aliran massa bahan uji, debit udara dan rasio kelembaban (ω) terhadap temperatur minimum pengeringan .
2. Mengetahui kinerja sistem pengering semprot dengan pemanfaatan *dehumidifier* juga kombinasi penggunaan pompa kalor dan pemanas listrik sebagai pemanas udaranya.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dibatasi pada:

1. Pengering semprot yang digunakan untuk eksperimen menggunakan penambahan sistem dehumidifikasi yang kemudian akan dijelaskan di bab 3.
2. Pengambilan data hanya dilakukan untuk variasi-variasi parameter pengeringan tertentu yang akan dijelaskan di bab 3.
3. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan air bersih sebagai bahan uji.
4. Pembahasan menekankan pada sistem pengering semprotnya.
5. Pembahasan tidak terlalu menekankan terhadap ukuran *droplets* dikarenakan keterbatasan alat ukur.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metode untuk mengumpulkan sumber data dan informasi adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur.

Metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, tugas akhir, jurnal-jurnal tertulis maupun *online*, serta referensi artikel yang terdapat di internet.

2. Pengambilan data.

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah temperatur udara masuk dan keluar evaporator, temperatur udara keluar kondensor, temperatur udara setelah heater, debit udara, laju aliran massa bahan uji, *dry bulb* dan *wet bulb* lingkungan, dan daya kompresor refrigeran.

3. Penyusunan Laporan

Laporan dari data yang sudah didapatkan harus tersusun dengan sistematis karena banyak variasi yang akan digunakan dalam pengujian sehingga akan banyak juga data yang akan dihasilkan. Dengan susunan yang sistematis tersebut diharapkan akan memudahkan dalam melakukan perhitungan dan analisisnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman materi atau pokok bahasan dari karya tulis ini, maka penulis membuat perumusan mengenai isi setiap bab secara berurutan. Adapun sistematika penulisannya sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi uraian mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori pendukung yang menjelaskan tentang konsep pengeringan dan karakteristik pengering semprot.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang deskripsi tahapan-tahapan yang harus dilakukan selama kegiatan penelitian, peralatan dan alat ukur yang diperlukan selama penelitian dan proses pengambilan data.

BAB IV ANALISA DATA HASIL EKSPERIMEN

Bab ini berisi tentang data yang diperoleh selama pengujian dan analisa mengenai data yang diperoleh sehingga selanjutnya dapat ditarik sebuah kesimpulan.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan beberapa saran untuk kemajuan penelitian berikutnya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Pengeringan

Kandungan air dalam bahan pangan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas metabolisme seperti misalnya aktivitas enzim, mikroba dan kimiawi, sehingga menimbulkan perubahan sifat-sifat organoleptik, penampakan, tekstur dan cita rasa serta nilai gizinya. Cara mencegah pertumbuhan mikroba dapat dilakukan dengan cara mengganggu lingkungan hidupnya, dengan cara mengubah temperatur, kadar air substrat (a_w), pH kadar oksigen, komposisi substrat, serta penggunaan bahan pengawet anti mikroba.

Pengeringan adalah suatu metode untuk mengurangi atau menghilangkan kandungan air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Biasanya pengurangan kadar air tersebut dikurangi sampai suatu batas tertentu sehingga enzim dan mikroba penyebab kerusakan bahan pangan menjadi tidak aktif atau mati. Hasil dari proses pengeringan adalah bahan kering yang mempunyai kadar air setara dengan kadar air keseimbangan udara (atmosfir) normal atau setara dengan nilai kadar air (a_w) yang aman dari kerusakan mikrobiologis, enzimatik dan kimiawi.

Pengeringan adalah suatu peristiwa perpindahan massa dan energi yang terjadi dalam pemisahan cairan atau kelembaban dari suatu bahan sampai batas kandungan air yang ditentukan dengan menggunakan gas sebagai fluida sumber panas dan penerima uap cairan (*Sumber: Treybal, 1980*).

Menurut Brennan (1978), pengeringan atau dehidrasi didefinisikan sebagai pengurangan kandungan air oleh panas buatan dengan kondisi temperatur, RH, dan aliran udara terkontrol. Tujuan utama dari pengeringan atau dehidrasi adalah untuk mengurangi kandungan air tanpa merusak struktur produk.

Pengeringan juga bertujuan agar volume bahan pangan menjadi lebih kecil sehingga mempermudah pengangkutan, menghemat biaya angkut dan ruang untuk pengangkutan, pengepakan maupun penyimpanan. Pada pengeringan, walaupun secara fisik atau kimia masih terdapat molekul-molekul air yang terikat, air ini tidak dapat dipergunakan untuk kepentingan mikroba. Demikian pula enzim tidak

mungkin aktif pada bahan yang dikeringkan, karena reaksi biokimia memerlukan air sebagai medianya. Jadi pada pengeringan diusahakan bahwa kadar air yang tertinggal tidak memungkinkan enzim dalam mikroba menjadi aktif, sehingga bahan yang dikeringkan dapat disimpan lebih lama. Tetapi perlu diingat pengeringan juga memiliki kerugian yaitu sifat asal dari bahan dapat berubah misalnya bentuknya, sifat-sifat fisik dan kimianya, penurunan mutu dan bahan kering sebelum digunakan harus dibasahkan kembali proses pengembalian air tersebut disebut rehidrasi.

2.1.1 Prinsip Dasar Pengeringan

Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses perpindahan panas dan massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Pengeringan terjadi melalui penguapan uap air dengan adanya pemberian panas ke sample uji. Panas dapat diberikan melalui konveksi (pengering langsung), konduksi (pengering sentuh atau tak langsung), radiasi atau secara volumetric dengan menempatkan sample uji tersebut dalam medan elektromagnetik gelombang mikro atau frekuensi radio. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses pengeringan suatu material terjadi melalui dua proses yaitu proses pemanasan (*heating*) dan proses pengeringan (*drying*). Proses pemanasan (*heating*) dilakukan untuk memperoleh udara panas dan untuk menurunkan kelembaban relatif dari udara sekitar. Sedangkan proses pengeringan (*drying*) dilakukan untuk menurunkan temperatur udara karena terjadi perpindahan panas dari udara ke bahan yang akan dikeringkan (udara memberikan kalor laten untuk menguapkan kandungan air dari bahan yang dikeringkan).

Dalam beberapa kasus, air dihilangkan secara mekanik dari material padat dengan cara di-*press*, sentrifugasi dan lain sebagainya. Cara ini lebih murah dibandingkan pengeringan dengan menggunakan panas. Kandungan air dari bahan yang sudah dikeringkan bervariasi bergantung dari produk yang ingin dihasilkan. Garam kering mengandung 0.5% air, batu bara mengandung 4% air dan produk makanan mengandung sekitar 5% air. Biasanya pengeringan merupakan proses

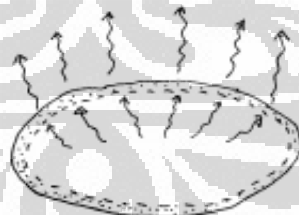
akhir sebelum pengemasan dan membuat beberapa benda lebih mudah untuk ditangani.

Proses pengeringan diasumsikan secara adiabatik, yaitu : kalor yang diperlukan untuk menguapkan kandungan air dari bahan semata-mata berasal dari udara pengering saja (tidak ada kalor yang masuk dari lingkungan). Selama proses pengeringan adiabatik ini, akan terjadi penurunan temperatur bola kering dan kenaikan kelembaban, kelembaban relatif, tekanan uap air serta temperatur *dew point* sedangkan entalpi dan temperatur bola basah dapat dianggap konstan.

Mekanisme keluarnya air dari dalam bahan selama pengeringan adalah sebagai berikut:

1. Air bergerak melalui tekanan kapiler.
2. Penarikan air disebabkan oleh perbedaan konsentrasi larutan disetiap bagian bahan.
3. Penarikan air ke permukaan bahan disebabkan oleh absorpsi dari lapisan-lapisan permukaan komponen padatan dari bahan.
4. Perpindahan air dari bahan ke udara disebabkan oleh perbedaan tekanan uap.

Mekanisme terlihat pada gambar 2.1 dimana air bergerak melalui celah kapiler bahan dimana penarikan air disebabkan oleh penyerapan dari lapisan-lapisan permukaan komponen.



Gambar 2.1 Pergerakan air melalui celah kapiler bahan

2.1.2 Laju pengeringan

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengeringan ialah :

a. Luas Permukaan

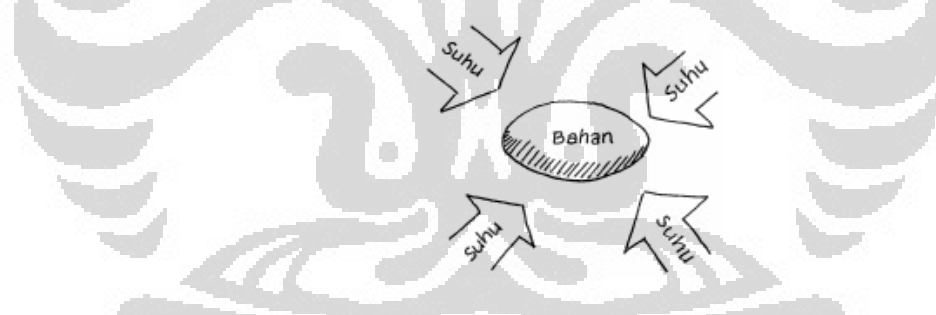
Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk

mempercepat pengeringan umumnya bahan pangan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau diiris-iris terlebih dulu. Hal ini terjadi karena:

- Pemotongan atau pengirisan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar,
- Potongan-potongan kecil atau lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan pangan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus keluar ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan tersebut.

b. Perbedaan Temperatur dan Udara Sekitarnya

Semakin besar perbedaan temperatur antara medium pemanas dengan bahan pangan makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan mekanisme terlihat pada gambar 2.2, dimana air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang.



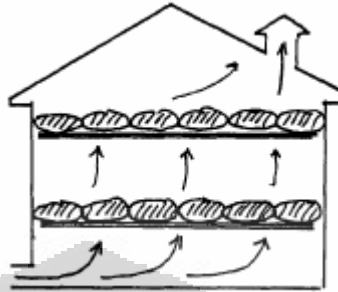
Gambar 2.2 Bahan menyerap temperatur di sekitarnya

Jadi dengan semakin tinggi temperatur pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut "Case Hardening", yaitu suatu keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

c. Kecepatan Aliran Udara

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, mekanisme ini terlihat pada gambar 2.3. Apabila aliran udara

disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan.



Gambar 2.3 Arah Kecepatan Udara Saat Pengeringan

d. Tekanan Udara

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan disingkirkan dari bahan pangan. Sebaliknya jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

Menurut Earle (1983), faktor-faktor utama yang mempengaruhi kecepatan pengeringan dari suatu bahan pangan adalah :

- a) Sifat fisik dan kimia dari produk (bentuk, ukuran, komposisi, kadar air).
- b) Pengaturan geometris produk sehubungan dengan permukaan alat atau media perantara pemindah panas (seperti nampan untuk pengeringan).
- c) Sifat-sifat fisik dari lingkungan alat pengering (temperatur, kelembaban, dan kecepatan udara).
- d) Karakteristik alat pengering (efisiensi pemindahan panas).

2.2 Pengering Semprot

Pengering semprot adalah proses yang akan mengubah bahan cairan menjadi produk yang kering dalam satu operasi (Filikova dan Mujumdar, 1995). Proses yang terjadi pada alat ini meliputi : atomisasi atau penyemprotan bahan

melalui alat penyemprot sehingga dapat membentuk semprotan yang halus, kontak antara partikel hasil atomisasi dengan udara pengering, evaporasi dari bahan dan pemisahan partikel kering dengan aliran udara yang membawanya (Canovas dan Mercado, 1996).

Fungsi atomisasi pada pengering semprot adalah untuk menghasilkan droplet yang berukuran kecil, sehingga luas permukaan menjadi lebih besar yang mengakibatkan proses penguapan akan terjadi lebih cepat (Heldman dan Singh, 1981). Waktu pengeringan *spray dryer* sangat cepat jika dibandingkan dengan proses pengeringan lainnya. Jenis *atomizer* tidak hanya menentukan energi yang dibutuhkan untuk membentuk semprotan tetapi juga distribusi ukuran, lintasan dan kecepatan butiran bahan.

Ada banyak macam jenis *atomizer*, salah satunya jenis *Pneumatic nozzle*. Jenis ini juga dikenal dengan nama *two fluid nozzle* dimana menggunakan udara bertekanan untuk mengatomize cairan fluida.



Gambar 2.4 Pneumatik *nozzle* tipe pencampuran dalam
Sumber : wikipedia.com

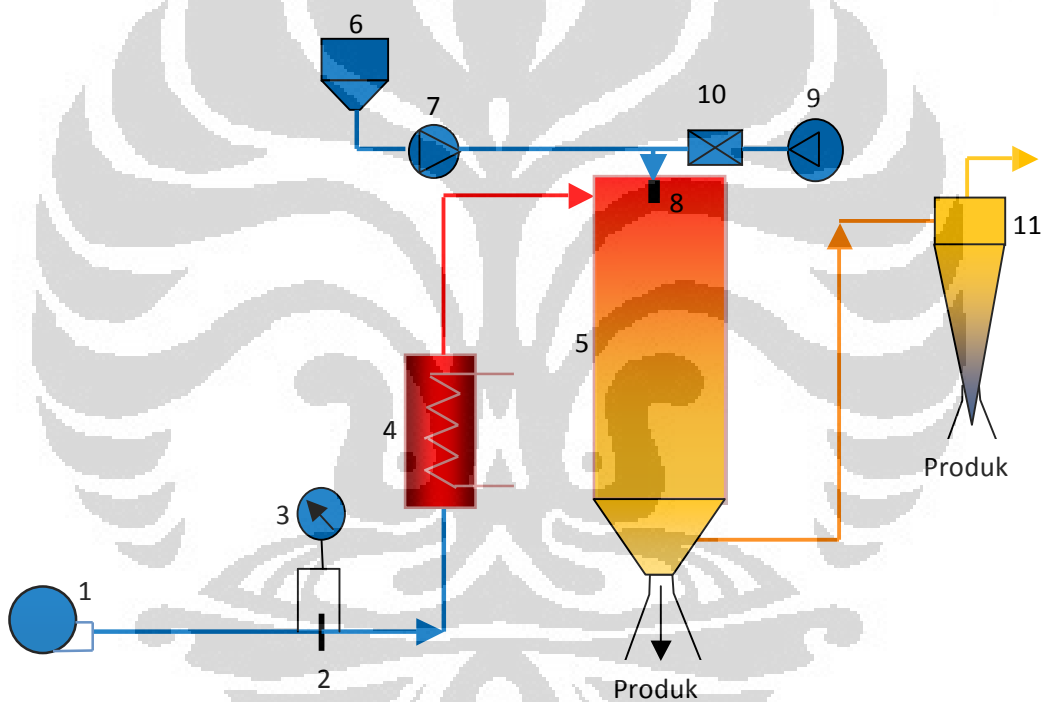
Kelebihan *spray dryer* adalah sebagai berikut :

- Sifat dan kualitas produk dapat dikontrol lebih efektif
- Produk yang sensitif terhadap panas dapat dikeringkan pada tekanan atmosfer
- *Spray dryer* dapat beroperasi pada produksi yang besar secara kontinyu dengan peralatan sederhana

Sedangkan kekurangan *spray dryer* adalah sebagai berikut

- *Spray dryer* tidak fleksibel. Mesin yang di desain untuk produk dengan partikel halus tidak dapat digunakan untuk produk yang partikelnya kasar
- Bahan harus dapat dipompa
- Memiliki efisiensi thermal yang buruk

Kemudian untuk pembuatan tepung contohnya bahan lidah buaya diperlukan penambahan filler karena total padatan terkandung dalam lidah buaya sangat kecil 2%. Filler berfungsi sebagai pengikat nutrisi yang terkandung dalam lidah buaya. Terdapat beberapa filler yang digunakan yaitu maltodekstrin, dekstrin, gum arab dan cmc (karboksimetilselulosa). Maltodekstrin merupakan gula tidak manis dan berbentuk tepung berwarna putih dengan sifat larut dalam air. Maltodekstrin dihasilkan dari hidrolisis pati jagung secara tidak sempurna dengan asam atau enzim dan juga merupakan polimer sakartida. Formula ini cocok untuk menghasilkan tepung untuk keperluan farmasi.



Gambar 2.5 Skema Pengering Semprot

Gambar 2.6 merupakan skema pengering semprot menggunakan *spray dryer*. Warna biru merupakan temperatur lingkungan berbeda dengan warna merah yang menunjukkan temperatur setelah melewati pemanas udara yang memasuki ruang pengering.

Bagian-bagian dari unit *spray dryer* :

- | | |
|-------------------|--|
| 1. Blower | 4. Pemanas udara (<i>air heater</i>) |
| 2. <i>Orifice</i> | 5. Ruang pengering (<i>chamber</i>) |
| 3. Manometer | 6. Bejana ukur |

7. Pompa umpan
8. *Nozzle atomizer*
9. Kompresor
10. Filter udara
11. *Cyclone*

Cara kerja mesin pengering semprot adalah sebagai berikut langkah pertama udara berasal dari blower dipanaskan oleh *heater*, kemudian bahan cair yang ingin dikeringkan dan udara dari kompresor dikeluarkan melalui *nozzle*, bahan tersebut diubah dalam bentuk butiran-butiran air. Udara panas dari heater tadi dilewatkan terhadap butiran-butiran air. Di sini terjadi perpindahan panas dan massa. Air dari butiran-butiran itu akan menguap sedangkan bagian bahan yang padat berubah menjadi serbuk. Selanjutnya produk bahan dengan udara panas dipisahkan dengan *cyclone* (penyaring). Setelah dipisahkan produk dalam bentuk serbuk tersebut diturunkan temperaturnya sesuai dengan kebutuhan produksi.

2.3 Karakteristik Hidratasi (penguapan air)

Karena proses utama dalam pengeringan adalah proses penguapan air, maka perlu terlebih dahulu diketahui karakteristik hidratasi bahan pangan yaitu sifat-sifat bahan yang meliputi interaksi antara bahan pangan dengan molekul air yang dikandungnya dan molekul air di udara sekitarnya. Peranan air dalam bahan pangan dinyatakan dengan kadar air dan aktivitas air (a_w), sedangkan peranan air di udara dinyatakan dengan kelembaban relatif (RH) dan kelembaban mutlak (H).

2.3.1 Kadar Air

Kadar air suatu bahan menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan yang dapat dinyatakan dalam persen berat basah (wet basis) atau dalam persen berat kering (dry basis). Kadar air berat basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100 %, sedangkan kadar air berat kering dapat lebih dari 100 %. Kadar air berat basah (b.b) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan. Kadar air berat basah dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$m = \frac{W_m}{W_m + W_d} \times 100\% = \frac{W_m}{W_t} \times 100\% \quad (2.2)$$

di mana :

m = kadar air berat basah (% b.b)

W_m = berat air dalam bahan (g)

W_d = berat padatan dalam bahan (g) atau berat bahan kering mutlak

W_t = berat total (g)

Kadar air berat kering (b.k) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat padatan yang ada dalam bahan. Kadar air berat kering dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$M = \frac{W_m}{W_d} \times 100\% \quad (2.3)$$

di mana :

M = kadar air berat kering (% b.k)

W_m = berat air dalam bahan (g)

W_d = berat padatan dalam bahan (g) atau berat bahan kering mutlak

Berat bahan kering mutlak adalah berat bahan setelah mengalami pengeringan dalam waktu tertentu sehingga beratnya konstan. Pada proses pengeringan, air yang terkandung dalam bahan tidak dapat seluruhnya diuapkan, meskipun demikian hasil yang diperoleh disebut juga sebagai berat bahan kering.

Di dalam analisis bahan pangan, biasanya kadar air bahan dinyatakan dalam persen berat kering. Hal ini disebabkan perhitungan berdasarkan berat basah mempunyai kelemahan yaitu berat basah bahan selalu berubah-ubah setiap saat, sedangkan berat bahan kering selalu tetap. Metode pengukuran kadar air yang umum dilakukan di Laboratorium adalah metode oven atau dengan cara distilasi. Pengukuran kadar air secara praktis di lapangan dapat dilakukan dengan menggunakan moisture meter yaitu alat pengukur kadar air secara elektronik.

Kandungan air pada suatu bahan hasil pertanian terdiri dari 3 jenis yaitu :

- ❖ Air bebas (free water). Air ini terdapat pada permukaan bahan, sehingga dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya serta dapat dijadikan sebagai media reaksi-reaksi kimia. Air bebas dapat dengan mudah diuapkan pada proses pengeringan. Bila air bebas ini diuapkan seluruhnya, maka kadar air bahan akan berkisar antara 12 % sampai 25 %.

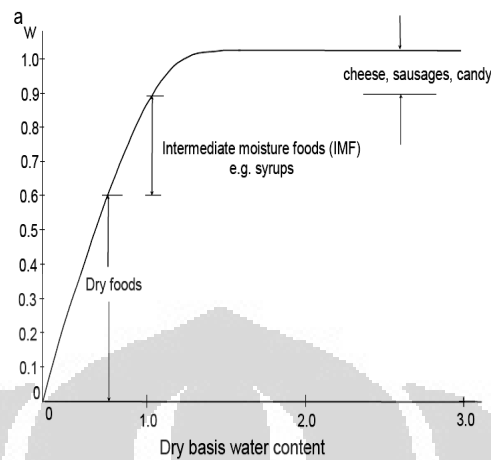
- ❖ Air terikat secara fisik. Air jenis ini merupakan bagian air yang terdapat dalam jaringan matriks bahan (tenunan bahan) akibat adanya ikatan-ikatan fisik. Air jenis ini terdiri atas :
 - ✓ Air terikat menurut sistem kapiler yang ada dalam bahan karena adanya pipa-pipa kapiler pada bahan.
 - ✓ Air absorpsi yang terdapat pada tenunan-tenunan bahan karena adanya tenaga penyerapan dari dalam bahan.
 - ✓ Air yang terkurung di antara tenunan bahan karena adanya hambatan mekanis dan biasanya terdapat pada bahan yang berserat.
- ❖ Air terikat secara kimia. Untuk menguapkan air jenis ini pada proses pengeringan diperlukan energi yang besar. Air yang terikat secara kimia terdiri atas :
 - ✓ Air yang terikat sebagai air kristal.
 - ✓ Air yang terikat dalam sistem dispersi koloidal yang terdiri dari partikel-partikel yang mempunyai bentuk dan ukuran beragam.

Partikel-partikel ini ada yang bermuatan listrik positif atau negative sehingga dapat saling tarik menarik. Kekuatan ikatan yang ada dalam ketiga jenis air tersebut berbeda-beda dan untuk memutuskan ikatannya diperlukan energi penguapan. Besarnya energi penguapan untuk air bebas paling rendah, kemudian diikuti oleh air terikat secara fisik dan air terikat secara kimia yang paling besar.

2.3.2 Aktivitas Air

Dalam bahan hasil pertanian, peranan air yang utama adalah sebagai pelarut yang digunakan selama proses metabolisme. Tingkat mobilitas dan peranan air bagi proses kehidupan biasanya dinyatakan dengan besaran aktivitas air (water activity = aw) yang ada dalam rentang 0 sampai 1. Menurut Winarno (1984) kandungan air pada bahan hasil pertanian akan berpengaruh terhadap daya tahan bahan tersebut dari serangan mikroorganisme. Aktivitas air merupakan salah satu parameter hidrasi yang sering diartikan sebagai jumlah air bebas dalam bahan yang dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Setiap mikroorganisme hanya dapat tumbuh pada kisaran aw tertentu seperti aw untuk pertumbuhan bakteri 0.90, khamir 0.80 – 0.90 dan kapang 0.60 – 0.70.

Perbandingan antara aktifitas air (a_w) dengan *dry basis water content* pada berbagai jenis makanan terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.6 Aktifitas Air vs Dry Basis Water Content (Supriono, 2003)

Oleh karena itu untuk mencegah pertumbuhan mikroba, aktifitas air pada bahan harus diatur. Istilah aktifitas air digunakan untuk menjabarkan air yang terikat atau air bebas dalam suatu system yang dapat menunjang reaksi biologis dan kimiawi. Air yang terkandung dalam bahan pangan apabila terikat kuat dengan komponen bukan air, maka akan lebih sukar untuk digunakan dalam aktivitas biologis maupun aktivitas kimia hidrolisis. Menurut Hukum Raoult, aktifitas air berbanding lurus dengan jumlah mol pelarut dan berbanding terbalik dengan jumlah mol di dalam larutan.

$$A_w = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad (2.4)$$

di mana :

n_1 = jumlah mol pelarut

n_2 = jumlah mol zat terlarut

$n_1 + n_2$ = jumlah mol larutan

2.3.3 Karakteristik Udara

Komponen yang paling banyak di dalam udara adalah oksigen, nitrogen, dan uap air. Oksigen dan nitrogen tidak mempengaruhi kelembaban udara, sedangkan kandungan uap air sangat berpengaruh terhadap kelembaban udara.

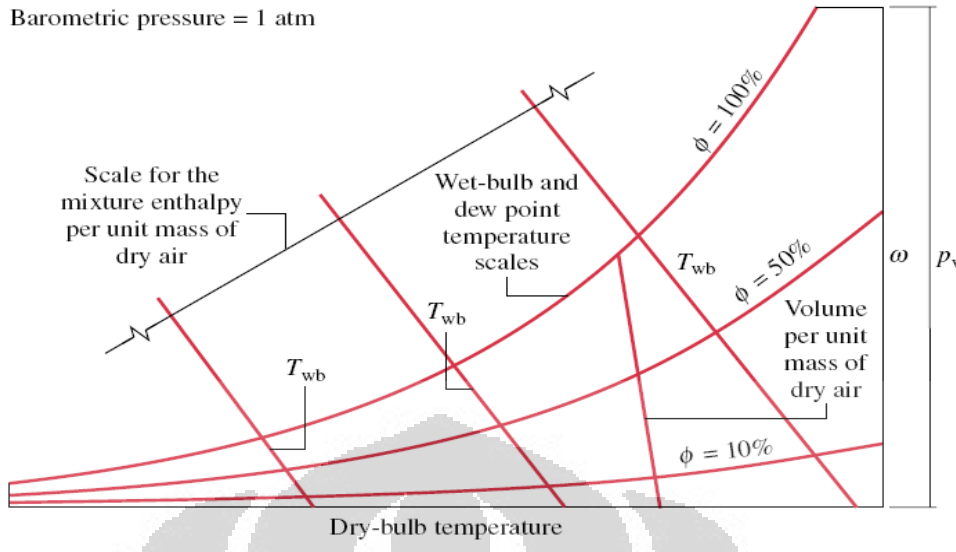
Udara yang kurang mengandung uap air dikatakan udara kering, sedangkan udara yang mengandung banyak uap air dikatakan udara lembab.

Kuantitas panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air pada temperatur dan tekanan tertentu disebut kapasitas panas. Kapasitas panas air bertambah apabila temperatur dan tekanan berkurang. Kenyataan ini sesuai dengan hukum termodinamika. Misalnya, panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap air pada temperatur 100°C dan tekanan 101,3 kPa adalah 2256,9 kJ/kg, sedangkan untuk menguapkan air pada temperatur 30°C dan tekanan 4,25 adalah 2431,0 kJ/kg.

Pengalaman sehari-hari kita dapati bahwa sejumlah udara hanya mampu untuk mengeringkan suatu bahan atau menguapkan air dari suatu bahan apabila bahan tersebut tidak seratus persen lembab. Dengan kata lain, kemampuan udara untuk menguapkan air dalam suatu bahan pada proses pengeringan adalah maksimum apabila udara tersebut kering dan nol apabila udara tersebut jenuh dengan uap air. Pada keadaan biasa, udara tidak seratus persen kering atau lembab, sehingga udara masih mampu melakukan proses pengeringan apabila bahan-bahan yang mengandung air diletakkan di dalamnya.

2.3.4 Diagram Psikrometrik

Diagram psikometri memberikan pembahasan mengenai sistem yang melibatkan campuran udara kering dengan uap air.. Studi mengenai sistem yang melibatkan udara kering dan air disebut psikometrik. Gambar 2.8 memperlihatkan diagram psikometrik dimana terdapat parameter seperti temperatur bola kering, temperatur bola basah, tekanan uap air, kelembaban relatif, volume spesifik, dan kelembaban udara.

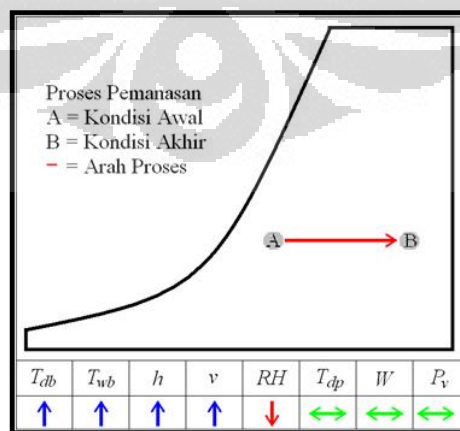


Gambar 2.7 Diagram Psikometrik (Moran & Shapiro, 2004)

Proses yang terjadi pada mesin pengering semprot :

❖ Proses pemanasan

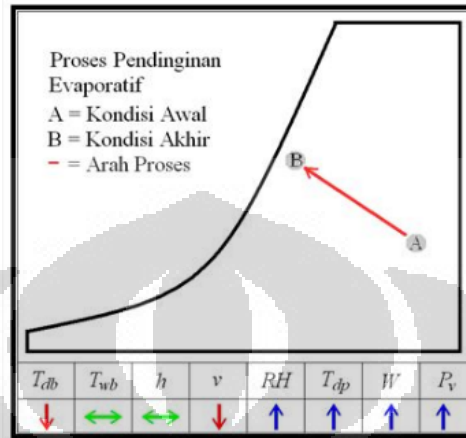
Pada proses pemanasan, terjadi peningkatan temperatur bola kering, temperatur bola basah, entalphi, dan volume spesifik dari udara lembab sedangkan pada kelembaban relatif terjadi penurunan. Perubahan tidak terjadi pada kelembaban mutlak, temperatur titik embun, dan tekanan uap parsial. Gambar 2.9 memperlihatkan proses pemanasan pada diagram psikometerik. Dari proses A menuju B. Titik A adalah temperatur lingkungan baik temperatur bola kering dan basah. Titik B terjadi kenaikan temperatur bola kering dan temperatur bola basah dengan nilai kelembaban konstan.



Gambar 2.8 Psikometrik pada proses pemanasan

❖ Proses pengeringan.

Pada proses pengeringan, perubahan karakteristik sifat-sifat termodinamika udara serupa dengan proses pendinginan evaporatif. Gambar 2.8 memperlihatkan proses pengeringan pada diagram psikometrik

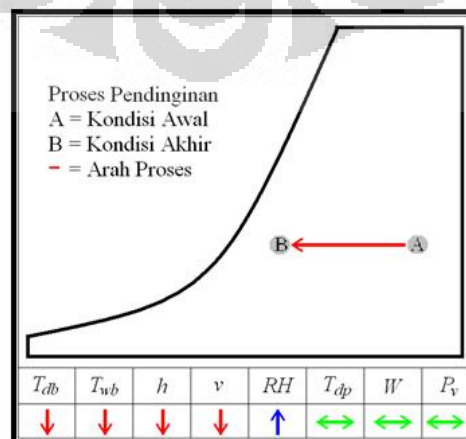


Gambar 2.9 Psikometrik pada proses pengeringan

Dari proses A menuju B beberapa parameter mengalami kenaikan, penurunan dan terdapat nilai konstan. Seperti terlihat salah satunya parameter suhu bola basah dan nilai entropi konstan. Berbeda dengan suhu bola kering yang mengalami penurunan yang berkebalikan dengan rasio kelembaban (ω).

❖ Proses Pendinginan

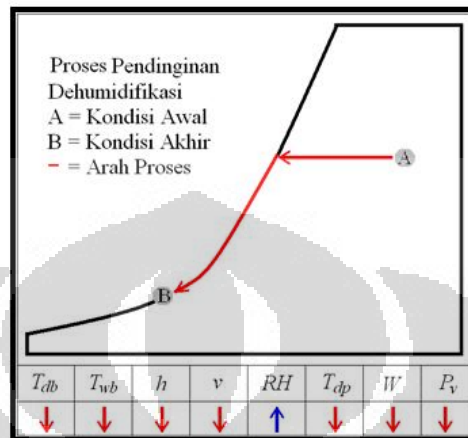
Proses pendinginan adalah proses pengambilan kalor sensibel dari udara sehingga temperatur udara tersebut mengalami penurunan. Proses ini hanya disebabkan oleh perubahan temperatur bola kering udara tanpa perubahan rasio kelembaban. Garis proses pada psikometrik adalah garis horizontal ke arah kiri.



Gambar 2.10 Psikometrik pada proses pendinginan

❖ Proses Pendinginan Dehumidifikasi

Proses ini dilakukan dengan cara melewatkan udara pada koil pendingin atau ruangan semburan air dimana temperaturnya lebih rendah dari temperatur udara sehingga terjadi penurunan kalor laten dan kalor sensibel.



Gambar 2.11 Psikometrik pada proses pendinginan dehumidifikasi

Berikut beberapa istilah (sifat-sifat udara) yang sering dipakai dan berkaitan dengan diagram psikometrik :

1. **Udara kering.** Udara kering murni merupakan campuran sejumlah gas seperti Nitrogen, Oksigen, Hidrogen, Argon, dan lain-lain. Nitrogen dan Oksigen menduduki porsi terbesar yaitu 78 % dan 21 %.

$$m = m_{da} + m_v \quad (2.5)$$

m_{da} = massa udara kering [kg]

m_v = massa uap air [kg]

2. **Udara lembab (*moist air*).** Merupakan campuran udara kering dengan uap air. Jumlah uap air yang terkandung di dalam udara sangat bergantung pada tekanan absolute dan temperature campuran.
3. **Udara saturasi.** Merupakan campuran udara kering dengan uap air dimana jumlah uap air di dalam udara sudah maksimum (udara berada dalam keadaan jenuh).
4. **Kelembaban (*Humidity/Specific humidity/Humidity ratio*).** Didefinisikan sebagai massa uap air dalam satu massa udara kering.

$$\omega = \frac{m_v}{m_{da}} \quad (2.6)$$

ω = rasio kelembaban (humidity ratio)

m_v = massa uap air [kg]

m_{da} = massa udara kering [kg]

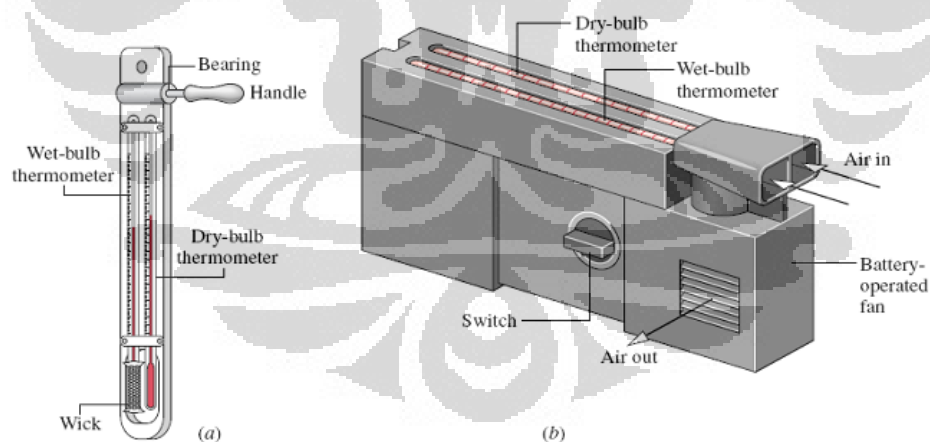
5. **Kelembaban relatif (*Relative humidity*)**. Merupakan kebasahan dari atmosfer yang dinyatakan dalam perbandingan antara tekanan parsial uap air udara basah dan tekanan uap air udara lembab yang jenuh pada temperatur bola kering yang sama.

$$RH(\phi) = \frac{x_v}{x_{ws}} \quad (2.7)$$

x_{ws} = fraksi mol uap air jenuh pada temperatur dan tekanan udara.

x_v = fraksi mole uap air

6. **Temperatur bola kering (*Dry bulb temperature*)**. Merupakan temperature udara yang terbaca pada termometer, ketika ia tidak dipengaruhi oleh kelembaban yang ada dalam udara.
7. **Temperatur bola basah (*Wet bulb temperature*)**. Merupakan temperature udara yang terbaca pada termometer yang bola pengukur temperaturnya dibungkus dengan kain basah ketika dialiri kecepatan lebih dari 3-5 m/s.



Gambar 2.12 Psikometer (a) Psikometer tangan
(b) *Aspirating Psychrometer* (Moran & Shapiro, 2004)

8. **Temperatur pengembunan**. Merupakan temperature dimana bagian uap air yang ada di udara mulai mengembun. Dilihat dari sisi tekanan parsial uap air dalam udara, temperature tersebut adalah temperatur jenuh (*saturasi*).

9. **Enthalpy.** Merupakan kalor yang dimiliki oleh udara setiap kg udara kering. Dinyatakan dengan^[4]:

$$h = h_{da} + h_w \quad (2.8)$$

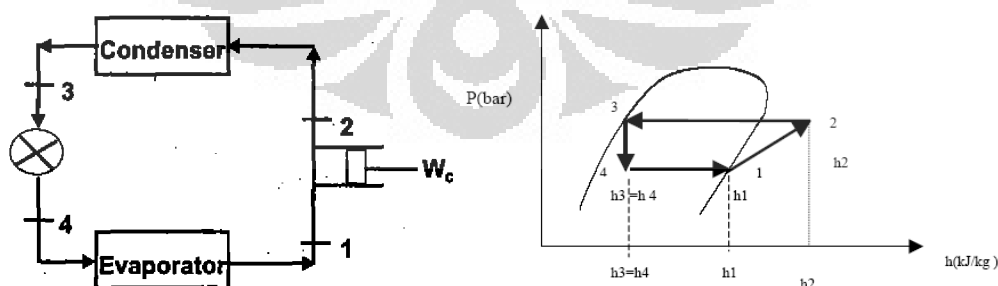
h = entalpi udara basah [kJ/kg]

h_{da} = entalpi udara kering [kJ/kg]

h_w = entalpi uap air [kJ/kg]

2.4 Sistem Refrigerasi

Mesin pompa kalor pengering bekerja dengan 2 jenis siklus energi. Di sisi dalam pompa kalor terjadi perpindahan kalor karena sirkulasi refrigeran, sedangkan di sisi luarnya terjadi perpindahan kalordan massa yang terjadi pada udara sebagai massa pemanas. Perpindahan kalor yang dihasilkan oleh pompa kalor terjadi karena sirkulasi refrigeran yang bekerja dengan kompresi uap. Pada daur ini uap refrigeran dikompresi dengan menggunakan kompresor, diembunkan pada kondensor, diekspansi dengan menggunakan peralatan ekspansi dan kemudian divapkan kembali pada evaporator. Pengembunan refrigeran dilakukan dengan menghilangkan kalor (heat rejection), sedangkan penguapan di evaporator terjadi karena pemasukan kalor (heat input). Di dalam pompa kalor refrigeran bekerja seperti pada siklus pendinginan. Perbedaannya terletak pada tujuannya, daur refrigerasi bertujuan menyerap kalor sedangkan pompa kalor bertujuan untuk mengeluarkan kalor pada temperatur tinggi. Gambar 2.13 disajikan skema kerja pompa kalor pada mesin pengering.



Gambar 2.13 Skema kerja pompa kalor

2.5 Perhitungan Laju Aliran Udara

Perhitungan laju aliran bahan menggunakan hubungan antara persamaan bernoulli dengan persamaan kontinuitas. Persamaan kontinuitas nya yaitu

$$\dot{m} = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (2.9)$$

di mana v adalah kecepatan. Jika aliran itu adiabatik dan tanpa gesekan (*frictionless*) dan fluida itu tak mampu mampat (*Incompressible*) maka persamaan Bernoulli yang kita kenal dapat kita tuliskan

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2g_c} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2g_c} \quad (2.10)$$

dimana $\rho_1 = \rho_2$. Bila persamaan kontinuitas dan Bernoulli diselesaikan secara serentak kita dapatkan sebagai penurunan tekanan

$$P_1 - P_2 = \frac{v_2^2}{2g_c} \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right] \quad (2.11)$$

v_1, v_2 = kecepatan aliran sebelum dan sesudah aliran (m/s^2)

P_1, P_2 = tekanan aliran sebelum dan sesudah lewat *orifice* (Pa)

A_1, A_2 = luas penampang sebelum dan sesudah *orifice* (m^2)

g_c = 1 ($kg \cdot m / N \cdot s^2$)

Maka laju volumetrik (Q_{ideal}) adalah

$$Q_{ideal} = A_2 v_2 = \frac{A_2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}} \sqrt{\frac{2g_c}{\rho(P_1 - P_2)}} \quad (2.12)$$

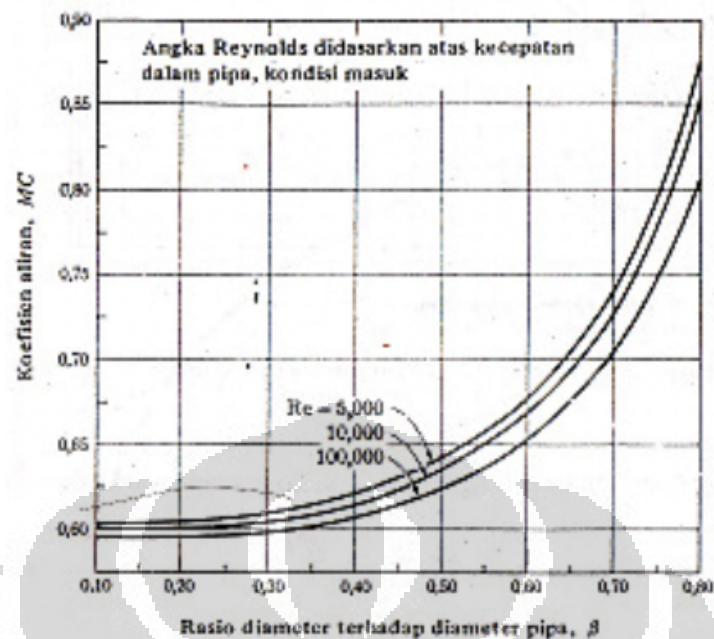
Q_{ideal} = laju aliran volume sebelum *orifice* (m^3/s)

M = faktor kecepatan masuk = $\frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right)}}$

K = koefisien aliran = MS

β = rasio diameter = $\frac{d}{D} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$

Konstanta K (koefisien) didapat dari grafik setelah menghitung bilangan Reynolds. Adanya *vena contracta* saat melintasi plat *orifice* maka persamaan menjadi $Q_{nyata} = Q_{ideal} C$



Gambar 2.14 Koefisien buang untuk *orifice* konsentris dalam pipa (Holman J.P, 1984)

Gambar 2.15 menunjukkan perbandingan antara koefisien aliran (MC) dengan rasio diameter (β). Perbandingan ini menentukan kecepatan aliran dalam pipa.

2.6 Perpindahan Panas

2.6.1 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya pergerakan fluida, fluida yang bergerak adalah udara yang dihembuskan melalui blower yang mengalirkan panas dari heater menuju obyek. Persamaan konveksi adalah sebagai berikut^[5] :

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.13)$$

2.6.2 Konduksi

Bila suatu benda terdapat perbedaan temperatur dengan panjang x , maka energi (kalor) akan berpindah dari bagian yang bertemperatur tinggi kearah bagian yang bertemperatur rendah dengan cara konduksi. Laju perpindahan ini berbanding dengan gradien temperatur normal.

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.14)$$

2.6.3 Radiasi

Radiasi berarti transmisi gelombang, objek atau informasi dari sebuah sumber ke medium atau tujuan sekitarnya. Radiasi termal adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan suatu benda karena temperatur benda tersebut. Rumus radiasi yang digunakan^[6] :

$$\frac{Q}{A} = \alpha\sigma(T_u^4 - T_d^4) \quad (2.15)$$

Q = laju perpindahan kalor [kJ/s]	Q = radiasi
h = koefisien konveksi [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	α = absorptivitas
A = luas permukaan [m^2]	σ = konstanta stefant boltzman [$W/m^2 K^4$]
T_s = temperatur permukaan [$^\circ C$]	T_u = temperatur sumber radiasi [K]
T_∞ = temperatur ambien [$^\circ C$]	T_d = temperatur <i>droplet</i> [K]
k = konduktivitas termal [$W/m \cdot ^\circ C$]	
x = jarak perpindahan kalor	

2.7 Perpindahan Massa

2.7.1 Koefisien perpindahan massa

Koefisien perpindahan massa (*mass transfer coefficient*) dapat kita definisikan seperti halnya dengan koefisien perpindahan kalor, jadi:

$$Q = hA(T_\infty - T_s)$$

$$Q_{\text{evaporasi}} = m \cdot h_{fg}$$

$$m = k_c A (\rho_s - \rho_\infty) \quad (2.16)$$

$$k_c = \frac{Sh \cdot D}{d}$$

m = fluks massa difusi komponen A [kg/s]
k_c = koefisien konveksi massa [m/s]
ρ_s = berat jenis uap pada permukaan [kg/m^3]
ρ_∞ = berat jenis infinite [kg/m^3]
Sh = bilangan Sherwood
D = difusivitas [m^2/s]

d = diameter dalam lapisan air [m]

A = luas permukaan yang dibasahi air (πdL) [m²]

2.7.2 Difusi dalam gas

Gilliland mengusulkan rumus semi empiris untuk koefisien difusi dalam gas :

$$D_{VAA} = 1.166e - 9 \exp \left[1,75 \ln \left(273 + \frac{(T_{in} + T_{out})}{2} \right)^{0.0555} \right] \quad (2.17)$$

Laju difusi molar :

$$N = \frac{\dot{m}}{M}$$

$$N = \frac{-dm/dt}{18.A}$$

Dimana $\frac{-dm}{dt} = \rho \frac{-dV}{dt}$

Dan $\frac{-dV}{dt} = Ax \frac{-dr}{dt}$

N = laju difusi mol [mol/s]

M = berat molekul [kg]

m = laju massa aliran (kg/s)

2.8 Bilangan Tak Berdimensi

Bilangan tak berdimensi merupakan suatu parameter yang tak memiliki satuan. Berguna untuk mengetahui kondisi atau karakteristik aliran fluida. Bilangan tak berdimensi bermanfaat pada metode eksperimen suatu sistem yang sama dengan sistem lain namun dalam dimensi yang berbeda. Berikut ini adalah beberapa bilangan tak berdimensi yang lazim digunakan pada bidang perpindahan kalor.

2.8.1 Bilangan Reynolds

Diperkenalkan pertama kali oleh Osbourne Reynolds (1842-1912) pada tahun 1883. Merupakan perbandingan atau rasio antara gaya inersia dan gaya

viskos dan dipakai untuk menentukan apakah suatu aliran laminar atau turbulen atau transisi, tetapi tekstur permukaan dan sifat fluida yang mengalir juga menentukan aliran fluida bentuk persamaan tersebut adalah :

$$Re = \frac{ux}{\nu}$$

u = kecepatan [m/s]

x = jarak [m]

ν = viskositas kinematik [m^2/s]

$$Re = \frac{\text{gaya inersia}}{\text{gaya viskos}} = \frac{\rho V^2 / L}{\mu V / L^2} = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (2.18)$$

ρ = massa jenis fluida

V = kecepatan alir fluida

L = panjang karakteristik, berupa diameter pipa

μ = viskositas dinamik.

Untuk nilai Re yang kecil, gaya viskos lebih dominan sehingga menciptakan jenis aliran laminar yang stabil, beraturan, dan profil kecepatan konstan. Sementara untuk nilai Re yang besar, timbul aliran turbulen yang fluktuatif, *eddies* acak, dan tak beraturan. Sedangkan aliran transisi merupakan suatu kondisi aliran peralihan yang membentuk laminar dan turbulen sehingga sulit untuk mendapatkan sifat-sifat aliran fluida.

Tabel Kondisi Aliran Fluida

Kondisi aliran fluida	Bidang datar (plat)	Dalam pipa
Laminar	$Re < 10^5$	$Re < 2300$
Transisi	$10^5 < Re < 3 \times 10^6$	$2300 < Re < 4000$
Turbulen	$Re > 3 \times 10^6$	$Re > 4000$

Sumber : *Fluid Mechanics*, Schaum's Outlines

Hal lain yang perlu diperhatikan mengenai kondisi fluida terhadap bilangan Reynolds adalah ketebalan lapisan batas. Semakin besar nilai Re , maka tebal lapisan kecepatan δ semakin kecil terhadap permukaan.

2.8.2 Bilangan Prandtl

Ludwig Prandtl mendefinisikan bilangan Prandtl sebagai bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara viskositas kinematik dengan difusivitas termal. Dalam kasus perpindahan kalor, Pr menentukan ketebalan relatif dari lapisan batas *hidrodinamik* dan *thermal boundary layer*.

Persamaannya yaitu :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.19)$$

ν = viskositas kinematik

α = difusivitas termal

Nilai tipikal dari Pr adalah sebagai berikut :

- 0,7 untuk udara dan gas
- 100 dan 40000 untuk oli mesin
- 4 dan 5 untuk R-12

2.8.3 Bilangan Schmidt

Bilangan Schmidt adalah bilangan tak berdimensi yang merupakan perbandingan antara viskositas kinematik dengan difusivitas massa. Digunakan untuk menentukan karakter aliran fluida bila ada momentum secara simultan dan difusi massa selama proses konveksi.

Persamaannya yaitu :

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (2.20)$$

ν = viskositas kinematik

D = difusivitas massa

2.8.4 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt merupakan bilangan yang menggambarkan karakteristik proses perpindahan panas^[11]

$$Nu_x = \frac{h \cdot x}{k} \quad (2.21)$$

h = koefisien perpindahan panas [W/(m² C)]

k = konduktivitas panas udara [W/(m C)]

2.8.5 Bilangan Sherwood

Bilangan Sherwood merupakan bilangan yang menggambarkan gradien konsentrasi yang terjadi pada permukaan^[12].

$$Sh = \frac{k_c \cdot L}{D_{AB}} \quad (2.22)$$

2.8.6 Bilangan Lewis

Bilangan Lewis merupakan perbandingan antara difusivitas termal dan difusivitas massa, bermanfaat untuk menentukan karakteristik aliran fluida dimana terjadi perpindahan kalor dan perpindahan massa secara simultan yang disebabkan oleh konveksi.

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}}$$

$$Le = \frac{Sc}{Pr} \quad (2.23)$$

2.9 Persamaan Ranz-Marshall

Persamaan Ranz-Marshall diperkenalkan pertama kali oleh Ranz W E & Marshall W R, Jr. pada tahun 1953, merupakan analogi (hubungan) perpindahan massa dengan perpindahan kalor. Analogi ini mempunyai persyaratan bilangan Lewis $Le \left(\frac{Sc}{Pr} \right)$ bernilai satu^[13] dan nilai $Re \leq 200$. Berikut adalah pers. Ranz-Marshall :

$$Nu = 2 + 0,6 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (2.23)$$

Sehingga dengan analogi untuk perpindahan massa berlaku :

$$Sh = 2 + 0,6 Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2.25)$$

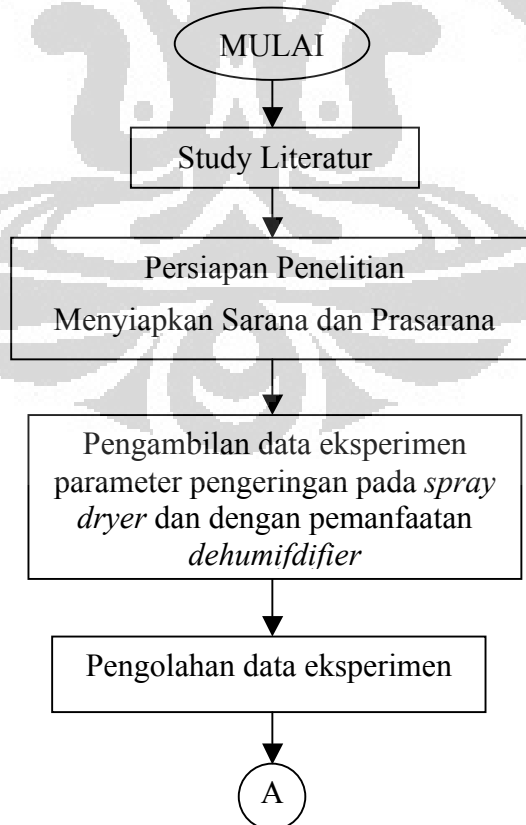
BAB 3 METODE PENELITIAN

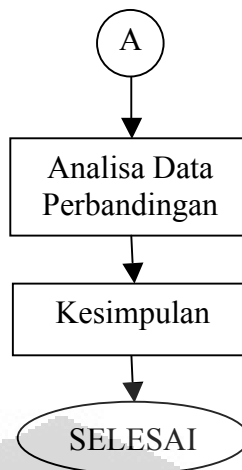
3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini yaitu membandingkan data eksperimen pada pengering semprot dan dengan pemanfaatan *dehumidifier* menggunakan bahan air. Langkah awal adalah mengambil data eksperimen kedua tipe yang berupa temperatur udara kering dan basah yang masuk ke sistem dehumudifikasi, laju bahan masuk ruang pengering, temperatur udara keluar heater, tekanan udara masuk *nozzle*, laju udara masuk ruang pengering, dan keadaan penampung produk. Kemudian data-data dari kedua tipe tersebut diolah untuk dibandingkan kinerjanya.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Adapun kegiatan penelitian ini dapat digambarkan seperti terlihat pada gambar berikut :

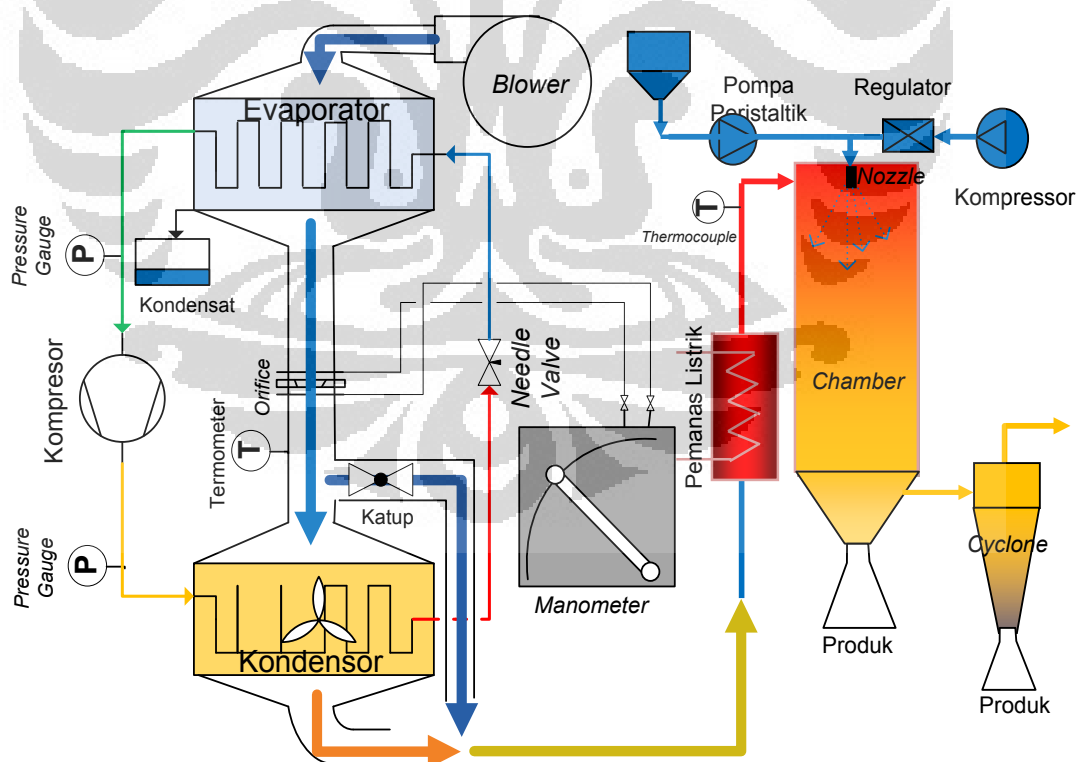




Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Skematik Sistem Dehumidifikasi Pada Pengering Semprot

Berikut adalah gambar skematik sistem dehumidifikasi pada pengering semprot.

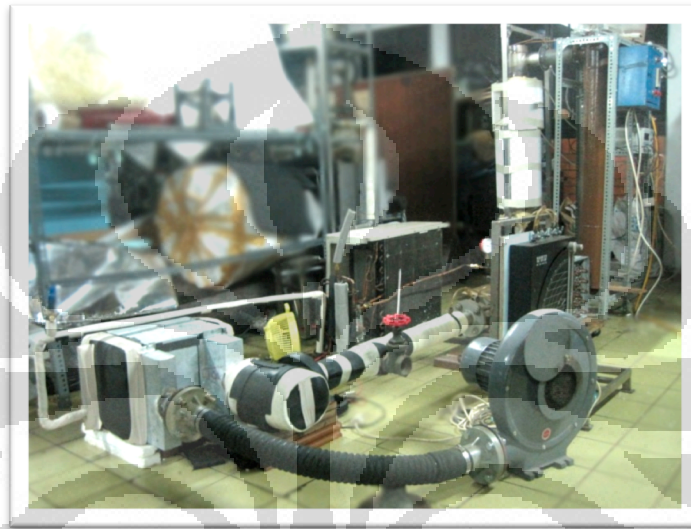


Gambar 3.2 Skematik Alat Uji

3.4 Deskripsi Sistem Alat Pengujian

3.4.1 Komponen Sistem

Peralatan yang digunakan dalam proses pengambilan data pada pengering semprot adalah terdiri dari rangkaian pengering semprot dan *dehumidifier*. Seperti terlihat pada gambar 3.3, *chamber*, pemanas listrik dan *cyclone* terpasang pada rangka siku berongga. Sedangkan sitem *dehumidifier* yang terdiri dari evaporator, kondensor, blower, manometer dan compressor terletak di lantai.



Gambar 3.3 Rangkaian Pengering Semprot

- *Blower*

Digunakan untuk mendorong udara agar dapat masuk ke sistem. Tipe yang dipakai adalah *blower* sentrifugal dorong, dengan debit maksimal 1320 m³/jam. Blower ini dipasang sebagai penghasil kecepatan aliran pada sistem. Sedangkan untuk mengatur kecepatan aliran tersebut akan digunakan inverter sebagai pengatur frekwensi motor.



(a)

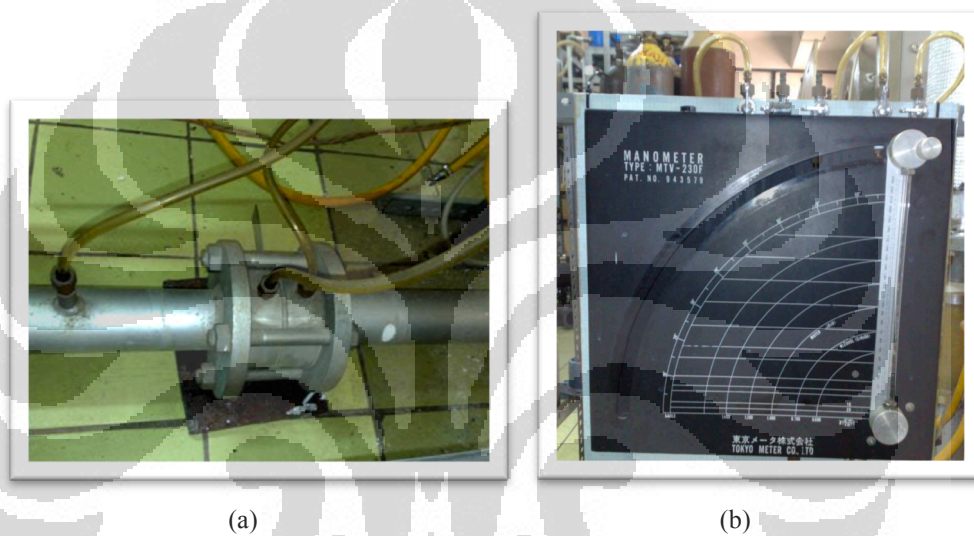


(b)

Gambar 3.4 (a) Blower (b) Inverter

- *Orifice* dan Manometer

Orifice digunakan untuk mengukur kecepatan udara dari blower yang dibaca pada manometer. *Orifice* yang digunakan adalah *orifice* standar manufaktur yang telah memiliki nilai koefisien sendiri. Seperti terlihat pada gambar 3.5 *orifice* ditempatkan diantara sambungan. Sedangkan manometer adalah suatu alat untuk mengukur tekanan pada suatu lokasi yang ditentukan dalam fluida, seperti terlihat pada gambar 3.6. Alat ini mendeteksi tekanan diferensial antara lokasi yang diukur dengan tekanan rujukan. Manometer ini satu kesatuan paket dengan *orifice* nya.

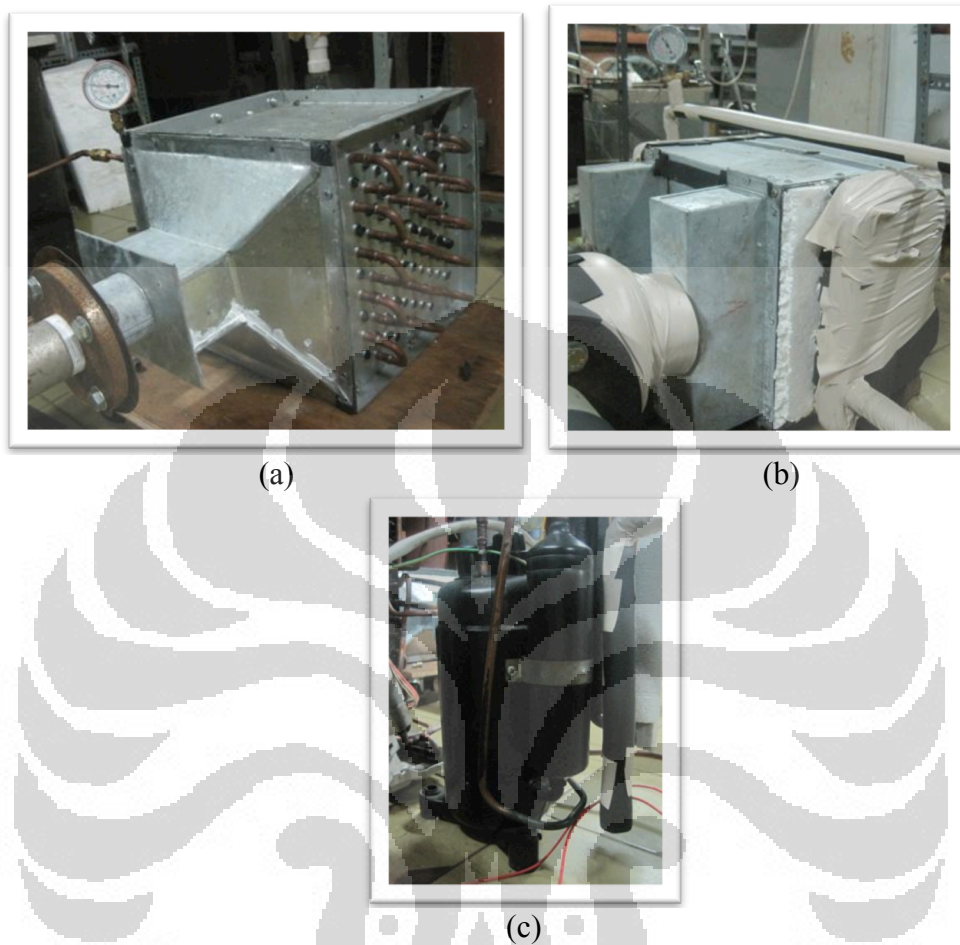


(a) *Orifice* (b) Manometer Air

- Kondensor, Evaporator dan Kompresor

Refrigeran dalam kondisi uap jenuh masuk ke kompresor. Kompresor akan menaikkan tekanan dan temperaturnya sehingga refrigeran akan menjadi uap jenuh lanjut. Kemudian refrigeran akan masuk ke kondensator. Di sini kondensator berfungsi untuk mencairkan uap refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi (yang keluar dari kompresor), diperlukan usaha melepaskan kalor. Kalor ini dimanfaatkan untuk memanaskan kembali udara dari evaporator. Keluar kondensator refrigeran masuk ke katup ekspansi untuk menjalani proses pengecilan (*throttling*) sehingga mengalami penurunan tekanan dan temperatur yang berubah menjadi campuran jenuh. Selanjutnya refrigeran masuk ke evaporator untuk menyerap kalor dari udara yang masuk dari blower. Proses kondensasi udara

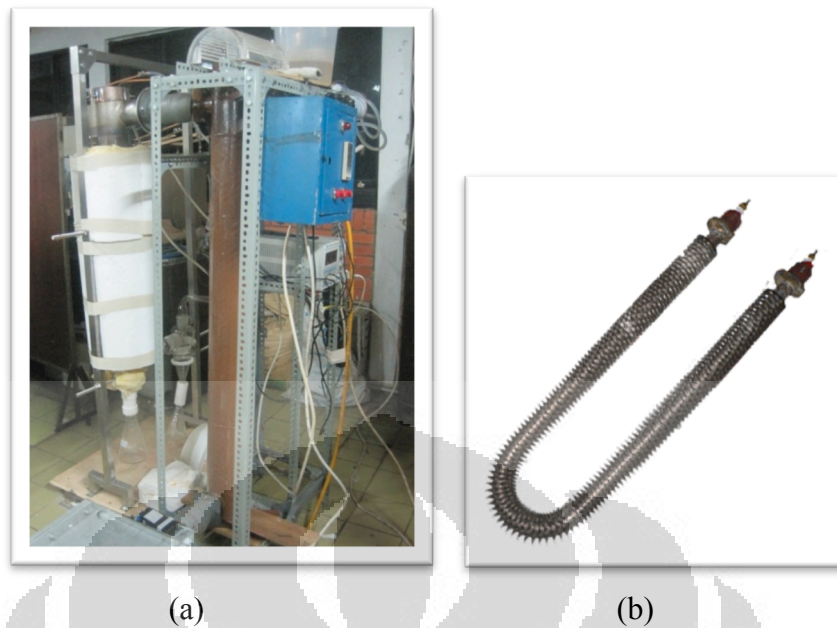
terjadi bila temperatur udara keluar evaporator lebih rendah dari titik temperatur embunnya (*dew point*).



Gambar 3.6 (a) Kondensator (b) Evaporator (c) Kompresor

- Pemanas listrik, ruang pengering dan *cyclone*

Pemanas yang digunakan untuk menaikkan temperatur udara kondensator menggunakan pemanas listrik tipe *Fin Heating Element* yang dikendalikan oleh *controller*. Elemen pemanas ini dimasukkan ke dalam ruangan tabung untuk dilwatkan udara. Udara yang telah dipanaskan akan diteruskan ke ruang pengering (*chamber*) yang terbuat dari kaca jenis *pyrex*. Penggunaan kaca *pyrex* ini bertujuan agar pengamatan proses pengeringan dapat terlihat jelas juga temperatur kerja bahan ini sampai mencapai 490°C. Dari ruang pengering, udara panas yang telah mengandung banyak air akan diteruskan ke ruang *cyclone*. Di ruang ini terjadi pemisahan antara produk serbuk dan udara panas yang dibuang melalui cerobong pembuangan.



Gambar 3.7 (a) Ruang pemanas listrik, pengeringan dan *cyclone*
(b) Fin Heating Element

- Pengatur Tekanan (*FRL Pressure Regulator*)

Sebagai alat untuk mengatur tekanan udara dari kompresor yang masuk ke *nozzl*. Tekanan keluaran dari kompresor bisa mencapai 8 bar, Dengan regulator ini maka tekanan tersebut dapat dibatasi.



Gambar 3.8 *Pressure Regulator*

- Pompa Fluida Peristaltik

Pompa peristaltik digunakan untuk mendorong fluida bahan yang akan dikeringkan menuju *nozzel*. Pompa peristaltik ini mempunyai laju aliran yang relatif konstan. Prinsip kerjanya adalah berputarnya silinder head yang menekan slang, akibatnya penekanan dari silinder head yang terus menerus akan mengakibatkan terjadinya aliran fluida pada slang. Spesifikasi pompa peristaltik

yang digunakan dapat mengalirkan fluida 1,7-966 mL/menit dengan pengaturan 0-100 rpm.



Gambar 3.9 Pompa Peristaltik

- *Pneumatic Nozzle*

Pneumatic nozzle, jenis ini juga dikenal dengan nama *two fluid nozzle* dimana menggunakan udara bertekanan untuk mengatomisasi cairan fluida yang didorong oleh pompa peristaltik. Penggabungan bahan uji dengan tekanan udara yang berasal dari kompresor menjadikan droplet pada bahan uji dengan tujuan untuk mengabutkan bahan yang masuk ke ruang pengering.



Gambar 3.10 *Pneumatic Nozzle*

- Bejana Pengukur Fluida

Alat ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan yang akan dikeringkan dan juga sebagai alat ukur laju bahan dalam (kg/s), seperti terlihat pada gambar 3.6. Pengurangan berat fluida bahan uji yang dialirkan diukur setiap waktu oleh timbangan elektrik. Kemudian bahan uji ini diteruskan menuju *nozzle*.



Gambar 3.11 Bejana Pengukur Fluida

- Panel Kontrol dan Termometer digital

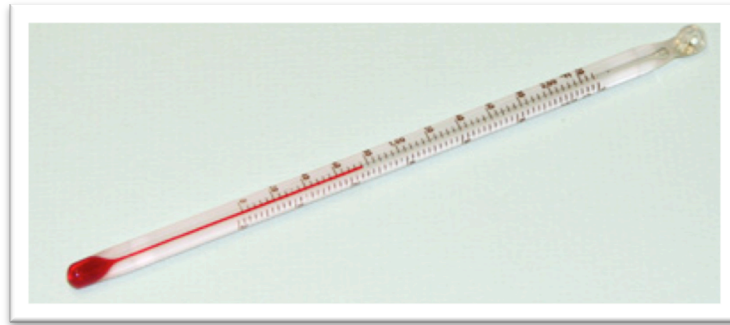
Panel kontrol digunakan sebagai terminal atau pusat kontrol dari pemanas listrik, disini kita dapat mengatur seberapa besar temperatur udara yang keluar dari pemanas. Sedangkan termometer digital digunakan untuk mengukur temperatur udara keluar evaporator, kondensor dan *cyclone*.



Gambar 3.12 Kontak Panel dan Termometer digital

- Termometer batang

Termometer ini digunakan untuk mengukur temperatur udara kering (*dry bulb*) dan temperatur udara basah (*wet bulb*), pengukuran digunakan secara bergantian baik mengukur temperatur udara kering maupun temperatur udara basah. Temperatur udara kering digunakan sesuai dengan prosedur penggunaan termometer biasanya atau tanpa alat bantu sedangkan temperatur udara basah berbeda menggunakan kapas basah yang dilapisi ujung termometer tersebut.



Gambar 3.13 Termometer batang

- *Clamp Meter*

Clamp meter ini digunakan untuk mengukur voltase, arus dan $\cos \theta$ sebagai acuan untuk menentukan daya listrik yang dipakai kompresor dalam sistem refrigerasi untuk mensirkulasikan fluida refrigeran dalam sistem dehumidifikasi.



Gambar 3.14 Clamp Meter

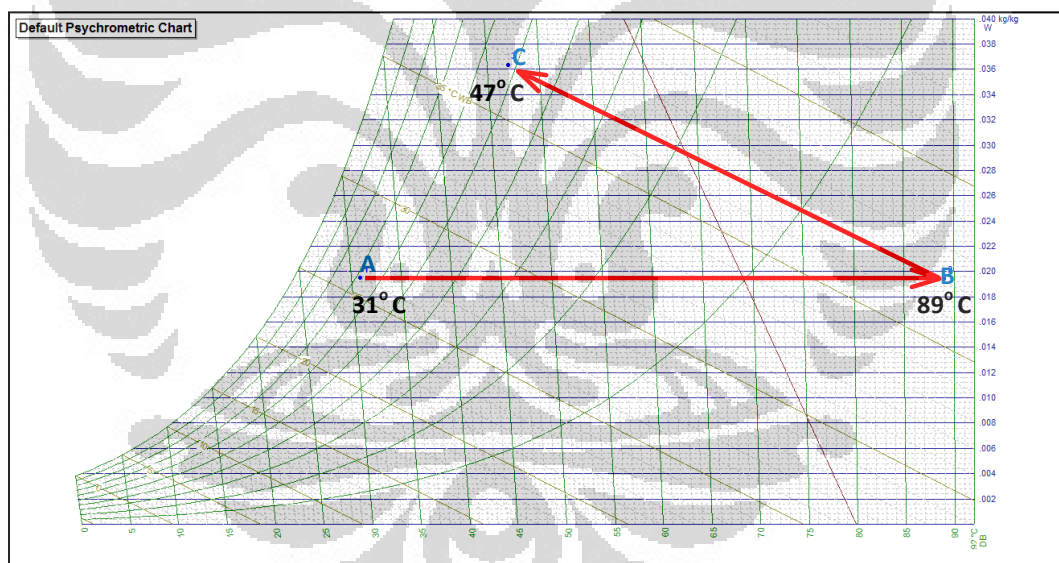
3.4.2 Bahan Uji

Untuk keperluan pengujian sistem alat digunakan bahan air bersih. Penggunaan air ini diasumsikan dapat mewakili kandungan air dalam sari buah karena total padatan terkandung dalam sari buah contohnya belimbing yang sangat kecil yaitu 3-5 %.

3.5 Proses Pengkondisian Udara

Di bawah ini akan dijelaskan mengenai proses pengkondisian udara pengering semprot tipe pemanas listrik dan dengan sistem dehumidifikasi pompa kalor. Pada pengering semprot tipe pemanas listrik, udara hanya di panaskan oleh

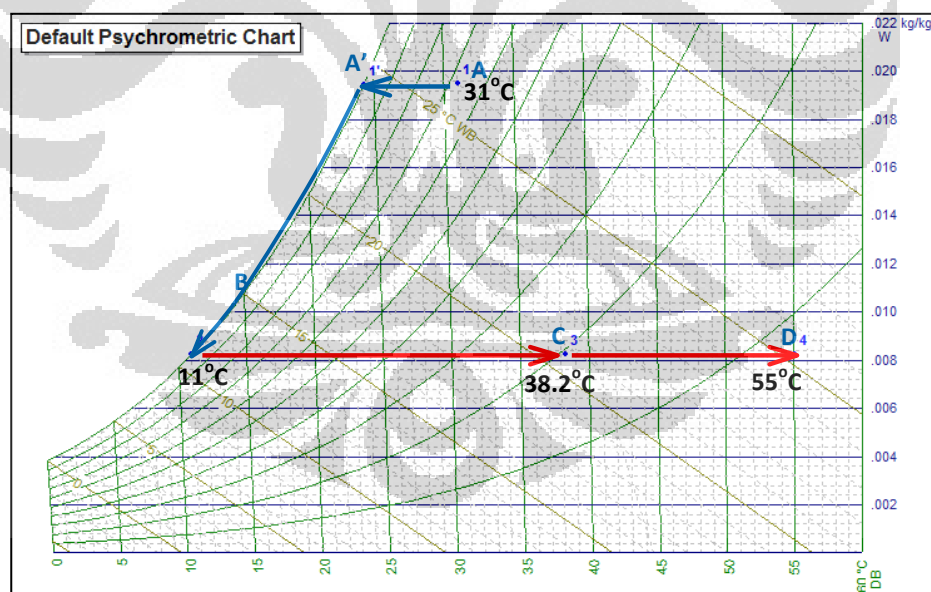
pemanas listrik. Pada proses pemanasan ini, terjadi peningkatan temperatur bola kering, temperatur bola basah, entalpi, dan volume spesifik dari udara lembab sedangkan pada kelembaban relatif terjadi penurunan. Perubahan tidak terjadi pada rasio kelembaban (ω), temperatur titik embun, dan tekanan uap parsial. Gambar 3.16 memperlihatkan contoh proses pemanasan pada diagram psikometrik. Titik A adalah temperatur lingkungan baik temperatur bola kering ($T_{db_a} = 31^\circ\text{C}$) dan basah ($T_{wb_a} = 26^\circ\text{C}$). Titik B terjadi kenaikan temperatur bola kering ($T_{db_b} = 89^\circ\text{C}$) dan temperatur bola basah ($T_{wb_b} = 36.7^\circ\text{C}$) dengan nilai rasio kelembaban konstan ($\omega = 0.01922 \text{ kg/kg}$). Kemudian dilanjutkan unruk proses pengeringan evaporasi ke titik C ($T_{db_c} = 47^\circ\text{C}$; $T_{wb_c} = 36.70^\circ\text{C}$). Seperti terlihat salah satunya parameter suhu bola basah dan nilai entropi konstan. Berbeda dengan suhu bola kering yang mengalami penurunan yang berkebalikan dengan nilai kelembaban relatif.



Gambar 3.15 Proses pemanasan udara dan pengeringan pada tipe pemanas listrik

Sedangkan pada tipe pemanas listrik dengan sistem dehumidifikasi pompa kalor, terjadi beberapa proses pengkondisian udara. Proses ini dilakukan dengan cara melewati udara pada koil pendingin atau evaporator dimana temperaturnya lebih rendah dari temperatur *dew point* udara sehingga terjadi penurunan kalor laten dan kalor sensibel yang mengakibatkan kondensasi uap air di udara. Gambar 3.17 memperlihatkan contoh proses dehumidifikasi dan pemanasan udara pada

diagram psikometrik Dimulai dari proses pendinginan dari titik A ($T_{db_a} = 31^{\circ}\text{C}$; $T_{wb_a} = 26^{\circ}\text{C}$). Proses ini hanya disebabkan oleh perubahan temperatur bola kering udara tanpa perubahan rasio kelembaban. Garis proses pada psikometrik adalah garis horizontal ke arah kiri sampai titik A' ($T_{db_a} = 24,29^{\circ}\text{C}$; $\text{RH} = 100\%$). Kemudian setelah mencapai titik *dew point*, udara tadi kembali diturunkan temperaturnya melewati garis kelembaban 100% sampai dengan temperatur target titik B ($T_{db_b} = 11^{\circ}\text{C}$; $\text{RH} = 100\%$). sesuai nilai rasio kelembaban yang diinginkan ($\omega_b = 0.00816 \text{ kg/kg}$). Setelah itu udara dilewatkan melalui kondensor. Di sini panas kondensor dimanfaatkan untuk menaikkan temperatur udara sampai titik C ($T_{db_c} = 38.2^{\circ}\text{C}$; $\omega_c = 0.00816 \text{ kg/kg}$). Garis prosesnya pada psikometrik adalah garis horizontal ke arah kanan, yang terjadi perubahan temperatur bola kering udara tanpa perubahan rasio kelembaban. Namun untuk kebutuhan temperatur pengeringan yang lebih tinggi diperlukan prose pemanasan kembali oleh pemanas listrik, sehingga udara dari titik C akan berubah kondisinya setelah pemanasan ulang ke titik D ($T_{db_d} = 55^{\circ}\text{C}$; $\omega_c = 0.00816 \text{ kg/kg}$).



Gambar 3.16 Proses dehumidifikasi dan pemanasan udara

3.6 Prosedur Eksperimen Pengering Semprot

Proses pengambilan data dengan menggunakan bejana ukur untuk mengukur laju bahan masuk, termometer untuk mengukur temperatur udara

kering dan basah keluar ruang pengering, manometer *orifice* untuk mengukur laju udara masuk, pengatur tekanan untuk mengukur tekanan masuk *nozzle* dan katup ekspansi untuk mengatur temperatur udara keluar dari evaporator. Cara pengambilan data untuk pengering semprot tipe pemanas listrik adalah sebagai berikut :

1. Masukkan kabel-kabel sumber daya listrik untuk kompresor angin, blower, pompa peristaltik, kompresor sistem refrigerasi dan pemanas listrik pada sumber listrik PLN.
2. Mengukur temperatur udara kering dan basah yang masuk blower.
3. Hidupkan blower dan pemanas listrik, atur pada flow udara masuk dan temperatur pengujian yang diinginkan.
4. Mengukur kecepatan aliran udara masuk melalui manometer yg terhubung ke *orifice*.
5. Menyalakan kompresor angin dan mengatur tekanan dengan menggunakan regulator.
6. Hidupkan pompa peristaltik untuk memompa bahan, atur berapa rpm yang diperlukan untuk laju alir bahan tertentu dan buka katup aliran ke *nozzle*.
7. Atur temperatur udara masuk melalui panel kontrol
8. Mengukur temperatur udara kering keluar pengering utama.
9. Variasikan semua parameter pengeringan agar mendapatkan temperatur pengeringan minimal.

Untuk cara pengambilan data pengering semprot dengan pemanfaatan *dehumidifier*, perlu ditambahkan langkah menghidupkan sistem refrigrasi setelah langkah 3 di atas. Kemudian atur katup ekspansi untuk mendapatkan temperatur udara yang keluar evaporator dan atur katup *by pass* untuk mendapatkan temperatur pemanasan udara oleh kondensor.

Data yang diambil berdasarkan pengambilan data pada bulan Desember 2011 di Laboratorium Perpindahan Panas Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3.7 Perhitungan Debit Udara

Perhitungan debit udara diperlukan untuk mengetahui massa udara yang mengalir ke ruang pengering. Pengukurannya menggunakan pelat *orifice* yang

sudah ada, di mana ketetapan persamaannya mengikuti bawaan dari manufakturnya. Sehingga dalam menentukan debit udara yang melewati *orifice* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_a = 0.01242 \alpha (d_o)^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma^a}} \quad (3.1)$$

Q_a = debit udara (m^3/h)

Δp = ketinggian air manometer (mmAqua)

α = koefisien aliran = 0,8534

d_o = Diameter lubang *orifice* = 28,3 mm

γ^a = berat udara spesifik (kg/m^3)

3.8 Teknik pengolahan data

3.8.1 Variasi parameter pengeringan

Untuk memudahkan dalam pengambilan data sampel pengering semprot maka perlu ada variasi beberapa parameter yang mempengaruhi hasil pengeringan. Variasi-variasi parameter nya adalah sebagai berikut :

- ✓ 4 parameter debit udara :
0,01180; 0,01524; 0,01927; 0,02155 (m^3/s)
- ✓ 4 parameter laju aliran massa bahan :
0,12; 0,21; 0,27; 0,39 (kg/jam)
- ✓ 5 parameter rasio kelembaban udara :
0,0067; 0,0082; 0,0106; 0,0138; 0,0187 ($kg/kg da$).

Sehingga ada 80 variasi percobaan untuk kemudian dari berbagai variasinya dicari temperatur minimum pengeringan sampai bahan uji kering.

3.8.2 Perhitungan data eksperimen

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian dengan berbagai variasi parameter pengeringan kemudian diolah untuk menentukan suatu karakteristik pola data yang akan dianalisa di bab 4. Berikut adalah persamaan untuk pengolahan data eksperimen :

❖ Properties udara

Dari parameter suhu bola kering dan suhu bola basah maka didapat beberapa properties lain dengan menggunakan diagram psikrometrik yang berbentuk software yang lebih mudah digunakan. Properties seperti rasio kelembaban, volume spesifik dan *enthalpy* dicari untuk keperluan perhitungan selanjutnya.

❖ Laju alir massa udara kering

$$\dot{m}_{da} = \frac{\dot{m}_a}{1 + \omega_1} \quad (3.2)$$

❖ Laju alir massa air terkondensasi

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{da} \cdot (\omega_1 - \omega_2) \quad (3.3)$$

❖ Daya pemanas listrik

$$P_{heater} = \dot{m}_{da} \cdot C_p \cdot (\Delta T) \quad (3.4)$$

$$P_{heater} = \dot{m}_{da} \cdot (\Delta h)$$

❖ Daya kompresor referigrasi

$$P_{kompresor} = Q_{kondensor} - Q_{evaporator} \quad (3.5)$$

$$Q_{evaporator} = (\dot{m}_{da} \cdot \Delta h) - (\dot{m}_w \cdot h_w) \quad (3.6)$$

❖ Kalor penguapan

$$Q_{penguapan} = \dot{m}_{bahan} \cdot h_{fg} \quad (3.7)$$

❖ Kinerja sistem

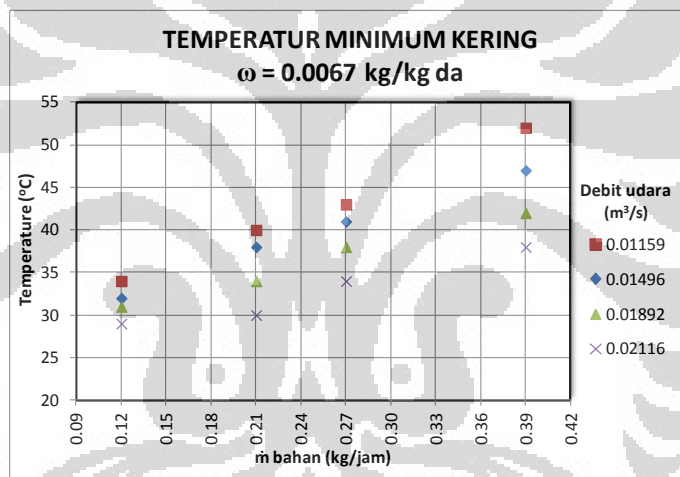
$$\begin{aligned} \text{Kinerja sistem} &= \frac{Q_{penguapan}}{P_{listrik}} \\ &= \frac{Q_{penguapan}}{P_{heater} + P_{kompresor}} \end{aligned} \quad (3.8)$$

BAB 4

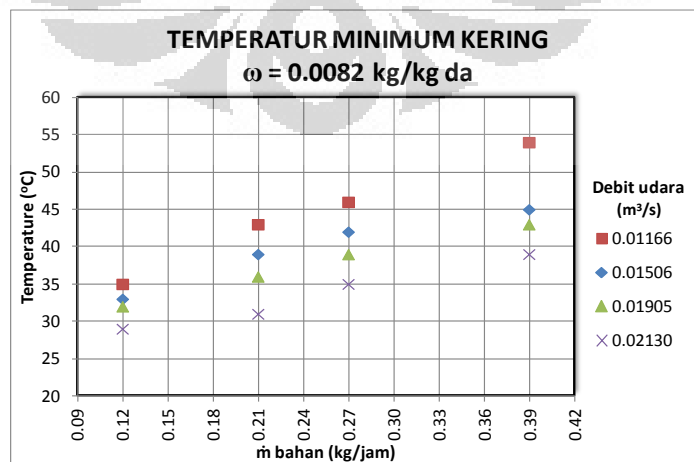
ANALISA DATA HASIL EKSPERIMEN

4.1 Data Eksperimen

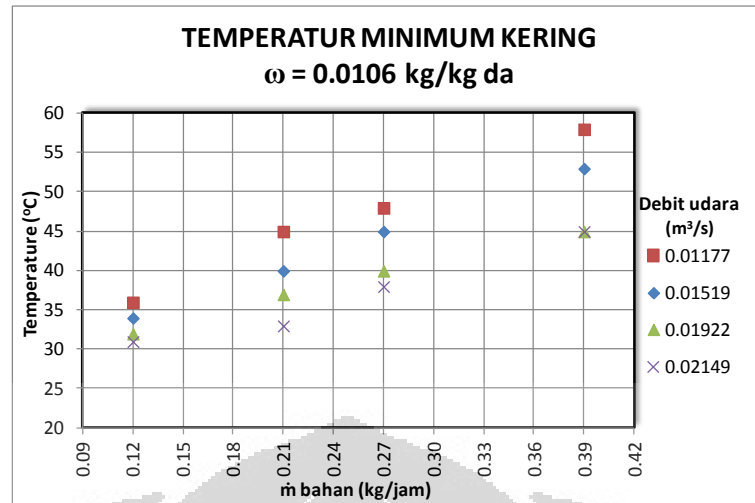
Dari hasil percobaan dengan kombinasi variasi-variasi parameter pengeringan yang telah dijelaskan di sub bab 3.8.1 didapatkan data-data eksperimen yang berupa temperatur udara masuk dan keluar evaporator, temperatur udara keluar kondensor, temperatur udara setelah heater, debit udara, laju aliran massa bahan uji, dan daya kompresor refrigeran. Secara jelas dapat dilihat pada lampiran 1. Namun secara sederhana mengenai hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap laju alir massa (\dot{m}_{bahan}) pada rasio kelembaban (ω) udara tertentu dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini.



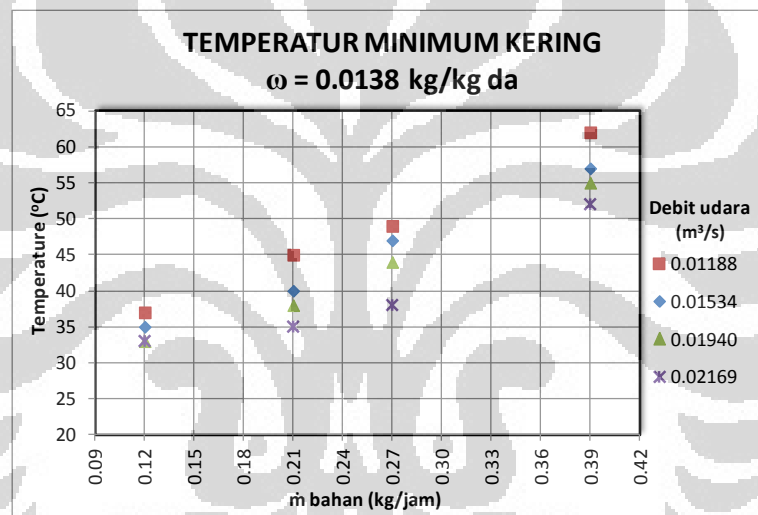
Gambar 4.1 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} pada $\omega = 0.0067$ kg/kg da



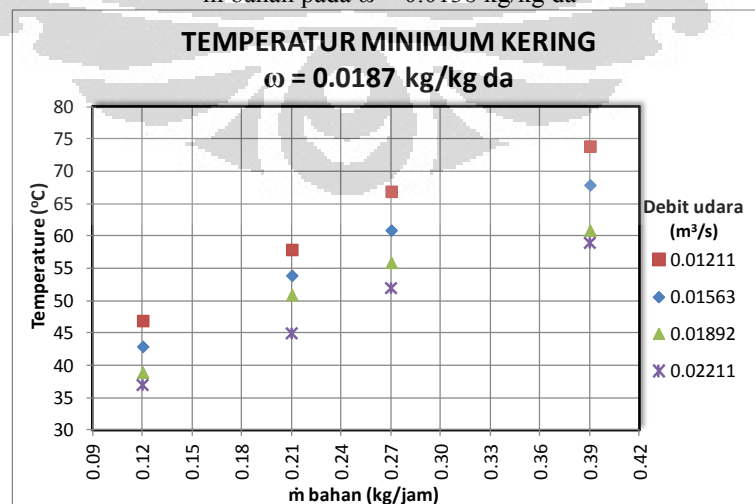
Gambar 4.2 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} pada $\omega = 0.0082$ kg/kg da



Gambar 4.3 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada $\omega = 0.0106 \text{ kg/kg da}$



Gambar 4.4 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada $\omega = 0.0138 \text{ kg/kg da}$

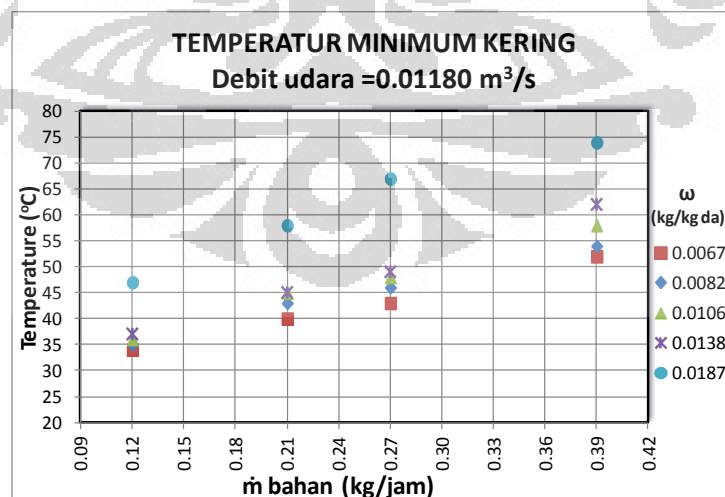


Gambar 4.5 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada $\omega = 0.0187 \text{ kg/kg da}$

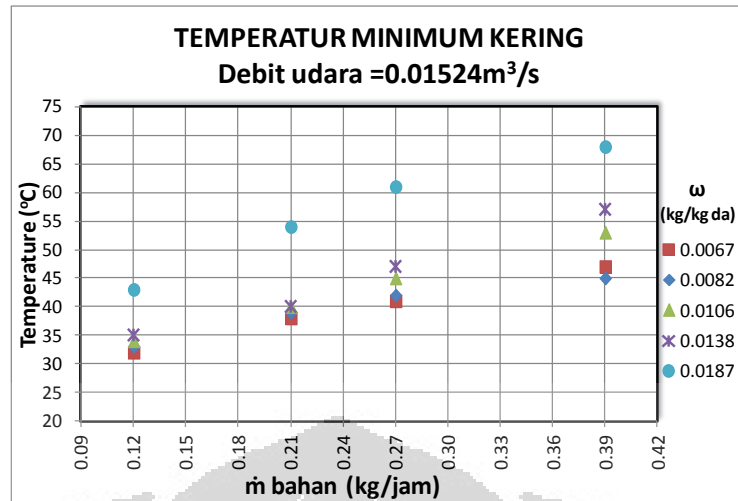
Terlihat pada grafik-grafik di atas bahwa laju alir massa bahan berbanding lurus dengan temperatur minimum pengeringan. Saat laju alir massa bahan besar maka temperatur minimum pengeringannya juga tinggi pada laju alir udara yang konstan. Juga temperatur ini dipengaruhi oleh laju alir udara yang masuk ke ruang pengeringan. Pada laju alir massa bahan konstan, temperatur minimum pengeringan akan rendah saat laju alir udara yang diberikan tinggi. Pernyataan di atas sudah sangat umum, tetapi ada perbandingannya ketika rasio kelembaban udaranya berubah. Ini akan dijelaskan pada analisa berikutnya. Terdapat beberapa titik pada grafik yang tidak mengikuti pola kebanyakan, ini dimungkinkan karena salah pengukuran dan pengamatan.

4.2 Temperatur Minimum Kering Berdasarkan \dot{m}_{bahan}

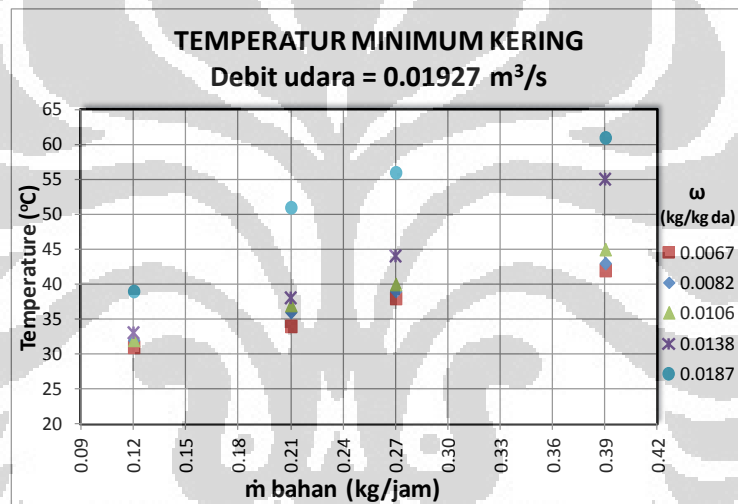
Berikut adalah grafik-grafik hubungan antara temperatur minimum pengeringan dengan laju alir massa bahan (\dot{m}_{bahan}) yang akan dikeringkan pada laju alir massa udara (\dot{m}_{udara}) tertentu. Terlihat bahwa temperatur minimum pengeringan bergantung juga laju alir massa bahan (\dot{m}_{bahan}) yang akan dikeringkan. Sudah umum kita ketahui bahwa temperatur minimum pengeringan meningkat sejalan dengan penambahan laju alir massa bahan yang dikeringkan, karena dibutuhkan energi lebih untuk mengeringkan massa bahan yang lebih banyak.



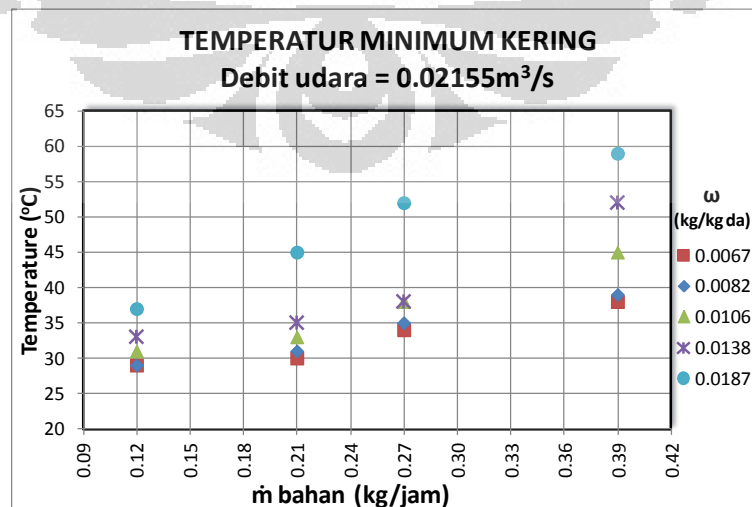
Gambar 4.6 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} yang dikeringkan pada debit udara = $0.01180 \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar 4.7 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} yang dikeringkan pada debit udara = $0.01524 \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar 4.8 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} yang dikeringkan pada debit udara = $0.01927 \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar 4.9 Grafik hubungan temperatur minimum pengeringan terhadap \dot{m}_{bahan} yang dikeringkan pada debit udara = $0.02125 \text{ m}^3/\text{s}$

Kecenderungan pola temperatur minimum pengeringan terhadap laju alir massa bahan pada setiap debit udara adalah sama yang mana bisa terlihat pada semua grafik memiliki gradien positif mengarah ke kanan atas. Pada laju alir massa bahan yang sama, temperatur minimum pengeringan akan rendah sekali bila rasio kelembaban udaranya juga rendah, begitupun sebaliknya. Ini disebabkan pada rasio kelembaban udara yang rendah terjadi perpindahan massa air dari bahan ke udara karena sifat diffusitas massanya. Hanya dibutuhkan sedikit kalor saja untuk membantu proses pengeringan, sehingga temperatur minimum pengeringan menjadi rendah. Yang menarik di sini adalah hubungan perubahan temperatur (dT) minimum pengeringan pada setiap perubahan rasio kelembaban udara (ω) yang kecenderungannya pada laju alir massa yang tetap bahwa perubahan penurunan temperaturnya tidak terlalu signifikan saat rasio kelembaban berada antara 0.0067 dan 0.0082. Berbeda halnya saat rasio kelembabannya berada antara 0.0187 dan 0.0138 yang penurunan temperaturnya relatif signifikan. Ini berarti ketika rasio kelembaban diturunkan melebihi 0.0082 maka sudah tidak optimal lagi untuk mendapatkan temperatur pengeringan minimum, jadi daya yang digunakan untuk menurunkan rasio kelembaban sudah tidak sebanding dengan penurunan temperatur pengeringannya.

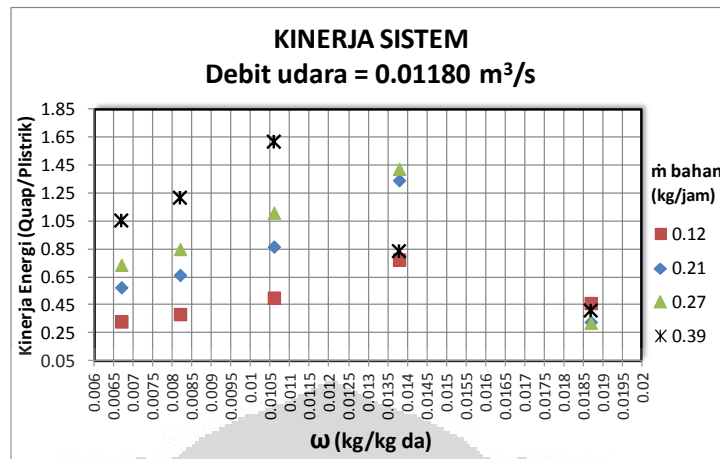
4.3 Perbandingan Kinerja Sistem

Di bawah ini adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara kinerja sistem pengeringan terhadap rasio kelembaban udara yang masuk ke ruang pengeringan pada debit laju alir udara tertentu. Kinerja yang dimaksud di sini adalah kinerja sistem dengan persamaan berikut,

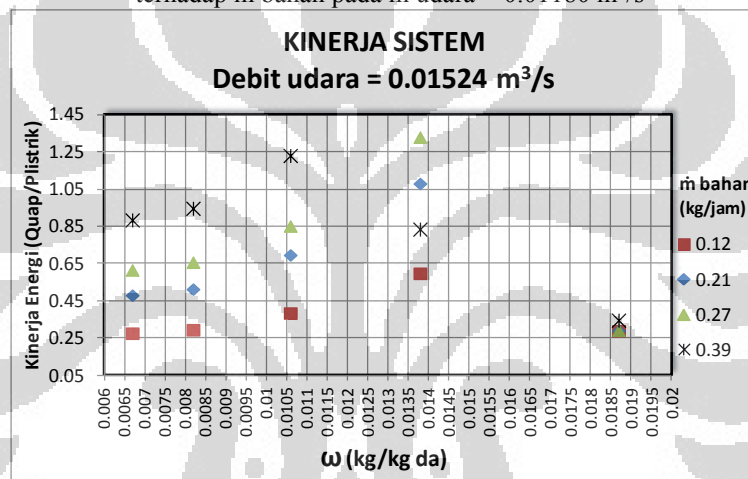
Kinerja sistem

$$= \frac{Q_{\text{penguapan}}}{P_{\text{heater}} + P_{\text{kompresor}}} \quad (4.1)$$

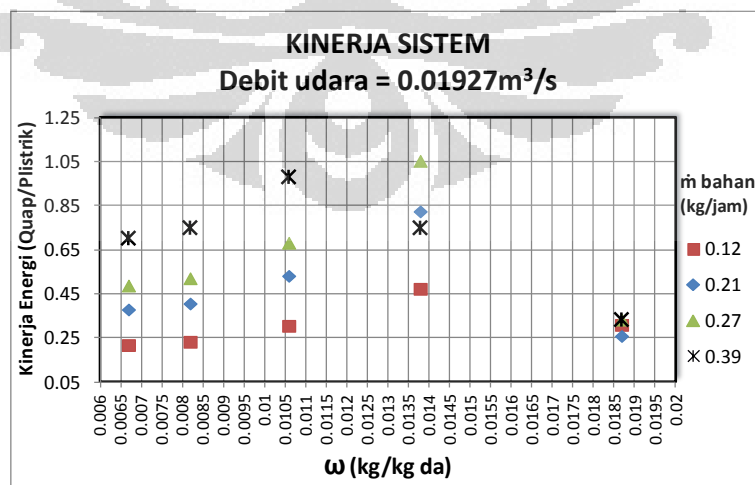
Di mana daya *heater* tidak selalu mempunyai nilai apabila kondisi udara yang dipanaskan cukup hanya memanfaatkan panas buang dari kondensor, dengan kata lain temperatur udara masuk ruang pengering yang diinginkan hanya dihasilkan oleh daya kompresor. Tetapi apabila temperatur udara yang masuk ruang pengering membutuhkan temperatur lebih tinggi dari udara keluaran kondensor maka dibutuhkan tambahan daya dari heater untuk menambah temperaturnya.



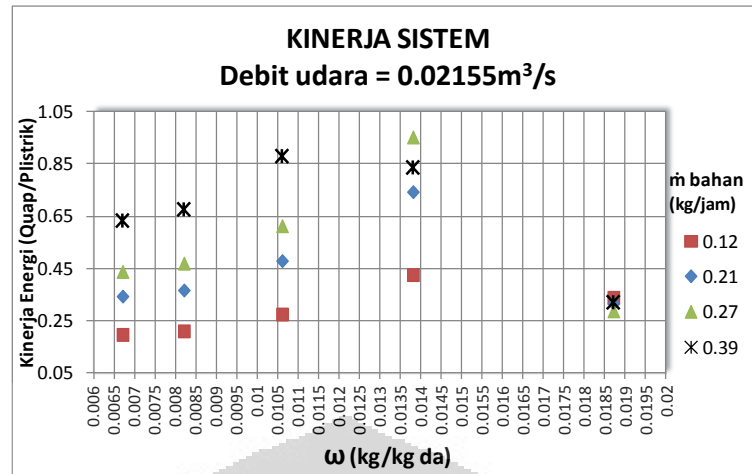
Gambar 4.10 Grafik hubungan kinerja sistem pengeringan terhadap m bahan pada m udara = 0.01180 m³/s



Gambar 4.11 Grafik hubungan kinerja sistem pengeringan terhadap m bahan pada m udara = 0.01524 m³/s



Gambar 4.12 Grafik hubungan kinerja sistem pengeringan terhadap m bahan pada m udara = 0.01927 m³/s



Gambar 4.13 Grafik hubungan kinerja sistem pengeringan terhadap \dot{m} bahan pada \dot{m} udara = 0.02155 m³/s

Pada grafik-grafik di atas terdapat perbedaan kinerja sistem pada setiap laju udara yang diberikan dan berdasarkan dari rasio kelembaban udara yang masuk ruang pengeringan. Terdapat pola kurva yang ditunjukkan dari hubungan kinerja sistem dan kelembaban udara pada setiap laju alir massa bahan. Untuk laju alir massa bahan 0.39 kg/jam. Pada rentang rasio kelembaban udara antara 0.0067 sampai dengan 0.0106, kecenderungan kinerja sistem nya yang bergerak meningkat. Sedangkan pada rentang rasio kelembaban udara antara 0.0106 sampai dengan 0.0187 kecenderungan kinerja sistemnya bergerak menurun. Berbeda dengan laju alir massa yang lain bahwa kecenderungan kinerja sistem yang meningkat lebih bergeser ke arah kanan melebihi rasio kelembaban 0.0106, sehingga kinerja sistemnya masih bergerak meningkat dari rentang 0.0067 sampai dengan lebih dari 0.0106. Kemudian setelah itu kinerja sistemnya menurun.

Kecenderungan kinerja sistem meningkat karena daya kalor panas yang di gunakan pada saat itu cukup hanya menggunakan pemanfaatan panas buang kondensor dari sistem dehumidifikasi. Sedangkan ketika kecenderungan kinerja sistem yang menurun disebabkan oleh mulai digunakannya pemanas listrik sebagai tambahan daya karena daya yang diperlukan untuk memanaskan udara dari panas buang kondensor masih kurang cukup. Perubahan daerah puncak kinerja sistem optimum yang bergeser ke kanan ketika laju alir massa bahan nya semakin sedikit ini disebabkan oleh temperatur minimum pengeringan juga yang semakin rendah, sehingga daya kalor panas yang dibutuhkan juga sedikit yang masih tercukupi oleh pemanfaatan panas buang kondensor.

BAB 5 PENUTUP

5.1. Kesimpulan

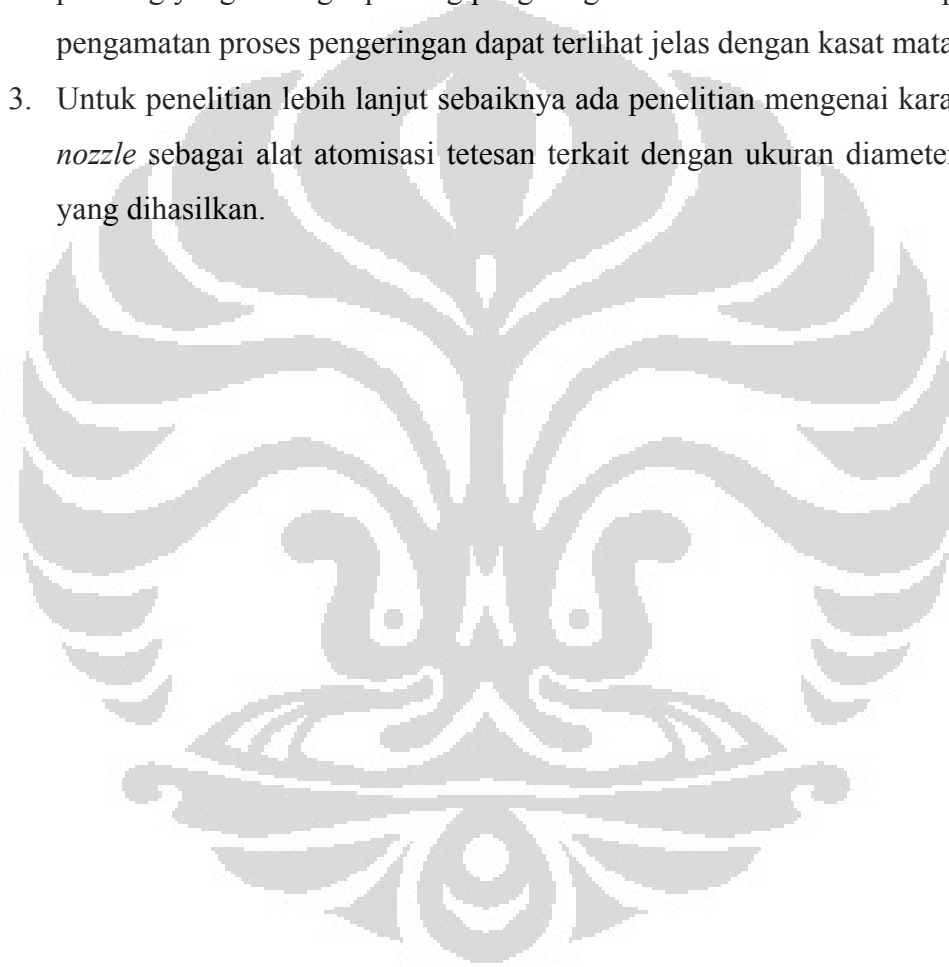
Dari hasil pengujian pengering semprot tipe pemanas listrik dan kombinasinya dengan pompa kalor, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik pengering semprot terhadap variasi-variasi parameter pengeringan memiliki pola atau tren yang hampir sama di mana temperatur minimum pengeringan akan turun bila laju alir massa bahan dan rasio kelembaban (ω) udara juga diturunkan atau dengan cara menambah debit udara yang masuk. *Spray dryer* yang digunakan untuk pengujian bisa mencapai temperatur minimum pengering 29°C untuk mengeringkan \dot{m}_{bahan} sebanyak 0.21 kg/detik dengan $\omega = 0.0067$ kg/kg da dan $\dot{m}_{\text{bahan}} = 0.02116$ m³/detik .
2. Kinerja sistem pada pengering semprot dengan pemanfaatan dehumidifier yang diuji memiliki daerah optimal pada rasio kelembababan antara 0,0105 dan 0,0145 kg/kg da. Sistem referigrasi *dehumidifier* ini sangat berperan dalam meningkatkan kinerja sistem dari pengering semprot ini. Selain sebagai penurun kelembaban udara, juga sebagai pemanas udara pengeringan yang bisa mencapai 70°C dari pemanfaatan panas buang kondensornya.
3. Identifikasi karakteristik dan kinerja pengering semprot dengan pemanfaatan *dehumidifier* ini diperlukan untuk mendapatkan nilai optimasi sistem, baik dari nilai temperatur minimum pengeringan, efisiensi energi atau dari nilai ekonominya. Sepeti nilai temperatur minimum pengeringan sebagai pertimbangan terhadap bahan yang memiliki kandungan material yang sensitif terhadap temperatur.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Proses pengambilan data temperatur minimum pengeringan sebaiknya dilakukan dengan menggunakan data akuisisi yang terkalibrasi. Kemudian dipasang juga sensor kelembaban yang dapat mendeteksi ruang pengering bila mulai basah. Sehingga datanya dapat terkontrol dan lebih akurat.
2. Agar tidak terjadi kondensasi pada saluran udara dan pengaruh eksternal karena perbedaan temperatur dalam dan lingkungan di ruang pengering, sebaiknya ruang pengering ini diisolasi dalam suatu ruangan kaca tembus pandang yang melingkup ruang pengering. Selain itu karena tembus pandang, pengamatan proses pengeringan dapat terlihat jelas dengan kasat mata.
3. Untuk penelitian lebih lanjut sebaiknya ada penelitian mengenai karakteristik *nozzle* sebagai alat atomisasi tetesan terkait dengan ukuran diameter tetesan yang dihasilkan.



DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE, (1997). *Ashrae Handbook : Fundamentals*. ASHRAE, Inc.
- Cengel, Yunus A., Michael A. Boles .(2002). *Thermodynamics an Engineering Approach Fourth Edition International Edition*. McGraw-Hill, Third-Edition.
- Holman, J.P.(1976). *Heat Transfer, fourth ed.*, Tokyo : McGraw-Hill.
- _____. (1984). *Metode Pengukuran Teknik*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Moran, Michael.J, dan Shapiro, Howard.N. (2004). *Termodinamika*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Mujumdar, Arun S.(2006). *Handbook of Industrial Drying*. Taylor & Francis Group.
- Tokyo Meter. Co, *Operation manual Water to Air Heat Transfer*. Tokyo
- Treybal, R.E.,(1981). *Mass Transfer Operations: Chapter Humidification and Drying*. McGraw-Hill.

Lampiran 1 Data Hasil Eksperimen

Suhu Udara Keluar Evaporator (°C)	O ₂ (kg/kg db)	h ₂ (kJ/kg)	SW ₂ kg/m ³	SV ₂ m ³ /kg	Manometer (mm)	Flow udara (m ³ /s)	Pembahan (kg/jam)	Temperatur kritis (°C)	h _g (kJ/kg)	SV ₁ (m ³ /kg)	ω ₁ (kg/kg db)	m _{da} = ma(1+ω) (kg)	m _w = m _{da} (ω ₁ - ω ₂) (kg)	h _w (kJ/kg)	Q _{comp} (kJ/s)	P _{comp} (kJ/s)	COP _R	Q _{cool} (kJ/s)	h ₃ (kJ/kg)	P _{heater} (kJ/s)	P _{fanik} (kJ/s)	K _{energi} (kJ/kg)	h _{ig} (kJ/kg)	Q _{uap air} (kJ/s)						
																									Kontasi Udara Masuk Blower Tdb (°C)	Tvb (°C)				
8	0.0067	24.791	1.242	0.805	30	0.01159	0.12	34	51.259	0.8795	75.94	0.8765	0.0191	0.01354	33.72	0.6867	0.2453	2.8	0.9320	93.6958	0	0.2453	0.33	2410.29	0.08034					
							0.21	40	57.367	0.8967	75.94	0.8765	0.0191	0.01354	33.72	0.6867	0.2453	0.00017	0.00017	33.72	0.6867	0.2453	2.8	0.9320	93.6958	0	0.2453	0.57	2405.98	0.14035
							0.27	43	60.421	0.9052	75.94	0.8765	0.0191	0.01354	33.72	0.6867	0.2453	0.00017	0.00017	33.72	0.6867	0.2453	2.8	0.9320	93.6958	0	0.2453	0.73	2398.79	0.17991
							0.39	52	69.584	0.931	75.94	0.8765	0.0191	0.01354	33.72	0.6867	0.2453	0.00017	0.00017	33.72	0.6867	0.2453	2.8	0.9320	93.6958	0	0.2453	1.05	2377.10	0.25752
							0.12	32	49.223	0.8737	71.846	0.8743	0.0175	0.01753	33.72	0.8183	0.2922	0.00019	0.00019	33.72	0.8183	0.2922	2.8	1.1105	88.15712	0	0.2922	0.28	2425.05	0.08084
							0.21	38	55.331	0.8909	71.846	0.8743	0.0175	0.01753	33.72	0.8183	0.2922	0.00019	0.00019	33.72	0.8183	0.2922	2.8	1.1105	88.15712	0	0.2922	0.48	2410.76	0.14063
	0.27	41	58.385	0.8995	71.846	0.8743	0.0175	0.01753	33.72	0.8183	0.2922	0.00019	0.00019	33.72	0.8183	0.2922	2.8	1.1105	88.15712	0	0.2922	0.62	2403.58	0.18027						
	0.39	47	64.493	0.9167	71.846	0.8743	0.0175	0.01753	33.72	0.8183	0.2922	0.00019	0.00019	33.72	0.8183	0.2922	2.8	1.1105	88.15712	0	0.2922	0.89	2389.18	0.25883						
	0.12	31	48.205	0.8709	71.898	0.8767	0.0171	0.02215	34.72	1.0355	0.3698	0.00023	0.00023	34.72	1.0355	0.3698	2.8	1.4053	88.24599	0	0.3698	0.22	2427.43	0.08091						
	0.21	34	51.259	0.8795	71.898	0.8767	0.0171	0.02215	34.72	1.0355	0.3697	0.00023	0.00023	34.72	1.0355	0.3697	2.8	1.4050	88.23188	0	0.3697	0.38	2410.29	0.14060						
	0.27	38	55.331	0.8909	71.898	0.8767	0.0171	0.02215	34.72	1.0355	0.3696	0.00023	0.00023	34.72	1.0355	0.3696	2.8	1.4047	88.21777	0	0.3696	0.49	2410.76	0.18081						
	0.39	42	59.403	0.9024	71.898	0.8767	0.0171	0.02215	36.72	1.0348	0.3696	0.00023	0.00023	36.72	1.0348	0.3696	2.8	1.4044	88.20365	0	0.3696	0.70	2401.19	0.26013						
11	0.0082	31.655	1.226	0.816	30	0.01166	0.12	29	46.169	0.8652	71.898	0.8767	0.0171	0.02476	33.72	1.1577	0.4135	2.8	1.5712	88.24599	0	0.4135	0.20	2432.17	0.08077					
							0.21	30	47.187	0.868	71.898	0.8767	0.0171	0.02476	33.72	1.1577	0.4135	0.00026	0.00026	33.72	1.1577	0.4135	2.8	1.5712	88.24599	0	0.4135	0.34	2429.80	0.14174
							0.27	34	51.259	0.8795	71.898	0.8767	0.0171	0.02476	33.72	1.1577	0.4135	0.00026	0.00026	33.72	1.1577	0.4135	2.8	1.5712	88.24599	0	0.4135	0.44	2410.29	0.18077
							0.39	38	55.331	0.8909	71.898	0.8767	0.0171	0.02476	33.72	1.1577	0.4135	0.00026	0.00026	33.72	1.1577	0.4135	2.8	1.5712	88.24599	0	0.4135	0.63	2410.76	0.26117
							0.12	35	56.144	0.8845	75.999	0.8789	0.0187	0.01352	46.31	0.5931	0.2118	0.00014	0.00014	46.31	0.5931	0.2118	2.8	0.8049	91.17637	0	0.2118	0.38	2417.91	0.08060
							0.21	43	64.31	0.9074	75.999	0.8789	0.0187	0.01352	46.31	0.5931	0.2118	0.00014	0.00014	46.31	0.5931	0.2118	2.8	0.8049	91.17637	0	0.2118	0.66	2398.79	0.13993
	0.27	46	67.372	0.916	75.999	0.8789	0.0187	0.01352	46.31	0.5931	0.2118	0.00014	0.00014	46.31	0.5931	0.2118	2.8	0.8049	91.17637	0	0.2118	0.85	2391.59	0.17937						
	0.39	54	75.538	0.939	75.999	0.8789	0.0187	0.01352	46.31	0.5931	0.2118	0.00014	0.00014	46.31	0.5931	0.2118	2.8	0.8049	91.17637	0	0.2118	1.21	2372.26	0.25699						
	0.12	33	54.102	0.8787	75.999	0.8789	0.0187	0.01746	46.31	0.657	0.2735	0.00018	0.00018	46.31	0.657	0.2735	2.8	1.0392	91.17637	0	0.2735	0.30	2422.67	0.08076						
	0.21	39	60.227	0.8959	75.999	0.8789	0.0187	0.01746	46.31	0.657	0.2735	0.00018	0.00018	46.31	0.657	0.2735	2.8	1.0392	91.17637	0	0.2735	0.51	2408.37	0.14049						
	0.27	42	63.289	0.9045	75.999	0.8789	0.0187	0.01746	46.31	0.657	0.2735	0.00018	0.00018	46.31	0.657	0.2735	2.8	1.0392	91.17637	0	0.2735	0.66	2401.19	0.18009						
	0.39	45	66.351	0.9132	75.999	0.8789	0.0187	0.01746	46.31	0.657	0.2735	0.00018	0.00018	46.31	0.657	0.2735	2.8	1.0392	91.17637	0	0.2735	0.95	2393.99	0.25935						
0.12	32	55.082	0.8758	75.999	0.8789	0.0187	0.02208	46.31	0.9866	0.3459	0.00023	0.00023	46.31	0.9866	0.3459	2.8	1.3145	91.17637	0	0.3459	0.23	2425.05	0.08084							
0.21	36	57.165	0.8873	75.999	0.8789	0.0187	0.02208	46.31	0.9866	0.3459	0.00023	0.00023	46.31	0.9866	0.3459	2.8	1.3145	91.17637	0	0.3459	0.41	2415.53	0.14091							
0.27	39	60.227	0.8959	75.999	0.8789	0.0187	0.02208	46.31	0.9866	0.3459	0.00023	0.00023	46.31	0.9866	0.3459	2.8	1.3145	91.17637	0	0.3459	0.52	2408.37	0.18063							
0.39	43	64.31	0.9074	75.999	0.8789	0.0187	0.02208	46.31	0.9866	0.3459	0.00023	0.00023	46.31	0.9866	0.3459	2.8	1.3145	91.17637	0	0.3459	0.75	2398.79	0.25987							
0.12	29	50.019	0.8672	75.999	0.8789	0.0187	0.02469	46.31	1.0829	0.3867	0.00026	0.00026	46.31	1.0829	0.3867	2.8	1.4696	91.17637	0	0.3867	0.21	2432.17	0.08077							
0.21	31	54.638	0.8744	75.999	0.8789	0.0187	0.02469	46.31	1.0829	0.3867	0.00026	0.00026	46.31	1.0829	0.3867	2.8	1.4696	91.17637	0	0.3867	0.37	2427.43	0.14160							
0.27	35	56.144	0.8845	75.999	0.8789	0.0187	0.02469	46.31	1.0829	0.3867	0.00026	0.00026	46.31	1.0829	0.3867	2.8	1.4696	91.17637	0	0.3867	0.47	2417.91	0.18134							
0.39	39	60.227	0.8959	75.999	0.8789	0.0187	0.02469	46.31	1.0829	0.3867	0.00026	0.00026	46.31	1.0829	0.3867	2.8	1.4696	91.17637	0	0.3867	0.67	2408.37	0.26091							

(lanjutan) Lampiran 1 Data Hasil Eksperimen

Suhu Udara Keluar Evaporator (°C)	O ₂ (kg/kg db)	h ₂ (kJ/kg)	SW ₂ kg/m ³	SV ₂ m ³ /kg	Manometer (mm)	Flow udara (m ³ /s)	m _{udara} (kg/am)	Temperatur Acritis (°C)	h ₄ (kJ/kg)	SV ₄ (m ³ /kg)	Kondisi Udara Mestik Blower		h ₁ (kJ/kg)	SV ₁ (m ³ /kg)	O ₁ (kg/kg da)	m _{u1} = mda/(1+o ₁) (kg/kg da)	m _w = mda(o ₁ -o ₂) (kg)	h _w (kJ/kg)	Q _{evap} (kJ/s)	P _{comp} (kJ/s)	COP _R	Q _{cool} (kJ/s)	h ₃ (kJ/kg)	P _{heater} (kJ/s)	P _{frisk} (kJ/s)	Kineria	h _{lg} (kJ/kg)	Q _{uap air} (kJ/s)	
											Tdb (°C)	Twb (°C)																	
15	0.0106	42.009	1.204	0.83	30	0.01177	0.12	36	63.539	0.8908	28	25	75.999	0.8789	0.0187	0.01352	0.00011	63.07	0.4528	0.1617	2.8	0.6145	87.44497	0	0.1617	0.50	2415.53	0.08052	
							0.21	45	72.766	0.9168			75.999	0.8789	0.0187	0.01352	0.00011	63.07	0.4528	0.1617	2.8	0.6145	87.44497	0	0.1617	0.86	2393.99	0.13965	
							0.27	48	73.841	0.9254			75.999	0.8789	0.0187	0.01352	0.00011	63.07	0.4528	0.1617	2.8	0.6145	87.44497	0	0.1617	1.11	2386.77	0.17901	
							0.39	58	86.093	0.9542			75.999	0.8789	0.0187	0.01352	0.00011	63.07	0.4528	0.1617	2.8	0.6145	87.44497	0	0.1617	1.61	2410.29	0.26111	
							0.21	34	61.488	0.8851	28	25	75.999	0.8789	0.0187	0.01746	0.00014	63.07	0.5845	0.2088	2.8	0.7933	87.44497	0	0.2088	0.38	2410.29	0.08034	
							0.21	40	67.64	0.9023			75.999	0.8789	0.0187	0.01746	0.00014	63.07	0.5845	0.2088	2.8	0.7933	87.44497	0	0.2088	0.70	2495.98	0.14560	
	0.0106	42.009	1.204	0.83	80	0.01922	0.27	45	72.766	0.9168				75.999	0.8789	0.0187	0.01746	0.00014	63.07	0.5845	0.2088	2.8	0.7933	87.44497	0	0.2088	0.85	2374.68	0.17810
							0.39	53	80.967	0.9398			75.999	0.8789	0.0187	0.01746	0.00014	63.07	0.5845	0.2088	2.8	0.7933	87.44497	0	0.2088	1.23	2374.68	0.25726	
							0.12	32	59.438	0.8793	28	25	75.999	0.8789	0.0187	0.02208	0.00018	63.07	0.7393	0.2641	2.8	1.0034	87.44497	0	0.2641	0.31	2425.05	0.08084	
							0.21	37	64.564	0.8937			75.999	0.8789	0.0187	0.02208	0.00018	63.07	0.7393	0.2641	2.8	1.0034	87.44497	0	0.2641	0.533	2413.14	0.14077	
							0.27	40	67.64	0.9023			75.999	0.8789	0.0187	0.02208	0.00018	63.07	0.7393	0.2641	2.8	1.0034	87.44497	0	0.2641	0.663	2405.98	0.18045	
							0.39	45	81.179	0.9215			75.999	0.8789	0.0187	0.02208	0.00018	63.07	0.7393	0.2641	2.8	1.0034	87.44497	0	0.2641	0.982	2393.79	0.25933	
19	0.0138	54.076	1.182	0.846	30	0.02149	0.12	31	58.413	0.8764	28	25	75.999	0.8789	0.0187	0.02469	0.00020	63.07	0.8266	0.2952	2.8	1.1218	87.44497	0	0.2952	0.274	2427.43	0.08091	
							0.21	33	60.463	0.8822			75.999	0.8789	0.0187	0.02469	0.00020	63.07	0.8266	0.2952	2.8	1.1218	87.44497	0	0.2952	0.479	2422.67	0.14132	
							0.27	38	65.589	0.8966			75.999	0.8789	0.0187	0.02469	0.00020	63.07	0.8266	0.2952	2.8	1.1218	87.44497	0	0.2952	0.612	2410.76	0.18081	
							0.39	45	72.766	0.9168			75.999	0.8789	0.0187	0.02469	0.00020	63.07	0.8266	0.2952	2.8	1.1218	87.44497	0	0.2952	0.878	2393.99	0.25935	
							0.12	37	76.632	0.8981	29	25	76.057	0.8813	0.0184	0.01351	0.00006	79.81	0.9290	0.1043	2.8	0.3963	83.40911	0	0.1043	0.771	2413.14	0.08044	
							0.21	45	80.879	0.9213			76.057	0.8813	0.0184	0.01351	0.00006	79.81	0.9290	0.1043	2.8	0.3963	83.40911	0	0.1043	1.339	2393.79	0.13964	
	0.0138	54.076	1.182	0.846	50	0.01534	0.27	49	85.003	0.9329			76.057	0.8813	0.0184	0.01351	0.00006	79.81	0.9290	0.1043	2.8	0.3963	83.40911	0.022	0.1258	1.421	2384.36	0.17883	
							0.39	62	98.405	0.9705			76.057	0.8813	0.0184	0.01351	0.00006	79.81	0.9290	0.1043	2.8	0.3963	83.40911	0.203	0.3069	0.831	2352.73	0.25488	
							0.12	35	70.57	0.8923	29	25	76.057	0.8813	0.0184	0.01744	0.00008	79.81	0.9290	0.1346	2.8	0.5116	83.40911	0	0.1346	0.599	2417.91	0.08060	
							0.21	40	75.725	0.9068			76.057	0.8813	0.0184	0.01744	0.00008	79.81	0.9290	0.1346	2.8	0.5116	83.40911	0	0.1346	1.082	2495.98	0.14560	
							0.27	47	82.941	0.9271			76.057	0.8813	0.0184	0.01744	0.00008	79.81	0.9290	0.1346	2.8	0.5116	83.40911	0	0.1346	1.331	2389.18	0.17919	
							0.39	57	93.25	0.9561			76.057	0.8813	0.0184	0.01744	0.00008	79.81	0.9290	0.1346	2.8	0.5116	83.40911	0.172	0.3063	0.837	2364.96	0.25620	
0.0138	54.076	1.182	0.846	80	0.01940	0.12	33	68.509	0.8866	29	25	76.057	0.8813	0.0184	0.02206	0.00010	79.81	0.9290	0.1043	2.8	0.6471	83.40911	0	0.1703	0.474	2422.67	0.08076		
						0.21	38	73.663	0.901			76.057	0.8813	0.0184	0.02206	0.00010	79.81	0.9290	0.1043	2.8	0.6471	83.40911	0	0.1703	0.826	2410.76	0.14063		
						0.27	44	79.848	0.9184			76.057	0.8813	0.0184	0.02206	0.00010	79.81	0.9290	0.1043	2.8	0.6471	83.40911	0	0.1703	1.055	2396.39	0.17973		
						0.39	55	91.188	0.9503			76.057	0.8813	0.0184	0.02206	0.00010	79.81	0.9290	0.1043	2.8	0.6471	83.40911	0.172	0.3069	0.831	2352.73	0.25488		
						0.12	33	68.509	0.8866	28	25	75.999	0.8789	0.0187	0.02469	0.00012	79.81	0.5316	0.1899	2.8	0.7215	83.29791	0	0.1899	0.425	2422.67	0.08076		
						0.21	35	70.57	0.8923			75.999	0.8789	0.0187	0.02469	0.00012	79.81	0.5316	0.1899	2.8	0.7215	83.29791	0	0.1899	0.743	2417.91	0.14104		
0.0138	54.076	1.182	0.846	100	0.02169	0.27	38	73.663	0.901			75.999	0.8789	0.0187	0.02469	0.00012	79.81	0.5316	0.1899	2.8	0.7215	83.29791	0	0.1899	0.952	2410.76	0.18081		
						0.39	52	88.096	0.9416			75.999	0.8789	0.0187	0.02469	0.00012	79.81	0.5316	0.1899	2.8	0.7215	83.29791	0.118	0.3083	0.835	2377.10	0.25752		

(lanjutan) Lampiran 1 Data Hasil Eksperimen

Suhu Udara Keluar Evaporator (°C)	θ ₂ (kg/kg db)	h ₂ (kJ/kg)	SW ₂ kg/m ³	SV ₂ m ³ /kg	Manometer (mm)	Flow udara (m ³ /s)	m _{bahan} (kg/gam)	Temperatur kritis (°C)	h ₄ (kJ/kg)	SV ₄ (m ³ /kg)	Kondisi Udara Masuk Blower		h ₁ (kJ/kg)	SV ₁ (m ³ /kg)	θ ₁ (kg/kg db)	m _{da} = m _{da} / (1 + ω ₁)	m _w = m _{da} (ω ₁)	h _w (kJ/kg)	Q _{evap} (kJ/s)	P _{comp} (kJ/s)	COP _R	Q _{cool} (kJ/s)	h ₅ (kJ/kg)	P _{fluek} (kJ/s)	Kineerja	h _{lg} (kJ/kg)	Q _{map air} (kJ/s)	
											T _{db1} (°C)	T _{wb1} (°C)																
24	0.0187	75.999	1.138	0.879	30	0.01211	0.12	47	96.103	0.9345	29	25	76.057	0.8813	0.0184	0.01351	0.00000	100.73	0.0012	0.0004	2.8	0.0016	76.11873	0.173	0.1734	0.459	2389.18	0.07964
							0.21	58	107.544	0.9666	76.057	0.8813	0.0184	0.01351	0.00000	100.73	0.0012	0.0004	2.8	0.0016	76.11873	0.425	0.4250	0.324	2362.32	0.13781		
							0.27	67	116.905	0.9929	76.057	0.8813	0.0184	0.01351	0.00000	100.73	0.0012	0.0004	2.8	0.0016	76.11873	0.551	0.5514	0.318	2340.42	0.17553		
							0.39	74	122.08	0.9404	76.057	0.8813	0.0184	0.01351	0.00000	100.73	0.0012	0.0004	2.8	0.0016	76.11873	0.620	0.6209	0.405	2323.02	0.25166		
	0.01563	0.0187	75.999	1.138	0.879	50	0.12	43	91.948	0.9228	29	25	76.057	0.8813	0.0184	0.01744	0.00000	100.73	0.0010	0.0004	2.8	0.0014	76.07771	0.276	0.2763	0.289	2398.79	0.07996
							0.21	54	103.384	0.955	76.057	0.8813	0.0184	0.01744	0.00000	100.73	0.0010	0.0004	2.8	0.0014	76.07771	0.476	0.4766	0.290	2372.26	0.13838		
							0.27	61	110.664	0.9754	76.057	0.8813	0.0184	0.01744	0.00000	100.73	0.0010	0.0004	2.8	0.0014	76.07771	0.603	0.6036	0.293	2355.19	0.17664		
							0.39	68	117.945	0.9558	76.057	0.8813	0.0184	0.01744	0.00000	100.73	0.0010	0.0004	2.8	0.0014	76.07771	0.730	0.7305	0.347	2337.95	0.25328		
	0.01977	0.0187	75.999	1.138	0.879	80	0.12	39	87.783	0.9112	29	25	76.057	0.8813	0.0184	0.02206	0.00000	100.73	0.0013	0.0005	2.8	0.0017	76.07771	0.258	0.2587	0.310	2408.37	0.08028
							0.21	51	100.264	0.9462	76.057	0.8813	0.0184	0.02206	0.00000	100.73	0.0013	0.0005	2.8	0.0017	76.07771	0.448	0.4487	0.274	2379.53	0.13881		
							0.27	56	105.464	0.9608	76.057	0.8813	0.0184	0.02206	0.00000	100.73	0.0013	0.0005	2.8	0.0017	76.07771	0.648	0.6487	0.274	2367.39	0.17755		
							0.39	61	110.664	0.9754	76.057	0.8813	0.0184	0.02206	0.00000	100.73	0.0013	0.0005	2.8	0.0017	76.07771	0.763	0.7634	0.334	2355.19	0.25315		
0.02211	0.0187	75.999	1.138	0.879	100	0.12	37	85.703	0.9053	29	25	76.057	0.8813	0.0184	0.02466	0.00000	100.73	0.0014	0.0005	2.8	0.0019	76.07771	0.443	0.4431	0.315	2393.99	0.13965	
						0.21	45	94.023	0.9287	76.057	0.8813	0.0184	0.02466	0.00000	100.73	0.0014	0.0005	2.8	0.0019	76.07771	0.622	0.6227	0.286	2377.10	0.17828			
						0.27	52	101.304	0.9491	76.057	0.8813	0.0184	0.02466	0.00000	100.73	0.0014	0.0005	2.8	0.0019	76.07771	0.802	0.8022	0.319	2360.08	0.25568			
						0.39	59	108.584	0.9666	76.057	0.8813	0.0184	0.02466	0.00000	100.73	0.0014	0.0005	2.8	0.0019	76.07771								

Lampiran 2 Sifat Termodinamika Udara Basah

Psychrometrics

6.3

Table 2 Thermodynamic Properties of Moist Air (Standard Atmospheric Pressure, 101.325 kPa)

Temp. <i>t</i> , °C	Humidity Ratio, $\frac{\text{kg}_w}{\text{kg}_{da}}$ W_s	Volume, m^3/kg (dry air)			Enthalpy, kJ/kg (dry air)			Entropy, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ (dry air)			Condensed Water			
		v_a	v_{as}	v_s	h_a	h_{as}	h_s	s_a	s_{as}	s_s	Enthalpy h_w	Entropy, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ s_w	Vapor Pressure, p_s , kPa	Temp., $^{\circ}\text{C}$
-60	0.0000067	0.6027	0.0000	0.6027	-60.351	0.017	-60.334	-0.2495	0.0001	-0.2494	-446.29	-1.6854	0.00108	-60
-59	0.0000076	0.6056	0.0000	0.6056	-59.344	0.018	-59.326	-0.2448	0.0001	-0.2447	-444.63	-1.6776	0.00124	-59
-58	0.0000087	0.6084	0.0000	0.6084	-58.338	0.021	-58.317	-0.2401	0.0001	-0.2400	-442.95	-1.6698	0.00141	-58
-57	0.0000100	0.6113	0.0000	0.6113	-57.332	0.024	-57.308	-0.2354	0.0001	-0.2353	-441.27	-1.6620	0.00161	-57
-56	0.0000114	0.6141	0.0000	0.6141	-56.326	0.028	-56.298	-0.2308	0.0001	-0.2306	-439.58	-1.6542	0.00184	-56
-55	0.0000129	0.6170	0.0000	0.6170	-55.319	0.031	-55.288	-0.2261	0.0002	-0.2260	-437.89	-1.6464	0.00209	-55
-54	0.0000147	0.6198	0.0000	0.6198	-54.313	0.036	-54.278	-0.2215	0.0002	-0.2214	-436.19	-1.6386	0.00238	-54
-53	0.0000167	0.6226	0.0000	0.6227	-53.307	0.041	-53.267	-0.2170	0.0002	-0.2168	-434.48	-1.6308	0.00271	-53
-52	0.0000190	0.6255	0.0000	0.6255	-52.301	0.046	-52.255	-0.2124	0.0002	-0.2122	-432.76	-1.6230	0.00307	-52
-51	0.0000215	0.6283	0.0000	0.6284	-51.295	0.052	-51.243	-0.2079	0.0002	-0.2076	-431.03	-1.6153	0.00348	-51
-50	0.0000243	0.6312	0.0000	0.6312	-50.289	0.059	-50.230	-0.2033	0.0003	-0.2031	-429.30	-1.6075	0.00394	-50
-49	0.0000275	0.6340	0.0000	0.6341	-49.283	0.067	-49.216	-0.1988	0.0003	-0.1985	-427.56	-1.5997	0.00445	-49
-48	0.0000311	0.6369	0.0000	0.6369	-48.277	0.075	-48.202	-0.1944	0.0004	-0.1940	-425.82	-1.5919	0.00503	-48
-47	0.0000350	0.6397	0.0000	0.6398	-47.271	0.085	-47.186	-0.1899	0.0004	-0.1895	-424.06	-1.5842	0.00568	-47
-46	0.0000395	0.6426	0.0000	0.6426	-46.265	0.095	-46.170	-0.1855	0.0004	-0.1850	-422.30	-1.5764	0.00640	-46
-45	0.0000445	0.6454	0.0000	0.6455	-45.259	0.108	-45.153	-0.1811	0.0005	-0.1805	-420.54	-1.5686	0.00721	-45
-44	0.0000500	0.6483	0.0001	0.6483	-44.253	0.121	-44.137	-0.1767	0.0006	-0.1761	-418.76	-1.5609	0.00811	-44
-43	0.0000562	0.6511	0.0001	0.6512	-43.247	0.137	-43.111	-0.1723	0.0006	-0.1716	-416.98	-1.5531	0.00911	-43
-42	0.0000631	0.6540	0.0001	0.6540	-42.241	0.153	-42.085	-0.1679	0.0007	-0.1672	-415.19	-1.5453	0.01022	-42
-41	0.0000708	0.6568	0.0001	0.6569	-41.235	0.172	-41.063	-0.1636	0.0008	-0.1628	-413.39	-1.5376	0.01147	-41
-40	0.0000793	0.6597	0.0001	0.6597	-40.229	0.192	-40.037	-0.1592	0.0009	-0.1584	-411.59	-1.5298	0.01285	-40
-39	0.0000887	0.6625	0.0001	0.6626	-39.224	0.216	-39.007	-0.1549	0.0010	-0.1540	-409.77	-1.5221	0.01438	-39
-38	0.0000992	0.6653	0.0001	0.6654	-38.218	0.241	-37.976	-0.1507	0.0011	-0.1496	-407.96	-1.5143	0.01608	-38
-37	0.0001108	0.6682	0.0001	0.6683	-37.212	0.270	-36.942	-0.1464	0.0012	-0.1452	-406.13	-1.5066	0.01796	-37
-36	0.0001237	0.6710	0.0001	0.6712	-36.206	0.302	-35.905	-0.1421	0.0014	-0.1408	-404.29	-1.4988	0.02005	-36
-35	0.0001379	0.6739	0.0001	0.6740	-35.200	0.336	-34.864	-0.1379	0.0015	-0.1364	-402.45	-1.4911	0.02235	-35
-34	0.0001536	0.6767	0.0002	0.6769	-34.195	0.375	-33.820	-0.1337	0.0017	-0.1320	-400.60	-1.4833	0.02490	-34
-33	0.0001710	0.6796	0.0002	0.6798	-33.189	0.417	-32.772	-0.1295	0.0018	-0.1276	-398.75	-1.4756	0.02772	-33
-32	0.0001902	0.6824	0.0002	0.6826	-32.183	0.464	-31.718	-0.1253	0.0020	-0.1233	-396.89	-1.4678	0.03082	-32
-31	0.0002113	0.6853	0.0002	0.6855	-31.178	0.517	-30.661	-0.1212	0.0023	-0.1189	-395.01	-1.4601	0.03425	-31
-30	0.0002346	0.6881	0.0003	0.6884	-30.171	0.574	-29.597	-0.1170	0.0025	-0.1145	-393.14	-1.4524	0.03800	-30
-29	0.0002602	0.6909	0.0003	0.6912	-29.166	0.636	-28.529	-0.1129	0.0028	-0.1101	-391.25	-1.4446	0.04217	-29
-28	0.0002883	0.6938	0.0003	0.6941	-28.160	0.707	-27.454	-0.1088	0.0031	-0.1057	-389.36	-1.4369	0.04673	-28
-27	0.0003193	0.6966	0.0004	0.6970	-27.154	0.782	-26.372	-0.1047	0.0034	-0.1013	-387.46	-1.4291	0.05175	-27
-26	0.0003533	0.6995	0.0004	0.6999	-26.149	0.867	-25.282	-0.1006	0.0037	-0.0969	-385.55	-1.4214	0.05725	-26
-25	0.0003905	0.7023	0.0004	0.7028	-25.143	0.959	-24.184	-0.0965	0.0041	-0.0924	-383.63	-1.4137	0.06329	-25
-24	0.0004314	0.7052	0.0005	0.7057	-24.137	1.059	-23.078	-0.0925	0.0045	-0.0880	-381.71	-1.4059	0.06991	-24
-23	0.0004762	0.7080	0.0005	0.7086	-23.132	1.171	-21.961	-0.0885	0.0050	-0.0835	-379.78	-1.3982	0.07716	-23
-22	0.0005251	0.7109	0.0006	0.7115	-22.126	1.292	-20.834	-0.0845	0.0054	-0.0790	-377.84	-1.3905	0.08510	-22
-21	0.0005787	0.7137	0.0007	0.7144	-21.120	1.425	-19.695	-0.0805	0.0060	-0.0745	-375.90	-1.3828	0.09378	-21
-20	0.0006373	0.7165	0.0007	0.7173	-20.115	1.570	-18.545	-0.0765	0.0066	-0.0699	-373.95	-1.3750	0.10326	-20
-19	0.0007013	0.7194	0.0008	0.7202	-19.109	1.729	-17.380	-0.0725	0.0072	-0.0653	-371.99	-1.3673	0.11362	-19
-18	0.0007711	0.7222	0.0009	0.7231	-18.103	1.902	-16.201	-0.0686	0.0079	-0.0607	-370.02	-1.3596	0.12492	-18
-17	0.0008473	0.7251	0.0010	0.7261	-17.098	2.092	-15.006	-0.0646	0.0086	-0.0560	-368.04	-1.3518	0.13725	-17
-16	0.0009303	0.7279	0.0011	0.7290	-16.092	2.299	-13.793	-0.0607	0.0094	-0.0513	-366.06	-1.3441	0.15068	-16
-15	0.0010207	0.7308	0.0012	0.7320	-15.086	2.524	-12.562	-0.0568	0.0103	-0.0465	-364.07	-1.3364	0.16530	-15
-14	0.0011191	0.7336	0.0013	0.7349	-14.080	2.769	-11.311	-0.0529	0.0113	-0.0416	-362.07	-1.3287	0.18122	-14
-13	0.0012262	0.7364	0.0014	0.7379	-13.075	3.036	-10.039	-0.0490	0.0123	-0.0367	-360.07	-1.3210	0.19852	-13
-12	0.0013425	0.7393	0.0016	0.7409	-12.069	3.327	-8.742	-0.0452	0.0134	-0.0318	-358.06	-1.3132	0.21732	-12
-11	0.0014690	0.7421	0.0017	0.7439	-11.063	3.642	-7.421	-0.0413	0.0146	-0.0267	-356.04	-1.3055	0.23775	-11
-10	0.0016062	0.7450	0.0019	0.7469	-10.057	3.986	-6.072	-0.0375	0.0160	-0.0215	-354.01	-1.2978	0.25991	-10
-9	0.0017551	0.7478	0.0021	0.7499	-9.052	4.358	-4.693	-0.0337	0.0174	-0.0163	-351.97	-1.2901	0.28395	-9
-8	0.0019166	0.7507	0.0023	0.7530	-8.046	4.764	-3.283	-0.0299	0.0189	-0.0110	-349.93	-1.2824	0.30999	-8
-7	0.0020916	0.7535	0.0025	0.7560	-7.040	5.202	-1.838	-0.0261	0.0206	-0.0055	-347.88	-1.2746	0.33821	-7
-6	0.0022811	0.7563	0.0028	0.7591	-6.035	5.677	-0.357	-0.0223	0.0224	-0.0000	-345.82	-1.2669	0.36874	-6
-5	0.0024862	0.7592	0.0030	0.7622	-5.029	6.192	1.164	-0.0186	0.0243	-0.0057	-343.76	-1.2592	0.40178	-5
-4	0.0027081	0.7620	0.0033	0.7653	-4.023	6.751	2.728	-0.0148	0.0264	-0.0115	-341.69	-1.2515	0.43748	-4
-3	0.0029480	0.7649	0.0036	0.7685	-3.017	7.353	4.336	-0.0111	0.0286	-0.0175	-339.61	-1.2438	0.47606	-3
-2	0.0032074	0.7677	0.0039	0.7717	-2.011	8.007	5.995	-0.0074	0.0310	-0.0236	-337.52	-1.2361	0.51773	-2
-1	0.0034874	0.7705	0.0043	0.7749	-1.006	8.712	7.706	-0.0037	0.0336	-0.0299	-335.42	-1.2284	0.56268	-1
0	0.0037895	0.7734	0.0047	0.7781	-0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	-333.32	-1.2206	0.61117	0
0*	0.003789	0.7734	0.0047	0.7781	-0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	0.06	-0.0001	0.6112	0
1	0.004076	0.7762	0.0051	0.7813	1.006	10.197	11.203	0.0037	0.0391	0.0427	4.28	0.0153	0.6571	1
2	0.004381	0.7791	0.0055	0.7845	2.012	10.970	12.982	0.0073	0.0419	0.0492	8.49	0.0306	0.7060	2
3	0.004707	0.7819	0.0059	0.7878	3.018	11.793	14.811	0.0110	0.0449	0.0559	12.70	0.0459	0.7581	3
4	0.005054	0.7848	0.0064	0.7911	4.024	12.672	16.696	0.0146	0.0480	0.0627	16.91	0.0611	0.8135	4
5	0.005424	0.7876	0.0068	0.7944	5.029	13.610	18.639	0.0182	0.0514	0.0697	21.12	0.0762	0.8725	5
6	0.005818	0.7904	0.0074	0.7978	6.036	14.608	20.644	0.0219	0.0550	0.0769	25.32	0.0913	0.9353	6
7	0.006237	0.7933	0.0079	0.8012	7.041	15.671	22.713	0.0255	0.0588	0.0843	29.52	0.1064	1.0020	7
8	0.006683	0.7961	0.0085	0.8046	8.047	16.805	24.852	0.0290	0.0628	0.0919	33.72	0.1213	1.0729	8
9	0.007157	0.7990	0.0092	0.8081	9.053	18.010	27.064	0.0326	0.0671	0.0997	37.92	0.1362	1.1481	9
10	0.007661	0.8018	0.0098	0.8116	10.059	19.293	29.352	0.0362	0.0717	0.1078				

(lanjutan)

6.4

1997 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)

Table 2 Thermodynamic Properties of Moist Air (Standard Atmospheric Pressure, 101.325 kPa) (Continued)

Temp. <i>t</i> , °C	Humidity Ratio, kg _w /kg _{da} <i>W</i> _s	Volume, m ³ /kg (dry air)			Enthalpy, kJ/kg (dry air)			Entropy, kJ/(kg·K) (dry air)			Condensed Water		Vapor Pressure, kPa <i>p</i> _s	Temp. °C
		<i>v</i> _a	<i>v</i> _{as}	<i>v</i> _s	<i>h</i> _a	<i>h</i> _{as}	<i>h</i> _s	<i>s</i> _a	<i>s</i> _{as}	<i>s</i> _s	Enthalpy kJ/kg <i>h</i> _w	Entropy, kJ/(kg·K) <i>s</i> _w		
14	0.010012	0.8132	0.0131	0.8262	14.084	25.286	39.370	0.0503	0.0927	0.1430	58.88	0.2099	1.5987	14
15	0.010692	0.8160	0.0140	0.8300	15.090	27.023	42.113	0.0538	0.0987	0.1525	63.07	0.2244	1.7055	15
16	0.011413	0.8188	0.0150	0.8338	16.096	28.867	44.963	0.0573	0.1051	0.1624	67.26	0.2389	1.8185	16
17	0.012178	0.8217	0.0160	0.8377	17.102	30.824	47.926	0.0607	0.1119	0.1726	71.44	0.2534	1.9380	17
18	0.012989	0.8245	0.0172	0.8417	18.108	32.900	51.008	0.0642	0.1190	0.1832	75.63	0.2678	2.0643	18
19	0.013848	0.8274	0.0184	0.8457	19.114	35.101	54.216	0.0677	0.1266	0.1942	79.81	0.2821	2.1979	19
20	0.014758	0.8302	0.0196	0.8498	20.121	37.434	57.555	0.0711	0.1346	0.2057	84.00	0.2965	2.3389	20
21	0.015721	0.8330	0.0210	0.8540	21.127	39.908	61.035	0.0745	0.1430	0.2175	88.18	0.3107	2.4878	21
22	0.016741	0.8359	0.0224	0.8583	22.133	42.527	64.660	0.0779	0.1519	0.2298	92.36	0.3249	2.6448	22
23	0.017821	0.8387	0.0240	0.8627	23.140	45.301	68.440	0.0813	0.1613	0.2426	96.55	0.3390	2.8105	23
24	0.018963	0.8416	0.0256	0.8671	24.146	48.239	72.385	0.0847	0.1712	0.2559	100.73	0.3531	2.9852	24
25	0.020170	0.8444	0.0273	0.8717	25.153	51.347	76.500	0.0881	0.1817	0.2698	104.91	0.3672	3.1693	25
26	0.021448	0.8472	0.0291	0.8764	26.159	54.638	80.798	0.0915	0.1927	0.2842	109.09	0.3812	3.3633	26
27	0.022798	0.8501	0.0311	0.8811	27.165	58.120	85.285	0.0948	0.2044	0.2992	113.27	0.3951	3.5674	27
28	0.024226	0.8529	0.0331	0.8860	28.172	61.604	89.976	0.0982	0.2166	0.3148	117.45	0.4090	3.7823	28
29	0.025735	0.8558	0.0353	0.8910	29.179	65.699	94.878	0.1015	0.2296	0.3311	121.63	0.4229	4.0084	29
30	0.027329	0.8586	0.0376	0.8962	30.185	69.820	100.006	0.1048	0.2432	0.3481	125.81	0.4367	4.2462	30
31	0.029014	0.8614	0.0400	0.9015	31.192	74.177	105.369	0.1082	0.2576	0.3658	129.99	0.4505	4.4961	31
32	0.030793	0.8643	0.0426	0.9069	32.198	78.780	110.979	0.1115	0.2728	0.3842	134.17	0.4642	4.7586	32
33	0.032674	0.8671	0.0454	0.9125	33.205	83.652	116.857	0.1148	0.2887	0.4035	138.35	0.4779	5.0345	33
34	0.034660	0.8700	0.0483	0.9183	34.212	88.799	123.011	0.1180	0.3056	0.4236	142.53	0.4915	5.3242	34
35	0.036756	0.8728	0.0514	0.9242	35.219	94.236	129.455	0.1213	0.3233	0.4446	146.71	0.5051	5.6280	35
36	0.038971	0.8756	0.0546	0.9303	36.226	99.983	136.209	0.1246	0.3420	0.4666	150.89	0.5186	5.9468	36
37	0.041309	0.8785	0.0581	0.9366	37.233	106.058	143.290	0.1278	0.3617	0.4895	155.07	0.5321	6.2812	37
38	0.043778	0.8813	0.0618	0.9431	38.239	112.474	150.713	0.1311	0.3824	0.5135	159.25	0.5456	6.6315	38
39	0.046386	0.8842	0.0657	0.9498	39.246	119.258	158.504	0.1343	0.4043	0.5386	163.43	0.5590	6.9988	39
40	0.049141	0.8870	0.0698	0.9568	40.253	126.430	166.683	0.1375	0.4273	0.5649	167.61	0.5724	7.3838	40
41	0.052049	0.8898	0.0741	0.9640	41.261	134.005	175.265	0.1407	0.4516	0.5923	171.79	0.5857	7.7866	41
42	0.055119	0.8927	0.0788	0.9714	42.268	142.007	184.275	0.1439	0.4771	0.6211	175.97	0.5990	8.2081	42
43	0.058365	0.8955	0.0837	0.9792	43.275	150.475	193.749	0.1471	0.5041	0.6512	180.15	0.6122	8.6495	43
44	0.061791	0.8983	0.0888	0.9872	44.282	159.417	203.699	0.1503	0.5325	0.6828	184.33	0.6254	9.1110	44
45	0.065411	0.9012	0.0943	0.9955	45.289	168.874	214.164	0.1535	0.5624	0.7159	188.51	0.6386	9.5935	45
46	0.069239	0.9040	0.1002	1.0042	46.296	178.882	225.179	0.1566	0.5940	0.7507	192.69	0.6517	10.0982	46
47	0.073282	0.9069	0.1063	1.0132	47.304	189.455	236.759	0.1598	0.6273	0.7871	196.88	0.6648	10.6250	47
48	0.077556	0.9097	0.1129	1.0226	48.311	200.644	248.955	0.1629	0.6624	0.8253	201.06	0.6778	11.1754	48
49	0.082077	0.9125	0.1198	1.0323	49.319	212.485	261.803	0.1661	0.6994	0.8655	205.24	0.6908	11.7502	49
50	0.086858	0.9154	0.1272	1.0425	50.326	225.019	275.345	0.1692	0.7385	0.9077	209.42	0.7038	12.3503	50
51	0.091918	0.9182	0.1350	1.0532	51.334	238.290	289.624	0.1723	0.7798	0.9521	213.60	0.7167	12.9764	51
52	0.097272	0.9211	0.1433	1.0643	52.341	252.340	304.682	0.1754	0.8234	0.9988	217.78	0.7296	13.6293	52
53	0.102948	0.9239	0.1521	1.0760	53.349	267.247	320.596	0.1785	0.8695	1.0480	221.97	0.7424	14.3108	53
54	0.108954	0.9267	0.1614	1.0882	54.357	283.031	337.388	0.1816	0.9182	1.0998	226.15	0.7552	15.0205	54
55	0.115321	0.9296	0.1713	1.1009	55.365	299.772	355.137	0.1847	0.9698	1.1544	230.33	0.7680	15.7601	55
56	0.122077	0.9324	0.1819	1.1143	56.373	317.549	373.922	0.1877	1.0243	1.2120	234.52	0.7807	16.5311	56
57	0.129243	0.9353	0.1932	1.1284	57.381	336.417	393.798	0.1908	1.0820	1.2728	238.70	0.7934	17.3337	57
58	0.136851	0.9381	0.2051	1.1432	58.389	356.461	414.850	0.1938	1.1432	1.3370	242.88	0.8061	18.1691	58
59	0.144942	0.9409	0.2179	1.1588	59.397	377.788	437.185	0.1969	1.2081	1.4050	247.07	0.8187	19.0393	59
60	0.15354	0.9438	0.2315	1.1752	60.405	400.458	460.863	0.1999	1.2769	1.4768	251.25	0.8313	19.9439	60
61	0.16269	0.9466	0.2460	1.1926	61.413	424.624	486.036	0.2029	1.3500	1.5530	255.44	0.8438	20.8858	61
62	0.17244	0.9494	0.2614	1.2109	62.421	450.377	512.798	0.2059	1.4278	1.6337	259.62	0.8563	21.8651	62
63	0.18284	0.9523	0.2780	1.2303	63.429	477.837	541.266	0.2089	1.5104	1.7194	263.81	0.8688	22.8826	63
64	0.19393	0.9551	0.2957	1.2508	64.438	507.177	571.615	0.2119	1.5985	1.8105	268.00	0.8812	23.9405	64
65	0.20579	0.9580	0.3147	1.2726	65.446	538.548	603.995	0.2149	1.6925	1.9074	272.18	0.8936	25.0397	65
66	0.21848	0.9608	0.3350	1.2958	66.455	572.116	638.571	0.2179	1.7927	2.0106	276.37	0.9060	26.1810	66
67	0.23207	0.9636	0.3568	1.3204	67.463	608.103	675.566	0.2209	1.8999	2.1208	280.56	0.9183	27.3664	67
68	0.24664	0.9665	0.3803	1.3467	68.472	646.724	715.196	0.2238	2.0147	2.2385	284.75	0.9306	28.5967	68
69	0.26231	0.9693	0.4055	1.3749	69.481	688.261	757.742	0.2268	2.1378	2.3646	288.94	0.9429	29.8741	69
70	0.27916	0.9721	0.4328	1.4049	70.489	732.959	803.448	0.2297	2.2699	2.4996	293.13	0.9551	31.1986	70
71	0.29734	0.9750	0.4622	1.4372	71.498	781.208	852.706	0.2327	2.4122	2.6448	297.32	0.9673	32.5734	71
72	0.31698	0.9778	0.4941	1.4719	72.507	833.335	905.842	0.2356	2.5655	2.8010	301.51	0.9794	33.9983	72
73	0.33824	0.9807	0.5287	1.5093	73.516	889.807	963.333	0.2385	2.7311	2.9696	305.70	0.9916	35.4759	73
74	0.36130	0.9835	0.5662	1.5497	74.525	951.077	1025.603	0.2414	2.9104	3.1518	309.89	1.0037	37.0063	74
75	0.38641	0.9863	0.6072	1.5935	75.535	1017.841	1093.375	0.2443	3.1052	3.3496	314.08	1.0157	38.5940	75
76	0.41377	0.9892	0.6519	1.6411	76.543	1090.628	1167.172	0.2472	3.3171	3.5644	318.28	1.0278	40.2369	76
77	0.44372	0.9920	0.7010	1.6930	77.553	1170.328	1247.881	0.2501	3.5486	3.7987	322.47	1.0398	41.9388	77
78	0.47663	0.9948	0.7550	1.7498	78.562	1257.921	1336.483	0.2530	3.8023	4.0553	326.67	1.0517	43.7020	78
79	0.51284	0.9977	0.8145	1.8121	79.572	1354.347	1433.918	0.2559	4.0810	4.3368	330.86	1.0636	45.5248	79
80	0.55295	1.0005	0.8805	1.8810	80.581	1461.200	1541.781	0.2587	4.3890	4.6477	335.06	1.0755	47.4135	80
81	0.59751	1.0034	0.9539	1.9572	81.591	1579.961	1661.552	0.2616	4.7305	4.9921	339.25	1.0874	49.3670	81
82	0.64724	1.0062	1.0360	2.0422	82.600	1712.547	1795.148	0.2644	5.1108	5.3753	343.45	1.0993	51.3860	82
83	0.70311	1.0090	1.1283	2.1373	83.610	1861.548	1945.158	0.2673	5.5372	5.8045	347.65	1.1111	53.4746	83
84	0.76624	1.0119	1.2328	2.2446	84.620	2029.983	2114.603	0.2701						

Lampiran 3 Sifat Termodinamika Air di Titik Saturasi

6.6

1997 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)

Table 3 Thermodynamic Properties of Water at Saturation (Continued)

Temp., t_s , °C	Absolute Pressure kPa p	Specific Volume, m ³ /kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/(kg · K)			Temp., °C
		Sat. Liquid v_f/v_f	Evap. v_{fg}/v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid h_f/h_f	Evap. h_{fg}/h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f/s_f	Evap. s_{fg}/s_{fg}	Sat. Vapor s_g	
12	1.4026	0.001001	93.743	93.744	50.40	2472.38	2522.78	0.1806	8.6705	8.8511	12
13	1.4978	0.001001	88.088	88.089	54.59	2470.02	2524.61	0.1953	8.6319	8.8272	13
14	1.5987	0.001001	82.815	82.816	58.78	2467.66	2526.44	0.2099	8.5936	8.8035	14
15	1.7055	0.001001	77.897	77.898	62.97	2465.30	2528.26	0.2244	8.5556	8.7801	15
16	1.8184	0.001001	73.307	73.308	67.16	2462.93	2530.09	0.2389	8.5178	8.7568	16
17	1.9380	0.001001	69.021	69.022	71.34	2460.57	2531.92	0.2534	8.4804	8.7338	17
18	2.0643	0.001002	65.017	65.018	75.53	2458.21	2533.74	0.2678	8.4431	8.7109	18
19	2.1978	0.001002	65.274	61.273	79.72	2455.85	2535.56	0.2821	8.4061	8.6883	19
20	2.3388	0.001002	57.774	57.773	83.90	2453.48	2537.38	0.2964	8.3694	8.6658	20
21	2.4877	0.001002	54.450	54.500	88.08	2451.12	2539.20	0.3107	8.3329	8.6436	21
22	2.6448	0.001002	51.433	51.434	92.27	2448.75	2541.02	0.3249	8.2967	8.6215	22
23	2.8104	0.001003	48.562	48.563	96.45	2446.39	2542.84	0.3390	8.2607	8.5996	23
24	2.9851	0.001003	45.872	45.873	100.63	2444.02	2544.65	0.3531	8.2249	8.5780	24
25	3.1692	0.001003	43.350	43.351	104.81	2441.66	2546.47	0.3672	8.1894	8.5565	25
26	3.3631	0.001003	40.985	40.986	108.99	2439.29	2548.28	0.3812	8.1541	8.5352	26
27	3.5673	0.001004	38.766	38.767	113.18	2436.92	2550.09	0.3951	8.1190	8.5141	27
28	3.7822	0.001004	36.682	36.683	117.36	2434.55	2551.90	0.4090	8.0842	8.4932	28
29	4.0083	0.001004	34.726	34.727	121.54	2432.17	2553.71	0.4229	8.0496	8.4724	29
30	4.2460	0.001004	32.889	32.889	125.72	2429.80	2555.52	0.4367	8.0152	8.4519	30
31	4.4959	0.001005	31.160	31.161	129.90	2427.43	2557.32	0.4505	7.9810	8.4315	31
32	4.7585	0.001005	29.535	29.536	134.08	2425.05	2559.13	0.4642	7.9471	8.4112	32
33	5.0343	0.001005	28.006	28.007	138.26	2422.67	2560.93	0.4779	7.9133	8.3912	33
34	5.3239	0.001006	26.567	26.568	142.44	2420.29	2562.73	0.4915	7.8790	8.3713	34
35	5.6278	0.001006	25.212	25.213	146.62	2417.91	2564.53	0.5051	7.8465	8.3516	35
36	5.9466	0.001006	23.935	23.936	150.80	2415.53	2566.33	0.5186	7.8134	8.3320	36
37	6.2810	0.001007	22.733	22.734	154.98	2413.14	2568.12	0.5321	7.7805	8.3127	37
38	6.6315	0.001007	21.599	21.600	159.16	2410.76	2569.91	0.5456	7.7479	8.2934	38
39	6.9987	0.001008	20.529	20.530	163.34	2408.37	2571.71	0.5590	7.7154	8.2744	39
40	7.3835	0.001008	19.520	19.521	167.52	2405.98	2573.50	0.5724	7.6831	8.2555	40
41	7.7863	0.001008	18.567	18.568	171.70	2403.58	2575.28	0.5857	7.6510	8.2367	41
42	8.2080	0.001009	17.667	17.668	175.88	2401.19	2577.07	0.5990	7.6191	8.2181	42
43	8.6492	0.001009	16.818	16.819	180.06	2398.79	2578.85	0.6122	7.5875	8.1997	43
44	9.1107	0.001010	16.014	16.015	184.24	2396.39	2580.63	0.6254	7.5560	8.1814	44
45	9.5932	0.001010	15.255	15.256	188.42	2393.99	2582.41	0.6386	7.5247	8.1632	45
46	10.0976	0.001010	14.537	14.538	192.60	2391.59	2584.19	0.6517	7.4936	8.1452	46
47	10.6246	0.001011	13.858	13.859	196.78	2389.18	2585.96	0.6648	7.4626	8.1274	47
48	11.1751	0.001011	13.214	13.215	200.97	2386.77	2587.74	0.6778	7.4319	8.1097	48
49	11.7500	0.001012	12.606	12.607	205.15	2384.36	2589.51	0.6908	7.4013	8.0921	49
50	12.3499	0.001012	12.029	12.029	209.33	2381.94	2591.27	0.7038	7.3709	8.0747	50
51	12.9759	0.001013	11.482	11.483	213.51	2379.53	2593.04	0.7167	7.3407	8.0574	51
52	13.6290	0.001013	10.964	10.965	217.70	2377.10	2594.80	0.7296	7.3107	8.0403	52
53	14.3100	0.001014	10.473	10.474	221.88	2374.68	2596.56	0.7424	7.2809	8.0233	53
54	15.0200	0.001014	10.001	10.008	226.06	2372.26	2598.32	0.7552	7.2512	8.0064	54
55	15.7597	0.001015	9.563	9.5663	230.25	2369.83	2600.07	0.7680	7.2217	7.9897	55
56	16.5304	0.001015	9.147	9.1468	234.43	2367.39	2601.82	0.7807	7.1924	7.9731	56
57	17.3331	0.001016	8.744	8.7489	238.61	2364.96	2603.57	0.7934	7.1632	7.9566	57
58	18.1690	0.001016	8.3690	8.3700	242.80	2362.52	2605.32	0.8061	7.1342	7.9403	58
59	19.0387	0.001017	8.0094	8.0114	246.99	2360.08	2607.06	0.8187	7.1054	7.9240	59
60	19.944	0.001017	7.6677	7.6697	251.17	2357.63	2608.80	0.8313	7.0767	7.9079	60
61	20.885	0.001018	7.3428	7.3438	255.36	2355.19	2610.54	0.8438	7.0482	7.8920	61
62	21.864	0.001018	7.0337	7.0347	259.54	2352.73	2612.28	0.8563	7.0198	7.8761	62
63	22.882	0.001019	6.7397	6.7407	263.73	2350.28	2614.01	0.8688	6.9916	7.8604	63
64	23.940	0.001019	6.4599	6.4609	267.92	2347.82	2615.74	0.8812	6.9636	7.8448	64
65	25.040	0.001020	6.1935	6.1946	272.11	2345.36	2617.46	0.8936	6.9357	7.8293	65
66	26.180	0.001020	5.9397	5.9409	276.30	2342.89	2619.19	0.9060	6.9080	7.8140	66
67	27.366	0.001021	5.6982	5.6992	280.49	2340.42	2620.90	0.9183	6.8804	7.7987	67
68	28.596	0.001022	5.4680	5.4690	284.68	2337.95	2622.62	0.9306	6.8530	7.7836	68
69	29.873	0.001022	5.2485	5.2495	288.87	2335.47	2624.33	0.9429	6.8257	7.7686	69
70	31.198	0.001023	5.0392	5.0402	293.06	2332.99	2626.04	0.9551	6.7986	7.7537	70
71	32.572	0.001023	4.8396	4.8407	297.25	2330.50	2627.75	0.9673	6.7716	7.7389	71
72	33.997	0.001024	4.6492	4.6502	301.44	2328.01	2629.45	0.9795	6.7448	7.7242	72
73	35.475	0.001025	4.4675	4.4685	305.63	2325.51	2631.15	0.9916	6.7181	7.7097	73
74	37.006	0.001025	4.2940	4.2951	309.83	2323.02	2632.84	1.0037	6.6915	7.6952	74
75	38.592	0.001026	4.1284	4.1294	314.02	2320.51	2634.53	1.0157	6.6651	7.6809	75
76	40.236	0.001026	3.9702	3.9712	318.22	2318.01	2636.22	1.0278	6.6389	7.6666	76
77	41.938	0.001027	3.8190	3.8201	322.41	2315.49	2637.90	1.0398	6.6127	7.6525	77
78	43.700	0.001028	3.6746	3.6756	326.61	2312.98	2639.58	1.0517	6.5867	7.6384	78
79	45.524	0.001028	3.5365	3.5375	330.81	2310.46	2641.26	1.0636	6.5609	7.6245	79