

Bidang Unggulan: Inovasi Teknologi dan Industri

Kode>Nama Rumpun Ilmu: 431/Teknik Mesin

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN RISET TERAPAN**



**RANCANG BANGUN SISTEM PENGKONDISIAN UDARA DESIKAN
PADAT (*SOLID DESSICANT AIR CONDITIONING*) PADA RUANG
KERJA DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KRITERIA KENYAMANAN
TERMAL**

Oleh:

(Ketua)

1. DENDI ADI SAPUTRA M, MT / NIDN. 1001128702

(Anggota)

- | | |
|---|---------------------------|
| 1. Dr. Eng. LUSI SUSANTI | : NIDN. 0015087605 |
| 2. DODY ICHWANA PUTRA, S.T., M.T | : NIDN. 1007118603 |
| 3. PRIMA FITHRI, S.T., M.T. | : NIDN. 0028058503 |
| 4. NANDA AGNA SAPUTRA | : NIM. 1310911028 |
| 5. RAHMA SAPUTRI | : NIM. 1210912063 |

Dibiayai oleh:

Dana BOPTN Universitas Andalas Tahun Anggaran 2017
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 29/UN.16.17/RT/LPPM/2017

**UNIVERSITAS ANDALAS
NOVEMBER 2017**

LEMBARAN PENGESAHAN RISET TERAPAN

Judul Penelitian	:	Rancang Bangun Sistem Pengkondisian Udara Desikan Padat (<i>Solid Dessicant Air Conditioning</i>) Pada Ruang Kerja dengan Mempertimbangkan Kriteria Kenyamanan Termal
Kode>Nama Rumpun Ilmu	:	431/ Teknik Mesin
Bidang Unggulan PT	:	Inovasi Teknologi dan Industri
Ketua Peneliti	:	
a. Nama Lengkap	:	Dendi Adi Saputra M, MT
b. NIDN	:	1001128702
c. Jabatan Fungsional	:	Lektor
d. Program Studi	:	Teknik mesin
e. Nomor HP	:	085274056613
f. Alamat surel (e-mail)	:	dendiadisaputra05@gmail.com
Anggota Peneliti (1)	:	
a. Nama Lengkap	:	Dr. Eng. Lusi Susanti
b. NIDN	:	0015087605
c. Perguruan Tinggi	:	Universitas Andalas
Anggota Peneliti (2)	:	
a. Nama Lengkap	:	Dody Ichwana Putra, S.T., M.T
b. NIDN	:	1007118603
c. Perguruan Tinggi	:	Universitas Andalas
Anggota Peneliti (3)	:	
a. Nama Lengkap	:	Prima Fithri, S.T., M.T.
b. NIDN	:	0028058503
c. Perguruan Tinggi	:	Universitas Andalas
Anggota Mahasiswa (1)	:	
a. Nama Lengkap	:	Nanda Agna Saputra
b. NIM	:	1310911028
c. Perguruan Tinggi	:	Universitas Andalas
Anggota Mahasiswa (2)	:	
a. Nama Lengkap	:	Rahma Saputri
b. NIM	:	1210912063
c. Perguruan Tinggi	:	Universitas Andalas
Penelitian Tahun ke	:	1
Lokasi Penelitian	:	Padang, Sumatera Barat
Biaya Penelitian	:	Rp 30,000,000,-

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik Unand



Ir. Insannul Kamil, M.Eng. Ph.D
NIP. 196711221994121002

Ketua Peneliti,

Dendi Adi Saputra M, ST., MT
NIP. 198712012012121004

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian
dan Pengabdian kepada Masyarakat UNAND



Dr. Ing. Ujung Gatot S. Dinata, MT
NIP. 196607091992031003

IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

1. Judul Penelitian :

Rancang Bangun Sistem Pengkondisian Udara Desikan Padat (Solid Dessicant Air Conditioning) Pada Ruang Kerja dengan Mempertimbangkan Kriteria Kenyamanan Termal

2. Tim Peneliti

No	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Instansi Asal	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1	Dendi Adi Saputra M, MT	Ketua	Perancangan Proses Produksi, Konversi Energi Pengajuan paten	Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unand	10
2	Dr. Eng. Lusi Susanti	Anggota 1	Kenyamanan termal, Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja	Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Unand	8
3	Dody Ichwana Putra, S.T., M.T	Anggota 2	Sistem kontrol, GIS	Jurusan Sistem Komputer Fakultas Teknologi Informasi Unand	8
4	Prima Fithri, MT	Anggota 3	Optimasi sistem industri, Pengukuran kinerja dan produktivitas	Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Unand	8

3. Objek Penelitian (jenis material yang akan diteliti dan segi penelitian):

- Perancangan sistem pengkondisian udara pada sebuah ruangan kerja menggunakan pendekatan siklus regenerasi desiccant tenaga surya.
- Disain manufaktur dan perakitan sistem pengkondisian udara.
- Evaluasi teknis (fungsional dan kenyamanan termal)

4. Masa Pelaksanaan

Mulai : bulan : Juni tahun: 2017

Berakhir: bulan : Desember tahun: 2017

5. Usulan Biaya BOPTN LPPM Unand

- Tahun ke-1 : Rp. 30.000.000,-

6. Lokasi Penelitian (lab/studio/lapangan) :

- Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.
- Laboratorium Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi Jurusan Teknik Industri Universitas Andalas.
- Laboratorium Inti Teknologi Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.
- Laboratorium Teknik Pendingin Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.

7. Instansi lain yang terlibat (jika ada, dan uraikan apa kontribusinya) -

8. Temuan yang ditargetkan (metode, teori, produk atau masukan kebijakan)

- Model dan *prototype* sistem pengkondisian udara dengan siklus regenerasi desiccant tenaga surya.
- Paten desain dan *prototype* sistem pengkondisian udara dengan siklus regenerasi desiccant tenaga surya.

9. Kontribusi mendasar pada suatu bidang ilmu (uraikan tidak lebih 50 kata, tekankan pada gagasan fundamental dan orisinal yang akan mendukung pengembangan iptek).

- Implementasi teori siklus regenerasi *desiccant* yang diterapkembangkan pada sebuah *prototype* sistem pengkondisian udara.
- Metodologi rancang bangun *prototype* sistem pengkondisian udara dengan memanfaatkan energi matahari.

- Metode evaluasi teknis prototype berdasarkan kriteria kenyamanan termal untuk daerah beriklim tropis.
10. Jurnal ilmiah yang menjadi sasaran (tuliskan nama terbitan berkala ilmiah internasional bereputasi, nasional terakreditasi, atau nasional tidak terakreditasi dan tahun rencana publikasi)
- Tahun 1: Journal of Applied Thermal Engineering
International Conference on Ocean, Mechanical, Aerospace
Scientist and Engineer
11. Rencana luaran HKI, buku, purwarupa, rekaya sosial atau luaran lainnya yang ditargetkan, tahun rencana perolehan atau penyelesaiannya.
- a. Proceeding Seminar Internasional (Tahun 1)
 - b. Submit Jurnal Internasional (Tahun 1)
 - c. Draft paten desain dan *prototype* (Tahun 1)

DAFTAR ISI

LEMBARAN PENGESAHAN RISET TERAPAN	ii
IDENTITAS DAN URAIAN UMUM.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
RINGKASAN	ix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Urgensi Penelitian.....	3
1.5. Keluaran Penelitian.....	3
BAB 2. RENSTRA DAN ROAD MAP PENELITIAN PERGURUAN TINGGI .	5
BAB 3. TINJAUAN PUSTAKA	7
3.1. <i>State of the art</i>	7
3.1.1 Sistem pengkondisian udara desikan padat	7
3.1.2 Siklus desikan	8
3.1.3 Alat Penukar kalor (<i>Heat exchanger</i>)	8
3.1.4 Pendingin Evaporatif (<i>Eveporative Cooler</i>)	9
3.2. Peta Jalan Penelitian	9
3.3. Hasil Penelitian yang <i>up to date</i> dan Relevan dengan Penelitian Usulan	11
3.4. Studi Pendahuluan dan Hasil yang sudah Dicapai.....	11
BAB 4. METODE PENELITIAN.....	13
4.1. Perancangan	14
4.2. Pembuatan Sistem Pendingin.....	15
4.3. Eksperimen	16
4.4. Pengujian dan Pengumpulan Data	17
BAB 5. HASIL YANG DICAPAI	18
5.1. Perancangan Ruang Uji	18
5.1.1 Perancangan Ruang Uji (<i>Climate Chamber</i>).....	18
5.1.2 Perhitungan Beban Pendinginan Ruang Uji.....	19

5.2.	Perancangan Sistem Pendingin <i>Solid Desiccant</i>	19
5.3.	Uji Fungsional.....	20
5.3.1	Kinerja Sistem Pendinginan Ruang Uji	20
5.3.2	Skema Kerja Sistem Pendingin Desikan.....	22
BAB 6.	KESIMPULAN.....	23
REFERENSI	24

RINGKASAN

Saat ini, sistem pengkondisian udara desikan padat adalah salah satu alternatif dalam pemanfaatan energi surya untuk mengatasi permasalahan isu lingkungan dan energi akibat dari penggunaan sistem pengkondisian udara kompresi uap konvensional. Pengkondisian udara desikan padat dapat menjaga kenyamanan termal sebuah ruangan dengan pengoptimalan energi panas matahari dan meminimalisir pemakaian energi listrik. Namun, dalam proses perancangannya, masih terdapat beberapa parameter yang harus diidentifikasi ketika sistem ini diterapkembangkan pada kondisi sebenarnya. Pada penelitian ini, dilakukanlah kajian komprehensif mengenai perancangan sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya dengan memerhatikan kriteria kenyamanan termal pada sebuah ruangan kerja. Hasil perancangan didapatkan laju pengurangan kelembaban air/*moisture removal rate* (MRC) dan kapasitas pendingin adalah -1,341 dan 2.7 kW.

Kata kunci: desikan padat, pengkondisian udara, energi surya, kenyamanan termal

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Trend bekerja dalam ruangan meningkat pada saat ini. Tingginya pemanfaatan teknologi informasi memudahkan manusia dalam melakukan pekerjaan tanpa harus meninggalkan ruangan / rumah. Hal ini menyebabkan naiknya kebutuhan standar kenyamanan termal dalam ruangan bagi pekerja / karyawan yang melakukan aktifitasnya.

Untuk memenuhi standar kenyamanan termal, maka penggunaan mesin pendingin ruangan atau mesin pengkondisian udara (*Air Conditioning, AC*) menjadi salah satu solusi yang banyak digunakan. Saat ini, pemanfaatan mesin pendingin ruangan masih menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap yang membutuhkan konsumsi energi listrik yang cukup signifikan. Kebutuhan energi untuk mesin pengkondisian udara diprediksi meningkat karena meningkatnya standar kenyamanan dan isu pemanasan global. Isaac et. al [1] telah memprediksi kebutuhan energi untuk sistem pendinginan gedung di Dunia, dimana akan terjadi peningkatan kebutuhan energi sekitar 4000 TWh pada tahun 2050 dan akan terus meningkat sampai 10000 TWh pada tahun 2100. Dengan demikian, pemanfaatan energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan energi untuk sistem pendinginan/ pengkondisian udara perlu dilakukan.

Dari beberapa alternatif energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan, energi surya merupakan alternatif energi terbarukan terbaik yang dapat digunakan. Energi surya dapat digunakan sebagai sumber energi untuk sistem pengkondisian udara dalam 2 cara yaitu melalui proses konversi energi surya ke energi listrik dan proses pemanfaatan langsung energi panas matahari tersebut. Pada proses yang pertama, penggunaan sel photovoltaic dalam pemanfaatan energi surya akan mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dan selanjutnya energi listrik tersebut akan dimanfaatkan untuk mengoperasikan sistem kompresi uap konvensional dalam sistem pengkondisian udara. Dengan sistem ini, konstruksi sederhana dan efisiensi tinggi merupakan kelebihan utama. Namun, masih tingginya biaya investasi untuk peralatan dan media penyimpanan energi (*battery*) serta proses pendinginan

terbatas pada saat siang hari menyebabkan masih sedikitnya implementasi teknologi ini untuk diterapkembangkan.

Pada sistem pendinginan yang digerakkan oleh panas matahari, panas dari matahari dikumpulkan melalui sebuah solar kolektor yang digunakan untuk menghasilkan energi mekanik untuk memampatkan uap refrigeran didalam sebuah sistem kompresi uap konvensional atau sebagai sumber panas untuk generator pada sistem pendinginan sorpsi (penyerapan). Pemanfaatan energi surya melalui proses thermal memberikan keuntungan yang lebih ekonomis dibanding pemanfaatan energi surya melalui sel surya (*photovoltaic*). Hal ini dikarenakan kemampuan untuk memberikan efek pendinginan secara maksimal ketika maksimalnya input radiasi matahari terjadi pada waktu yang bersamaan. Pada saat kecilnya radiasi matahari maka beban pendinginan juga akan menjadi kecil, sehingga tidak dibutuhkan tangki penyimpanan thermal yang terlalu besar untuk mengatasi pengaruh musim.[1]

1.2. Perumusan Masalah

Pemanfaatan panas matahari untuk sistem pengkondisian udara dapat menggunakan sistem pendinginan desikan padat (*solid desiccant air conditioning, SDCS*). Sistem pendingin desikan padat beroperasi berdasarkan siklus sorpsi terbuka dengan prinsip kerja adsorpsi [2, 3, 4]. Komponen utama pada sistem pendingin ini adalah sebuah desikan. Desikan merupakan material hygroscopic yang memiliki kemampuan yang tinggi untuk menyerap uap air. Salah satu material desikan padat yang umumnya digunakan adalah silika gel. Pada sistem pendingin desikan padat, udara dengan kelembaban tinggi akan dihilangkan melalui sebuah roda desikan yang berputar. Selanjutnya, temperatur udara kering akan diturunkan sampai ke temperatur ruangan dengan menggunakan alat penukar panas sensibel dan koil pendingin. Pada penelitian ini, dilakukanlah kajian komprehensif mengenai perancangan sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya dengan memerhatikan kriteria kenyamanan termal pada sebuah ruangan kerja. Hasil perancangan akan diterapkembangkan melalui sebuah prototype untuk dilakukan evaluasi teknis terhadap hasil perancangan yang dilakukan pada tahap sebelumnya.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Rancang bangun sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya berdasarkan kriteria kenyamanan termal kerja dalam ruangan.
2. Penentuan secara empirik kondisi operasional yang optimum atas sistem yang dirancang.
3. Evaluasi teknis prototipe berdasarkan kriteria kenyamanan termal.

1.4.Urgensi Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan, diharapkan rancangan sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya yang dihasilkan dapat memberikan manfaat pada banyak pihak, antara lain:

- a. Semakin meningkatnya standar kenyamanan termal dan isu pemanasan global, menyebabkan kebutuhan energi untuk sistem pendinginan semakin meningkat. Untuk itu, dengan adanya penelitian ini, langkah pemanfaatan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi untuk sistem pendinginan dapat diterapkembangkan.
- b. Bagi pihak pemerintah, penelitian ini mendukung program pemerintah dalam kegiatan konversasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan dalam usaha pengurangan penggunaan energi fosil, khususnya untuk kebutuhan sistem pendingin/ pengkondisian udara dalam gedung/ ruangan kerja.
- c. Bagi ilmu pengetahuan, hasil penelitian dapat dijadikan rujukan dalam melakukan perancangan sistem pengkondisian udara desikan padat dengan memanfaatkan tenaga surya sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan.

1.5.Keluaran Penelitian

Penelitian ini direncanakan dapat menghasilkan keluaran sebagai berikut:

- a. Proceeding Seminar Internasional.
- b. Jurnal Internasional.
- c. Prototype sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya.
- d. Paten desain dan prototype sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya.

Rencana capaian tahunan yang sesuai dengan luaran yang ditargetkan dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Rencana Target Capaian Tahunan

No.	Jenis Luaran		Indikator Capaian
			2017
1	Publikasi Ilmiah	Internasional	Submitted
		Nasional Terakreditasi	Tidak ada
2	Pemakalah dalam Temu Ilmiah	Internasional	Sudah Dilaksanakan
		Nasional	Tidak ada
3	<i>Invited speaker</i> dalam temu ilmiah	Internasional	Tidak ada
		Nasional	Tidak ada
4	<i>Visiting lecturer</i>	Internasional	Tidak Ada
5	Hak Kekayaan Intelektual (HKI)	Paten	Tidak ada
		Paten Sederhana	Draft
		Hak Cipta	Tidak ada
		Merek Dagang	Tidak ada
		Rahasia Dagang	Tidak ada
		Desain Produk Industri	Tidak ada
		Indikasi Geografis	Tidak ada
		Perlindungan Varietas Tanaman	Tidak ada
Perlindungan Topografi Sirkuit Terpadu	Tidak ada		
6	Teknologi Tepat Guna		Produk
7	Model/Purwarupa/Desain/Karya Seni/ Rekayasa Sosial		Produk
8	Buku Ajar (ISSBN)		Tidak ada
9	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT)		4-5

Berdasarkan tujuan, luaran penelitian dan rencana target capaian tahunan yang dijabarkan sebelumnya, maka dapat dilihat bahwa tujuan dan luaran penelitian ini sudah mengacu kepada target kesiapan teknologi untuk riset terapan dan pengembangan (TKT skala 4-5).

BAB 2. RENSTRA DAN ROAD MAP PENELITIAN PERGURUAN TINGGI

Salah satu rencana strategis dalam kerangka pengembangan pendidikan tinggi adalah Rencana Induk Penelitian (RIP) Institusi. RIP memiliki makna perencanaan strategis dalam suatu organisasi pendidikan tinggi, mencakup bagaimana mengalokasikan sumber daya yang ada berdasarkan pertimbangan analisis efisiensi dan SWOT (*Strength, Weakness, Opportunity dan Threat*). Universitas Andalas 2016 telah memiliki sembilan klaster riset sesuai tema Rencana Induk Penelitian Unand. Penelitian ini sesuai dengan RIP yang telah ditetapkan Unand dan berkaitan dengan klaster riset yang ada, yaitu **ketahanan pangan, inovasi teknologi dan industri**, serta **pembangunan karakter**. Penelitian ini juga mengikuti roadmap penelitian Unand tahap II yaitu tahun 2017-2021 berada pada tahap kemandirian penelitian, berupa berjalannya internal manajemen penelitian dan terwujudnya suasana penelitian secara berkelompok dan mandiri. Pada tahap ini penelitian diharapkan telah menghasilkan publikasi ilmiah, paten, rekayasa ipteks, buku dan HaKi, serta mampu mengimplementasikan teknologi yang dihasilkan di tengah masyarakat, baik lokal maupun nasional. Tabel 2.1 menunjukkan tema penelitian unggulan Unand yang sesuai dengan penelitian yang akan dilaksanakan.

Tabel 2.1. Klaster Penelitian Unggulan Universitas Andalas Bidang Inovasi Teknologi dan Industri

No.	Topik Penelitian	Sub Topik Penelitian	Kompetensi yang dibutuhkan
INOVASI TEKNOLOGI DAN INDUSTRI			
1	Konservasi energi, konversi dan produk energi baru, serta energi terbarukan	Kebijakan/ regulasi, ekonomi, manajemen, teknologi dan bisnis, sosial dan budaya	Rekayasa energi, konversi energi
2	Produksi bahan maju alam (berbasis gambir, sawit, karet dan bambu) dan suku cadang industri	Kebijakan/ regulasi, ekonomi, manajemen, teknologi dan bisnis, sosial dan budaya	Rekayasa dan material
3	Produksi teknologi informatika pendukung tema-tema riset Unand	Kebijakan/ regulasi, ekonomi, manajemen, teknologi dan bisnis, sosial dan budaya	Rekayasa teknologi informasi
4	Infrastruktur dan teknologi, dan produksi berbasis kelautan	Kebijakan/ regulasi, ekonomi, manajemen, teknologi dan bisnis, sosial dan budaya	Rekayasa sumber daya alam berbasis kelautan

Berdasarkan renstra penelitian yang telah dijabarkan di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian yang diusulkan sangat mendukung capaian renstra penelitian di

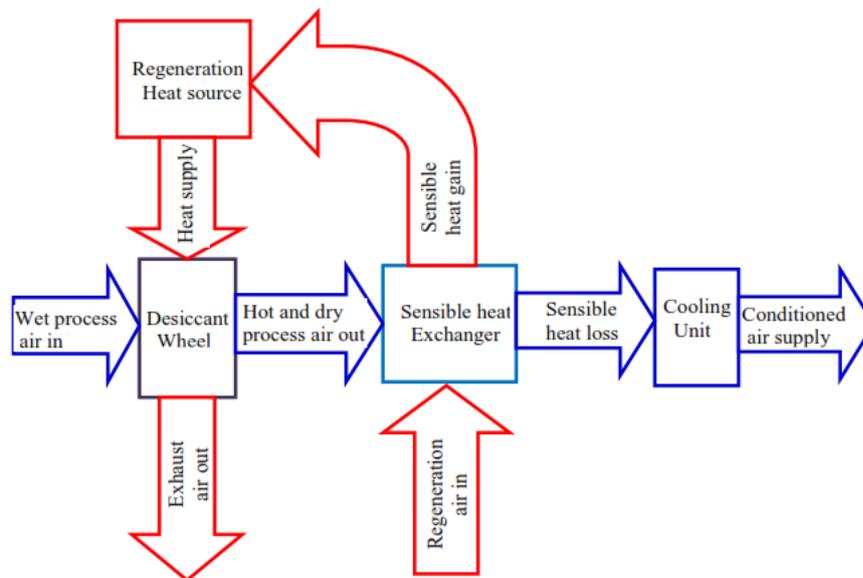
Universitas Andalas dan sesuai dengan tingkat kesiapan teknologi yang ditargetkan oleh penelitian yaitu klaster penelitian bidang inovasi teknologi dan industri dengan topik penelitian konservasi energi, konversi dan produk energi baru, serta energi terbarukan.

BAB 3. TINJAUAN PUSTAKA

3.1. *State of the art*

3.1.1 Sistem pengkondisian udara desikan padat

Sistem pendingin desikan padat beroperasi berdasarkan siklus sorpsi terbuka dengan prinsip kerja adsorpsi yaitu dengan menyerap uap air yang terkandung di udara dan selanjutnya udara kering tersebut diturunkan temperaturnya sampai ke temperatur ruangan dengan menggunakan alat penukar panas sensibel dan koil pendingin. Untuk melakukan proses tersebut, sistem pengkondisian udara ini memerlukan sebuah roda desikan (*desiccant wheel*) untuk melakukan proses penyerapan yang terdiri dari saluran-saluran hexagonal yang sangat banyak dan kecil sehingga membentuk formasi *honey comb*. *Desiccant wheel* secara konstan terus berputar dengan sangat lambat melalui dua aliran udara yang terpisah [5]. Aliran pertama ialah aliran udara proses yang didehumidifikasi oleh *desiccant* dan aliran kedua adalah aliran udara regenerasi atau reaktivasi. Temperatur udara reaktivasi untuk silica gel berkisar 50 – 160 °C. Secara visualisasi, prinsip sistem pendingin desikan padat dapat dilihat pada Gambar 3.1.

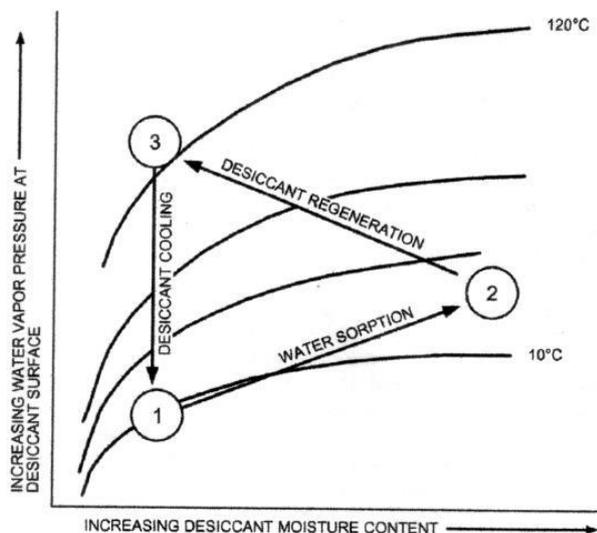


Gambar 3.1. Prinsip kerja sistem pendingin desikan padat [2]

3.1.2 Siklus desikan

Semua *desiccant* berfungsi dengan cara yang sama yaitu dengan perpindahan uap air yang disebabkan oleh perbedaan antara tekanan permukaan uap air dan tekanan udara sekitar. Ketika tekanan uap pada permukaan *desiccant* lebih rendah dari udara, *desiccant* mengikat uap air. Ketika tekanan permukaan uap lebih tinggi dari udara sekitar, *desiccant* akan melepaskan uap air.

Setelah *desiccant* dikeringkan (*direaktifasi*) dengan panas, membuat tekanan uap menjadi tinggi, sehingga kemampuan untuk menyerap uap air menjadi kecil. Mendinginkan *desiccant* akan menurunkan tekanan permukaan sehingga dapat menyerap uap air lagi. Siklus lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



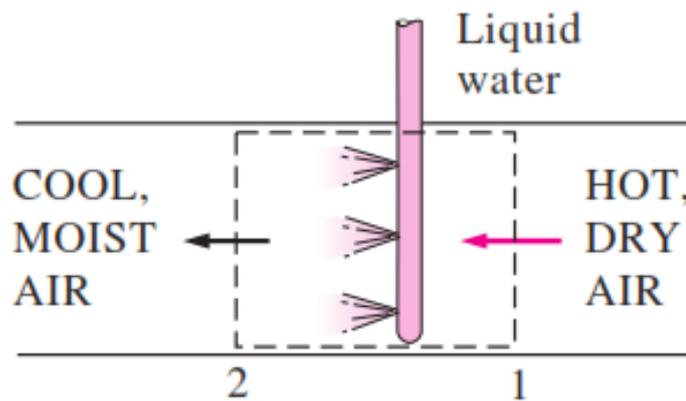
Gambar 3.2 Siklus Regenerasi *Desiccant* [6]

3.1.3 Alat Penukar kalor (*Heat exchanger*)

Alat penukar kalor adalah suatu alat untuk mentransfer energi akibat perubahan temperatur yang dapat berfungsi sebagai pemanas maupun pendingin. Penukar panas dirancang untuk melakukan fungsi perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Perpindahan panas terjadi karena adanya kontak, baik secara langsung maupun tidak langsung.

3.1.4 Pendingin Evaporatif (*Evaporative Cooler*)

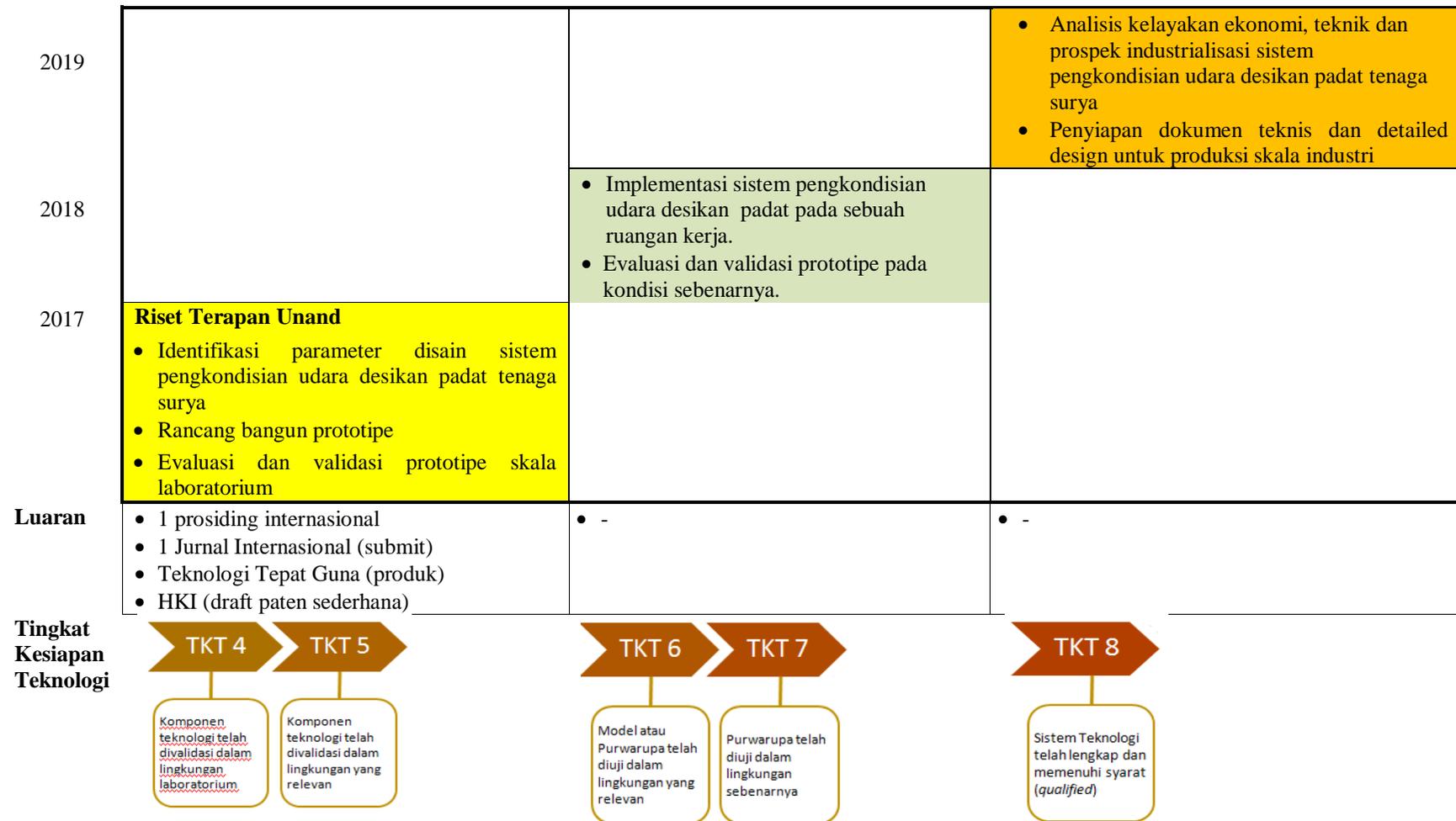
Proses pendinginan evaporatif terjadi saat uap air ditambahkan ke udara yang memiliki kelembaban relatif di bawah 100%. Kelembaban relatif adalah besaran yang tergantung pada temperatur bola kering dan temperatur bola basah dari udara. Makin rendah kelembaban relatif, maka makin besar potensi terjadinya pendinginan evaporatif. Proses pendinginan evaporatif dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pendingin Evaporatif [7]

3.2. Peta Jalan Penelitian

Peta jalan penelitian mengacu kepada Rencana Strategis Penelitian (Renstra Penelitian) atau bidang unggulan perguruan tinggi sebagai acuan primer. Sedangkan *road map* penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Road Map Penelitian

3.3. Hasil Penelitian yang *up to date* dan Relevan dengan Penelitian Usulan

Beberapa penelitian telah dilakukan oleh beberapa peneliti untuk mengevaluasi kinerja dari sistem pendinginan desikan padat. Hoseong Le [8] telah menginvestigasi sistem pengkondisian udara pada sistem pengkondisian udara portabel. Hasil penelitiannya menunjukkan desikan mampu memisahkan beban panas laten dari beban panas sensibel sehingga efektif meningkatkan temperatur penguapan (evaporatif) dan mengurangi konsumsi daya dari kompresor. Sistem pengkondisian udara tenaga hybrid dengan mengintegrasikan sistem kompresi uap dengan sistem pendingin desikan dilakukan oleh Gagliano [9]. Hasil penelitian ini menunjukkan integrasi sistem mampu mengurangi konsumsi energi listrik akibat penggunaan sistem kompresi uap konvensional. Camargo dkk [5] mengkaji pengaruh dari temperatur lingkungan dan perubahan kelembaban pada pendingin desikan evaporatif untuk beberapa kota yang beriklim tropis. Berdasarkan hasil dari riviui penelitian mengenai sistem pengkondisian udara dengan desikan padat, masih terdapat beberapa parameter disain yang dapat ditingkatkan dalam implementasi sistem pengkondisian udara desikan padat, khususnya untuk menjaga kenyamanan termal dalam ruangan pada daerah beriklim torpis.

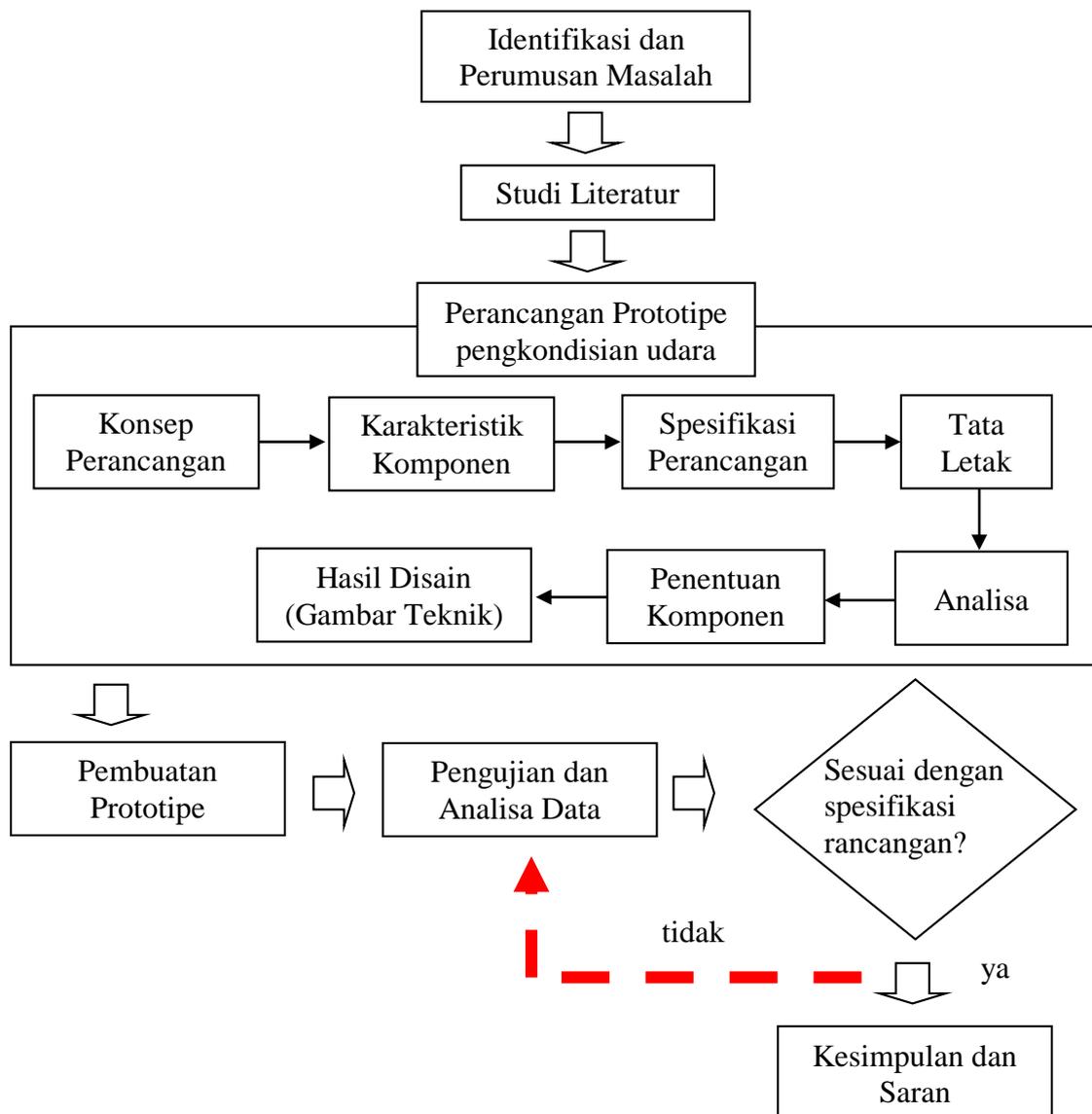
3.4. Studi Pendahuluan dan Hasil yang sudah Dicapai

Penelitian mengenai pemanfaatan energi panas matahari untuk sistem pendinginan telah dilakukan pada skim penelitian dosen muda tahun 2014 dengan judul *Rancang Bangun Alat Pendingin Absorpsi dengan Memanfaatkan Panas Matahari untuk Mendinginkan Buah*. Dari penelitian yang dilakukan, telah dihasilkan sebuah prototipe mesin pendingin buah dengan memanfaatkan panas matahari melalui pendekatan siklus absorpsi. Hasil dari pengujian didapatkan temperatur ruang pendingin terendah mencapai 18°C pada saat temperatur evaporator 13°C. Kinerja mesin pendingin/COP tertinggi yang didapat mencapai 0,8 pada saat cuaca cerah dengan intensitas cahaya 728,4 W/m². Namun, dari evaluasi teknis yang dilakukan, sistem pendingin ini memiliki keterbatasan pada temperatur evaporasi dan kondensasi. Temperatur pendingin tidak mampu turun dari lebih dari 13⁰C dan pada beberapa titik terjadi korosi pada temperatur generator lebih dari 200⁰C [10]. Untuk itu, pada penelitian ini diusulkan penerapan teknologi adsorpsi untuk sistem

pengkondisian udara sebuah ruangan kerja melalui sistem desikan padat tenaga surya. Selain itu, berdasarkan studi pendahuluan yang telah dilakukan, diketahui bahwa Indonesia memiliki iklim tropis dengan karakteristik memiliki kelembaban udara yang tinggi dengan kisaran 70 s.d. 90%. Indonesia memiliki 2 (dua) musim, yaitu musim panas dan musim dingin. Hal ini menunjukkan adanya potensi energi matahari yang cukup besar untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi utama untuk sistem pengkondisian udara yang akan dirancang. Oleh sebab itu, dengan kondisi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan data yang tersedia pada studi pendahuluan, maka dirumuskanlah konsep perancangan sistem pengkondisian udara dengan menggunakan sistem desikan padat tenaga surya.

BAB 4. METODE PENELITIAN

Sebagaimana diuraikan dalam Bab Pendahuluan, penelitian ini bertujuan untuk (1) rancang bangun sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya berdasarkan kriteria kenyamanan termal kerja dalam ruangan, (2) penentuan secara empirik kondisi operasional yang optimum atas sistem yang dirancang dan (3) evaluasi teknis prototipe berdasarkan kriteria kenyamanan termal. Untuk tujuan 2 (dua), akan dilakukan suatu pengujian dan informasi dari hasil pengujian tersebut digunakan untuk menentukan kondisi operasi yang optimal. Secara garis besar, langkah-langkah yang ditempuh dalam upaya mencapai tujuan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram alir tahapan penelitian

Penelitian ini diawali dengan menentukan konsep perancangan sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya, spesifikasi perancangan, karakteristik komponen, tata letak, analisa (dengan menggunakan konsep perpindahan panas dan termodinamika), penentuan komponen hingga didapatkan hasil disain sistem pengkondisian udara. Setelah didapatkan hasil disain, maka dilakukanlah rancang bangun dari sistem tersebut.

4.1. Perancangan

➤ Konsep Rancangan

Adapun konsep rancangan sistem pengkondisian udara adalah dengan memanfaatkan panas matahari sebagai sumber energi untuk melakukan fungsi penurunan temperatur pada sebuah ruangan. Sistem pengkondisian udara yang akan dirancang menggunakan roda desikan padat sebagai penyerap uap air. Selain itu, beberapa peralatan untuk membantu sirkulasi udara dan proses pendinginan akan diintegrasikan dalam prototipe ini.

➤ Spesifikasi Perancangan

Sebagai batasan (*constraint*) dalam perancangan sistem pengkondisian udara desikan padat tenaga surya maka ditentukan spesifikasi rancangan sebagai berikut:

A. Dimensi ruang kerja

- Panjang : 3 m
- Lebar : 3 m
- Tinggi : 3 m

B. Sistem pengkondisian udara

- Temperatur lingkungan (max) : 38⁰C
- Temperatur yang ingin dicapai : 16⁰C – 25⁰C
- Kapasitas pekerja di ruang kerja : 2 orang (max)
- Menggunakan roda desikan padat
- Material desiccant yang digunakan adalah *silica gel* yang bahan utamanya SiO₂ berbentuk bola padat dan transparan

➤ **Penetapan Komponen**

Pada tahapan ini, ditentukan karakteristik komponen yang sesuai dengan spesifikasi rancangan yang telah ditetapkan. Hal ini bertujuan untuk menentukan komponen-komponen utama dan pembantu dalam sistem pengkondisian udara pada ruangan.

➤ **Tata Letak**

Pada proses penetapan komponen sistem pengkondisian udara ini terbagi menjadi 2 tipe komponen yaitu komponen standar dan komponen khusus. Untuk tipe komponen standar akan dilakukan penetapan komponen dengan menggunakan katalog yang telah ada, seperti komponen evaporator, kondensor, katub ekspansi, dan pompa. Untuk penetapan komponen khusus dilakukan dengan menggunakan perhitungan dasar terlebih dahulu sebagai cara untuk mengetahui dimensi dari komponen yang dirancang, seperti beban pendinginan ruangan, tabung generator, absorber dan solar kolektor. Setelah komponen sistem pengkondisian udara ditetapkan maka akan dilakukan penetapan letak komponen yang ideal.

Penentuan Dimensi atau Pemilihan Komponen Sistem Pendingin

Pada proses penentuan dimensi komponen sistem dilakukan dengan perhitungan dasar terlebih dahulu sebagai cara untuk mengetahui dimensi dari komponen yang dirancang, kemudian hasil dari perhitungan tersebut disesuaikan dengan katalog atau yang mudah didapatkan dipasaran sebagai cara untuk memperoleh data tambahan mengenai dimensi komponen sistem pendingin.

➤ ***Detailed Design***

Setelah proses perancangan dilakukan maka hasil perancangan tersebut dituangkan dalam bentuk gambar teknik. Hasil rancangan sistem pendingin akan digambar dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2013 Student Version*. Gambar teknik akan berfungsi untuk mempermudah proses pembuatan sistem pendingin.

4.2. Pembuatan Sistem Pendingin

Setelah perancangan dan gambar desain selesai maka akan dilakukan pembuatan sistem pendingin. Pembuatan dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu :

1. Tahap Pertama

Membuat ruangan uji yaitu ruangan yang menyerupai kotak luas 9 m², digunakan untuk menguji keadaan atau temperatur udara yang ada didalam ruangan tersebut.

2. Tahap Kedua

Pembuatan roda desiccant, *heater*, pemilihan pompa, dan pemilihan *fan* yang cocok untuk sistem pendingin desikan padat tenaga surya. Seluruh pembuatan dilakukan dibengkel manufaktur dan di laboratorium terkait yang ada di Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Industri Universitas Andalas.

3. Tahap Ketiga

Proses Perakitan komponen-komponen sistem pendingin. Setelah semua komponen dipilih dan dibuat maka dilakukan proses perakitan, baik itu pemasangan roda *desiccant*, *fan*, pompa, kolektor surya, dan *heater*.

4.3. Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut [11]:

Perumusan masalah

Evaluasi teknis dan ekonomis terhadap hasil rancangan memerlukan validasi empirik. Demikian juga untuk mendapatkan kondisi operasi optimum, pendekatan empirik diperlukan mengingat keterbatasan model matematik pada prototipe riil.

Penentuan tujuan

Untuk penentuan tujuan, dilakukan identifikasi karakteristik output. Dalam penelitian ini, outputnya adalah rendemen pemisahan minyak. Sedangkan, tujuan eksperimen adalah untuk evaluasi pengaruh putaran roda desikan terhadap kinerja dari sistem penngkondisian udara yang dibuat. Hal ini didasarkan pada hipotesis adanya hubungan antara putaran dengan kinerja dari prototipe.

Brainstorm

Pengelompokan faktor-faktor ke dalam faktor kontrol dan faktor derau serta penentuan level dan nilai untuk faktor-faktor.

4.4. Pengujian dan Pengumpulan Data

Pengujian yang akan dilakukan adalah:

- Pengujian temperatur terendah yang mampu dicapai oleh sistem.
- Pengujian perubahan temperatur ruang pendingin dan komponen-komponen mesin pendingin.
- Pengukuran kelembaban ruangan uji pada saat pengujian.

BAB 5. HASIL YANG DICAPAI

5.1. Perancangan Ruang Uji

5.1.1 Perancangan Ruang Uji (*Climate Chamber*)

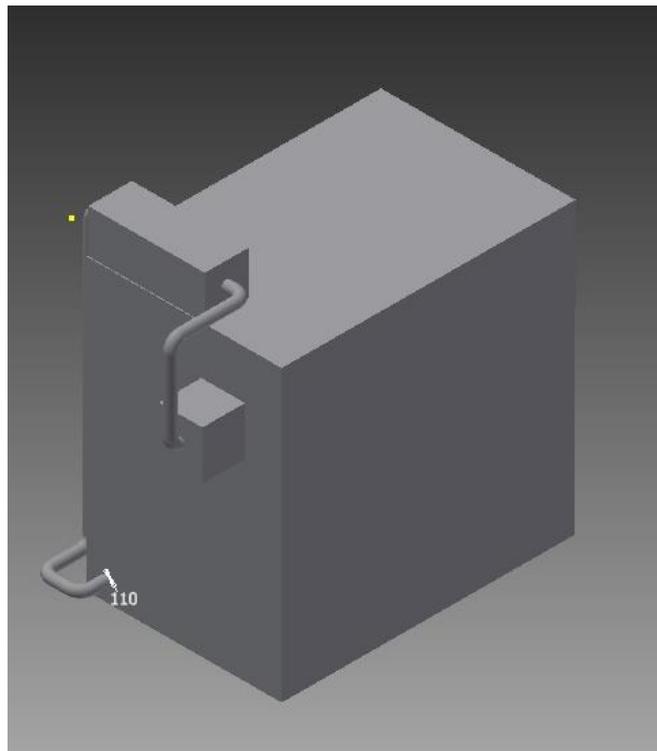
Ruang uji yang dirancang merupakan sebuah ruangan yang dapat diatur kelembaban dan temperaturnya pada kondisi tertentu untuk menguji kinerja dari sistem pengkondisian udara yangn dirancang. Ruang uji dirancang dengan spesifikasi sebagai berikut:

Panjang : 3 m

Lebar : 2 m

Tinggi : 3 m

Bahan Dinding : HPL, Glaswall, sterofom, triplek



Gambar 5.1. Disain ruangan uji

5.1.2 Perhitungan Beban Pendinginan Ruang Uji

Beban pendingin merupakan beban yang diterima oleh suatu mesin pendingin pada sebuah ruangan agar didapatkan kondisi ruangan yang sesuai dengan standar kenyamanan termal yang diinginkan. Beban pendingin terbagi atas beban eksternal dan beban internal, beban eksternal merupakan beban pendingin yang berasal dari luar sistem sedangkan beban internal adalah beban pendingin yang berasal dari dalam sistem. Berikut merupakan hasil perhitungan dari beban pendingin ruangan yang akan dikondisikan:

Tabel 5.1. Hasil perhitungan beban pendingin

No	Jenis	Hasil (W)
1	Beban pendingin eksternal	279,42
2	Beban pendingin internal	
	• Lampu ruangan	241.92
	• Penghuni ruangan (beban sensible)	76
	• Penghuni ruangan (beban latent)	200
	Total	793,34

5.2. Perancangan Sistem Pendingin *Solid Desiccant*

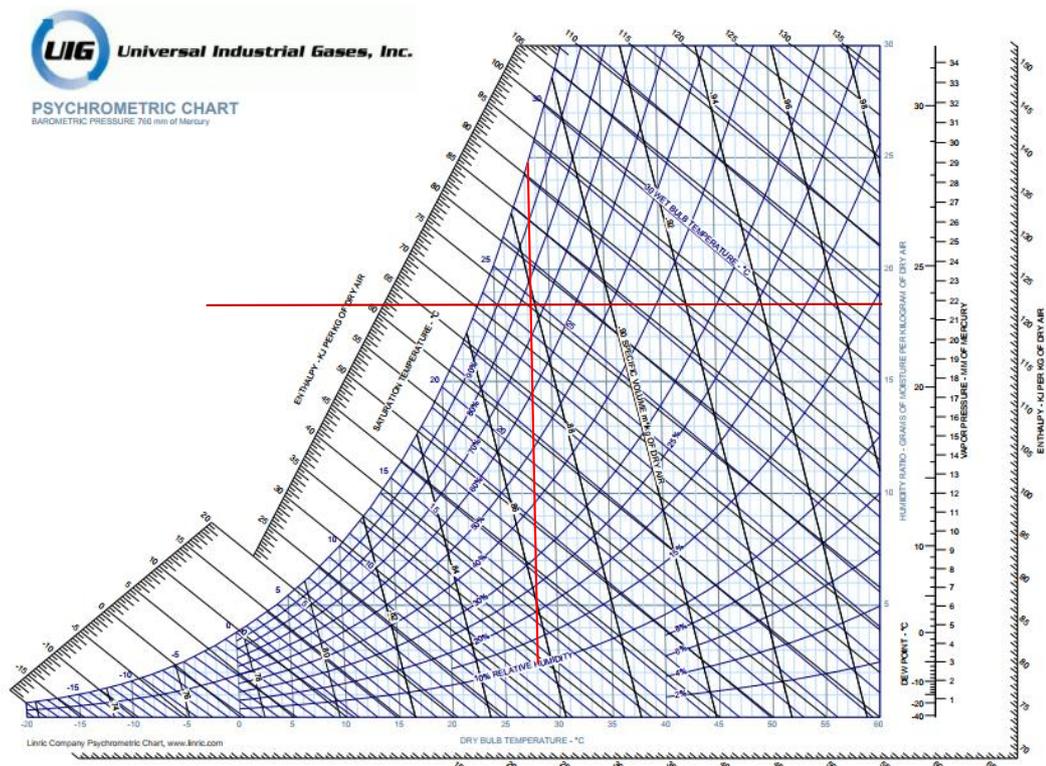
Perancangan sistem pendingin solid desikan dilakukan berdasarkan perhitungan beban pendingin yang diterima oleh mesin pendingin pada ruang uji. Siklus sistem pendingin yang digunakan adalah siklus regenerasi desikan dengan memanfaatkan panas yang berasal dari matahari maupun panas buang dari sistem pendingin kompresi uap AC. Siklus regenerasi desikan memanfaatkan roda desikan sebagai *dehumidifier* (penyerap uap air) dengan kondisi keluaran udara adalah kering dan temperatur lebih tinggi dari temperatur udara masuk. Pengaturan sirkulasi udara masuk dan keluar dibantu oleh sebuah *fan*. Udara kering yang telah melewati roda desikan selanjutnya akan dialirkan ke pendingin evaporatif yang bertujuan untuk menurunkan temperature udara yang akan mendinginkan ruangan.

Sistem pendingin solid desikan dirancang dengan beberapa komponen utama diantaranya, roda desikan, *heat rotary wheel*, *solar collector*, dan *evaporative cooler*.

5.3. Uji Fungsional

5.3.1 Kinerja Sistem Pendinginan Ruang Uji

Percobaan yang dilakukan berguna untuk menguji kinerja dari sistem pendingin dengan langkah awal mengukur temperatur bola kering (T_{db}) dan kelembaban relatif udara (ϕ) pada masukan dan keluaran roda desikan serta pendingin evaporatif langsung. Pada masukan roda desikan, temperatur yang diukur adalah temperatur lingkungan sedangkan temperatur keluarannya berada dalam sistem yaitu temperatur udara setelah melewati roda desikan, kemudian untuk temperatur masukan pendingin evaporatif diukur didalam sistem yaitu temperatur udara sebelum memasuki pendingin evaporatif sedangkan temperatur keluarannya diukur dalam ruangan uji. Hasil pengujian temperatur dan kelembaban relatif digunakan untuk mencari nilai kelembaban spesifik udara dengan menggunakan diagram psikometri (Gambar 5.2, hasil Tabel 5.2)



Gambar 5.2. Nilai kelembaban spesifik pada diagram *psychrometric*

Tabel 5.2. Sifat termodinamika udara sebelum dan sesudah melewati desikan

Waktu	Sebelum masuk desikan			Setelah masuk desikan			\dot{m}	MRC
	Tdb1	RH1	W1	Tdb2	RH2	W2		
0	28	69	16	35	54	19	0,447	-1,341
15	29	70	18	34	54	18	0,447	0
30	31	74	21,5	33	57	17,5	0,447	1,788
45	30	73	20,5	33	35	11,3	0,447	4,1124
60	31	74	21,4	32	35	11	0,447	4,6488

Diagram *psychrometric* digunakan untuk mencari nilai kelembaban spesifik yang mana kelembaban spesifik ini berguna untuk mencari nilai kinerja pengering desikan dengan menghitung *moisture removal rate* (MRC) yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$MRC = \dot{m} (\omega_{inlet} - \omega_{outlet})$$

$$MRC = 0,447 \frac{kg}{s} (16 - 19)$$

$$MRC = -1,341$$

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A$$

$$\dot{m} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,08 m^2 \cdot 4,66 \frac{m}{s}$$

$$\dot{m} = 0,447 \frac{kg}{s}$$

Tabel 5.3. Sifat termodinamika udara sebelum dan sesudah melewati pendingin evaporatif

Waktu	Sebelum masuk pendingin			Setelah masuk pendingin			\dot{m}	Qc
	Tdb3	RH3	W13	Tdb4	RH4	W4		
0	32	54	16	26	85	19	0,447	2,6954
15	31	54	15,2	26	84	17	0,447	2,2462
30	32	57	16,1	26	84	17	0,447	2,6954
45	33	35	11,3	25	82	16,5	0,447	3,5939
60	31	35	9,2	24	76	16	0,447	3,1446

Dari perbedaan temperatur bola kering sebelum masuk dan setelah masuk pendingin dapat dicari kapasitas pendingin dengan menggunakan persamaan :

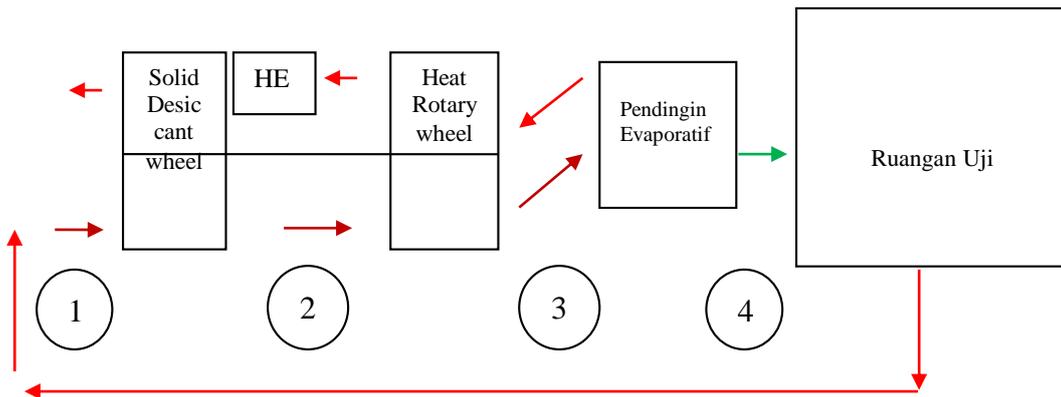
$$Q_c = m \cdot c_p \cdot (T_{db3} - T_{db4})$$

$$Q_c = 0,447 \frac{kg}{s} \cdot 1,005 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (32 - 26) ^\circ C$$

$$Q_c = 2,6954 kW$$

5.3.2 Skema Kerja Sistem Pendingin Desikan

Pada sistem pendingin desikan yang telah dirancang bangun, udara dari lingkungan masuk ke dalam roda desikan pada tahap 1 ke 2. Pada tahap 1-2 terjadi pengurangan kadar air udara masuk atau proses dehumidifying. Pada tahap 2-3, proses dehumidifying masih diproses melalui *heat rotary wheel*. Keluaran pada proses ini, kelembaban udara semakin turun dan diikuti dengan penurunan temperatur. Pada tahap 3-4, udara kering akan didinginkan melalui pendingin evaporatif. Temperatur terendah yang dapat dicapai sistem saat ini adalah 16°C.



Gambar 5.3. Proses kerja siklus desikan

BAB 6. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dibangunnya sebuah Ruang Uji Climate Chamber yang dapat digunakan sebagai Ruang Uji sistem pendingin.
2. Sistem solid desikan telah mampu berfungsi telah mampu mengurangi kelembaban udara masuk dengan laju pengurangan kelembaban air/*moisture removal rate* (MRC): -1,341.
3. Kapasitas pendingin yang dirancang adalah 2.6954 kW dibulatkan menjadi 2.7 kW.

REFERENSI

- [1] Isaac, M., van Vuuren, D.P. *Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change*. Energy Policy (2009) 37, 507–521.
- [2] D.B. Jani, Manish Mishra, P.K Sahoo., *Solid desiccant air conditioning – A state of the art review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 60 (2016) 1451-1469.
- [3] T.S. ge, Y.J. Dai, R.Z. Wang., Review on solar powered rotary desiccant wheel cooling system. Renewable and Sustainable Energy Reviews 39 (2014) 476-497.
- [4] Dominic O’Connor, Jhon Kaiser Calautit, Ben Richard Hughes., A novel design of a desiccant rotary wheel for passive ventilation application. Applied Energy 179 (2016) 99 – 109.
- [5] Camargo JR, Godoy E, Ebinuma CD. An evaporative and desiccant cooling system for air conditioning in humid climates. J Braz Soc Mech Sci Eng (2005);3:243–7.
- [6] ASHRAE Handbook. *Fundamental American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineering*, 1971. Inc. Atlanta, GA.
- [7] Cengel, Yunus A., Boles, Michael A., 1994, Thermodynamics: An Engineering Approach, 2nd ed., McGraw Hill, New York.
- [8] Hoseong Lee, Xiaojie Hwang, Reinhard Rademacher., Performance investigation on solid desiccant assisted mobile air conditioning system. Applied Thermal Engineering 103 (2016) 1370–1380.
- [9] Gagliano A, Patania F, Nocera F, Galesi A. Performance assessment of a solar assisted desiccant cooling system. Thermal Sci (2014);18:563–76.
- [10] Saputra, Dendi Adi., dkk. Rancang Bangun Alat Pendingin Absorpsi dengan Memanfaatkan Panas Matahari untuk Mendinginkan Buah. Prosiding SNTTM XIII Universitas Indonesia (2014); EEC08; 285-289
- [11] Taguchi, G., S. Chowdhury, Y. Wu, *Taguchi’s Quality Engineering Handbook*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005

LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN

• Beban pendingin eksternal

Nilai konduktivitas termal bahan

Multiplek	: 0,16 W/mK	Tebal : 6 mm	: 0,006 m
Styrofoam	: 0,033 W/mK	Tebal : 25 mm	: 0,025 m
Woll fet	: 0,04 W/mK	Tebal : 10 mm	: 0,01 m
Aluminium	: 235 W/mK	Tebal : 1 mm	: 0,001 m
HPL	: 0,17 W/mK	Tebal : 2 mm	: 0,002 m

Rumus untuk tahanan termal :

$$R = \frac{x}{k}$$

Tahanan termal untuk multiplek

$$R_m = \frac{0,006 m}{0,16 \frac{W}{mK}} = 0,0375 m^2 K/W$$

Tahanan termal untuk styrofoam

$$R_s = \frac{0,025 m}{0,033 \frac{W}{mK}} = 0,76 m^2 K/W$$

Tahanan termal untuk woll fet

$$R_w = \frac{0,01 m}{0,04 \frac{W}{mK}} = 0,25 m^2 K/W$$

Tahanan termal untuk aluminium

$$R_a = \frac{0,001 m}{235 \frac{W}{mK}} = 4,25 \times 10^{-6} m^2 K/W$$

Tahanan termal untuk HPL

$$R_H = \frac{0,002 m}{0,17 \frac{W}{mK}} = 0,0117 m^2 K/W$$

Rumus untuk koefisien perpindahan panas :

$$U = \frac{1}{R_{total}}$$

Koefisien perpindahan panas total :

$$U = \frac{1}{R_{\infty 1} + R_t + R_s + R_w + R_a + R_H + R_{\infty 2}}$$

$$U = \frac{1}{(0,059 + 0,0375 + 0,76 + 0,25 + (4,25 \times 10^{-6}) + 0,0117 + 0,121) m^2 K / W}$$

$$U = \frac{1}{1,2767 m^2 K / W}$$

$$U = 0,78326 W / m^2 K$$

Dikarenakan ruangan dalam keadaan teduh atau tidak dipengaruhi langsung oleh mata hari maka persamaan yang dipakai :

$$Q = U \cdot A \cdot (\Delta t)$$

Dengan nilai $U = 0,78326 W / m^2 K$

Luas dari dinding kiri, kanan, belakang, dan atap sama yaitu memiliki luas $6 m^2$

Temperatur awal = $32^{\circ}C$ = $305 K$

Temperatur yang ingin dicapai = $24^{\circ}C$ = $297 K$

$$\Delta t = (305 - 297) K = 8 K$$

Maka didapat aliran panas

$$Q = 0,7862 W / m^2 K \cdot 6 m \cdot 8 K$$

$$Q = 37,74 W$$

Untuk dinding bagian depan memiliki pintu dan jendela dari kaca yang memiliki nilai tahanan termal yang berbeda maka untuk mencari aliran panas dinding depan dengan mengurangi luas total dinding dengan luas pintu dan jendela seperti berit ini :

$$A_{\text{pintu}} = 1,7425 m$$

$$A_{\text{jendela}} = 0,51 m$$

Total luas yang bahan yang memiliki material kaca :

$$A_{kaca} = A_{pintu} + A_{jendela}$$
$$A_{kaca} = (1,7425 + 0,52) m$$
$$A_{kaca} = 2,2525 m$$

Luas dinding yang memiliki material sandwich wall :

$$A_s = A_{total} - A_{kaca}$$
$$A_s = (6 - 2,2525) m$$
$$A_s = 3,7475 m$$

Maka didapat aliran panas

$$Q = 0,7862 \frac{W}{m^2 K} \cdot 3,7475 m \cdot 8 K$$
$$Q = 23,57 W$$

Perhitungan untuk pintu serta jendela yang memiliki material kaca :

Diketahui nilai koefisien perpindahan panas kaca sebesar $5,91 \frac{W}{m^2 K}$

$$Q = 5,91 \frac{W}{m^2 K} \cdot 2,2525 m \cdot 8 K$$
$$Q = 106,49 W$$

Total aliran panas dinding :

$$Q_{tot} = (37,74 + 37,74 + 37,74 + 37,74 + 23,57 + 106,49) W$$
$$Q_{tot} = 279,42 W$$

- **Beban pendingin internal**

Lampu

$$\begin{aligned} \text{total daya lampu} &= (n_{\text{lampu}}) \cdot (n_{\text{fixture}}) \cdot (\text{daya lampu}) \\ &= (2) \cdot (2) \cdot (60W) \\ &= 240W \end{aligned}$$

$$Q_l = (\text{daya lampu}) \cdot (Fu) \cdot (Fb) \cdot (CLF)$$

$$Q_l = 240W \cdot 1,1 \cdot 2 \cdot 0,84$$

$$Q_l = 241,92W$$

Keterangan :

CLF untuk lampu = 0,84 dilihat pada tabel 4.6 buku refrigerasi dan pengkondisian udara

Beban dari penghuni ruangan

- **Beban sensibel**

$$Q_s = \text{perolehan perorangan} \times N \times CLF$$

$$Q_s = 100 \times 2 \times 0,38$$

$$Q_s = 76W$$

- **Beban laten**

$$Q_s = \text{perolehan perorangan} \times N \times CLF$$

$$Q_s = 100 \times 2 \times 1$$

$$Q_s = 200W$$

Keterangan :

Perolehan perorangan didapat dari tabel 4.7 buku refrigerasi dan pengkondisian udara

Nilai CLF untuk beban sensibel didapat dari tabel 4.9 buku refrigerasi dan pengkondisian udara

Total Q untuk keseluruhan :

$$Q_{TOTAL} = (279,42 + 241,92 + 76 + 200)W$$

$$Q_{TOTAL} = 797,34W$$

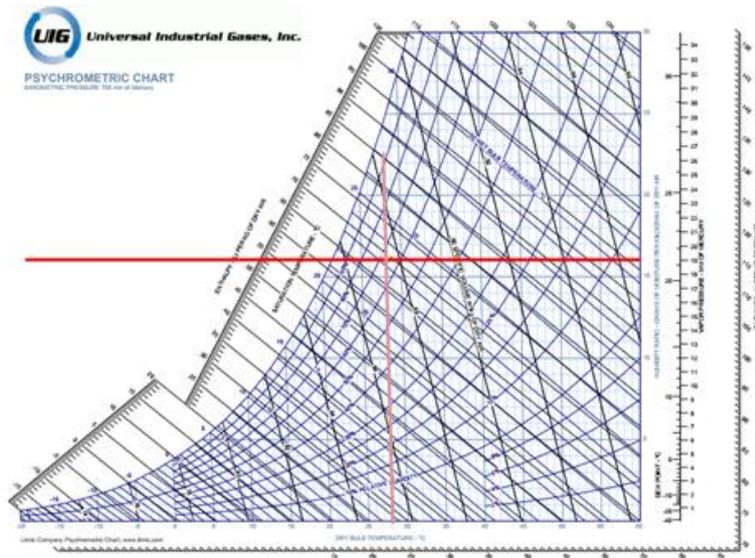
LAMPIRAN 2. DIAGRAM PSYCHROMETRIC

Diagram psychrometric untuk udara masukan roda desikan

Keterangan:

$T_{db} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 69\%$

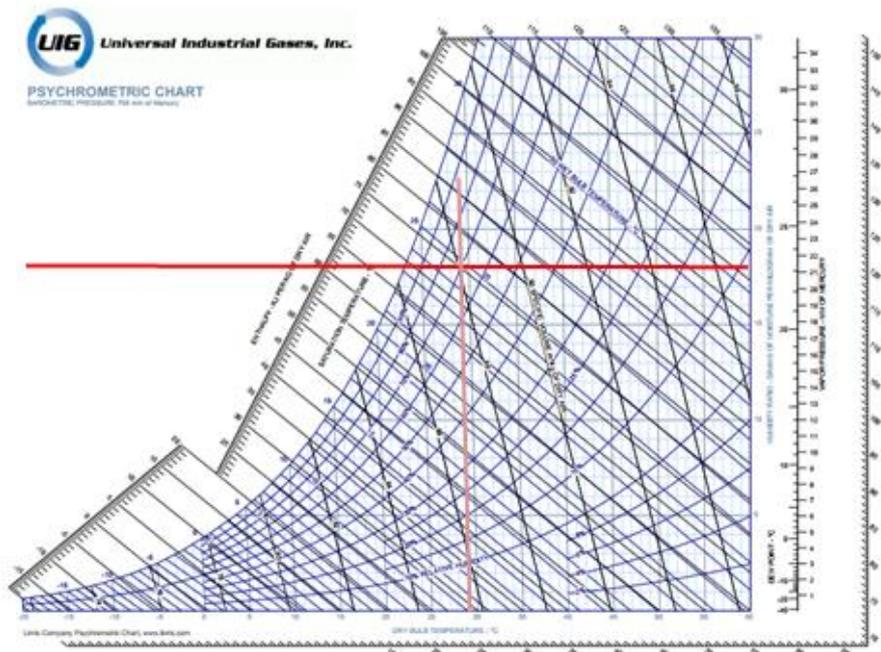


1

keterangan

$T_{db} = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 70\%$

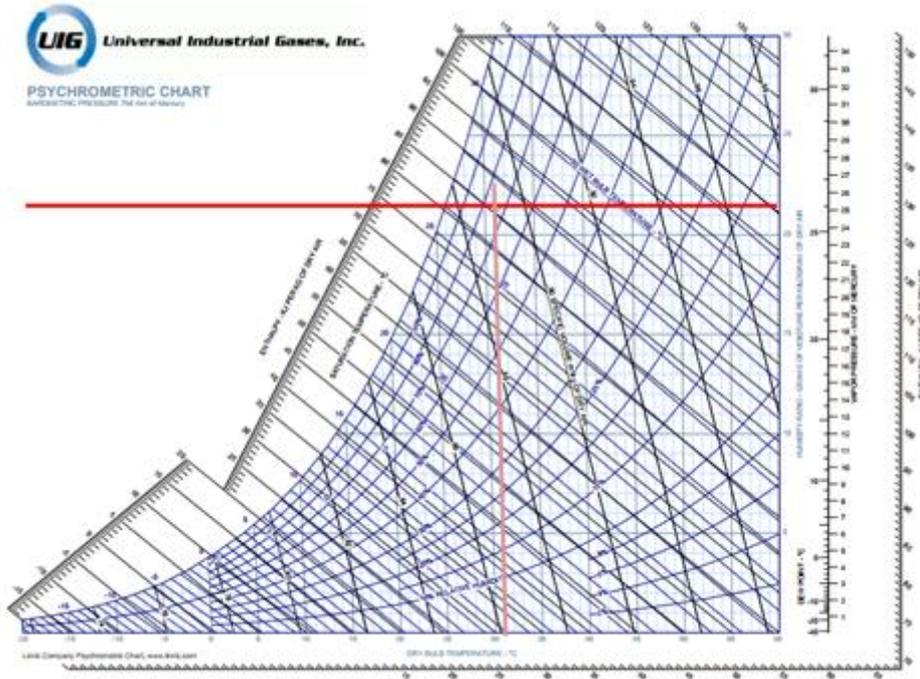


2

keterangan

$T_{db} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 74\%$

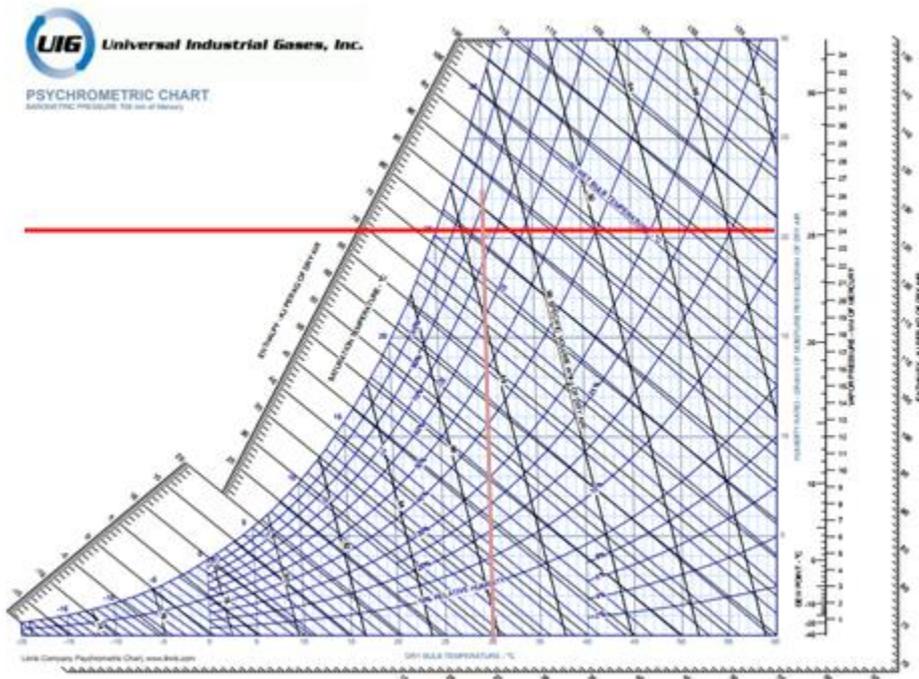


3

keterangan

$T_{db} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 73\%$



4

keterangan

$T_{db} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 74\%$

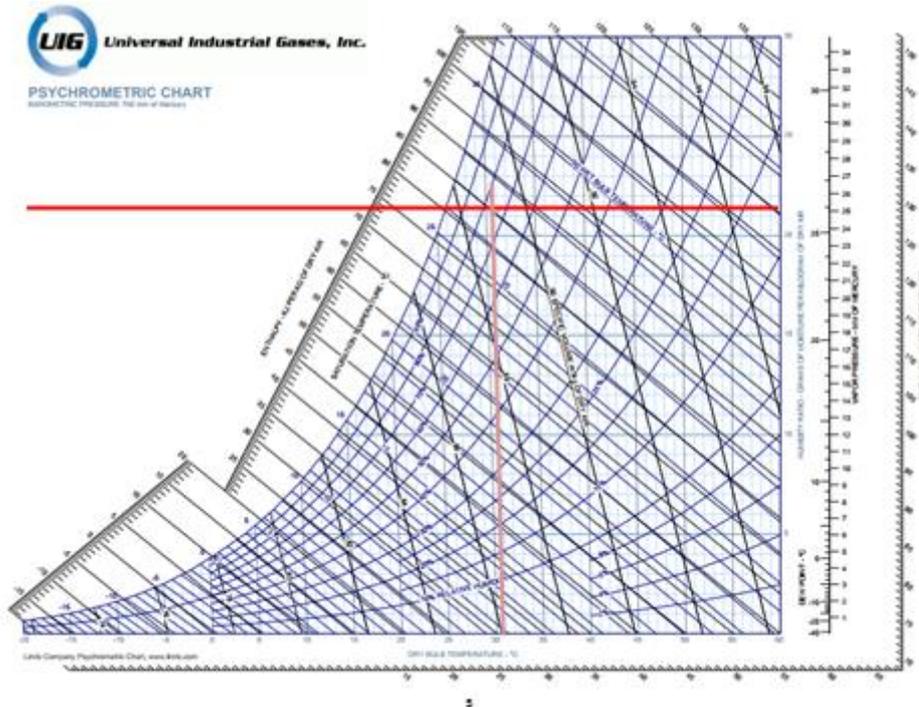
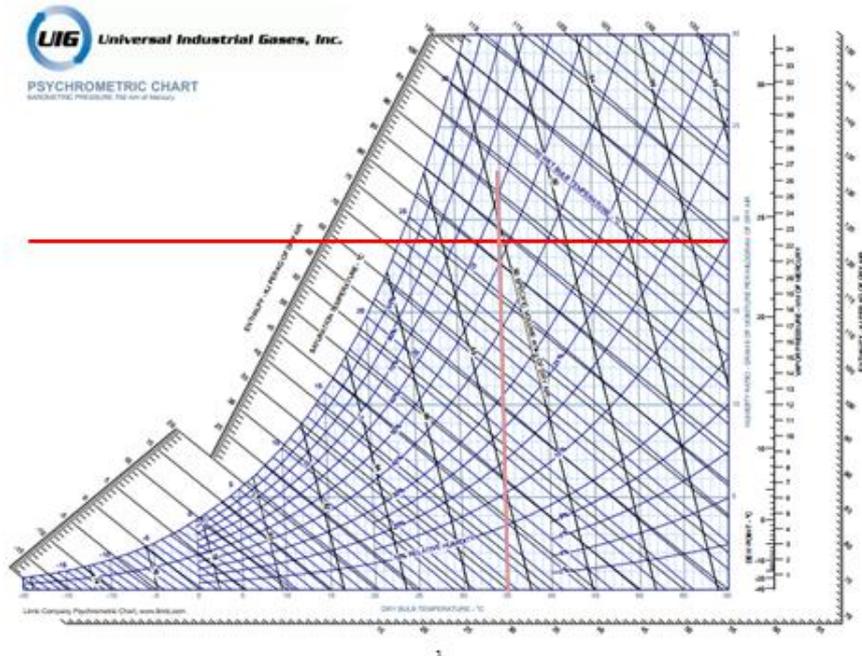


Diagram psychrometric untuk udara masukan roda desikan

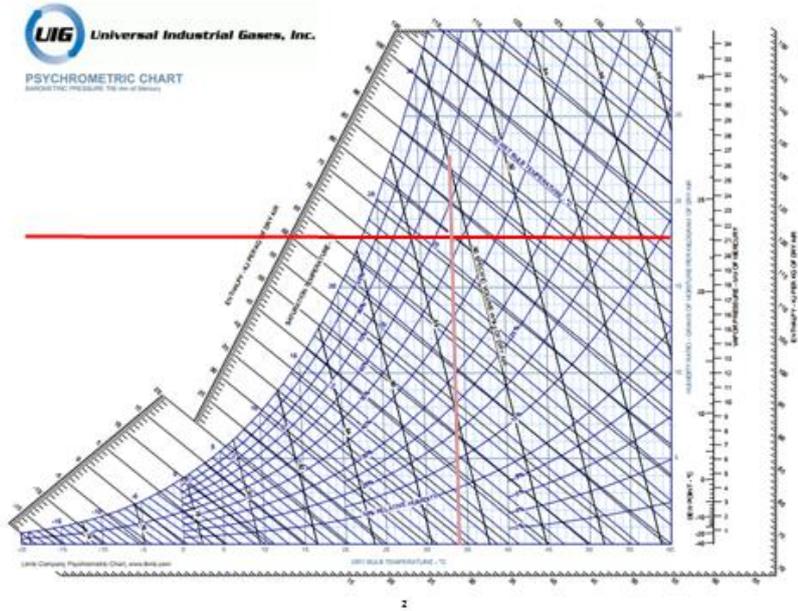
keterangan

$T_{db} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$

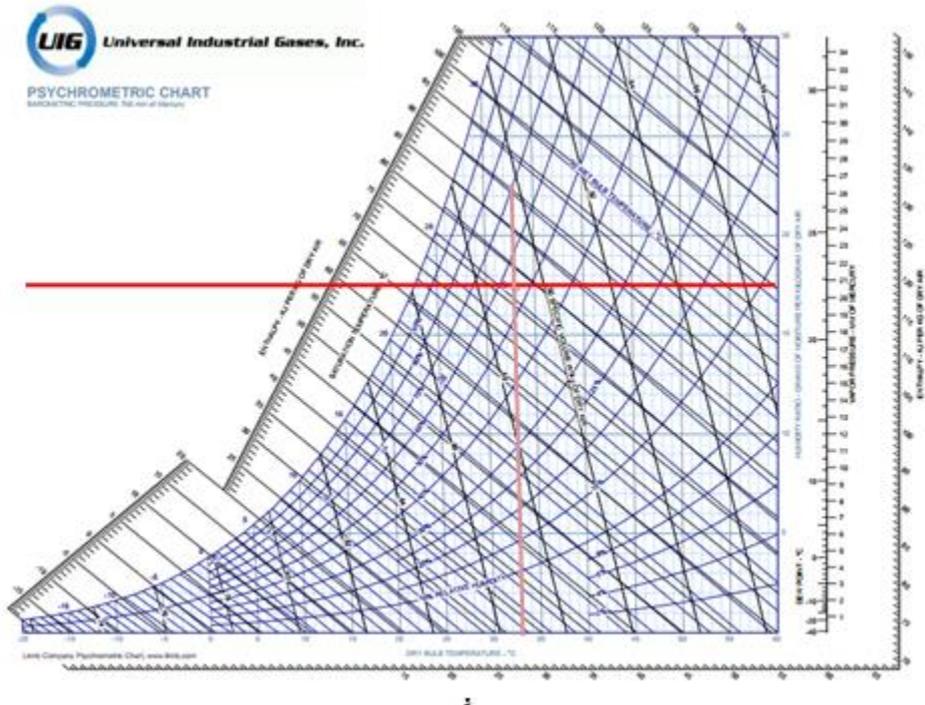
$\phi = 54\%$



keterangan
 $T_{db} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\phi = 54\%$



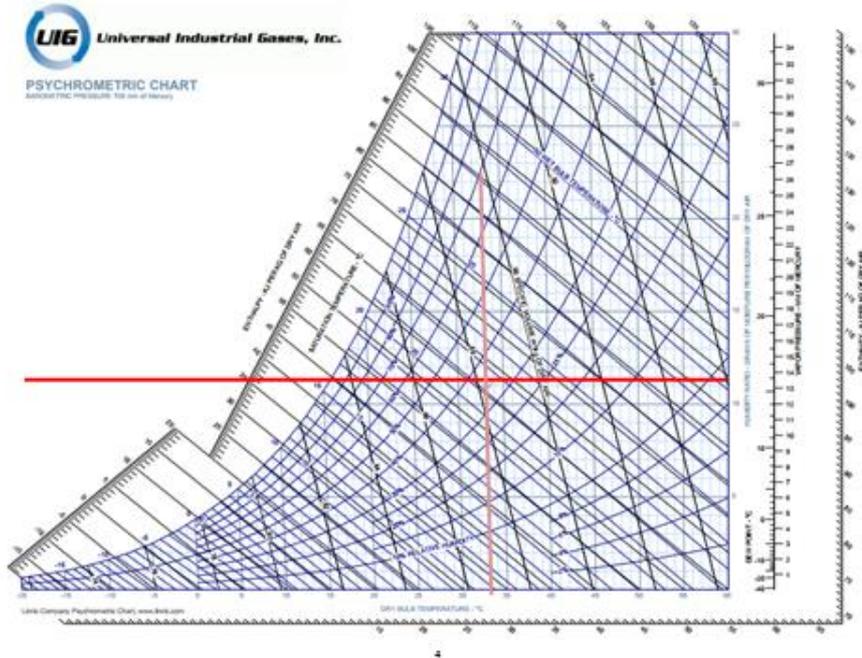
keterangan
 $T_{db} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\phi = 57\%$



keterangan

$T_{db} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 35\%$



keterangan

$T_{db} = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 35\%$

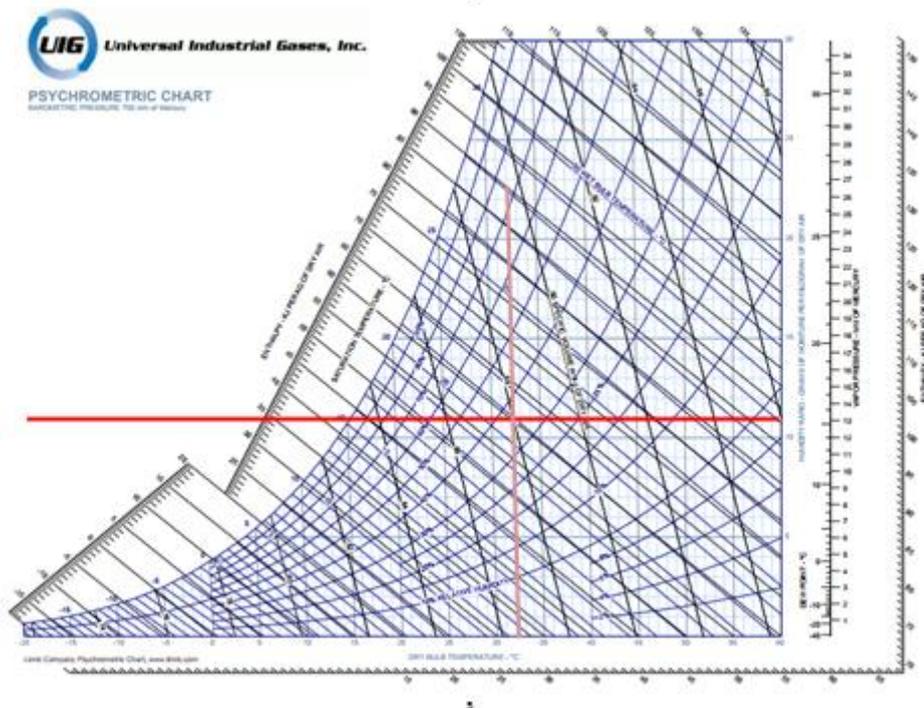
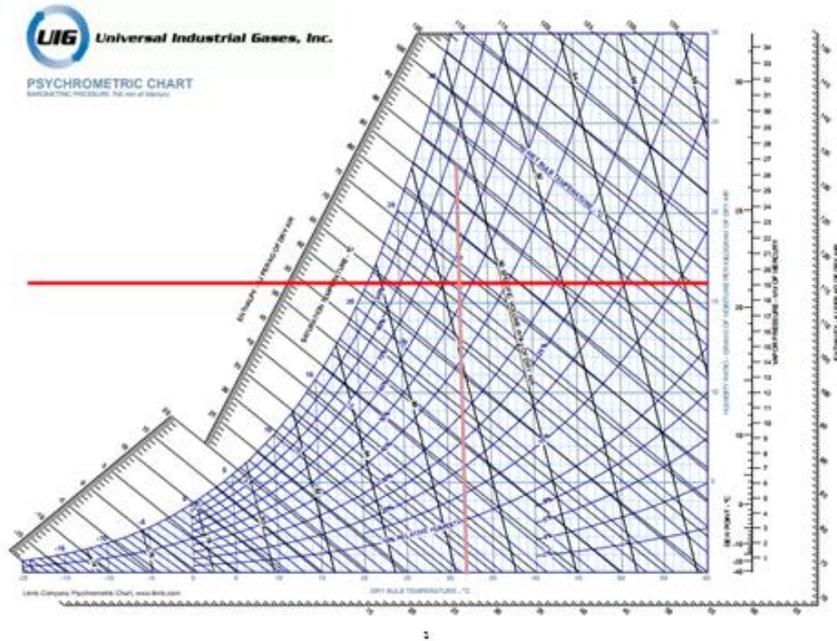


Diagram psychrometric untuk udara masukan pendingin evaporatif

keterangan
 $T_{db} = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$

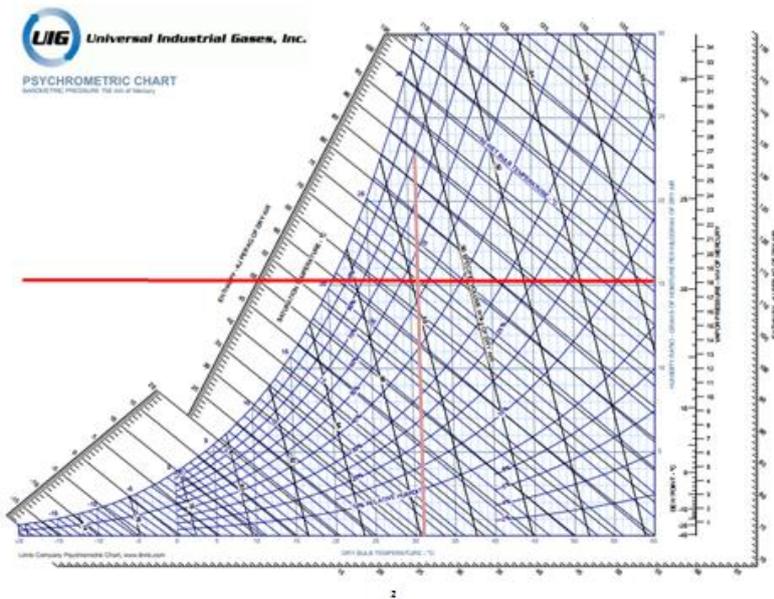
$\phi = 54\%$



keterangan

$T_{db} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$

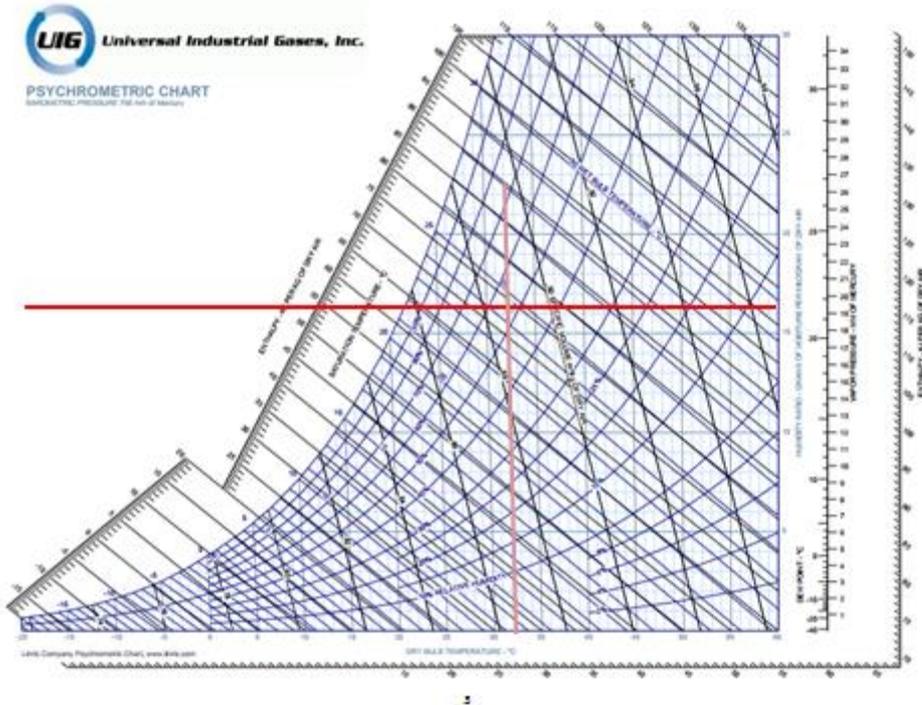
$\phi = 54\%$



keterangan

$T_{db} = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$

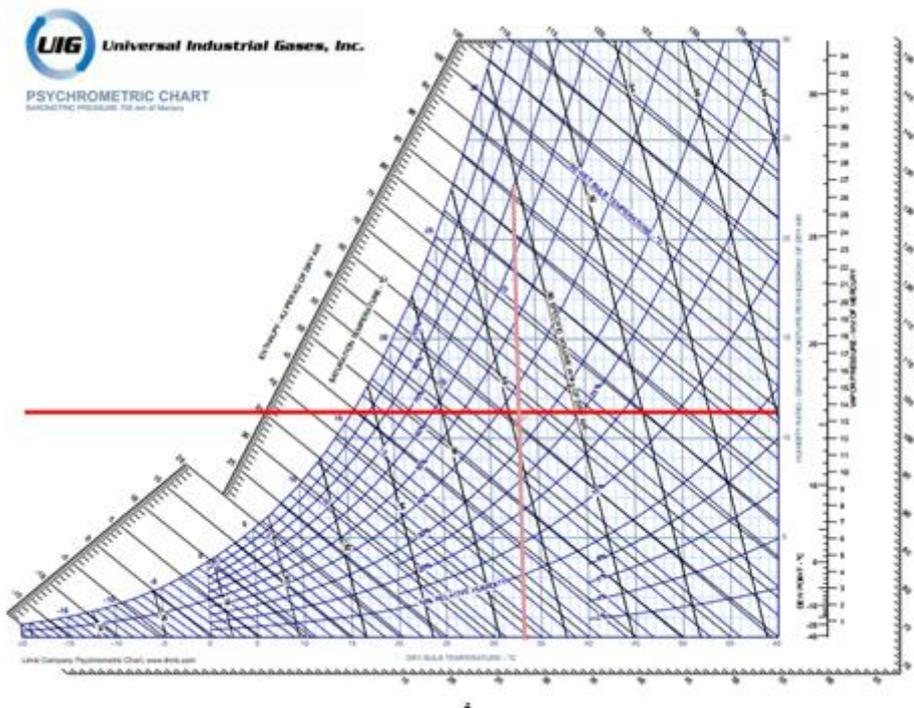
$\phi = 57\%$



keterangan

$T_{db} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 35\%$



keterangan

$T_{db} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 35\%$

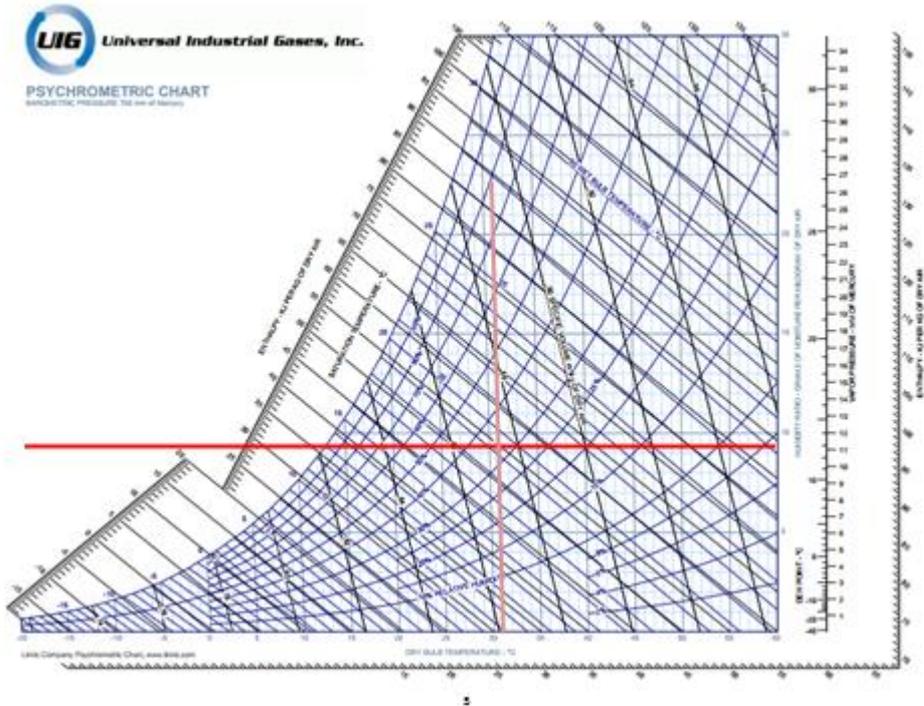
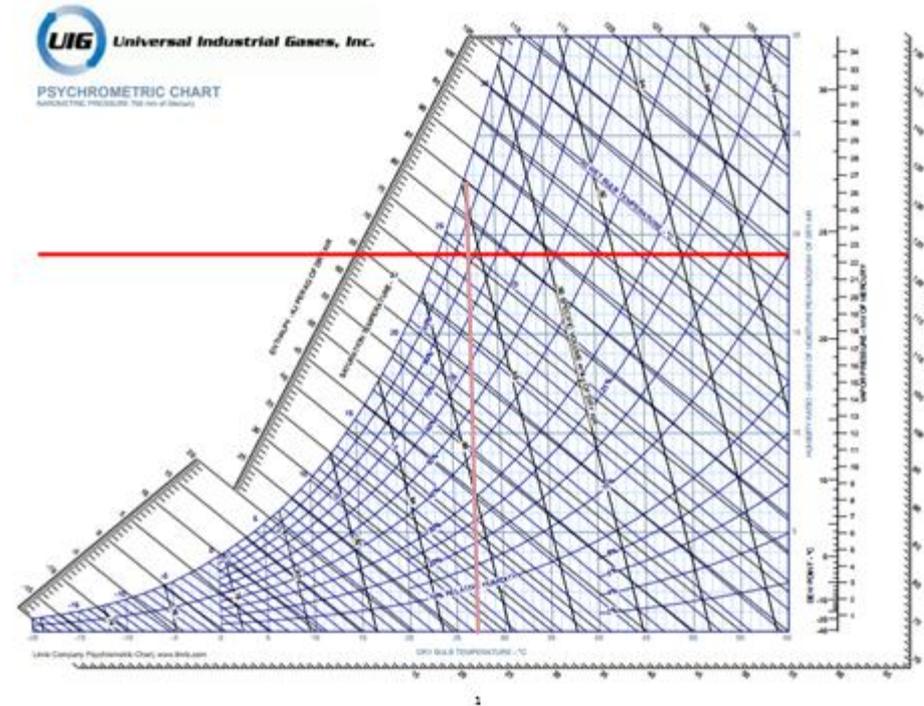


Diagram psychrometric untuk udara keluaran pendingin evaporatif

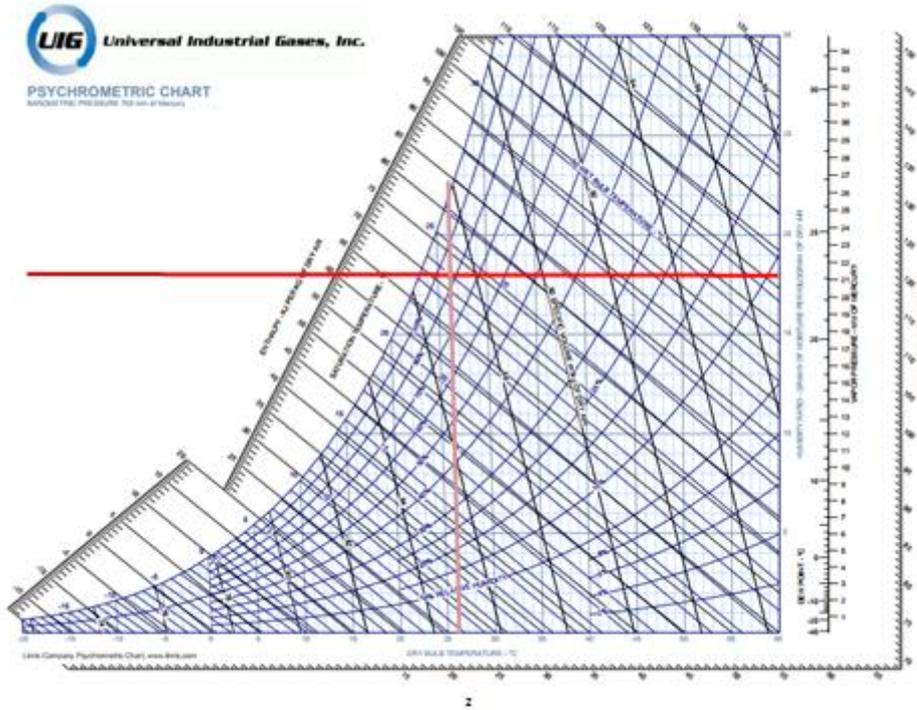
keterangan

$T_{db} = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$

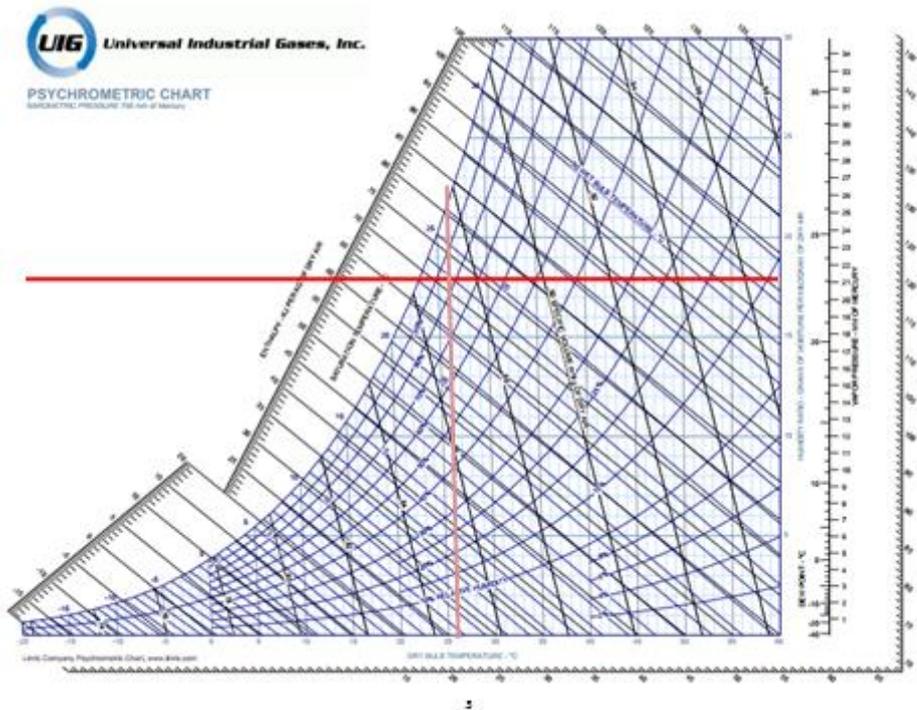
$\phi = 85\%$



keterangan
 $T_{db} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\phi = 84\%$



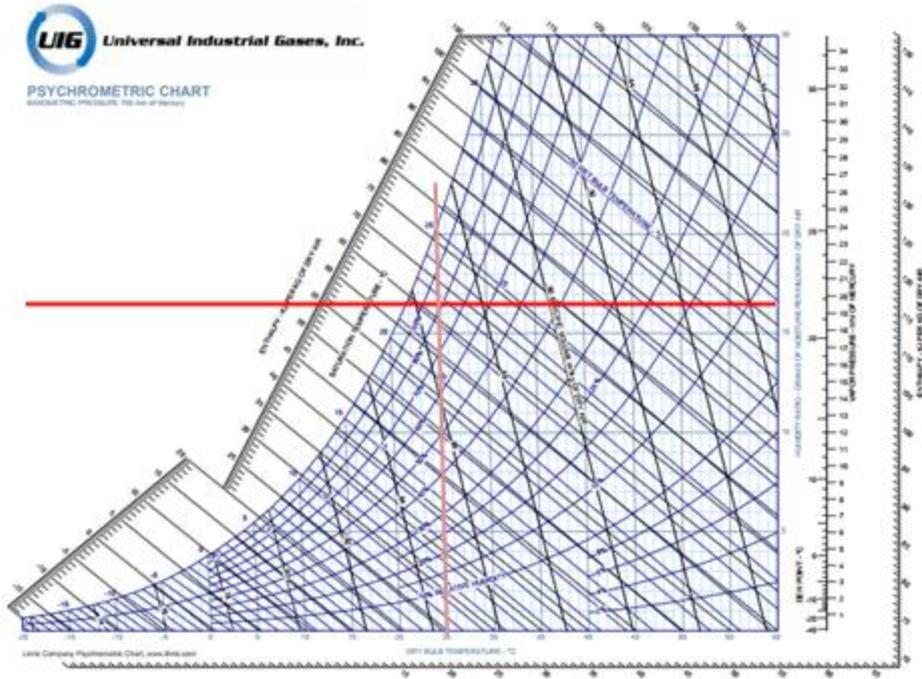
keterangan
 $T_{db} = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\phi = 84\%$



keterangan

$T_{db} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 82\%$

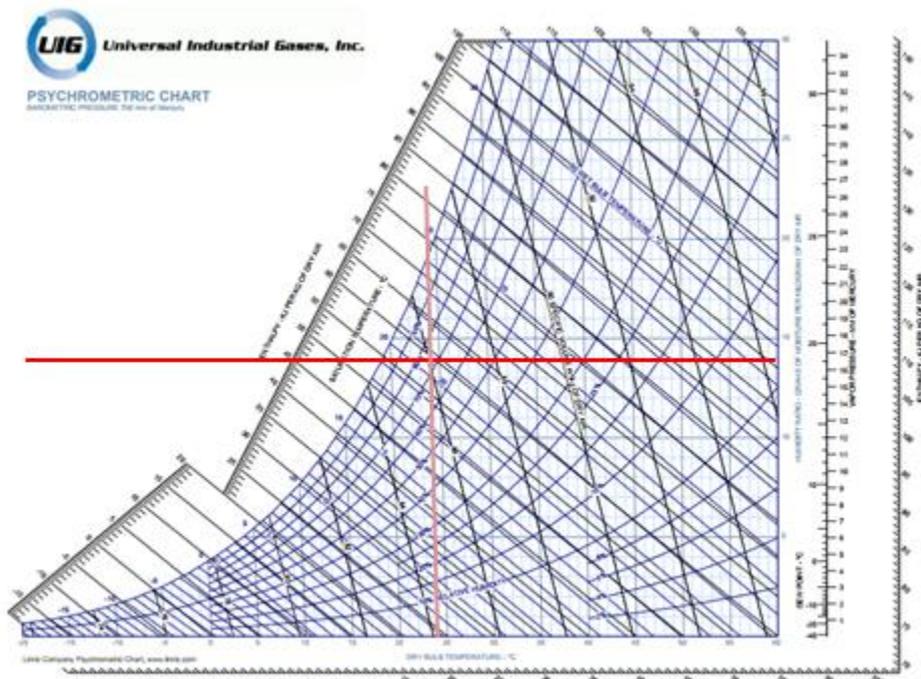


4

keterangan

$T_{db} = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\phi = 76\%$



5