



UNIVERSITAS DIPONEGORO

RANCANG BANGUN *TEST BED DEHUMIDIFIER*

PROYEK AKHIR

ANTONI SIBARANI

NIM 40040222650034

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

SEMARANG

JULI 2026



UNIVERSITAS DIPONEGORO

RANCANG BANGUN *TEST BED DEHUMIDIFIER*

PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik**

ANTONI SIBARANI

NIM 40040222650034

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

SEMARANG

JULI 2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA	:	Antoni Sibarani
NIM	:	40040222650034
Tanda Tangan	:	
Tanggal	:	23 Juli 2026

SURAT TUGAS



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI

Jalan Prof. Sudarto, S.H. Tembung Semarang
Kode Pos 50275
Telp/Fax (024) 7451313
Laman www.vokasi.undip.ac.id
e-mail vokasi@vokasi.undip.ac.id

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 505/PA/RPM/III/2026

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

Nama : Antoni Sibarani
NIM : 40040222650034
Judul Proyek Akhir : Rancang Bangun *Test Bed Dehumidifier*
Dosen Pembimbing : Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP : 197609152003122001

Isi Tugas:

1. Merancang *test bed dehumidifier*
2. Membuat *test bed dehumidifier*
3. Menguji *test bed dehumidifier*
4. Membuat laporan
5. Membuat HKI prototipe
6. Membuat *draft* artikel jurnal

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 24 Februari 2026
Ketua Prodi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik


Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP. 197609152003122001

Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs

HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh :

NAMA : Antoni Sibarani

NIM : 40040222650043

Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik

Judul Proyek Akhir : Rancang Bangun *Test Bed Dehumidifier*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.

Penguji 1 : Dr. Seno Darmanto, S.T., M.T.

Penguji 2 : Didik Ariwibowo, S.T., M.T.



Semarang, 23 Juli 2026

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik



Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP. 197609152003122001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Antoni Sibarani
NIM : 40040222650034
Jurusan / Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Proyek Akhir

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

“Rancang Bangun *Test Bed Dehumidifier*”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/ Non-eksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan 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 : Semarang
Pada Tanggal : 23 Juli 2026

Yang menyatakan



Antoni Sibarani

MOTTO

“Serahkanlah perbuatanmu kepada TUHAN, maka terlaksanalah segala rencanamu.”

(Amsal 16:3)

“Kesuksesan bukan milik mereka yang tidak pernah gagal, tetapi milik mereka yang tidak pernah berhenti mencoba”

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir dengan judul “Rancang Bangun *Test bed Dehumidifier*”.

Penyusunan laporan proyek akhir ini tentunya tidak terlepas dari bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si, selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro sekaligus dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, perhatian, serta meluangkan waktu dengan penuh kesabaran selama proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen dan teknisi Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan.
4. Kedua orang tua beserta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral maupun material, motivasi, serta semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh anggota tim *Test Bed Dehumidifier*, atas kerja sama, kebersamaan, dan kontribusi yang diberikan selama proses perancangan, fabrikasi, hingga

pelaksanaan pengujian penelitian.

6. Teman-teman angkatan *Iryasena* yang telah memberikan dukungan, semangat, serta menciptakan kebersamaan yang berkesan selama menjalani masa perkuliahan.
7. Semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam penyusunan tugas akhir ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan ilmu dalam penyusunan laporan ini, maka segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Penulis berharap, semoga semua pihak yang telah memberikan bantuan, diberi balasan kebajikan. Amin. Semoga laporan ini bisa bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan para pembaca secara umum, baik dari kalangan akademis maupun yang lain.

Semarang, 23 Juli 2026



Antoni Sibarani

ABSTRAK

RANCANG BANGUN *TEST BED* DEHUMIDIFIER

Indonesia sebagai negara kepulauan beriklim tropis menghadapi tantangan berupa kelembapan udara yang tinggi sehingga diperlukan sistem pengendalian kelembapan yang efektif dan efisien. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah dehumidifier berbasis *desiccant* yang memanfaatkan *silica gel* sebagai media penyerap uap air. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *test bed dehumidifier* menggunakan *electric heater* sebagai sumber panas regenerasi serta mengevaluasi pengaruh temperatur regenerasi terhadap kinerja sistem. Sistem terdiri atas *desiccant wheel*, *heater*, blower, sensor temperatur, sensor kelembapan, sensor kecepatan aliran udara, dan mikrokontroler sebagai sistem akuisisi data. Pengujian dilakukan pada variasi temperatur regenerasi sekitar 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, dan 65°C dengan interval waktu pengambilan data setiap 5 menit. Parameter yang dianalisis meliputi penurunan kelembapan absolut (ΔW_{ads}), *Moisture Removal Capacity* (MRC), *Moisture Regeneration Rate* (MRR), efektivitas dehumidifikasi, *Specific Energy Consumption* (SEC), *Dehumidification Coefficient of Performance* (DCOP), dan konsumsi daya *heater*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi meningkatkan MRR dari sekitar 0,00012225 kg/s menjadi 0,00025578 kg/s, namun menyebabkan ΔW_{ads} menurun dari sekitar 0,003805 kg/kg menjadi 0,001946 kg/kg, MRC menurun dari sekitar 0,001135 kg/s menjadi 0,000581 kg/s, efektivitas dehumidifikasi menurun dari 17,08% menjadi 8,87%, DCOP menurun dari sekitar 15,2407 menjadi 1,51, serta SEC meningkat dari sekitar 169,0067 kJ/kg menjadi 1.617,545 kJ/kg. Konsumsi daya *heater* juga meningkat dari sekitar 0,1803 kW menjadi 0,928 kW seiring kenaikan temperatur regenerasi. Berdasarkan hasil analisis, temperatur regenerasi 40°C merupakan kondisi operasi yang paling optimal karena memberikan keseimbangan terbaik antara kinerja dehumidifikasi dan efisiensi energi dibandingkan temperatur regenerasi lainnya.

Kata kunci: *dehumidifier*, desikan, *silica gel* putih, adsorpsi, regenerasi.

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DEHUMIDIFIER TEST BED

Indonesia, as a tropical archipelagic country, faces the challenge of high air humidity, making effective and energy-efficient humidity control systems essential. One promising alternative is a desiccant-based dehumidifier that utilizes silica gel as the moisture-adsorbing material. This study aims to design and develop a desiccant dehumidifier test bed using an electric heater as the regeneration heat source and to evaluate the effect of regeneration temperature on system performance. The test bed consists of a desiccant wheel, electric heater, blower, temperature sensors, humidity sensors, airflow velocity sensors, and a microcontroller-based data acquisition system. Experiments were conducted at regeneration temperatures of approximately 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, and 65°C, with data collected at 5-minute intervals. The performance parameters analyzed included the absolute humidity reduction (ΔW_{ads}), Moisture Removal Capacity (MRC), Moisture Regeneration Rate (MRR), dehumidification effectiveness, Specific Energy Consumption (SEC), Dehumidification Coefficient of Performance (DCOP), and heater power consumption. The experimental results showed that increasing the regeneration temperature increased the MRR from approximately 0,00012225 kg/s to 0,00025578 kg/s. However, it also reduced ΔW_{ads} from approximately 0.003805 kg/kg to 0,001946 kg/kg, decreased the MRC from approximately 0,001135 kg/s to 0,000581 kg/s, lowered the dehumidification effectiveness from 17,08% to 8,87%, reduced the DCOP from approximately 15.2407 to 1,51, and increased the SEC from approximately 169,0067 kJ/kg to 1.617,545 kJ/kg. Heater power consumption also increased from approximately 0.1803 kW to 0,928 kW as the regeneration temperature increased. Based on the analysis results, a regeneration temperature of 40°C was found to be the most optimal operating condition, as it provided the best balance between dehumidification performance and energy efficiency compared with the other regeneration temperatures.

Keywords: dehumidifier, desiccant, white silica gel, adsorption, regeneration.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
SURAT TUGAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xvii
LAMPIRAN.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan.....	7
1.5 Luaran.....	7
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	8
1.6.1 BAB I PENDAHULUAN	8

1.6.2	BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
1.6.3	BAB III PROSEDUR PELAKSANAAN PROYEK AKHIR	8
1.6.4	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	9
1.6.5	BAB V PENUTUP.....	9
	BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1	Teknologi Pengendalian Kelembapan (<i>Dehumidifier</i>).....	10
2.1.1	Pengertian <i>dehumidifier</i>	11
2.1.2	Jenis - jenis <i>dehumidifier</i> skala industri.....	13
2.2	<i>Test Bed Dehumidifier</i>	15
2.2.1	Pengembangan dan studi eksperimental <i>test bed dehumidifier</i>	15
2.2.2	Karakteristik Udara Lembap	19
2.2.3	Perhitungan <i>sizing</i>	22
2.2.4	Perhitungan parameter	36
2.3	Material Desiccant White Silica Gel.....	46
	BAB III PROSEDUR PELAKSANAAN PROYEK AKHIR	49
3.1	Diagram Alir	49
3.2	Studi Literatur	50
3.3	Desain.....	52
3.4	Kalkulasi Desain	54
3.4.1	Volume <i>wheel</i>	56
3.4.2	Massa <i>desiccant</i>	58
3.4.3	Laju aliran volume pada sisi adsorpsi	58
3.4.4	Laju aliran massa adsorpsi	59
3.4.5	Laju aliran volume pada sisi regenerasi	59
3.4.6	Laju aliran massa regenerasi	60
3.4.7	Daya <i>wheel</i>	60

3.4.8	Daya <i>blower</i>	63
3.4.9	Diameter sproket	71
3.4.10	Panjang <i>timing belt</i>	72
3.4.11	Neraca energi sistem <i>dehumidifier</i>	72
3.5	Alat dan Bahan	74
3.5.1	Alat.....	74
3.5.2	Bahan.....	81
3.6	Manufaktur <i>Test bed</i>	82
3.7	Variabel Penelitian	83
3.8	Proses Kalibrasi Alat Ukur.....	86
3.8.1	Instrumen kalibrasi.....	87
3.8.2	Prosedur kalibrasi.....	88
3.8.3	Hasil Kalibrasi.....	89
3.8.4	Validasi Sistem <i>Smart Monitoring</i>	91
3.9	Prosedur Pengujian <i>Test bed</i>	92
3.9.1	Pengumpulan data	92
3.9.2	Analisis data	93
3.10	Penyusunan Laporan	93
3.11	Selesai.....	94
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		95
4.1	Hasil Fabrikasi <i>Test Bed Dehumidifier</i>	95
4.2	Kondisi Udara Proses Adsorpsi dan Regenerasi	97
4.3	Kalkulasi Hasil Data.....	105
4.3.1	Penurunan Kelembapan Absolut.....	105
4.3.2	<i>Moisture removal capacity</i>	106
4.3.3	<i>Moisture regeneration rate</i>	107

4.3.4	Efektivitas dehumidifikasi	108
4.3.5	Konsumsi daya heater.....	109
4.3.6	<i>Dehumidification coefficient of performance</i>	110
4.3.7	<i>Specific energy consumption</i>	112
4.3.8	<i>Heat transfer pada Rotary Wheel</i>	113
4.4	Analisis Penurunan Kelembapan Absolut (ΔW_{ads})	126
4.5	<i>Moisture Removal Capacity (MRC)</i>	128
4.6	<i>Moisture Regeneration Rate (MRR)</i>	129
4.7	Efektivitas Dehumidifikasi.....	131
4.8	Konsumsi Daya Heater	133
4.9	<i>Dehumidification Coeffisient of Performance (DCOP)</i>	134
4.10	<i>Specific Energy Consumption</i>	136
BAB V PENUTUP.....		138
5.1	Kesimpulan.....	138
5.2	Saran.....	139
DAFTAR PUSTAKA		141
LAMPIRAN.....		145

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi <i>silica gel</i> putih.....	48
Tabel 3.1 Instrumen kalibrasi	87
Tabel 3.2 Hasil perbandingan pembacaan.....	90
Tabel 4.1 Komponen dan spesifikasi <i>test bed dehumidifier</i>	96
Tabel 4.2 Data kondisi udara adsorpsi	97
Tabel 4.3 Data kondisi udara regenerasi	97
Tabel 4.4 Hasil perhitungan penurunan kelembapan absolut.....	106
Tabel 4.5 Hasil perhitungan <i>moisture removal capacity</i>	107
Tabel 4.6 Hasil perhitungan <i>moisture regeneration rate</i>	108
Tabel 4.7 Hasil perhitungan efektivitas dehumidifikasi.....	109
Tabel 4.8 Hasil perhitungan konsumsi daya <i>heater</i>	110
Tabel 4.9 Hasil perhitungan DCOP.....	111
Tabel 4.10 Hasil perhitungan SEC	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kondisi temperatur udara Kota Semarang tahun 2025.....	2
Gambar 1. 2 Kondisi kelembapan relatif Kota Semarang tahun 2025	3
Gambar 2. 1 <i>Industrial dehumidifier</i>	12
Gambar 2. 2 Proses <i>refrigerant dehumidifier</i>	14
Gambar 2. 3 Proses <i>desiccant dehumidifier</i>	15
Gambar 2. 4 Representasi <i>relative humidity</i> pada diagram t–s udara lembap.....	20
Gambar 2. 5 <i>White silica gel</i>	46
Gambar 3. 1 Diagram alir	50
Gambar 3. 2 Model proses <i>test bed dehumidifier</i>	51
Gambar 3. 3 Tampak depan desain	53
Gambar 3. 4 Tampak isometrik	53
Gambar 3. 5 <i>Desiccant rotary wheel</i>	54
Gambar 3. 6 Diagram alir kalkulasi sizing	55
Gambar 3. 7 Komponen <i>wheel</i>	56
Gambar 3. 8 Diagram <i>air duct friction loss</i> adsorpsi	64
Gambar 3. 9 Diagram <i>air duct friction loss</i> regenerasi	67
Gambar 3. 10 Neraca energi sistem <i>dehumidifier</i>	73
Gambar 3. 11 <i>Desiccant rotary wheel</i>	75
Gambar 3. 12 <i>Heater</i>	75
Gambar 3. 13 Motor listrik	76
Gambar 3. 14 Inverter	77
Gambar 3. 15 <i>Blower</i>	77
Gambar 3. 16 <i>Dimmer</i>	78
Gambar 3. 17 <i>Thermocouple</i>	79
Gambar 3. 18 Anemometer	79
Gambar 3. 19 <i>Data logger</i>	80
Gambar 3. 20 Timbangan digital	81
Gambar 3. 21 <i>Silica gel</i> putih	82
Gambar 3. 22 Proses kalibrasi alat ukur	88

Gambar 4. 1 Hasil fabrikasi <i>test bed dehumidifier</i>	95
Gambar 4. 2 Diagram psychrometric set suhu 40°C	99
Gambar 4. 3 Diagram psychrometric set suhu 45°C	100
Gambar 4. 4 Diagram psychrometric set suhu 50°C	101
Gambar 4. 5 Diagram psychrometric set suhu 55°C	102
Gambar 4. 6 Diagram psychrometric set suhu 60°C	103
Gambar 4. 7 Diagram psychrometric set suhu 65°C	104
Gambar 4. 8 Model skema penurunan kelembapan absolut.....	105
Gambar 4. 9 Model skema MRC.....	106
Gambar 4. 10 Model skema MRR.....	107
Gambar 4. 11 Model skema efektivitas dehumidifikasi	108
Gambar 4. 12 Model skema konsumsi daya <i>heater</i>	109
Gambar 4. 13 Model skema DCOP	110
Gambar 4. 14 Model skema SEC	112
Gambar 4. 15 Skema perpindahan panas pada <i>rotary wheel</i>	113
Gambar 4. 16 Tabel <i>thermal conductivity</i> adsorpsi.....	116
Gambar 4. 17 Tabel <i>thermal conductivity</i> regenerasi.....	121
Gambar 4. 18 Hubungan temperatur regenerasi dengan penurunan kelembapan absolut	126
Gambar 4. 19 Hubungan temperatur regenerasi dengan <i>moisture removal capacity</i>	128
Gambar 4. 20 Hubungan temperatur regenerasi dengan <i>moisture regeneration rate</i>	130
Gambar 4. 21 Hubungan temperatur regenerasi dengan efektivitas dehumidifikasi	132
Gambar 4. 22 Hubungan temperatur regenerasi dengan konsumsi daya <i>heater</i>	133
Gambar 4. 23 Hubungan temperatur regenerasi dengan DCOP.....	135
Gambar 4. 24 Hubungan temperatur regenerasi dengan <i>specific energy consumption</i>	136

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan	Pertama kali muncul Halaman
V_{wheel}	Volume <i>wheel</i>	m^3	21
V_{ring}	Volume <i>ring</i>	m^3	21
V_{hub}	Volume <i>hub</i>	m^3	21
V_{spoke}	Volume <i>spoke</i>	m^3	21
Ri_{ring}	Jari – jari dalam <i>ring</i>	m	21
b	Tebal <i>wheel</i>	m	21
Do_{hub}	Diameter luar <i>hub</i>	m	21
Di_{hub}	Diameter dalam <i>hub</i>	m	21
t	Tinggi <i>spoke</i>	m	22
l	Panjang <i>spoke</i>	m	22
m_{des}	Massa <i>desiccant</i>	kg	22
ρ_{bulk}	Densitas kamba (<i>bulk density</i>)	$\frac{kg}{m^3}$	22
$\dot{V}_{ads}$	Laju aliran volume pada sisi adsorpsi	$\frac{m^3}{s}$	23
v_{ads}	Kecepatan aliran udara pada sisi adsorpsi	$\frac{m}{s}$	23
A_{ads}	Luas permukaan <i>ducting</i> sisi adsorpsi	m^2	23
$\dot{m}_{ads}$	Laju aliran massa udara yang diadsorpsi	$\frac{kg}{s}$	23
ρ_{ads}	Densitas udara lembap pada sisi adsorpsi	$\frac{kg}{m^3}$	23
$\dot{V}_{reg}$	Laju aliran volume pada sisi regenerasi	$\frac{m^3}{s}$	24
v_{reg}	Kecepatan aliran udara pada sisi regenerasi	$\frac{m}{s}$	24
A_{reg}	Luas permukaan <i>ducting</i> sisi regenerasi	m^2	24

$\dot{m}_{reg}$	Laju aliran massa udara yang diregenerasi	$\frac{kg}{s}$	24
ρ_{reg}	Densitas udara lembap pada sisi regenerasi	$\frac{kg}{m^3}$	24
W_{wheel}	Daya <i>wheel</i>	Watt	25
τ	Torsi	Nm	25
I_{total}	Momen inersia total pada <i>rotary wheel</i>	$kg\ m^2$	25
α	Percepatan sudut	$\frac{rad}{s^2}$	25
I_{wheel}	Momen inersia pada <i>wheel</i>	$kg\ m^2$	26
$I_{desiccant}$	Momen inersial pada <i>desiccant</i>	$kg\ m^2$	26
m_{wheel}	Massa <i>wheel</i>	kg	26
$m_{desiccant}$	Massa <i>desiccant</i>	kg	26
Ro_{ring}	Jari – jari luar <i>ring</i>	m	26
θ_2	Kecepatan sudut akhir	$\frac{rad}{s}$	26
θ_1	Kecepatan sudut awal	$\frac{rad}{s}$	26
t	Waktu dalam 1 putaran	s	26
n	Kecepatan putaran	rpm	27
$W_{blow_{ads}}$	Daya <i>blower</i> adsorpsi	Watt	28
ΔPa_{ads}	Total <i>pressure drop</i> sisi adsorpsi	Pa	28
ε_{ads}	Efisiensi <i>blower</i> adsorpsi	%	28
$Pa_{duct_{ads}}$	<i>Pressure drop ducting</i> adsorpsi	Pa	28
$Pa_{wheel_{ads}}$	<i>Pressure drop desiccant wheel</i> adsorpsi	Pa	29
$Friction\ loss_{ads}$	Kehilangan tekanan per satuan panjang <i>ducting</i> adsorpsi	$\frac{Pa}{m}$	29
L_{ads}	Panjang <i>ducting</i> adsorpsi	m	29

f	Faktor gesekan	-	29
Dh_{ads}	Diameter hidrolik saluran adsorpsi	m	29
Ko	Koefisien kehilangan tekanan lokal	-	29
Re	Bilangan Reynolds	-	29
μ_{ads}	Viskositas dinamis udara adsorpsi	Pa s	29
P_{ads}	Keliling basah adsorpsi	m	29
μ_o	Viskositas referensi udara	Pa s	29
$T_{ads\ in}$	Temperatur udara <i>inlet</i> adsorpsi	°C	29
T_o	Temperatur referensi	K	29
C	Konstanta Sutherland	K	29
$W_{blow_{reg}}$	Daya <i>blower</i> regenerasi	Watt	30
ΔPa_{reg}	Total <i>pressure drop</i> sisi regenerasi	Pa	30
ϵ_{reg}	Efisiensi <i>blower</i> regenerasi	%	30
$Pa_{duct_{reg}}$	<i>Pressure drop ducting</i> regenerasi	Pa	30
$Pa_{wheel_{reg}}$	<i>Pressure drop desiccant wheel</i> regenerasi	Pa	31
Pa_{heater}	<i>Pressure drop heater</i>	Pa	31
$Friction\ loss_{reg}$	Kehilangan tekanan per satuan panjang <i>ducting</i> regenerasi	$\frac{Pa}{m}$	31
L_{reg}	Panjang <i>ducting</i> regenerasi	m	31
μ_{reg}	Viskositas dinamis udara regenerasi	Pa s	32
Dh_{reg}	Diameter hidrolik saluran regenerasi	m	32
a	Lebar <i>ducting</i> regenerasi	m	32

h	Tinggi <i>ducting</i> regenerasi	m	32
$T_{reg\ in}$	Temperatur udara <i>inlet</i> regenerasi	K	32
L_{heater}	Panjang lintasan aliran dalam <i>heater</i>	m	33
N	Jumlah <i>tube heater</i>	-	33
k	Koefisien kehilangan tekanan lokal	-	33
$D\ input$	Diameter sproket <i>input</i>	mm	34
$Z\ input$	Jumlah gigi pada sproket <i>input</i>	-	34
p	Pitch <i>Timing belt</i>	mm	34
$D\ output$	Diameter sproket <i>output</i>	mm	34
$Z\ output$	Jumlah gigi pada sproket <i>output</i>	-	34
L_{belt}	Panjang <i>Timing belt</i>	mm	35
$C_{sproket}$	Jarak antara pusat sproket <i>input</i> dan <i>output</i>	mm	35
$\Delta\omega_{ads}$	Penurunan Kelembapan Absolut	$\frac{kg}{kg}$	35
$\omega_{ads,in}$	<i>Humidity ratio</i> udara masuk sisi adsorpsi	$\frac{kg}{kg}$	35
$\omega_{ads,out}$	<i>Humidity ratio</i> udara keluar sisi adsorpsi	$\frac{kg}{kg}$	35
MRC	<i>Moisture Removal Capacity</i>	$\frac{kg}{s}$	36
MRR	<i>Moisture Regeneration Rate</i>	$\frac{kg}{s}$	36
$\omega_{reg,in}$	<i>Humidity ratio</i> udara masuk sisi regenerasi	$\frac{kg}{kg}$	36
$\omega_{reg,out}$	<i>Humidity ratio</i> udara keluar sisi regenerasi	$\frac{kg}{kg}$	36
ϵ_{deh}	Efektivitas dehumidifikasi	%	37
W_{heater}	Daya <i>heater</i>	Watt	37

C_p	Kapasitas kalor udara	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$	37
ΔT_{heater}	Perbedaan suhu <i>outlet</i> dan <i>inlet</i> pada <i>heater</i>	$^\circ\text{C}$	37
DCOP	<i>Dehumidification coefficient of performance</i>	-	38
Δh_{vs}	Energi laten penguapan air	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	38
SEC	<i>Specific Energy Consumption</i>	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	39
$Q_{conv,ads}$	Laju perpindahan kalor konveksi pada adsorpsi	W	41
h_{ads}	Koefisien perpindahan kalor konveksi pada adsorpsi	$\text{W/m}^2 \text{ K}$	42
$A_{v ads}$	Luas perpindahan kalor adsorpsi	m^2	42
Nu	Bilangan nusselt	-	42
Pr	Bilangan prandtl	-	42
$v_{wheel,ads}$	Kecepatan udara di wheel adsorpsi	m/s	42
$Dh_{honeycomb}$	Diameter hidrolik honeycomb	m	42
k_{ads}	Konduktivitas udara adsorpsi	W/mK	42
$Q_{conv,reg}$	Laju perpindahan kalor konveksi pada regenerasi	W	43
h_{reg}	Koefisien perpindahan kalor konveksi pada regenerasi	$\text{W/m}^2 \text{ K}$	43
$A_{v reg}$	Luas perpindahan kalor regenerasi	m^2	43
$v_{wheel,reg}$	Kecepatan udara di wheel regenerasi	m/s	43
k_{reg}	Konduktivitas udara regenerasi	W/mK	43
$Q_{kond,ads}$	Laju perpindahan kalor konduksi pada adsorpsi	W	44

k	Konduktivitas termal silica gel	(W/m K)	44
$Q_{\text{kond,reg}}$	Laju perpindahan kalor konduksi pada regenerasi	W	45

LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses fabrikasi *test bed dehumidifier*

Lampiran 2 Pengujian *test bed dehumidifier*

Lampiran 3 Berat *silica gel* sebelum pengujian

Lampiran 4 Berat *silica gel* setelah pengujian

Lampiran 5 Data hasil pengujian

Lampiran 6 Proses fabrikasi dan *assembly desiccant rotary*

Lampiran 7 Proses fabrikasi dan *assembly ducting* regenerasi

Lampiran 8 Proses fabrikasi dan *assembly chamber* regenerasi

Lampiran 9 Proses fabrikasi dan *assembly ducting* adsorpsi

Lampiran 10 Proses fabrikasi dan *assembly chamber* adsorpsi

BAB I

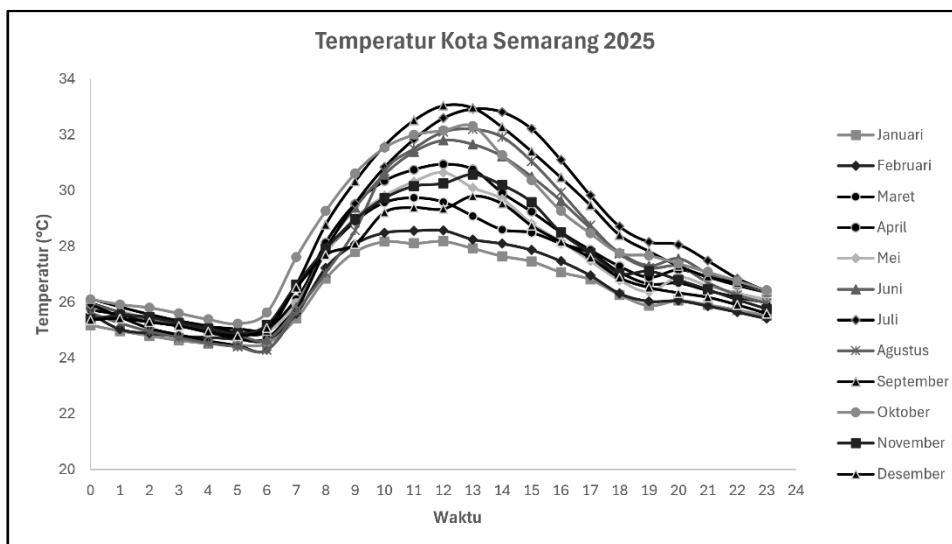
PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam sistem pengaturan kondisi udara, khususnya pengendalian kelembapan, memiliki peranan yang semakin penting bagi berbagai sektor, seperti industri, penelitian, maupun penciptaan lingkungan yang nyaman. Kondisi iklim tropis Indonesia yang ditandai oleh kelembapan udara relatif tinggi berpotensi menurunkan mutu produk, mengganggu performa peralatan, serta memengaruhi kenyamanan dan kesehatan manusia. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan teknologi dehumidifikasi yang mampu menurunkan kadar uap air secara efektif dan efisien. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan adalah dehumidifier berbasis desiccant, yaitu sistem yang memanfaatkan material penyerap kelembapan sebagai media utama dalam proses dehumidifikasi. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berfokus pada rancang bangun test bed dehumidifier berbasis desiccant dengan pemanas listrik sebagai sumber regenerasi, yang digunakan sebagai sarana pengujian eksperimental untuk mengevaluasi kinerja sistem sekaligus mendukung pengembangan teknologi pengendalian kelembapan yang sesuai dengan karakteristik iklim tropis Indonesia.

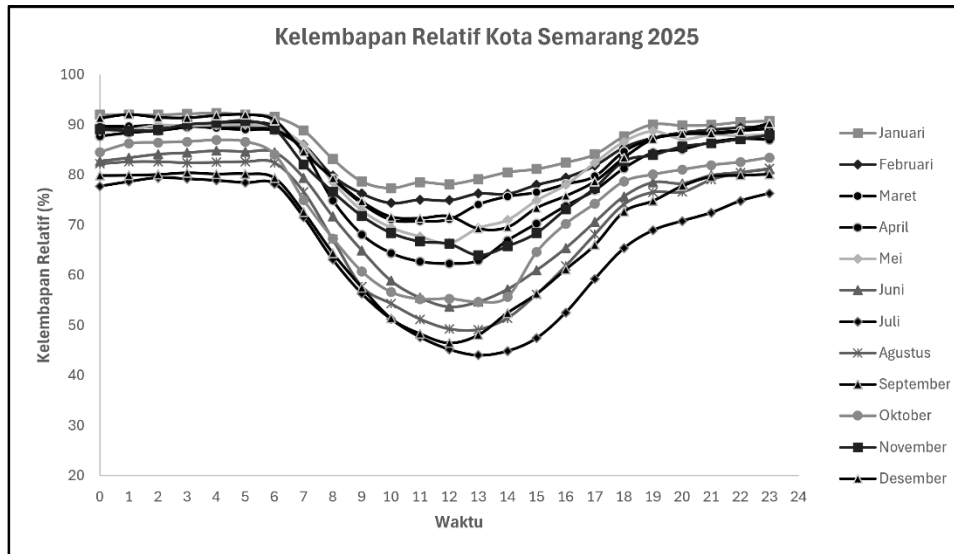
1.1 Latar Belakang

Secara geografis, Indonesia merupakan negara kepulauan yang membentang pada koordinat 6°LU–11°LS dan dilalui oleh garis khatulistiwa, sehingga memiliki karakteristik iklim tropis. Posisinya yang berada di antara Benua Asia dan Benua Australia, serta dipengaruhi oleh pola sirkulasi angin muson, mengakibatkan

terjadinya dua musim yang berlangsung secara bergantian, yaitu musim hujan dan musim kemarau (Sari, Zahriah dan Zuhrina, 2021). Karakteristik iklim tersebut juga dirasakan oleh Kota Semarang yang terletak di kawasan pesisir utara Pulau Jawa. Pada wilayah ini, kondisi mikroklimat, terutama temperatur dan kelembapan udara, mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh pergantian musim maupun variasi intensitas radiasi matahari sepanjang hari. Gambaran mengenai karakteristik cuaca lokal tersebut dapat diperoleh melalui data hasil pengamatan iklim harian Kota Semarang.



Gambar 1. 1 Kondisi temperatur udara Kota Semarang tahun 2025
(Sumber: Open-Meteo, 2025)



Gambar 1. 2 Kondisi kelembapan relatif Kota Semarang tahun 2025
(Sumber: Open-Meteo, 2025)

Berdasarkan Gambar 1. 1 dan Gambar 1. 2 yang diolah dari data cuaca historis Open-Meteo tahun 2025, temperatur dan kelembapan relatif udara di Kota Semarang menunjukkan hubungan berbanding terbalik. Temperatur harian berada pada kisaran 24–33°C, dengan nilai maksimum melebihi 33°C yang terjadi pada bulan Juli dan September. Sebaliknya, kelembapan relatif berada pada rentang 40–90%, dengan nilai tertinggi tercatat pada bulan Januari dan Desember, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan September dan Oktober. Karakteristik tersebut mengindikasikan adanya variasi temperatur dan kelembapan udara yang dipengaruhi oleh perubahan musim serta siklus harian.

Pola tersebut menunjukkan bahwa Kota Semarang memiliki tingkat kelembapan udara yang relatif tinggi pada sebagian besar periode pengamatan. Keadaan tersebut berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan pada aktivitas yang sensitif terhadap kandungan uap air, baik di lingkungan hunian maupun sektor industri. Pada sektor

industri, kelembapan yang tinggi dapat mempercepat degradasi material, menurunkan mutu produk, serta meningkatkan kebutuhan pemeliharaan peralatan. Di sisi lain, pada bangunan hunian maupun perkantoran, kelembapan berlebih dapat mengurangi kenyamanan termal, memengaruhi kesehatan penghuni, serta menurunkan kualitas udara di dalam ruangan. Meningkatnya intensitas aktivitas di ruang tertutup menjadikan kualitas udara dalam ruang (*indoor air quality*) sebagai faktor penting yang berkaitan dengan produktivitas, ketahanan tubuh, dan efisiensi kerja (Fu dan Liu, 2017). Oleh sebab itu, diperlukan sistem ventilasi dan pengendalian kelembapan yang mampu menjaga kondisi lingkungan tetap optimal.

Berbagai metode telah diterapkan untuk mengurangi kelembapan udara, di antaranya *dehumidifier* berbasis refrigerasi, sistem *Heating Ventilation and Air Conditioning* (HVAC), serta *desiccant dehumidification*. Dibandingkan dengan sistem refrigerasi yang mengandalkan proses kondensasi, *dehumidifier* berbasis desiccant bekerja melalui mekanisme adsorpsi uap air menggunakan material penyerap, seperti *silica gel*, sehingga lebih efektif diaplikasikan pada lingkungan dengan kelembapan tinggi.

Penelitian Asa, Yunianto, dan Muchammad (2024) menunjukkan bahwa sistem dehumidifikasi berbasis *silica gel* mampu menurunkan kandungan uap air dengan penurunan *humidity ratio* sebesar sekitar 0,005–0,011 kg/kg udara kering. Besarnya penurunan tersebut dipengaruhi oleh temperatur, kecepatan aliran udara, serta ketebalan lapisan *desiccant*. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengaturan kondisi operasi, terutama temperatur regenerasi, merupakan faktor yang sangat menentukan performa proses adsorpsi.

Meskipun demikian, sistem dehumidifikasi berbasis *desiccant* masih menghadapi

sejumlah kendala, terutama dalam pengendalian temperatur regenerasi, efisiensi penggunaan energi, dan kestabilan performa material penyerap. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa regenerasi umumnya dilakukan pada temperatur 80–120°C, sedangkan penurunan kelembapan udara proses dapat mencapai 30–50% bergantung pada kondisi operasi dan karakteristik *desiccant* yang digunakan. Selain itu, kandungan uap air udara proses berada pada kisaran 5–15 g/kg udara kering sesuai dengan variasi parameter operasional dan jenis material penyerap.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan *test bed dehumidifier* berbasis *silica gel* yang menggunakan heater listrik sebagai sumber panas regenerasi. Sistem ini dirancang agar mampu mengatur temperatur regenerasi secara presisi sekaligus memantau parameter operasi secara *real time*. Pengembangan *test bed* ini diharapkan menghasilkan data eksperimen yang valid untuk menganalisis pengaruh temperatur regenerasi dan laju aliran udara terhadap kinerja sistem, serta menjadi landasan dalam pengembangan *dehumidifier* yang lebih efisien, hemat energi, dan sesuai dengan karakteristik iklim tropis Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang teridentifikasi pada rancang bangun *test bed dehumidifier* ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perancangan dan implementasi *test bed dehumidifier desiccant* yang terintegrasi dengan pengendalian temperatur regenerasi yang presisi dan akurat untuk kondisi iklim tropis Indonesia?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu regenerasi terhadap kinerja *test bed dehumidifier* yang ditinjau berdasarkan penurunan kelembapan absolut,

Moisture Removal Capacity (MRC), *Moisture Regeneration Rate* (MRR), efektivitas dehumidifikasi, *Dehumidification Coefficient of Performance* (DCOP), *Specific Energy Consumption* (SEC), serta konsumsi daya *heater*?

3. Bagaimana kinerja sistem *dehumidifier* berdasarkan data pengujian eksperimental yang diperoleh melalui instrumentasi dan akuisisi data secara *real time*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dimaksudkan untuk membatasi lingkup dalam pengkajian objek proyek akhir. Batasan masalah disebutkan sebagai berikut.

1. Sistem dehumidifikasi yang diteliti merupakan *dehumidifier desiccant* dengan proses regenerasi menggunakan *heater* listrik sebagai sumber panas utama.
2. Rancang bangun difokuskan pada *test bed* skala laboratorium untuk keperluan pengujian dan evaluasi awal kinerja sistem.
3. Analisis kinerja sistem dibatasi pada pengukuran kelembapan relatif, temperatur udara, dan efisiensi dehumidifikasi pada kondisi operasi tunak.
4. Dimensi desiccant wheel ditentukan berdasarkan keterbatasan ruang yang tersedia pada lokasi pengujian sehingga proses perancangan sistem diawali dengan penentuan volume wheel sebagai dasar perhitungan komponen lainnya.
5. Kapasitas heater yang digunakan disesuaikan dengan ketersediaan daya listrik pada lokasi pengujian sehingga temperatur regenerasi yang diuji dibatasi pada rentang 40–65°C.
6. Sumber energi listrik sistem berasal dari suplai PLN tanpa analisis keandalan dan

kualitas daya.

1.4 Tujuan

Berdasarkan pada proyek akhir yang akan dilakukan, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang dan membangun *test bed dehumidifier desiccant* dengan sistem pengendalian suhu adsorpsi yang mampu menurunkan kelembapan relatif udara dengan kisaran 60 - 70% menjadi 45% dengan kenaikan suhu udara dari kisaran 32°C menjadi kisaran 37°C.
2. Menganalisis pengaruh variasi temperatur regenerasi terhadap kinerja *test bed dehumidifier* berdasarkan penurunan kelembapan absolut, *Moisture Removal Capacity* (MRC), *Moisture Regeneration Rate* (MRR), efektivitas dehumidifikasi, *Dehumidification Coefficient of Performance* (DCOP), *Specific Energy Consumption* (SEC), serta konsumsi daya *heater*.
3. Mengevaluasi kinerja sistem *dehumidifier* berdasarkan data hasil pengujian eksperimental yang diperoleh melalui sistem instrumentasi dan akuisisi data secara *real time*.

1.5 Luaran

Penelitian ini menghasilkan beberapa luaran sebagai bentuk implementasi dari tujuan yang telah ditetapkan yaitu sebagai berikut.

1. Sistem *test bed dehumidifier* berbasis *heater* listrik yang dapat digunakan untuk eksperimen lanjutan.

2. Data hasil pengujian awal mengenai performa dehumidifikasi sistem.
3. Dokumentasi desain, spesifikasi teknis, serta analisis hasil pengujian.
4. Luaran Hak Kekayaan Intelektual berupa pendaftaran hak cipta atas desain dan dokumentasi *test bed dehumidifier*.
5. Laporan tugas akhir untuk memenuhi syarat kelulusan.
6. Artikel jurnal ilmiah.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Untuk memenuhi kaidah penulisan ilmiah, laporan proyek akhir ditulis dalam 5 bab berurutan. Bab-bab tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1.6.1 BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, luaran, dan sistematika penulisan laporan.

1.6.2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori mengenai teknologi pengendalian kelembapan, jenis-jenis *dehumidifier*, rumus perhitungan *sizing*, dan jenis material *desiccant*.

1.6.3 BAB III PROSEDUR PELAKSANAAN PROYEK AKHIR

Bab ini berisi prosedur pengerjaan dan diagram alir, metodologi, perencanaan rancang bangun, kalkulasi, serta langkah-langkah pengambilan data.

1.6.4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan pembahasan mengenai data yang didapatkan dari pengujian pada proses proyek akhir.

1.6.5 BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dibahas dan saran-saran perbaikan mengenai kekurangan pada proyek akhir ini untuk penelitian ataupun pengembangan selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas landasan teori yang mendukung penelitian rancang bangun *test bed dehumidifier* berbasis *desiccant* dengan *heater* listrik sebagai sumber energi regenerasi. Pembahasan meliputi konsep dasar sistem *dehumidifier* berbasis *rotating desiccant wheel*, prinsip kerja adsorpsi dan regenerasi, faktor-faktor yang memengaruhi kinerja sistem, karakteristik material *desiccant*, serta dasar perancangan *test bed* dan perhitungan *sizing* sebagai acuan dalam penelitian ini.

2.1 Teknologi Pengendalian Kelembapan (*Dehumidifier*)

Dalam sistem industri modern, pengendalian kelembapan udara menjadi salah satu faktor yang sangat penting karena berbagai proses produksi mensyaratkan kondisi udara dengan temperatur dan kelembapan yang terjaga secara konsisten. Tingkat kelembapan tidak hanya memengaruhi kenyamanan serta kesehatan manusia, tetapi juga berpengaruh terhadap karakteristik material dan kualitas produk yang diproses di dalam ruang tertutup (Kamsah *et al.*, 2016; Pamungkas dan Sasongko, 2023). Apabila kelembapan udara tidak dikendalikan dengan baik, berbagai permasalahan dapat muncul, seperti pertumbuhan mikroorganisme, penurunan mutu produk, khususnya pada industri pangan dan farmasi, serta percepatan kerusakan material maupun peralatan produksi. Oleh sebab itu, pengaturan kelembapan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem pengendalian lingkungan industri.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, berbagai industri menerapkan sistem

dehumidifier yang dirancang mampu beroperasi secara kontinu, memiliki kapasitas aliran udara yang besar, tingkat keandalan yang tinggi, serta dapat diintegrasikan dengan sistem kontrol proses. Penentuan jenis *dehumidifier* umumnya mempertimbangkan beberapa parameter operasi, meliputi target kelembapan, temperatur kerja, laju aliran udara, dan kebutuhan konsumsi energi. Di antara berbagai teknologi yang tersedia, sistem dehumidifikasi berbasis *desiccant* diketahui mampu mengurangi beban laten secara efektif dan memungkinkan proses regenerasi berlangsung pada temperatur yang relatif rendah dengan memanfaatkan sumber energi bertingkat rendah (*low-grade energy*) (Jani, 2020). Dengan demikian, pemahaman mengenai karakteristik setiap teknologi *dehumidifier* menjadi landasan penting dalam proses perancangan maupun evaluasi sistem pengendalian udara pada aplikasi industri.

2.1.1 Pengertian *dehumidifier*

Dehumidifier merupakan perangkat yang dirancang untuk mengurangi kandungan uap air di dalam udara melalui proses dehumidifikasi sehingga kondisi kelembapan dapat dipertahankan pada tingkat yang diinginkan. Pengendalian kelembapan tersebut bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia, menjaga kualitas produk, serta mencegah penurunan kondisi material akibat kelembapan yang berlebihan (Pamungkas dan Sasongko, 2023). Dalam aplikasi industri, sistem ini memiliki peran penting dalam mempertahankan stabilitas proses produksi, mengurangi potensi korosi pada peralatan, serta memastikan mutu produk tetap sesuai dengan standar yang ditetapkan. Konfigurasi umum *dehumidifier* untuk kebutuhan industri ditunjukkan pada Gambar 2. 1. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa sistem terdiri atas unit pengolahan udara yang terintegrasi dengan sistem kontrol

beserta komponen pendukung lainnya sehingga mampu bekerja sebagai satu kesatuan yang saling terhubung. Dari sisi prinsip kerja, proses dehumidifikasi berlangsung melalui mekanisme perpindahan kalor dan perpindahan massa. Pada sistem berbasis refrigerasi, pengurangan kelembapan terjadi melalui proses kondensasi uap air, sedangkan pada sistem berbasis *desiccant*, uap air dihilangkan melalui mekanisme adsorpsi. Menurut Jani (2020), teknologi *desiccant* mampu menurunkan beban laten dan beban sensibel secara signifikan, meskipun memberikan peningkatan terhadap hambatan perpindahan massa. Perbedaan mekanisme kerja tersebut menyebabkan karakteristik performa serta kebutuhan energi setiap sistem menjadi berbeda. Oleh karena itu, pemilihan jenis *dehumidifier* perlu mempertimbangkan kondisi operasi dan kebutuhan aplikasi. Pada implementasinya di lingkungan industri, *industrial dehumidifier* umumnya diintegrasikan dengan sistem ventilasi dan pengondisian udara yang dilengkapi kontrol otomatis untuk mengatur temperatur, laju aliran udara, serta proses regenerasi atau pendinginan secara akurat sehingga operasi sistem dapat berlangsung secara efisien dan berkelanjutan.



Gambar 2. 1 *Industrial dehumidifier*
(Sumber: Kontraktor HVAC Team 2018)

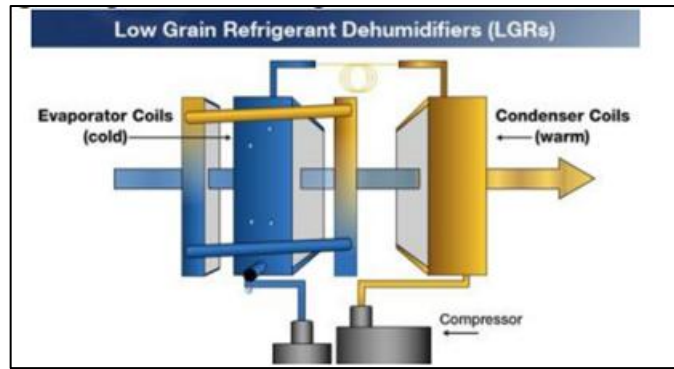
2.1.2 Jenis - jenis *dehumidifier* skala industri

Dehumidifier skala industri dapat diklasifikasikan berdasarkan prinsip kerja yang digunakan dalam mengurangi kandungan uap air di udara. Klasifikasi ini menentukan mekanisme pemisahan uap air, karakteristik performa sistem, serta kesesuaian aplikasi pada berbagai kondisi operasi industri. Secara umum, *dehumidifier* industri terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu *dehumidifier* refrigerasi dan *dehumidifier desiccant*.

1. *Dehumidifier* Refrigerasi

Dehumidifier refrigerasi merupakan teknologi dehumidifikasi yang banyak diterapkan karena memiliki prinsip operasi yang sederhana serta mampu memberikan kinerja yang baik pada berbagai kebutuhan, mulai dari aplikasi rumah tangga hingga sektor komersial. Sistem ini umumnya digunakan pada daerah dengan temperatur udara relatif tinggi dan kondisi kelembapan udara yang juga tinggi, sehingga proses pengurangan uap air dapat berlangsung secara efektif (Kurniawan, Ruslani dan Anggriawan, 2017).

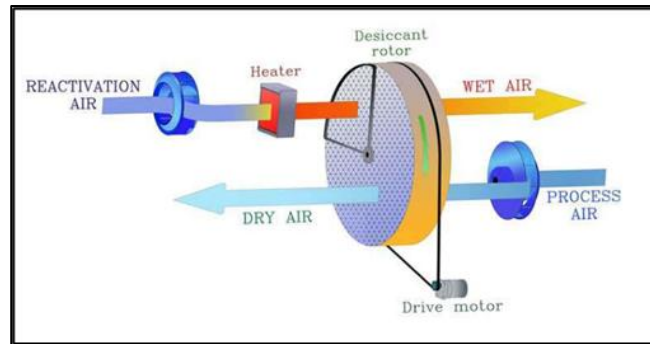
Prinsip kerja *dehumidifier* refrigerasi memanfaatkan siklus refrigerasi kompresi uap dengan komponen utama berupa evaporator dan kondensor. Skema proses yang ditunjukkan pada Gambar 2. 2 memperlihatkan bahwa udara lembap terlebih dahulu melewati evaporator sehingga temperaturnya turun hingga berada di bawah titik embun. Kondisi tersebut menyebabkan uap air yang terkandung di dalam udara mengalami kondensasi dan terpisah sebagai air. Selama proses berlangsung, refrigeran berfungsi sebagai media perpindahan panas yang mengalami rangkaian siklus kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi secara berulang. Mekanisme tersebut memungkinkan proses dehumidifikasi berlangsung secara berkesinambungan dengan tingkat efisiensi yang baik (Kurniawan, Ruslani dan Anggriawan, 2017).



Gambar 2. 2 Proses *refrigerant dehumidifier*
(Sumber: Kurniawan, Ruslani dan Anggriawan, 2017)

2. *Dehumidifier Desiccant*

Dehumidifier desiccant bekerja dengan menyerap uap air menggunakan material *desiccant* yang menciptakan tekanan uap lebih rendah di permukaannya sehingga uap air berpindah dari udara ke material dan menurunkan kelembapan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. 3 melalui aliran *process air in* yang melewati *desiccant wheel* dan keluar sebagai *process air out*. Setelah jenuh, *desiccant* diregenerasi melalui pemanasan atau aliran udara kering agar kapasitas penyerapannya kembali optimal (Surbakti, Yunianto dan Muchammad, 2024). Berdasarkan sifat fisiknya, *desiccant* terdiri atas *desiccant* padat dan *desiccant* cair. Sementara itu, berdasarkan mekanisme penyerapan uap air, *desiccant* diklasifikasikan menjadi adsorben yang mengikat uap air pada permukaan material (bersifat higroskopis) serta absorben yang menyerap uap air melalui perubahan struktur kimia. Kedua mekanisme tersebut menghasilkan karakteristik perpindahan massa yang berbeda dari sistem refrigerasi konvensional (Surbakti, Yunianto, dan Muchammad, 2024).



Gambar 2. 3 Proses *desiccant dehumidifier*
(Sumber: Kamsah et al., 2016)

Sistem dehumidifikasi berbasis *desiccant* memiliki keunggulan pada kemampuannya bekerja efisien pada kelembapan sangat rendah, dengan efisiensi energi yang baik serta fleksibilitas aplikasi pada industri makanan, farmasi, dan laboratorium. Selain itu, sistem ini mampu memberikan pengendalian kelembapan yang lebih presisi sesuai kebutuhan proses operasional (Surbakti, Yunianto dan Muchammad, 2024).

2.2 *Test Bed Dehumidifier*

2.2.1 Pengembangan dan studi eksperimental *test bed dehumidifier*

Berbagai penelitian eksperimental menunjukkan bahwa kinerja sistem *dehumidifier* berbasis *desiccant* sangat dipengaruhi oleh temperatur regenerasi, laju aliran udara adsorpsi dan regenerasi, serta rasio aliran udara antar sisi. Suhu regenerasi merupakan parameter penting dalam sistem dehumidifikasi berbasis *desiccant* karena berpengaruh langsung terhadap proses desorpsi uap air dari material. Semakin tinggi suhu regenerasi, semakin besar energi yang tersedia untuk melepaskan uap air,

sehingga kapasitas adsorpsi pada siklus berikutnya dapat meningkat. Namun, peningkatan suhu yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi energi sistem. Beberapa penelitian melaporkan bahwa suhu regenerasi umumnya berada pada rentang 40 - 120°C tergantung jenis *desiccant* dan konfigurasi sistem. Yu et al. (2022) menunjukkan bahwa variasi suhu regenerasi pada kisaran 40 - 70°C sudah mampu meningkatkan performa sistem dehumidifikasi berbasis polimer secara signifikan.

Hasil penelitian Kushwaha dan Kumar (2025) serta Yang *et al.* (2025) menunjukkan bahwa karakteristik operasi *desiccant dehumidifier*, khususnya kecepatan putar rotor dan laju aliran udara, memberikan pengaruh yang nyata terhadap *Moisture Removal Capacity* (MRC) dan efisiensi proses adsorpsi. Menurut Yang *et al.* (2025), peningkatan temperatur regenerasi hingga sekitar 110°C dapat meningkatkan kapasitas dehumidifikasi secara signifikan apabila dioperasikan pada kecepatan putar yang optimum. Selain parameter tersebut, hasil studi numerik juga mengindikasikan bahwa kelembapan relatif udara masuk dan kecepatan aliran udara berperan dalam menentukan kapasitas adsorpsi aktual serta distribusi temperatur di dalam sistem. Temuan Saputra *et al.* (2020) memperkuat hasil tersebut dengan menunjukkan bahwa temperatur regenerasi yang dipertahankan tetap selama operasi mampu menjaga kestabilan performa sistem meskipun terjadi perubahan beban panas.

Di antara berbagai jenis material *desiccant*, *silica gel* masih menjadi pilihan yang paling banyak digunakan karena memiliki kestabilan termal yang baik serta kemampuan adsorpsi yang tinggi pada lingkungan dengan kelembapan udara tinggi. Penelitian Al Obaidi, Peterson, dan Hui (2022) menunjukkan bahwa *silica gel* mampu menyerap air hingga 48,4% setelah 45 menit proses adsorpsi, yang setara dengan sekitar 0,484 g air untuk setiap 98,9 g *silica gel* ($\approx 4,9$ g/kg). Sementara itu, kapasitas

adsorpsi teoritis maksimum material tersebut dilaporkan dapat mencapai sekitar 400 g/kg. Perbedaan yang cukup besar antara kapasitas aktual dan kapasitas teoritis mengindikasikan bahwa proses adsorpsi dipengaruhi oleh keterbatasan kinetika serta fenomena perpindahan panas selama operasi berlangsung. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian Hraiech *et al.* (2025), yang menjelaskan bahwa peningkatan temperatur operasi menyebabkan kapasitas adsorpsi *silica gel* menurun karena proses adsorpsi uap air bersifat eksotermik. Kinerja material ini juga didukung oleh karakteristik fisiknya, yaitu luas permukaan spesifik dan volume pori yang tinggi sebagaimana dibuktikan melalui pengujian *Brunauer Emmett Teller* (BET) oleh Yeboah dan Darkwa (2021). Selain itu, Hanif *et al.* (2023) melaporkan bahwa *silica gel* RD memiliki kapasitas adsorpsi kesetimbangan sekitar 0,38 kg/kg pada kondisi RH 60% dan temperatur 27°C. Namun, kapasitas yang dapat dimanfaatkan secara aktual tetap dipengaruhi oleh hambatan kinetika, difusi massa, serta efek termal selama proses adsorpsi berlangsung. Dengan efisiensi dehumidifikasi yang mencapai 85%, *silica gel* dinilai memiliki performa yang sangat baik untuk diterapkan pada sistem dehumidifikasi berbasis *solid desiccant*.

Selain pengembangan parameter operasi, peningkatan performa sistem dehumidifikasi juga dilakukan melalui modifikasi material *desiccant*. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa material komposit mampu memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan penggunaan material tunggal. Behede, Chakrabarti, dan Wankhede (2024) melaporkan bahwa komposit *silica gel*-CaCl₂ mampu meningkatkan *Moisture Removal Capacity* (MRC) serta *Dehumidification Coefficient of Performance* (DCOP). Hasil serupa juga diperoleh Rambhad *et al.* (2023), yang menunjukkan bahwa kombinasi *silica gel*-LiCl *molecular sieve* 5A menghasilkan laju

adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan material konvensional. Di sisi lain, Su *et al.* (2024) melaporkan bahwa *synthesized metal silicate* memberikan performa dehumidifikasi yang lebih baik ketika diterapkan pada sistem dengan konfigurasi regenerasi resirkulasi. Selain pengembangan material, Liu *et al.* (2024) menunjukkan bahwa penerapan *dual desiccant coated heat exchanger* mampu meningkatkan *Dehumidification Coefficient of Performance* (DCOP) hingga mencapai 0,41. Temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa pemilihan material desiccant merupakan salah satu aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam proses perancangan sistem dehumidifikasi.

Selain material dan parameter operasi, konfigurasi sistem serta strategi regenerasi juga menentukan efisiensi energi dan stabilitas kinerja. Su *et al.* (2024) menunjukkan bahwa konfigurasi regenerasi resirkulasi mampu meningkatkan kapasitas pengeringan sekaligus menurunkan konsumsi energi. Yang dan Kim (2025) melaporkan bahwa penggunaan *purge section* dapat meningkatkan efisiensi dehumidifikasi dan penghematan energi tahunan. Sementara itu, metode regenerasi berbasis *microwave* menunjukkan potensi peningkatan *coefficient of performance* (COP) dan distribusi panas yang lebih merata dibandingkan pemanasan konvensional (Ybyraiymkul *et al.* 2023). Kajian oleh Gorai, Singh, dan Jani (2024) menegaskan bahwa integrasi sistem *desiccant* dengan sumber panas alternatif dan konfigurasi *hybrid* berpotensi meningkatkan kinerja termal secara signifikan.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji secara luas pengaruh parameter operasi dan karakteristik material terhadap kinerja sistem dehumidifikasi berbasis *desiccant*. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih menggunakan desain fisik rotor yang bersifat tetap, sehingga pengaruh variasi geometri rotor dan

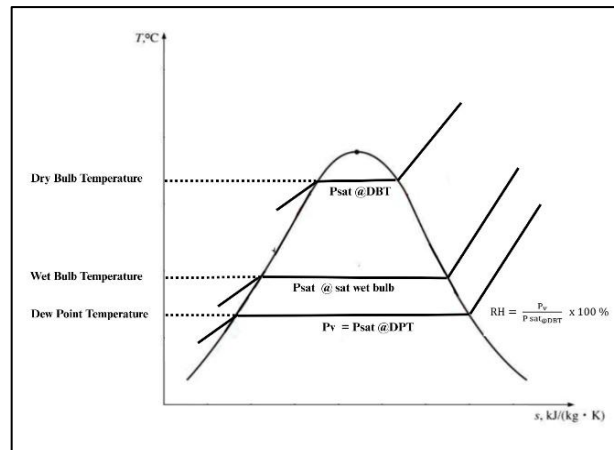
konfigurasi *test bed* terhadap performa sistem belum dievaluasi secara terpadu. Gorai, Singh, dan Jani (2024) menegaskan bahwa penelitian eksperimental yang mengintegrasikan aspek desain fisik, kondisi operasi, serta analisis konsumsi energi dalam satu sistem pengujian masih relatif terbatas. Berdasarkan kondisi tersebut, pengembangan *test bed dehumidifier* berbasis *desiccant* menjadi penting untuk mendukung evaluasi parameter operasi dan performa energi secara simultan. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan analisis yang lebih komprehensif sekaligus memberikan dasar pengembangan sistem yang sesuai untuk diaplikasikan pada wilayah dengan iklim panas dan lembap.

2.2.2 Karakteristik Udara Lembap

Dalam proses dehumidifikasi, kelembapan relatif udara menjadi salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kandungan uap air di dalam udara. Ketika temperatur udara meningkat, tekanan uap jenuh udara juga meningkat, sehingga nilai RH dapat menurun meskipun kandungan uap air aktual di udara belum berubah secara signifikan. Pengkondisian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. 4.

Berdasarkan diagram T-s pada Gambar 2. 4, tekanan uap aktual udara ditunjukkan oleh P_v yang diperoleh dari kondisi *dew point temperature* (DPT), yaitu saat udara mencapai keadaan jenuh sehingga tekanan uap aktual sama dengan tekanan uap jenuh pada titik embun. Sementara itu, $P_{sat}@DBT$ menunjukkan tekanan uap jenuh pada *dry bulb temperature* atau temperatur udara aktual. Nilai RH diperoleh dari perbandingan antara P_v dan $P_{sat}@DBT$. Ketika udara dipanaskan dari kondisi DPT menuju DBT, nilai $P_{sat}@DBT$ meningkat lebih cepat dibandingkan perubahan P_v , sehingga rasio

$P_v/P_{sat}@DBT$ menjadi lebih kecil dan RH menurun. Hal ini menunjukkan bahwa udara yang dipanaskan memiliki kemampuan lebih besar untuk menampung uap air sebelum mencapai kondisi jenuh. Fenomena tersebut menjadi dasar penting dalam sistem dehumidifier, khususnya pada proses regenerasi desiccant yang memanfaatkan udara bersuhu tinggi untuk melepaskan uap air dari material penyerap.



Gambar 2. 4 Representasi *relative humidity* pada diagram t–s udara lembap
(Sumber: <https://signalwires.com/what-is-a-ts-diagramn,d>.)

Pada Gambar 2. 4 terdapat beberapa parameter utama yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

- Dry Bulb Temperature* (DBT), yaitu temperatur udara yang diukur menggunakan termometer biasa dan ditunjukkan oleh garis vertikal pada diagram.
- Wet Bulb Temperature* (WBT) merupakan temperatur yang diukur ketika air menguap secara adiabatik ke dalam aliran udara.
- Relative Humidity* (RH), yaitu tingkat kejenuhan udara terhadap kandungan uap air yang ditunjukkan oleh garis lengkung dengan satuan persen (%).
- Partial Vapor Pressure* (P_v) merupakan tekanan parsial yang dihasilkan oleh uap

air yang terkandung di dalam udara.

- e. *Saturation Vapor Pressure* (Psat) merupakan tekanan maksimum uap air yang dapat ditampung udara pada temperatur tertentu.
- f. *Dew Point Temperature* (DPT), yaitu temperatur ketika udara mencapai kondisi jenuh dan mulai mengalami kondensasi.

1. Kelembapan Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembapan relatif (RH) merupakan salah satu faktor lingkungan penting yang kerap kali diabaikan dalam pembahasan mengenai kualitas udara, baik di dalam maupun di luar ruangan. Kelembapan relatif (RH) didefinisikan sebagai jumlah uap air yang ada di udara, yang dinyatakan sebagai persentase dari jumlah yang dibutuhkan untuk pemenuhan kejenuhan pada suhu yang sama (Guarnieri et al., 2023). Nilai RH menunjukkan tingkat kejenuhan udara terhadap kandungan uap air dan dinyatakan dalam persen (%). Nilai RH sangat dipengaruhi oleh temperatur udara. Pada kandungan uap air yang tetap, peningkatan temperatur udara akan menyebabkan nilai RH menurun karena kemampuan udara untuk menampung uap air meningkat. Sebaliknya, penurunan temperatur udara akan meningkatkan nilai RH.

2. Kelembapan Absolut (*Humidity Ratio*)

Humidity ratio atau kelembapan absolut adalah perbandingan antara massa uap air yang terkandung dalam udara dengan massa udara kering pada kondisi yang sama (Gaikwad, 2026). Besaran ini menunjukkan jumlah aktual uap air di dalam udara dan umumnya dinyatakan dalam satuan kg uap air per kg udara kering. Nilai *humidity ratio* menunjukkan jumlah aktual uap air yang terkandung di dalam udara sehingga sering digunakan dalam analisis proses dehumidifikasi. Pada proses adsorpsi, nilai *humidity*

ratio udara keluaran akan lebih rendah dibandingkan udara masukan karena sebagian uap air diserap oleh material desiccant.

2.2.3 Perhitungan *sizing*

Perhitungan *sizing* dilakukan untuk menentukan dimensi dan spesifikasi komponen utama yang digunakan pada sistem dehumidifikasi. Perhitungan ini bertujuan agar setiap komponen yang dipilih dapat memenuhi kebutuhan operasi dan mendukung kinerja sistem secara optimal.

3. Volume *wheel*

Volume total *wheel* dihitung sebagai penjumlahan volume setiap bagian penyusunnya, yaitu *ring wheel*, *hub*, dan *spoke*. Oleh karena itu, volume *wheel* dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$V_{wheel} = V_{ring} + V_{hub} + V_{spoke} \quad (2.1)$$

Keterangan:

V_{wheel} : Volume *wheel* (m³)

V_{ring} : Volume *ring* (m³)

V_{hub} : Volume *hub* (m³)

V_{spoke} : Volume *spoke* (m³)

Adapun persamaan-persamaan yang dapat digunakan untuk melengkapi volume *wheel* dapat disajikan sebagai berikut.

a. Volume *ring*

Bagian *ring wheel* memiliki bentuk menyerupai tabung, sehingga perhitungan

volumenya menggunakan persamaan volume tabung. Berdasarkan yang dijelaskan oleh Risno, S.J. (2023), volume *ring* dinyatakan sebagai berikut.

$$V_{ring} = \pi \times Ri_{ring}^2 \times b \quad (2.2)$$

Keterangan:

Ri_{ring} : Jari – jari dalam *ring* (m)

b : Tebal *wheel* (m)

b. Volume hub

Hub berbentuk silinder berongga sehingga volumenya diperoleh dari selisih volume silinder luar dan silinder dalam. Berdasarkan yang dijelaskan oleh Risno, S.J. (2023), volume *hub* dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$V_{hub} = \frac{\pi}{4} \times (Do_{hub}^2 - Di_{hub}^2) \times b \quad (2.3)$$

Keterangan:

b : Tebal *wheel* (m)

Do_{hub} : Diameter luar *hub* (m)

Di_{hub} : Diameter dalam *hub* (m)

c. Volume spoke

Spoke memiliki bentuk yang dapat didekati sebagai balok, sehingga perhitungan volumenya menggunakan persamaan volume balok. Berdasarkan yang ditulis oleh Nuryanto (n.d.), volume *spoke* dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$V_{spoke} = l \times t \times b \quad (2.4)$$

Keterangan:

t : Tinggi *spoke* (m)

l : Panjang *spoke* (m)

b : Tebal *wheel* (m)

4. Massa *desiccant*

Massa *desiccant* menunjukkan jumlah adsorben yang tersedia untuk proses penyerapan uap air pada sistem dehumidifikasi. Besarnya massa *desiccant* berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi dan kapasitas pengeringan sistem. Berdasarkan hubungan antara *bulk density* dan volume *desiccant wheel* yang dijelaskan oleh Khan et al. (2017), massa *desiccant* dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$m_{des} = V_{wheel} \times \rho_{bulk} \quad (2.5)$$

Keterangan:

m_{des} : Massa *desiccant* (kg)

V_{wheel} : Volume *wheel* (m³)

ρ_{bulk} : Densitas kamba (*bulk density*) ($\frac{kg}{m^3}$)

5. Laju aliran volume pada sisi adsorpsi

Laju aliran volume adsorpsi ($\dot{V}_{ads}$) merupakan volume udara lembap yang mengalir melalui sisi adsorpsi *desiccant* per satuan waktu. Menurut Alvindocs (n.d.), laju aliran volume adsorpsi dapat dihitung berdasarkan hubungan antara kecepatan aliran dan luas permukaan *ducting* sebagaimana berikut ini.

$$\dot{V}_{ads} = v_{ads} \times A_{ads} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$\dot{V}_{ads}$: Laju aliran volume pada sisi adsorpsi (m³/s)

v_{ads} : Kecepatan aliran udara pada sisi adsorpsi (m/s)

A_{ads} : Luas permukaan *ducting* sisi adsorpsi (m^2)

6. Laju aliran massa adsorpsi

Laju aliran massa udara adsorpsi merupakan jumlah massa udara lembap yang melewati *bed desiccant* pada sisi adsorpsi per satuan waktu. Menurut Iqbal et al. (2023), Laju aliran massa udara pada sisi adsorpsi dihitung berdasarkan hasil perkalian antara debit udara dan densitas udara lembap yang mengalir melalui *desiccant wheel*, sebagaimana berikut ini.

$$\dot{m}_{ads} = \dot{V}_{ads} \times \rho_{ads} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$\dot{m}_{ads}$: Laju aliran massa udara yang diadsorpsi (kg/s)

$\dot{V}_{ads}$: Laju aliran volume pada sisi adsorpsi (m^3/s)

ρ_{ads} : Densitas udara lembap pada sisi adsorpsi ($\frac{kg}{m^3}$)

7. Laju aliran volume pada sisi regenerasi

Laju aliran volume regenerasi merupakan volume udara panas yang mengalir melalui sisi regenerasi *desiccant* per satuan waktu. Menurut Alvindocs (n.d.), laju aliran volume regenerasi dapat dihitung berdasarkan hasil perkalian antara kecepatan aliran udara dan luas penampang *ducting* sisi regenerasi, sebagaimana berikut.

$$\dot{V}_{reg} = v_{reg} \times A_{reg} \quad (2.8)$$

Keterangan:

$\dot{V}_{reg}$: Laju aliran volume pada sisi regenerasi (m^3/s)

v_{reg} : Kecepatan aliran udara pada sisi regenerasi (m/s)

A_{reg} : Luas permukaan *ducting* sisi regenerasi (m^2)

8. Laju aliran massa regenerasi

Laju aliran massa udara regenerasi ($\dot{m}_{\text{reg}}$) merupakan jumlah massa udara panas yang mengalir melalui sisi regenerasi *desiccant* per satuan waktu. Menurut Iqbal et al, (2023), laju aliran massa udara regenerasi dapat ditentukan hasil perkalian antara debit udara dan densitas udara yang mengalir melalui *desiccant wheel*, sebagaimana berikut.

$$\dot{m}_{\text{reg}} = \rho_{\text{reg}} \times \dot{V}_{\text{reg}} \quad (2.9)$$

Keterangan:

$\dot{m}_{\text{reg}}$: Laju aliran massa udara yang diregenerasi (kg/s)

ρ_{reg} : Densitas udara lembap pada sisi regenerasi ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

$\dot{V}_{\text{reg}}$: Laju aliran volume pada sisi regenerasi ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$)

9. Daya *wheel*

Daya dibutuhkan untuk memutar *desiccant wheel* ditentukan berdasarkan torsi yang diperlukan dan kecepatan sudut *wheel* selama operasi. Menurut Engineering ToolBox (n.d), kebutuhan daya *wheel* dinyatakan sebagai berikut.

$$W_{\text{wheel}} = \tau \times \theta_2 \quad (2.10)$$

Keterangan:

W_{wheel} : Daya *wheel* (Watt)

τ : Torsi (Nm)

θ_2 : Kecepatan sudut (rad/s)

Adapun persamaan-persamaan yang dapat digunakan untuk melengkapi daya *wheel* dapat disajikan sebagai berikut.

a. Torsi

Menurut OpenStax (n.d.), torsi dihitung berdasarkan momen inersia *wheel* dan percepatan sudut yang dihasilkan selama proses percepatan awal, seperti berikut ini.

$$\tau = I_{\text{total}} \times \alpha \quad (2.11)$$

Keterangan:

I_{total} : Momen inersia total pada *rotary* (kg m²)

α : Percepatan sudut (rad/s²)

b. Momen inersia

Untuk menentukan momen inersia total pada *rotary*, dihitung dengan menggunakan momen inersia *wheel* ditambah momen inersia *desiccant*. Nilai momen inersia *wheel* dihitung dengan pendekatan silinder berongga. Untuk nilai momen inersia *desiccant* dihitung dengan pendekatan silinder pejal. Menurut OpenStax (n.d.), momen inersia *wheel* dan *desiccant* dinyatakan sebagai berikut.

$$I_{\text{wheel}} = \frac{1}{2} m_{\text{wheel}} \times (R_{\text{ring}}^2 + R_{\text{ring}}^2) \quad (2.12)$$

$$I_{\text{desiccant}} = \frac{1}{2} m_{\text{desiccant}} \times R_{\text{ring}}^2 \quad (2.13)$$

Maka momen inersia total pada *rotary wheel* adalah:

$$I_{\text{total}} = I_{\text{wheel}} + I_{\text{desiccant}} \quad (2.14)$$

Keterangan:

I_{wheel} : Momen inersia *wheel* (kg m²)

$I_{\text{desiccant}}$: Momen inersia *desiccant* (kg m²)

m_{wheel} : Massa *wheel* (kg)

$m_{desiccant}$: Massa *desiccant* (kg)

R_{oring} : jari – jari luar *ring* (m)

R_{iring} : jari – jari dalam *ring* (m)

c. Percepatan sudut

Percepatan sudut *wheel* diperoleh dari perubahan kecepatan sudut terhadap waktu percepatan. Menurut OpenStax (n.d.), percepatan sudut dinyatakan sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{t} \quad (2.15)$$

Keterangan:

α : percepatan sudut (rad/s²)

θ_2 : kecepatan sudut akhir (rad/s)

θ_1 : kecepatan sudut awal (rad/s)

t : waktu dalam 1 putaran (s)

d. Kecepatan sudut *wheel*

Untuk menentukan nilai percepatan sudut, terlebih dahulu harus diketahui kecepatan sudut *wheel*. Menurut OpenStax (n.d.), Kecepatan sudut dihitung berdasarkan putaran *wheel* per menit (*rotational speed*) sebagai berikut.

$$\theta = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.16)$$

Keterangan:

θ : kecepatan sudut (rad/s)

n : kecepatan putaran (rpm)

e. Kecepatan putaran

Sedangkan nilai putaran *wheel* (n) diperoleh dari waktu yang dibutuhkan *wheel* untuk menyelesaikan satu putaran penuh. Menurut Mathwords (n.d.), hubungan antara putaran dan waktu ditunjukkan sebagai berikut.

$$n = \frac{60}{t} \quad (2.17)$$

Keterangan:

n : kecepatan putaran (rpm)

t : waktu dalam 1 putaran (s)

10. Daya *blower* adsorpsi

Daya *blower* pada sisi adsorpsi ditentukan berdasarkan laju aliran volumetrik udara dan total penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi sepanjang jalur aliran. Menurut Engineering ToolBox (n.d), daya *blower* adsorpsi dihitung sebagai berikut.

$$W_{blow_{ads}} = \dot{V}_{ads} \times \frac{\Delta Pa_{ads}}{\epsilon_{ads}} \quad (2.18)$$

Keterangan:

$W_{blow_{ads}}$: Daya *blower* adsorpsi (W)

$\dot{V}_{ads}$: Laju aliran volumetrik udara adsorpsi (m³/s)

ΔPa_{ads} : Total *pressure drop* sisi adsorpsi (Pa)

ϵ_{ads} : Efisiensi *blower* adsorpsi (%)

Adapun persamaan-persamaan yang dapat digunakan untuk melengkapi daya *blower* adsorpsi dapat disajikan sebagai berikut.

a. Total *pressure drop* adsorpsi

Total *pressure drop* tersebut merupakan akumulasi dari penurunan tekanan pada

ducting dan *desiccant wheel*.

$$\Delta Pa_{ads} = Pa_{duct_{ads}} + Pa_{wheel_{ads}} \quad (2.19)$$

Keterangan:

$Pa_{duct_{ads}}$: *Pressure drop ducting* adsorpsi (Pa)

$Pa_{wheel_{ads}}$: *Pressure drop desiccant wheel* adsorpsi (Pa)

b. Pressure drop pada ducting adsorpsi

Pressure drop pada *ducting* ditentukan berdasarkan nilai *friction loss* yang diperoleh dari diagram *air duct friction loss* dan panjang *ducting* yang digunakan. Menurut Engineering ToolBox (n.d), *pressure drop* karena *ducting* dihitung sebagai berikut.

$$Pa_{duct_{ads}} = Friction\ Loss_{ads} \times L_{ads} \quad (2.20)$$

Keterangan:

$Friction\ Loss_{ads}$: Kehilangan tekanan per satuan panjang duct (Pa/m)

L_{ads} : Panjang *ducting* (m)

c. Pressure drop pada wheel

Selain mengalami rugi tekanan pada *ducting*, aliran udara juga mengalami hambatan saat melewati *desiccant wheel*. Menurut Yadav and Yadav (2014), *pressure drop* pada *wheel* dihitung sebagai berikut.

$$Pa_{wheel_{ads}} = \frac{2f \times \rho_{ads} \times v_{ads}^2 \times b}{Dh_{ads}} + \frac{Ko \times \rho_{ads} \times v_{ads}^2}{2} \quad (2.21)$$

$$f = \frac{13}{Re} \quad (2.22)$$

$$Re = \frac{\rho_{ads} \times v_{ads} \times Dh_{ads}}{\mu_{ads}} \quad (2.23)$$

$$Dh_{ads} = \frac{4A_{ads}}{P_{ads}} \quad (2.24)$$

$$A_{ads} = \frac{1}{2} \pi r^2 \quad (2.25)$$

$$P_{ads} = \pi r \quad (2.26)$$

$$\mu_{ads} = \mu_o \left(\frac{T_{ads\ in}}{T_o} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{T_o + C}{T_{ads\ in} + C} \right) \quad (2.27)$$

Keterangan:

f : Faktor gesekan

ρ_{ads} : Massa jenis udara (kg/m³)

v_{ads} : Kecepatan udara (m/s)

b : Tebal *desiccant wheel* (m)

Dh_{ads} : Diameter hidrolik saluran (m)

Ko : Koefisien kehilangan tekanan lokal

Re : Bilangan Reynolds

μ_{ads} : Viskositas dinamis udara (Pa·s)

A_{ads} : Luas penampang aliran (m²)

P_{ads} : Keliling basah (m)

r : Jari-jari penampang (m)

μ_o : Viskositas referensi udara (Pa·s)

$T_{ads\ in}$: Temperatur udara (K)

T_o : Temperatur referensi (K)

C : Konstanta Sutherland (K)

11. Daya *blower* regenerasi

Daya *blower* pada sisi regenerasi dihitung berdasarkan laju aliran udara regenerasi dan total *pressure drop* yang terjadi pada sistem regenerasi. Menurut Engineering ToolBox (n.d), daya *blower* regenerasi dihitung sebagai berikut.

$$W_{blow_{reg}} = \dot{V}_{reg} \times \frac{\Delta Pa_{reg}}{\epsilon_{reg}} \quad (2.28)$$

Keterangan:

$W_{blow_{reg}}$: Daya *blower* regenerasi (W)

$\dot{V}_{reg}$: Laju aliran volumetrik udara regenerasi (m³/s)

ΔPa_{reg} : Total *pressure drop* sisi regenerasi (Pa)

ϵ_{reg} : Efisiensi *blower* regenerasi (%)

Adapun persamaan-persamaan yang dapat digunakan untuk melengkapi daya *blower* regenerasi dapat disajikan sebagai berikut.

a. Total *pressure drop* regenerasi

Total *pressure drop* regenerasi terdiri dari *pressure drop* pada *ducting*, *desiccant wheel*, dan *heater*.

$$\Delta Pa_{reg} = Pa_{duct_{reg}} + Pa_{wheel_{reg}} + Pa_{heater} \quad (2.29)$$

Keterangan:

$Pa_{duct_{reg}}$: *Pressure drop ducting* regenerasi (Pa)

$Pa_{wheel_{reg}}$: *Pressure drop desiccant wheel* regenerasi (Pa)

Pa_{heater} : *Pressure drop heater* (Pa)

b. *Pressure drop ducting* regenerasi

Pressure drop pada *ducting* regenerasi dihitung berdasarkan nilai *friction loss* dan panjang *ducting* yang digunakan.

$$Pa_{duct_{reg}} = Friction\ Loss \times L \quad (2.30)$$

Keterangan:

Friction Loss : Kehilangan tekanan per satuan panjang duct (Pa/m)

L : Panjang *ducting* (m)

c. ***Pressure drop wheel***

Penurunan tekanan pada *wheel* regenerasi dihitung menggunakan pendekatan yang sama dengan sisi adsorpsi. Menurut Yadav and Yadav (2014), *pressure drop* karena *wheel* dihitung sebagai berikut.

$$Pa_{wheel_{reg}} = \frac{2f \times \rho_{reg} \times v_{reg}^2 \times b}{Dh_{reg}} + \frac{Ko \times \rho_{reg} \times v_{reg}^2}{2} \quad (2.31)$$

$$f = \frac{13}{Re} \quad (2.32)$$

$$Re = \frac{\rho_{reg} \times v_{reg} \times Dh_{reg}}{\mu_{reg}} \quad (2.33)$$

$$Dh_{reg} = \frac{2ab}{a+b} \quad (2.34)$$

$$\mu_{reg} = \mu_o \left(\frac{T_{reg\ in}}{T_o} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{T_o + C}{T_{reg\ in} + C} \right) \quad (2.35)$$

Keterangan:

f : Faktor gesekan

ρ_{reg} : Massa jenis udara (kg/m³)

v : Kecepatan udara (m/s)

b : Tebal *desiccant wheel* (m)

Dh_{reg} : Diameter hidrolik saluran (m)

Ko : Koefisien kehilangan tekanan lokal

Re : Bilangan Reynolds

μ_{reg} : Viskositas dinamis udara (Pa·s)

a : lebar saluran (m)

b : Tinggi saluran (m)

μ_0 : Viskositas referensi udara (Pa·s)

$T_{reg\ in}$: Temperatur udara (K)

T_0 : Temperatur referensi (K)

C : Konstanta Sutherland (K)

d. *Pressure drop heater*

Selain *wheel*, aliran udara regenerasi juga mengalami hambatan saat melewati *heater*. Menurut Ai, Mak and Cui (2023), *pressure drop heater* dihitung sebagai berikut.

$$Pa_{heater} = \frac{f \times L_{heater} \times \rho_{reg} \times v_{reg}^2}{2 Dh_{reg}} + \frac{k \times \rho_{reg} \times v_{reg}^2}{2} \quad (2.36)$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (2.37)$$

$$Re = \frac{\rho_{reg} \times v_{reg} \times Dh_{reg}}{\mu_{reg}} \quad (2.38)$$

$$Dh_{reg} = \frac{2ab}{a + b} \quad (2.39)$$

$$\mu_{\text{reg}} = \mu_0 \left(\frac{T_{\text{reg in}}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{T_0 + C}{T_{\text{reg in}} + C} \right) \quad (2.40)$$

$$k = f \times N \quad (2.41)$$

Keterangan:

f : Faktor gesekan

L_{heater} : Panjang saluran *heater* (m)

ρ_{reg} : Massa jenis udara (kg/m³)

v_{reg} : Kecepatan udara (m/s)

$D_{h_{\text{reg}}}$: Diameter hidrolik saluran (m)

k : Koefisien kehilangan tekanan lokal

N : Jumlah tube *heater*

10. Diameter sproket

Diameter sproket *desiccant wheel* merupakan diameter lingkaran *pitch* sproket yang digunakan untuk mentransmisikan putaran dari motor penggerak ke rotor *desiccant wheel*. Menurut Tsubaki (n.d.), diameter sproket dapat dihitung berdasarkan jumlah gigi sproket dan *pitch* sabuk.

a. Diameter sproket *input*

$$D_{\text{input}} = \frac{Z_{\text{input}} \times p}{\pi} \quad (2.42)$$

Keterangan:

D_{input} : Diameter sproket *input* (mm)

Z_{input} : Jumlah gigi pada sproket *input*

p : *Pitch timing belt* (mm)

b. Diameter sproket *output*

$$D_{output} = \frac{Z_{output} \times p}{\pi} \quad (2.43)$$

Keterangan:

D_{output} : Diameter sproket *output* (mm)

Z_{output} : Jumlah gigi pada sproket *output*

p : *Pitch timing belt* (mm)

11. Panjang *timing belt*

Panjang *timing belt* (L) merupakan total panjang lintasan belt yang menghubungkan sproket penggerak dan sproket yang digerakkan pada sistem transmisi *desiccant wheel*. Menurut Tsubaki (n.d.), panjang *timing belt* dapat dihitung berdasarkan jarak antar poros dan diameter kedua sproket.

$$L_{belt} = 2C_{sproket} + \frac{\pi}{2}(D_{output} + D_{input}) + \frac{(D_{output} - D_{input})^2}{4C} \quad (2.44)$$

Keterangan:

L_{belt} : Panjang *timing belt* (mm)

$C_{sproket}$: Jarak antara pusat sproket input dan output (mm)

D_{output} : Diameter sproket output (mm)

D_{input} : Diameter sproket input (mm)

2.2.4 Perhitungan parameter

Perhitungan parameter dilakukan untuk menentukan besaran-besaran yang

digunakan dalam analisis kinerja sistem dehumidifikasi. Parameter yang diperoleh dari perhitungan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi performa alat selama proses pengujian.

1. Penurunan kelembapan absolut

Kapasitas penurunan kelembapan merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dehumidifikasi dalam menurunkan kandungan uap air pada udara proses. Parameter ini dinyatakan sebagai selisih kelembapan absolut udara antara sisi masuk dan sisi keluar zona adsorpsi. Menurut Iqbal et al. (2023), kapasitas penurunan kelembapan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\Delta\omega_{\text{ads}} = \omega_{\text{ads,in}} - \omega_{\text{ads,out}} \quad (2.45)$$

Keterangan:

$\Delta\omega_{\text{ads}}$: Penurunan kelembapan absolut (kg/kg)

$\omega_{\text{ads,in}}$: *Humidity ratio* udara masuk sisi adsorpsi ($\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$)

$\omega_{\text{ads,out}}$: *Humidity ratio* udara keluar sisi adsorpsi ($\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$)

2. *Moisture removal capacity*

Moisture removal capacity menunjukkan laju penghilangan uap air oleh sistem *dehumidifier* selama proses adsorpsi. Besarnya MRC dipengaruhi oleh massa *desiccant* yang digunakan, kapasitas adsorpsi material, dan waktu adsorpsi. Hubungan tersebut dinyatakan oleh Mohammed et al. (2018).

$$\text{MRC} = \dot{m}_{\text{ads}} \times (\omega_{\text{ads,in}} - \omega_{\text{ads,out}}) \quad (2.46)$$

Keterangan:

MRC : *Moisture removal capacity* ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)

$\dot{m}_{ads}$: Laju aliran massa udara yang diadsorpsi ($\frac{kg}{s}$)

$\omega_{ads,in}$: *Humidity ratio* udara masuk sisi adsorpsi ($\frac{kg}{kg}$)

$\omega_{ads,out}$: *Humidity ratio* udara keluar sisi adsorpsi ($\frac{kg}{kg}$)

3. *Moisture regeneration rate*

Menurut Mehare, et al (2025), *Moisture Regeneration Rate* (MRR) dihitung berdasarkan laju aliran massa udara regenerasi dan selisih *humidity ratio* udara keluar serta udara masuk pada sisi regenerasi.

$$MRR = \dot{m}_{reg} \times (\omega_{reg,out} - \omega_{reg,in}) \quad (2.47)$$

Keterangan:

MRR : *Moisture regeneration rate* ($\frac{kg}{s}$)

$\dot{m}_{reg}$: Laju aliran massa udara yang diregenerasi ($\frac{kg}{s}$)

$\omega_{reg,out}$: *Humidity ratio* udara masuk sisi regenerasi ($\frac{kg}{kg}$)

$\omega_{reg,in}$: *Humidity ratio* udara keluar sisi regenerasi ($\frac{kg}{kg}$)

4. Efektivitas dehumidifikasi

Menurut Rambhad et al (2023), efektivitas dehumidifikasi dihitung berdasarkan persentase penurunan *humidity ratio* udara antara kondisi masuk dan keluar pada sisi adsorpsi.

$$\epsilon_{deh} = \frac{\omega_{ads,in} - \omega_{ads,out}}{\omega_{ads,in}} \times 100 \% \quad (2.48)$$

Keterangan:

ϵ_{deh} : Efektivitas dehumidifikasi (%)

$\omega_{ads,in}$: *Humidity ratio* udara masuk sisi adsorpsi ($\frac{kg}{kg}$)

$\omega_{ads,out}$: *Humidity ratio* udara keluar sisi adsorpsi ($\frac{kg}{kg}$)

5. **Konsumsi daya heater**

Menurut Abdelgaied et al (2023), daya *heater* dihitung berdasarkan laju aliran massa udara regenerasi, kapasitas kalor udara, dan kenaikan suhu udara yang terjadi selama proses pemanasan.

$$W_{heater} = \dot{m}_{reg} \times C_p \times \Delta T_{heater} \quad (2.49)$$

Keterangan:

W_{heater} : Daya *heater* (Watt)

$\dot{m}_{reg}$: Laju aliran massa udara yang diregenerasi ($\frac{kg}{s}$)

C_p : Kapasitas kalor udara ($\frac{KJ}{kg^{\circ}C}$)

ΔT_{heater} : Perbedaan suhu *outlet* dan *inlet* pada *heater* ($^{\circ}C$)

6. **Dehumidification coefficient of performance**

Dehumidification Coefficient of Performance (DCOP) merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi efisiensi sistem dehumidifikasi dalam menghilangkan uap air dibandingkan dengan energi yang digunakan selama proses regenerasi. Menurut Alam dan Hussain (2022), nilai DCOP dapat dihitung sebagai berikut.

$$DCOP = \frac{\dot{m}_{ads} \times \Delta h_{vs} \times (\omega_{ads,in} - \omega_{ads,out})}{\dot{m}_{reg} \times C_p \times \Delta T_{heater}} \quad (2.50)$$

Dimana untuk mencari Δh_{vs} kita menggunakan rumus

$$\begin{aligned}
\Delta h_{vs} = & (-0,614342 \times 10^{-4}) \times T_{ads\ in}^3 \\
& + 0,0158927 \times 10^{-2} \times T_{ads\ in}^2 \\
& - 0,236418 \times 10 \times T_{ads\ in} \\
& + 0,250079 \times 10^4
\end{aligned} \tag{2.51}$$

Keterangan:

DCOP : Dehumidification coefficient of performance

$\dot{m}_{ads}$: Laju aliran massa udara yang diadsorpsi ($\frac{kg}{s}$)

Δh_{vs} : Energi laten penguapan air (kJ/kg)

$\omega_{ads,in}$: *Humidity ratio* udara masuk sisi adsorpsi ($\frac{kg}{kg}$)

$\omega_{ads,out}$: *Humidity ratio* udara keluar sisi adsorpsi ($\frac{kg}{kg}$)

$\dot{m}_{reg}$: Laju aliran massa udara yang diregenerasi ($\frac{kg}{s}$)

C_p : Kapasitas kalor udara ($\frac{KJ}{kg^\circ C}$)

ΔT_{heater} : Perbedaan suhu *outlet* dan *inlet* pada *heater* ($^\circ C$)

$T_{ads\ in}$: Suhu udara masuk sisi adsorpsi ($^\circ C$)

7. *Specific energy consumption*

Specific Energy Consumption (SEC) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan sistem dehumidifikasi untuk menghilangkan satu satuan massa uap air dari udara. Menurut Kosasih et al. (2022), nilai SEC dapat dihitung berdasarkan total konsumsi energi sistem dan *Moisture Removal Capacity* (MRC).

$$SEC = \frac{W_{heater} + W_{blower}}{MRC} \quad (2.52)$$

Keterangan:

SEC : *Specific energy consumption* (kJ/kg)

W_{heater} : Daya heater (kW)

W_{blower} : Daya blower (kW)

MRC : *Moisture removal capacity* (kg/s)

4.4.1 *Heat Transfer* pada *Rotary Wheel*

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses perpindahan energi termal dari suatu benda atau sistem yang memiliki temperatur lebih tinggi ke benda atau sistem lain yang memiliki temperatur lebih rendah akibat adanya perbedaan temperatur. Perpindahan panas akan berlangsung hingga tercapai kondisi kesetimbangan termal. Secara umum, perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Analisis perpindahan panas pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan temperatur udara masuk dan keluar sebagai kondisi batas sistem. Temperatur permukaan dan temperatur internal *desiccant wheel* tidak diukur secara langsung sehingga perhitungan digunakan untuk menggambarkan kecenderungan perpindahan panas yang terjadi selama proses adsorpsi dan regenerasi. Menurut Aryadinata et al. (2017), perpindahan panas (*heat transfer*) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.62) hingga (2.79).

a. *Heat transfer* konveksi adsorpsi di *rotary wheel*

$$Q_{conv,ads} = h_{ads} \times A_{v ads} \times (T_{ads in} - T_{ads out}) \quad (2.54)$$

Untuk mencari h, menggunakan rumus:

$$h_{ads} = \frac{Nu \times k_{ads}}{Dh_{kanal}} \quad (2.55)$$

Untuk aliran laminar, nilai Nu menggunakan rumus:

$$Nu = 0,664Re^{0,5}Pr^{0,33} \quad (2.56)$$

Untuk aliran turbulen, nilai Nu menggunakan rumus:

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,4} \quad (2.57)$$

Untuk mencari nilai reynold, menggunakan rumus:

$$Re = \frac{\rho_{ads} \times v_{wheel,ads} \times Dh_{kanal}}{\mu_{ads}} \quad (2.58)$$

Untuk mencari v_{wheel} menggunakan rumus:

$$v_{wheel,ads} = \frac{\dot{V}_{duct,ads}}{A_{wheel,ads}} \quad (2.59)$$

Untuk mencari nilai Pr, menggunakan rumus:

$$Pr = \frac{\mu_{ads} Cp}{k_{ads}} \quad (2.60)$$

Untuk mencari k_{ads} , menggunakan tabel thermal conductivity.

Keterangan

$Q_{conv,ads}$: Laju perpindahan kalor konveksi pada adsorpsi (W)

h_{ads} : Koefisien perpindahan kalor konveksi adsorpsi (W/m² K)

$A_{v ads}$: Luas perpindahan kalor adsorpsi (m²)

$T_{ads out}$: Temperatur udara keluar adsorpsi (K)

$T_{ads in}$: Temperatur udara masuk adsorpsi (K)

Nu : Bilangan nusselt

Re : Bilangan reynold

Pr : Bilangan prandtl

- ρ_{ads} : Massa jenis udara adsorpsi (kg/m^3)
- $v_{wheel,ads}$: Kecepatan udara di wheel adsorpsi (m/s)
- $Dh_{honeycomb}$: Diameter hidrolik honeycomb (m)
- μ_{ads} : Viskositas udara adsorpsi (Pa s)
- k_{ads} : Konduktivitas udara adsorpsi (W/mK)

b. *Heat transfer konveksi regenerasi di rotary wheel*

$$Q_{conv,reg} = h_{reg} \times A_{v reg} \times (T_{reg in} - T_{reg out}) \quad (2.61)$$

Untuk mencari h , menggunakan rumus:

$$h_{reg} = \frac{Nu \times k_{reg}}{Dh_{honeycomb}} \quad (2.62)$$

Untuk aliran laminar, nilai Nu menggunakan rumus:

$$Nu = 0,664 Re^{0,5} Pr^{0,33} \quad (2.63)$$

Untuk aliran turbulen, nilai Nu menggunakan rumus:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (2.64)$$

Untuk mencari nilai reynold, menggunakan rumus:

$$Re = \frac{\rho_{reg} \times v_{wheel,reg} \times Dh_{honeycomb}}{\mu_{reg}} \quad (2.65)$$

Untuk mencari $v_{wheel,reg}$ menggunakan rumus:

$$v_{wheel,reg} = \frac{\dot{V}_{duct,reg}}{A_{wheel,reg}} \quad (2.66)$$

Untuk mencari nilai Pr , menggunakan rumus:

$$Pr = \frac{\mu_{reg} Cp}{k_{reg}} \quad (2.67)$$

Untuk mencari k_{reg} , menggunakan tabel thermal conductivity.

Keterangan

$Q_{conv,reg}$	: Laju perpindahan kalor konveksi pada regenerasi (W)
h_{reg}	: Koefisien perpindahan kalor konveksi regenerasi (W/m ² K)
$A_{v reg}$	: Luas perpindahan kalor regenerasi (m ²)
$T_{reg out}$	: Temperatur udara keluar regenerasi (K)
$T_{reg in}$	: Temperatur udara masuk regenerasi(K)
Nu	: Bilangan nusselt
Re	: Bilangan reynold
$V_{wheel,ads}$	: Kecepatan udara di wheel regenerasi (m/s)
Pr	: Bilangan prandtl
ρ_{reg}	: Massa jenis udara reg (kg/m ³)
$Dh_{honeycomb}$	: Diameter hidrolik honeycomb (m)
μ_{reg}	: Viskositas udara reg (Pa s)
k_{reg}	: Konduktivitas udara reg (W/mK)

c. *Heat transfer* konduksi adsorpsi di rotary wheel

$$Q_{konduksi,ads} = k \times \frac{A (T_{ads in} - T_{ads out})}{b} \quad (2.68)$$

Untuk mencari A, kita menggunakan rumus:

$$A = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) \quad (2.69)$$

Keterangan

$Q_{kond,ads}$	: Laju perpindahan kalor (W)
k	: Konduktivitas termal silica gel (W/m K)

A : Luas perpindahan kalor adsorpsi (m²)

T_{ads out} : Temperatur udara keluar adsorpsi (K)

T_{ads in} : Temperatur udara masuk adsorpsi (K)

b : Ketebalan *Wheel*

d. *Heat transfer* konduksi regenerasi di *rotary wheel*

$$Q_{konduksi,reg} = k \times \frac{A (T_{reg in} - T_{reg out})}{L} \quad (2.70)$$

Untuk mencari A, kita menggunakan rumus:

$$A = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) \quad (2.71)$$

Keterangan

Q_{kond,ads} : Laju perpindahan kalor (W)

k : Konduktivitas termal silica gel (W/m K)

A : Luas perpindahan kalor regenerasi (m²)

T_{reg out} : Temperatur udara keluar regenerasi (K)

T_{reg in} : Temperatur udara masuk regenerasi (K)

b : Ketebalan *Wheel*

2.3 Material Desiccant White Silica Gel



Gambar 2. 5 *White silica gel*

(Sumber: PT. Damases Sejahtera)

White silica gel merupakan salah satu material *desiccant* berbasis silikon dioksida amorf (SiO_2) yang banyak diaplikasikan pada sistem *dehumidifier* karena memiliki kemampuan adsorpsi uap air yang tinggi. Bentuk fisik material ini ditunjukkan pada Gambar 2. 5. Secara umum, *white silica gel* berupa butiran kristal berwarna putih hingga bening dengan kandungan SiO_2 sekitar 98%. Selain memiliki sifat tidak beracun (*non-toxic*), material ini juga tidak bersifat korosif sehingga aman digunakan pada berbagai aplikasi dan tidak menimbulkan dampak yang merugikan bagi lingkungan. Efektivitas adsorpsinya didukung oleh struktur pori mikro dan meso yang menghasilkan luas permukaan spesifik sangat besar, sehingga molekul air dapat terikat dan tersimpan secara efisien melalui mekanisme adsorpsi fisik. Hraiech (2025) melaporkan bahwa *silica gel* memiliki luas permukaan spesifik sekitar 400–800 m^2/g dengan kapasitas adsorpsi sekitar 25% dari massa keringnya pada temperatur 25°C dan kelembapan relatif (RH) 50%. Nilai tersebut dapat meningkat hingga sekitar 40% ketika material dioperasikan pada kondisi kelembapan yang lebih tinggi.

Kemampuan adsorpsi *silica gel* dipengaruhi secara langsung oleh kondisi operasi selama proses dehumidifikasi berlangsung. Hraiech (2025) melaporkan bahwa penggunaan silica gel pada sistem dehumidifikasi mampu menurunkan *humidity ratio* sebesar 0,005–0,011 kg air/kg udara kering dengan efisiensi penyerapan yang melebihi 60%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa material ini memiliki kemampuan yang baik dalam mengurangi kandungan uap air pada aliran udara. Di sisi lain, penelitian Hasibuan dan Marbun (2018) menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran udara dapat memperbesar laju adsorpsi karena semakin banyak molekul uap air yang berinteraksi dengan permukaan adsorben. Sebaliknya, kenaikan temperatur udara cenderung mengurangi kapasitas adsorpsi *silica gel* akibat meningkatnya kecenderungan molekul air untuk terlepas dari permukaan material. Oleh karena itu, pengaturan temperatur dan laju aliran udara menjadi aspek penting dalam memperoleh performa dehumidifikasi yang optimal.

Selain memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi, *silica gel* juga mempunyai karakteristik regenerasi yang baik karena dapat dipulihkan pada temperatur yang relatif rendah, yaitu sekitar 50–120°C (Rambhad, 2023). Kondisi tersebut memungkinkan proses regenerasi memanfaatkan berbagai sumber energi berbiaya rendah, seperti *heater* listrik, panas buang dari proses industri, maupun energi surya. Kemampuan adsorpsi yang efektif, stabilitas kimia yang tinggi, kemudahan proses regenerasi, serta tingkat keamanan penggunaannya menjadikan *white silica gel* sebagai salah satu material *desiccant* yang paling banyak diaplikasikan pada sistem HVAC, *desiccant wheel dehumidifier*, penyimpanan produk elektronik, industri farmasi, industri makanan, dan berbagai sistem pengendalian kelembapan lainnya.

Spesifikasi *white silica gel* yang digunakan sebagai media *desiccant* pada

penelitian ini disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi *silica gel* putih

Parameter	Nilai
Jenis <i>desiccant</i>	<i>Silica gel</i> putih
Kandungan SiO ₂	99,0%
Ukuran partikel	2 – 5 mm
<i>Bulk density</i>	775 kg/m ³
Kapasitas adsorpsi RH 20%	11,0%
Kapasitas adsorpsi RH 50%	27,3%
Kapasitas adsorpsi RH 90%	36,6%

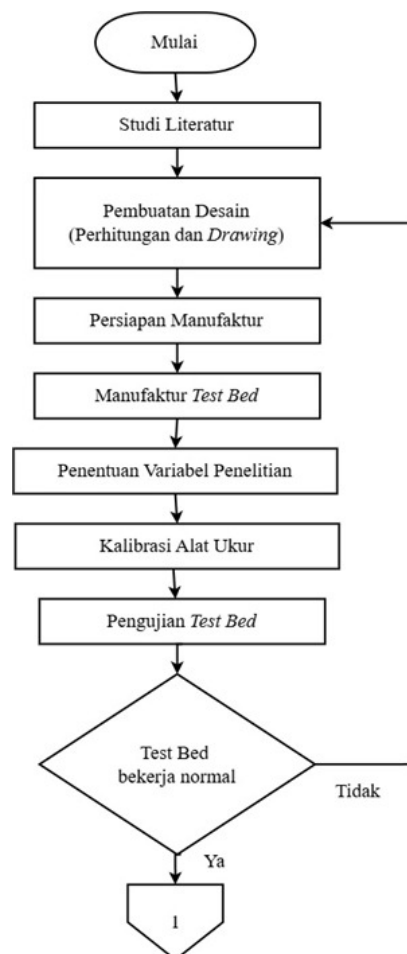
(Sumber: Dalian Haixin Chemical Co., Ltd., 2024)

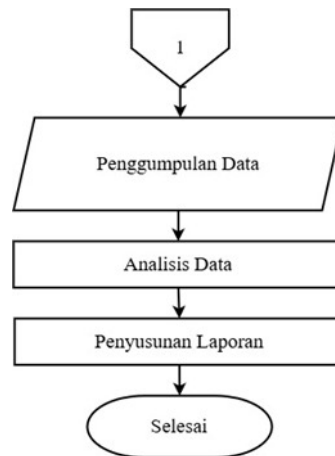
BAB III

PROSEDUR PELAKSANAAN PROYEK AKHIR

Pada metodologi disajikan diagram alir pelaksanaan proyek akhir dengan topik yang dibahas yaitu “Rancang Bangun *Test bed Dehumidifier*” Setiap proses yang dilakukan dalam pengerjaan proyek akhir ini dapat dijelaskan melalui diagram alir, yang dimana diagram alir ini sendiri berisi tentang langkah-langkah alur pembuatan proyek dari awal sampai akhir proyek.

3.1 Diagram Alir





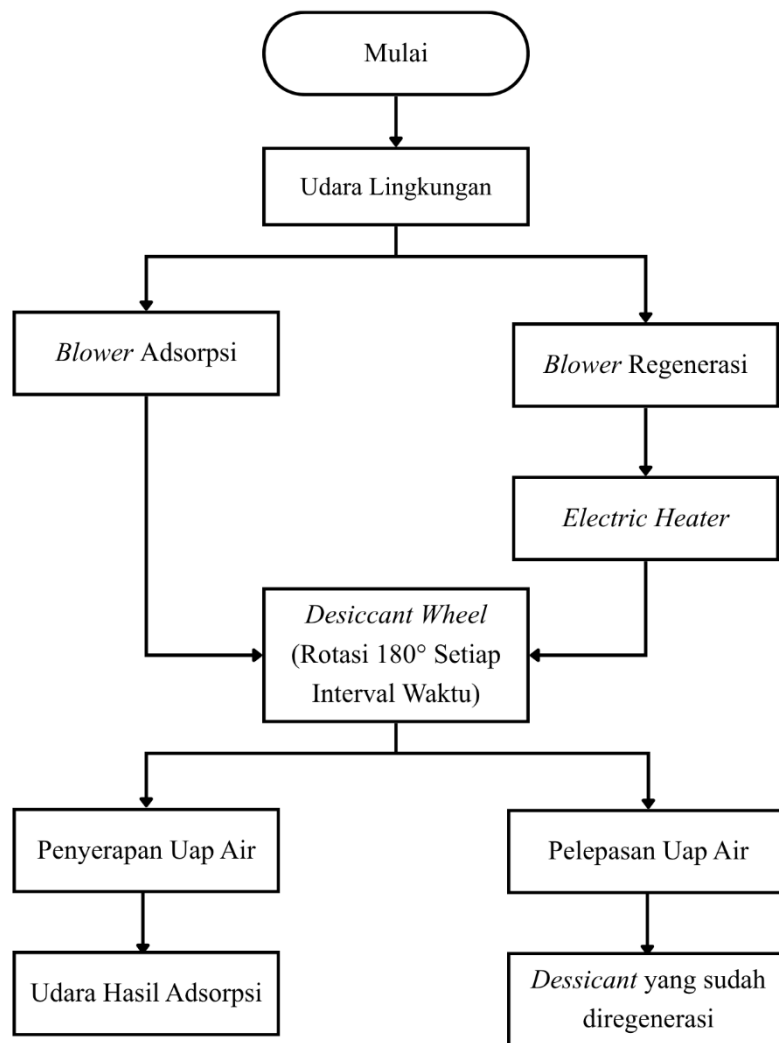
Gambar 3. 1 Diagram alir

Diagram alir pada Gambar 3. 1 dibuat untuk menggambarkan tahapan perancangan *test bed dehumidifier* dan alur penelitian secara sistematis. Diagram ini membantu menunjukkan urutan proses mulai dari perancangan, pengujian, hingga analisis data sehingga setiap tahap dapat dilakukan secara terarah. Dengan adanya diagram alir, proses penelitian menjadi lebih jelas, terstruktur, dan mudah dipahami.

3.2 Studi Literatur

Tahap awal penelitian diawali dengan pelaksanaan studi literatur sebagai landasan dalam perancangan *test bed dehumidifier*. Kegiatan ini bertujuan membangun pemahaman teoritis mengenai sistem dehumidifikasi berbasis *desiccant* yang menggunakan energi listrik sebagai sumber regenerasi, termasuk prinsip kerja dan karakteristik operasionalnya. Kajian dilakukan dengan menelaah berbagai referensi ilmiah yang kredibel, meliputi artikel jurnal, buku teks, serta hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian. Melalui studi tersebut diperoleh informasi mengenai komponen utama sistem, parameter-parameter yang

memengaruhi perancangan, aspek efisiensi energi, serta berbagai kendala teknis yang berpotensi muncul selama pengoperasian sistem. Seluruh informasi yang diperoleh kemudian dijadikan sebagai dasar dalam menyusun desain test bed yang sesuai dengan tujuan penelitian dan memenuhi kaidah teknis yang berlaku. Berdasarkan hasil kajian literatur tersebut, mekanisme kerja sistem dehumidifier berbasis desiccant yang diterapkan dalam penelitian ini disajikan melalui model proses pada Gambar 3. 2.



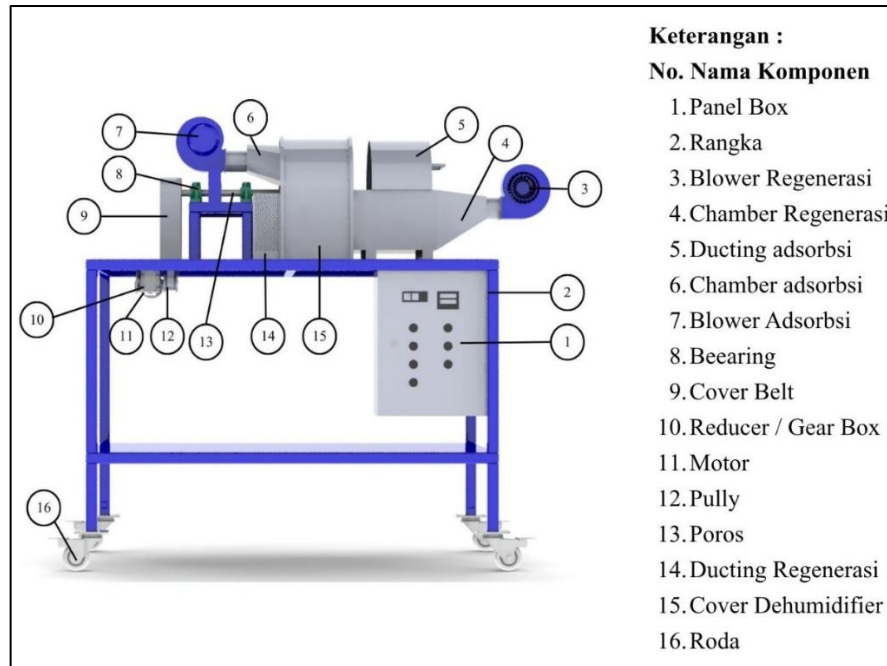
Gambar 3. 2 Model proses test bed dehumidifier

Pada Gambar 3. 2, udara lingkungan dibagi menjadi aliran adsorpsi dan aliran

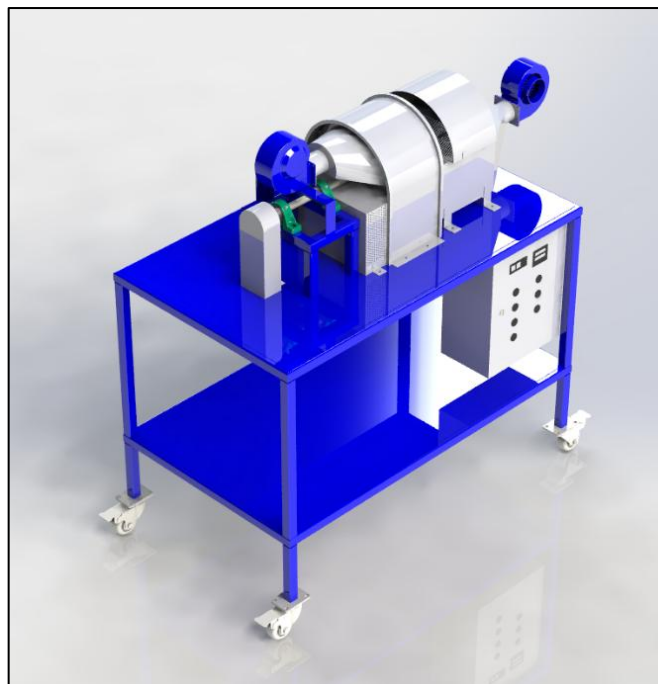
regenerasi. Pada sisi adsorpsi, udara dialirkan menuju *desiccant wheel* sehingga uap air diserap oleh *silica gel*. Pada sisi regenerasi, udara dipanaskan menggunakan *heater* sebelum dialirkan menuju *desiccant wheel* untuk melepaskan uap air yang telah terserap. *Desiccant wheel* berputar 180° pada interval waktu tertentu sehingga setiap bagian *desiccant* mengalami proses adsorpsi dan regenerasi secara bergantian.

3.3 Desain

Desain *test bed dehumidifier* yang akan dibangun mengacu pada berbagai referensi yang membahas prinsip kerja dan implementasi sistem *dehumidifier*. Perancangan *test bed dehumidifier* dilakukan dengan mempertimbangkan dua batasan utama, yaitu keterbatasan ruang pengujian dan ketersediaan daya listrik. Keterbatasan ruang menyebabkan dimensi *desiccant wheel* harus ditentukan terlebih dahulu sehingga menjadi dasar dalam perhitungan massa *desiccant*, kebutuhan aliran udara, serta pemilihan komponen penggerak. Dalam proses pembuatan desain *test bed dehumidifier*, terdiri dari beberapa bagian yaitu, rangka, *desiccant wheel*, *heater*, *ducting*, dan *chamber* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 3 dan Gambar 3. 4.



Gambar 3. 3 Tampak depan desain



Gambar 3. 4 Tampak isometrik

Komponen utama *test bed dehumidifier* yang menjadi bagian penting dalam

sistem ditunjukkan pada Gambar 3. 5 berikut.



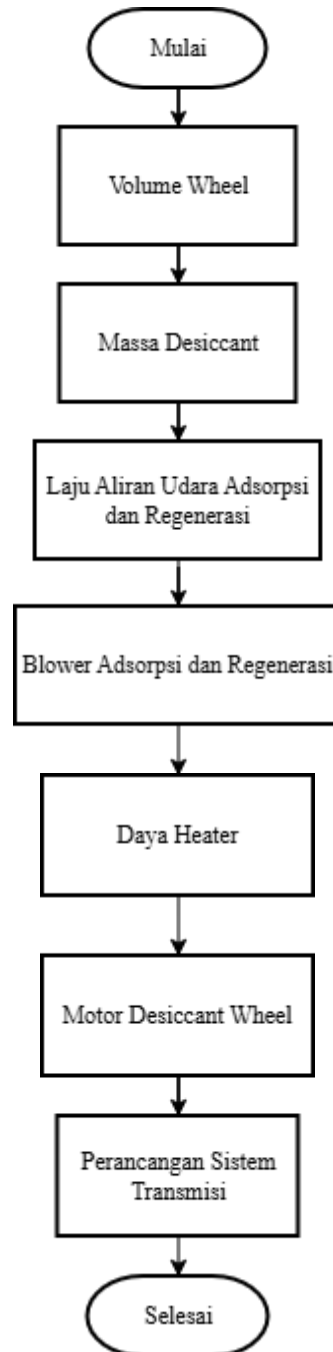
Gambar 3. 5 *Desiccant rotary wheel*

Desiccant rotary wheel merupakan komponen utama pada *test bed dehumidifier* yang berfungsi menyerap uap air dari udara menggunakan material adsorben berupa *silica gel*. Pada penelitian ini, *desiccant rotary wheel* diputar setiap interval waktu tertentu sesuai dengan variasi penelitian sehingga setiap bagian adsorben secara bergantian mengalami proses adsorpsi dan regenerasi. Mekanisme tersebut memungkinkan kemampuan adsorpsi *silica gel* tetap terjaga selama proses dehumidifikasi berlangsung.

3.4 Kalkulasi Desain

Pada tahap perancangan alat, dilakukan kalkulasi desain untuk menentukan ukuran (*sizing*) komponen utama dan parameter operasi yang diperlukan. Perhitungan ini bertujuan untuk memastikan sistem dehumidifikasi yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan penelitian. Hasil perhitungan digunakan sebagai dasar dalam

menentukan spesifikasi komponen serta sebagai acuan dalam proses fabrikasi dan pengujian alat.

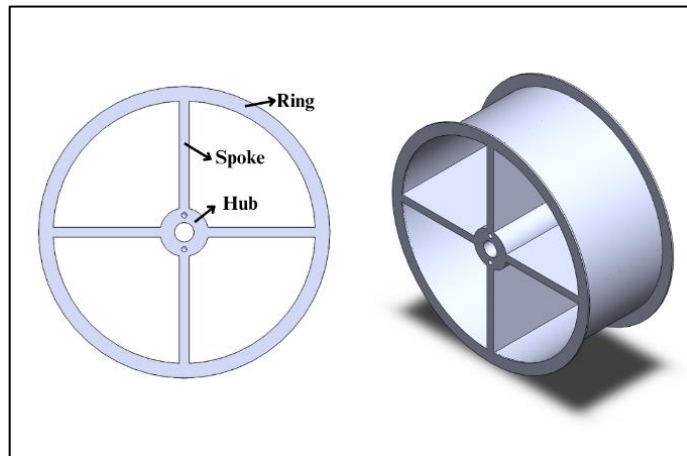


Gambar 3. 6 Diagram alir kalkulasi sizing

Diagram alir pada Gambar 3. 6 dibuat untuk menggambarkan tahapan perhitungan yang digunakan dalam pengolahan dan analisis data penelitian secara sistematis. Dengan adanya diagram alir kalkulasi, setiap tahapan perhitungan menjadi lebih jelas, terstruktur, serta memudahkan proses analisis dan verifikasi hasil penelitian.

3.4.1 Volume *wheel*

Volume total *wheel* dihitung sebagai penjumlahan volume setiap bagian penyusunnya, yaitu *ring wheel*, *hub*, dan *spoke*. Untuk komponen *wheel* ditunjukkan pada Gambar 3. 7.



Gambar 3. 7 Komponen *wheel*

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.1) hingga Persamaan (2.4).

$$V_{wheel} = V_{ring} + V_{hub} + V_{spoke}$$

a. Volume *ring wheel*

$$V_{ring} = \pi \times R_{ring}^2 \times b$$

Diketahui :

π : 3,14

Ri_{ring} : 0,135 m

b : 0,13 m

$$\begin{aligned} V_{ring} &= 3,14 \times (0,135 \text{ m})^2 \times 0,13 \text{ m} \\ &= 0,007439 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Volume hub

$$V_{hub} = \frac{\pi}{4} \times (Do_{hub}^2 - Di_{hub}^2) \times b$$

Diketahui :

π : 3,14

Do_{hub} : 0,05 m

Di_{hub} : 0,02 m

b : 0,13 m

$$\begin{aligned} V_{hub} &= \frac{\pi}{4} \times ((0,05 \text{ m})^2 - (0,02 \text{ m})^2) \times 0,13 \text{ m} \\ &= 0,0002143 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

c. Volume spoke

$$V_{spoke} = l \times t \times b$$

Diketahui :

l : 0,1175 m

t : 0,015 m

b : 0,13 m

$$V_{spoke} = 0,1175 \text{ m} \times 0,015 \text{ m} \times 0,13 \text{ m}$$

$$= 0,0002291 \text{ m}^3$$

Karena ada 4 spoke, maka :

$$V_{spoke} = 4 \times 0,0002291 \text{ m}^3 = 0,0009165 \text{ m}^3$$

Maka, volume dari *wheel* adalah

$$V_{wheel} = V_{ring} + V_{hub} + V_{spoke}$$

$$= 0,007439 \text{ m}^3 + 0,0002143 \text{ m}^3 + 0,0009165 \text{ m}^3$$

$$= 0,0063 \text{ m}^3$$

3.4.2 Massa *desiccant*

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.5).

$$m_{des} = V_{wheel} \times \rho_{bulk}$$

Diketahui :

$$V_{wheel} : 0,0063 \text{ m}^3$$

$$\rho_{bulk} : 775 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Sehingga,

$$m_{des} = 0,0063 \text{ m}^3 \times 775 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 4,8824 \text{ kg}$$

3.4.3 Laju aliran volume pada sisi adsorpsi

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.6).

$$\dot{V}_{ads} = v_{ads} \times A_{ads}$$

Diketahui :

$$V_{ads} : 10,7 \frac{m}{s}$$

$$\pi : 3,14$$

$$r_{duct ads} : 0,134 \text{ m}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\dot{V}_{ads} &= v_{ads} \times \frac{1}{2} \pi r_{duct ads}^2 \\ &= 10,7 \frac{m}{s} \times \frac{1}{2} (3,14) (0,134 \text{ m})^2 = 0,301 \frac{m^3}{s}\end{aligned}$$

3.4.4 Laju aliran massa adsorpsi

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.7).

$$\dot{m}_{ads} = \dot{V}_{ads} \times \rho_{ads}$$

Diketahui :

$$\dot{V}_{ads} : 0,262 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{ads} : 1,138 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\dot{m}_{ads} &= 0,301 \frac{m^3}{s} \times 1,138 \frac{kg}{m^3} \\ &= 0,34326 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

3.4.5 Laju aliran volume pada sisi regenerasi

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.8).

$$\dot{V}_{reg} = v_{reg} \times A_{reg}$$

Diketahui :

$$v_{reg} : 12 \frac{m}{s}$$

$$\pi : 3,14$$

$$d : 0,0508 \text{ m}$$

Sehingga,

$$\dot{V}_{reg} = v_{reg} \times \frac{\pi \times d^2}{4} = 12 \frac{m}{s} \times \frac{3,14 \times (0,0508 \text{ m})^2}{4} = 0,024 \frac{m^3}{s}$$

3.4.6 Laju aliran massa regenerasi

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.9).

$$\dot{m}_{reg} = \dot{V}_{reg} \times \rho_{reg}$$

Diketahui :

$$\dot{V}_{reg} : 0,024 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{reg} : 1,118 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \dot{m}_{reg} &= 0,024 \frac{m^3}{s} \times 1,118 \frac{kg}{m^3} \\ &= 0,0271 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

3.4.7 Daya wheel

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.10) hingga Persamaan (2.17).

$$W_{wheel} = \tau \times \theta_2$$

a. Putaran

$$n = \frac{60}{t}$$

Diketahui :

t : 4

$$n = \frac{60}{4} = 15 \text{ rpm}$$

b. Kecepatan sudut

$$\theta = \frac{2\pi n}{60}$$

Diketahui :

π : 3,14

n : 15 rpm

$$\theta = \frac{2 \times 3,14 \times 15 \text{ rpm}}{60} = 1,57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

c. Percepatan sudut *wheel*

$$\alpha = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{t}$$

Diketahui :

θ_2 : $1,57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

θ_1 : 0

$$\alpha = \frac{\left(1,57 \frac{\text{rad}}{\text{s}} - 0 \right)}{4 \text{ s}} = 0,3925 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

d. Momen inersia

$$I_{\text{total}} = I_{\text{wheel}} + I_{\text{desiccant}}$$

Diketahui :

$$m_{wheel} : 10 \text{ kg}$$

$$m_{desiccant} : 4,882 \text{ kg}$$

$$R_{o_{ring}} : 0,15 \text{ m}$$

$$R_{i_{ring}} : 0,135 \text{ m}$$

Momen inersia *wheel*:

$$\begin{aligned} I_{wheel} &= \frac{1}{2} m_{wheel} \times (R_{o_{ring}}^2 + R_{i_{ring}}^2) \\ &= \frac{1}{2} 10 \text{ kg} \times \{(0,15 \text{ m})^2 + (0,135 \text{ m})^2\} \\ &= 0,2036 \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia *desiccant*:

$$\begin{aligned} I_{desiccant} &= \frac{1}{2} m_{desiccant} \times (R_{i_{ring}}^2) \\ &= \frac{1}{2} (4,882 \text{ kg}) \times (0,135 \text{ m})^2 \\ &= 0,04448 \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

Maka momen inersia total *rotary* adalah

$$\begin{aligned} I_{total} &= I_{wheel} + I_{desiccant} \\ &= (0,2036 + 0,04448) \text{ kg m}^2 \\ &= 0,248 \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

e. Torsi

$$\tau = I_{total} \times \alpha$$

Diketahui :

$$I_{\text{total}} : 0,248 \text{ kg m}^2$$

$$\alpha : 0,3925 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$\tau = I \times \alpha = 0,248 \text{ kg m}^2 \times 0,3925 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 0,09734 \frac{\text{kg m}^2 \text{rad}}{\text{s}^2}$$

Tambahkan faktor keamanan

Diketahui :

$$\text{SF} : 2,5$$

$$\tau_{\text{aktual}} : 0,09734 \frac{\text{kg m}^2 \text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$\tau_{\text{design}} = \text{SF} \times \tau_{\text{aktual}}$$

$$\tau_{\text{design}} = 2,5 \times 0,09734 \frac{\text{kg m}^2 \text{rad}}{\text{s}^2} = 0,24335 \frac{\text{kg m}^2 \text{rad}}{\text{s}^2} = 0,24335 \text{ N m}$$

maka Daya nya adalah

Diketahui :

$$\tau_{\text{design}} : 0,24335 \text{ N m}$$

$$\theta_2 : 1,57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$W_{\text{wheel}} = \tau_{\text{design}} \times \theta_2 = 0,24335 \text{ N m} \times 1,57 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 0,3820 \text{ Watt}$$

3.4.8 Daya blower

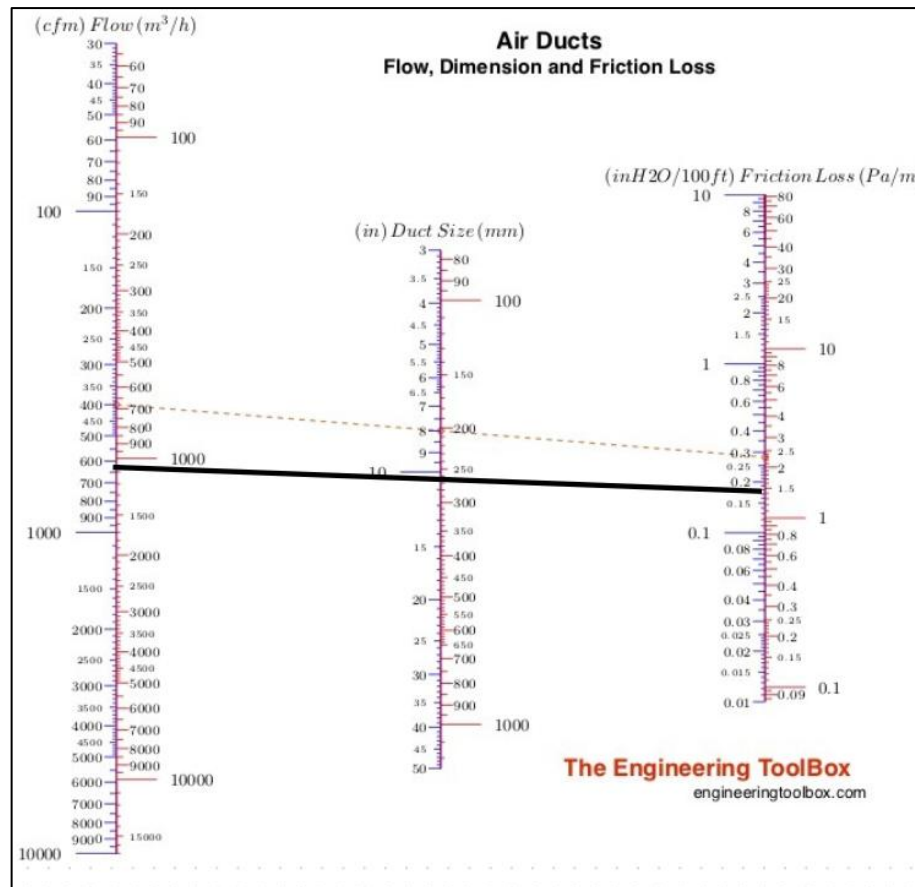
4.4.1 Adsorpsi

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.18) hingga Persamaan (2.27).

$$W_{\text{blow}_{\text{ads}}} = \dot{V}_{\text{ads}} \times \frac{\Delta P_{\text{a}_{\text{ads}}}}{\epsilon_{\text{ads}}}$$

a. *Pressure drop ducting adsorpsi*

$$Pa_{duct_{ads}} = Friction\ loss_{ads} \times L_{ads}$$



Gambar 3. 8 Diagram *air duct friction loss* adsorpsi
(Sumber: The Engineering ToolBox, n.d.)

Berdasarkan Gambar 3. 8 didapat *friction loss* sebesar 1,5 Pa/m

Maka, $Pa_{duct_{ads}}$

$$Pa_{duct_{ads}} = Friction\ loss_{ads} \times L_{ads} = 1,5 \frac{Pa}{m} \times 0,51\ m = 0,765\ Pa$$

b. Pressure drop pada wheel

$$Pa_{wheel_{ads}} = \frac{2f \times \rho_{ads} \times v_{ads}^2 \times b}{Dh_{ads}} + \frac{Ko \times \rho_{ads} \times v_{ads}^2}{2}$$

Dapat dihitung,

$$\mu_{\text{ads}} = \mu_0 \left(\frac{T_{\text{ads in}}}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{T_0 + C}{T_{\text{ads in}} + C} \right)$$

Diketahui :

$$\mu_0 : 18,27 \times 10^{-6} \text{ Pa s}$$

$$T_{\text{ads in}} : 306,13 \text{ K}$$

$$T_0 : 291,15 \text{ K}$$

$$C : 120 \text{ K}$$

$$\mu_{\text{ads}} = 18,27 \times 10^{-6} \text{ Pa s} \left(\frac{306,13 \text{ K}}{291,15 \text{ K}} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{291,15 \text{ K} + 120 \text{ K}}{306,13 \text{ K} + 120 \text{ K}} \right) = 1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$$

Maka Dh menggunakan Persamaan (2.24)

Diketahui :

$$\pi : 3,14$$

$$r : 0,134 \text{ m}$$

$$D_h = \frac{4A_{\text{ads}}}{P_{\text{ads}}} = 4 \frac{\left(\frac{1}{2} \pi r^2 \right)}{\pi r} = 4 \frac{\frac{1}{2} (3,14)(0,134 \text{ m})^2}{3,14 \times 0,134 \text{ m}} = 0,268 \text{ m}$$

Maka Re menggunakan Persamaan (2.23)

Diketahui :

$$\rho_{\text{ads}} : 1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_{\text{ads}} : 10,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_{h_{\text{ads}}} : 0,268 \text{ m}$$

$$\mu_{\text{ads}} : 1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$$

$$Re = \frac{1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 10,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,268 \text{ m}}{1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s}} = 171.754,147$$

Maka f menggunakan Persamaan (2.22)

$$f = \frac{13}{Re} = \frac{13}{171.754,14} = 7,56 \times 10^{-5}$$

Maka $Pa_{wheel_{ads}}$ menggunakan Persamaan (2.21)

$$\begin{aligned} Pa_{wheel_{ads}} &= \frac{2f \times \rho_{ads} \times v_{ads}^2 \times b}{Dh_{ads}} + \frac{Ko \times \rho_{ads} \times v_{ads}^2}{2} \\ &= \frac{2(7,56 \times 10^{-5}) \times 1,138 \frac{kg}{m^3} \times (10,7 m)^2 \times 0,13 m}{0,268 m} + \frac{0,5 \times 1,138 \frac{kg}{m^3} \times (10,7 m)^2}{2} \\ &= 32,59 Pa \end{aligned}$$

c. Total pressure drop adsorpsi

ΔPa_{ads} menggunakan Persamaan (2.19)

$$\Delta Pa_{ads} = Pa_{duct_{ads}} + Pa_{wheel_{ads}} = 0,765 Pa + 32,59 Pa = 33,355 Pa$$

Jadi daya *blower* adsorpsi adalah

$$W_{blow_{ads}} = 0,301 \frac{m^3}{s} \times \frac{33,355 Pa}{0,85} = 11,81 \frac{J}{s} = 11,81 watt$$

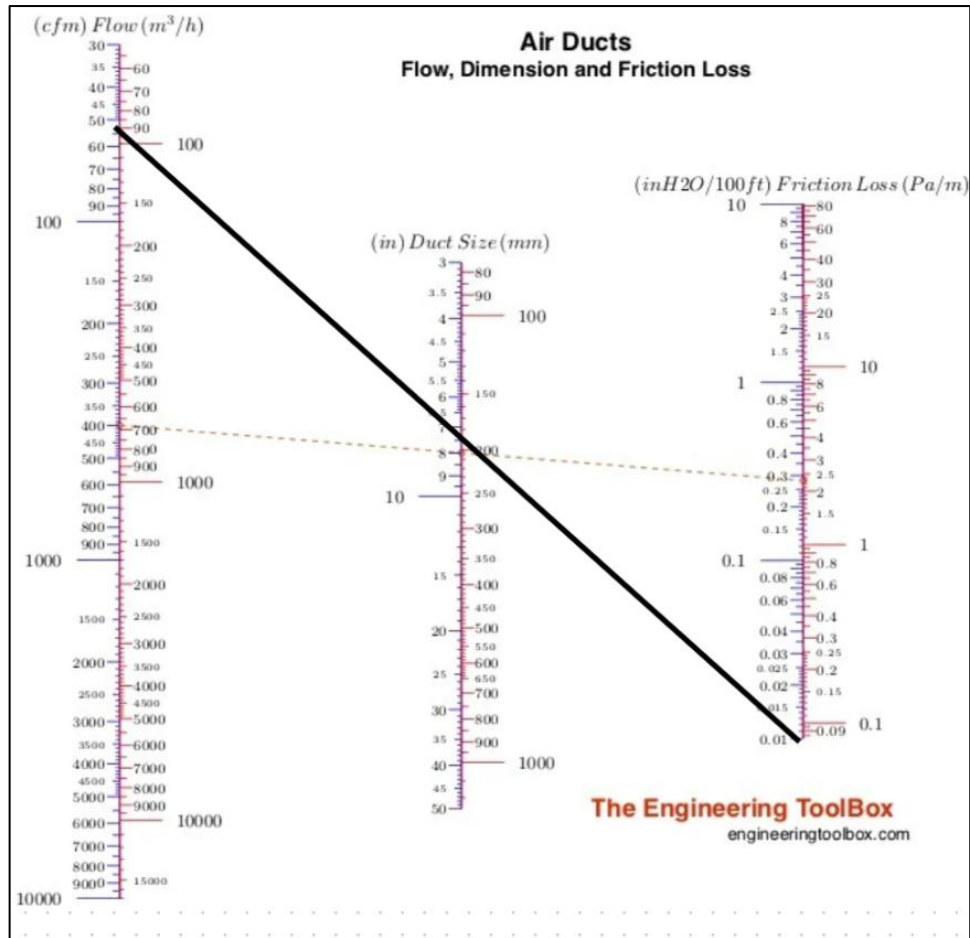
4.4.2 Regenerasi

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.28) hingga Persamaan (2.41).

$$W_{blow_{reg}} = \dot{V}_{reg} \times \frac{\Delta Pa_{reg}}{\epsilon_{reg}}$$

a. Pressure drop ducting regenerasi

$$Pa_{duct_{reg}} = Friction loss_{reg} \times L_{reg}$$



Gambar 3. 9 Diagram *air duct friction loss* regenerasi
(Sumber: The Engineering ToolBox, n.d.)

Berdasarkan Gambar 3. 9 didapat *friction loss* sebesar 0,08 Pa/m

Maka, $Pa_{duct_{reg}}$

$$Pa_{duct_{ads}} = Friction\ loss_{reg} \times L_{reg} = 0,08 \frac{Pa}{m} \times 0,72\ m = 0,0576\ Pa$$

b. Pressure drop pada wheel

$$Pa_{wheel_{reg}} = \frac{2f \times \rho \times v^2 \times b}{Dh} + \frac{K_o \times \rho \times v^2}{2}$$

Dapat dihitung,

$$\mu_{reg} = \mu_o \left(\frac{T_{reg\ in}}{T_o} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{T_o + C}{T_{reg\ in} + C} \right)$$

Maka,

Diketahui :

$$\mu_o : 18,27 \times 10^{-6} \text{ Pa s}$$

$$T_{\text{reg in}} : 343,21 \text{ K}$$

$$T_o : 291,15 \text{ K}$$

$$C : 120 \text{ K}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{reg}} &= 18,27 \times 10^{-6} \text{ Pa s} \left(\frac{343,21 \text{ K}}{291,15 \text{ K}} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{291,15 \text{ K} + 120 \text{ K}}{343,21 \text{ K} + 120 \text{ K}} \right) \\ &= 2,075 \times 10^{-5} \text{ Pa s}\end{aligned}$$

Maka Dh menggunakan Persamaan (2.34)

Diketahui :

$$a : 0,165 \text{ m}$$

$$b : 0,265 \text{ m}$$

$$D_h = \frac{2ah}{a+h} = \frac{2 (0,165 \text{ m} \times 0,265 \text{ m})}{(0,165 + 0,265) \text{ m}} = 0,203 \text{ m}$$

Maka Re menggunakan Persamaan (2.33)

Diketahui :

$$\rho : 1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v : 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_h : 0,203 \text{ m}$$

$$\mu : 2,075 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$$

$$Re = \frac{1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,203 \text{ m}}{2,075 \times 10^{-5} \text{ Pa s}} = 133.250,50$$

Maka f menggunakan Persamaan (2.32)

$$f = \frac{13}{Re} = \frac{13}{133.250,50} = 9,9 \times 10^{-5}$$

Maka $Pa_{wheel_{reg}}$ menggunakan Persamaan (2.31)

$$\begin{aligned} Pa_{wheel_{reg}} &= \frac{2f \times \rho \times v^2 \times b}{Dh} + \frac{K_o \times \rho \times v^2}{2} \\ &= \frac{2(9,9 \times 10^{-5}) \times 1,118 \frac{kg}{m^3} \times (12 \text{ m})^2 \times 0,13 \text{ m}}{0,203 \text{ m}} \\ &\quad + \frac{0,5 \times 1,118 \frac{kg}{m^3} \times (12 \text{ m})^2}{2} \\ &= 40,26 \text{ Pa} \end{aligned}$$

c. Pressure drop heater

$$Pa_{heater} = \frac{f \times L_{heater} \times \rho_{reg} \times v_{reg}^2}{2 Dh_{reg}} + \frac{k \times \rho_{reg} \times v_{reg}^2}{2}$$

Dapat dihitung,

$$\mu_{reg} = \mu_o \left(\frac{T_{reg \text{ in}}}{T_o} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{T_o + C}{T_{reg \text{ in}} + C} \right)$$

Diketahui :

$$\mu_o : 18,27 \times 10^{-6} \text{ Pa s}$$

$$T_{reg \text{ in}} : 306,13 \text{ K}$$

$$T_o : 291,15 \text{ K}$$

$$C : 120 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \mu_{reg} &= 18,27 \times 10^{-6} \text{ Pa s} \left(\frac{306,13 \text{ K}}{291,15 \text{ K}} \right)^{\frac{3}{2}} \times \left(\frac{291,15 \text{ K} + 120 \text{ K}}{306,13 \text{ K} + 120 \text{ K}} \right) \\ &= 1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s} \end{aligned}$$

Maka Re menggunakan Persamaan (2.38)

Diketahui :

$$\rho_{\text{reg}} : 1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_{\text{reg}} : 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Dh_{\text{reg}} : 0,203 \text{ m}$$

$$\mu_{\text{reg}} : 1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$$

$$Re = \frac{\rho_{\text{reg}} \times v_{\text{reg}} \times Dh_{\text{reg}}}{\mu_{\text{reg}}} = \frac{1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,203 \text{ m}}{1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s}} = 143.339,368$$

Maka f menggunakan Persamaan (2.37)

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1,5 \times 10^{-6}}{3,7} + \frac{5,74}{145.162,1^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$= 0,0158$$

Maka k menggunakan Persamaan (2.41)

$$k = f \times N = 0,0158 \times 2 = 0,0316$$

Maka Pa_{heater}

$$Pa_{\text{heater}} = \frac{f \times L_{\text{heater}} \times \rho_{\text{reg}} \times v_{\text{reg}}^2}{2 Dh_{\text{reg}}} + \frac{k \times \rho_{\text{reg}} \times v_{\text{reg}}^2}{2}$$

$$= \frac{0,0158 \times 0,24 \text{ m} \times 1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (12 \text{ m})^2}{2 (0,203 \text{ m})} + \frac{0,0316 \times 1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (12 \text{ m})^2}{2}$$

$$= 4,156 \text{ Pa}$$

d. Total pressure drop pada regenerasi

Maka ΔPa_{reg}

$$\Delta Pa_{\text{reg}} = Pa_{\text{duct}_{\text{reg}}} + Pa_{\text{wheel}_{\text{reg}}} + Pa_{\text{heater}}$$

$$= (0,0576 + 40,26 + 4,156) \text{ Pa}$$

$$= 44,47 \text{ Pa}$$

Jadi daya *blower* regenerasi adalah

$$\begin{aligned}W_{\text{blow}_{\text{reg}}} &= 0,02424 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{44,47 \text{ Pa}}{0,85} \\&= 1,268 \frac{\text{J}}{\text{s}} \\&= 1,268 \text{ Watt}\end{aligned}$$

3.4.9 Diameter sproket

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.42) hingga Persamaan (2.43).

e. Diameter sproket *input*

$$D_{\text{input}} = \frac{Z_{\text{input}} \times p}{\pi}$$

Diketahui :

Z_{input} : 20

P : 5 mm

$$\begin{aligned}D_{\text{input}} &= \frac{20 \times 5}{3,14} \\&= 31,84 \text{ mm}\end{aligned}$$

f. Diameter sproket *output*

$$D_{\text{output}} = \frac{Z_{\text{output}} \times p}{\pi}$$

Diketahui :

Z_{output} : 45

P : 5 mm

$$D_{\text{output}} = \frac{45 \times 5}{3,14}$$

$$= 71,65 \text{ mm}$$

3.4.10 Panjang *timing belt*

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan (2.44).

$$L_{belt} = 2C_{sproket} + \frac{\pi}{2}(D_{output} + D_{input}) + \frac{(D_{output} - D_{input})^2}{4C}$$

Diketahui :

$C_{sproket}$: 330 mm

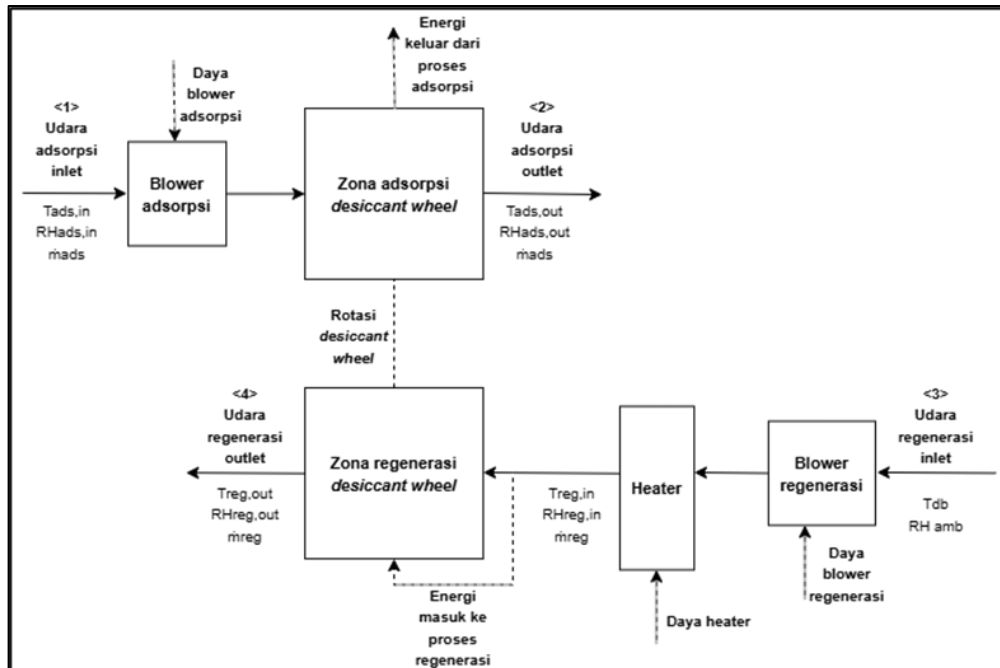
D_{output} : 71,65 mm

D_{input} : 31,84 mm

$$\begin{aligned} L &= 2 (330 \text{ mm}) + \frac{\pi}{2} (71,65 + 31,84 \text{ mm}) + \frac{(71,65 \text{ mm} - 31,84 \text{ mm})^2}{4 (330 \text{ mm})} \\ &= 823,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.4.11 Neraca energi sistem *dehumidifier*

Analisis neraca energi digunakan untuk mengkaji distribusi dan interaksi energi pada sistem *dehumidifier* berbasis *rotating desiccant wheel* seperti yang tertera pada Gambar 3. 10. Pendekatan ini difokuskan pada identifikasi sumber energi masuk, energi yang dimanfaatkan dalam proses adsorpsi dan regenerasi, serta energi yang dilepaskan ke lingkungan. Analisis dilakukan pada kondisi tunak dengan mengabaikan perubahan energi kinetik dan energi potensial.



Gambar 3. 10 Neraca energi sistem *dehumidifier*

Pada jalur udara adsorpsi, neraca energi mencakup kontribusi energi akibat kerja *blower* dan *heat* adsorpsi yang terjadi pada media *desiccant*. *Heat* adsorpsi timbul sebagai akibat dari interaksi antara uap air dan material *desiccant*, yang menyebabkan peningkatan energi internal media serta perubahan kondisi termal udara keluaran. Energi ini menjadi salah satu komponen utama dalam analisis performa dehumidifikasi.

Pada jalur udara regenerasi, neraca energi mencakup energi listrik yang disuplai oleh kerja *blower* dan *heater* regenerasi. Energi dari *heater* berperan sebagai sumber panas utama untuk meningkatkan temperatur udara regenerasi sehingga memungkinkan terjadinya pelepasan uap air dari media *desiccant*. Udara keluaran dari zona regenerasi membawa energi dalam bentuk kalor sensibel dan laten yang kemudian dilepas ke lingkungan.

Neraca energi pada *desiccant wheel* merepresentasikan keseimbangan antara uap air yang diserap selama proses adsorpsi dan panas yang dilepaskan selama proses regenerasi. Keseimbangan energi ini menjadi dasar dalam evaluasi kebutuhan energi regenerasi serta efisiensi termal sistem secara keseluruhan. Hasil analisis neraca energi digunakan sebagai landasan perhitungan kinerja energi *test bed dehumidifier* pada tahap pengujian dan pembahasan hasil.

3.5 Alat dan Bahan

Dalam penelitian rancang bangun *test bed dehumidifier* berbasis *desiccant*, diperlukan sejumlah alat dan bahan untuk mendukung proses perakitan sistem serta pelaksanaan pengujian kinerja. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini disajikan sebagai berikut.

3.5.1 Alat

Alat yang digunakan dalam rancang bangun *test bed dehumidifier* berbasis *desiccant* meliputi peralatan kerja dan instrumen pengukuran yang mendukung proses perakitan, pengujian, dan analisis sistem. Pemilihan alat mempertimbangkan aspek keselamatan, kemudahan pengoperasian, serta keakuratan pengukuran parameter seperti temperatur, kelembapan, dan laju aliran udara agar proses pengujian dapat dilakukan secara optimal.

1. *Desiccant rotary wheel*

Desiccant rotary wheel merupakan komponen utama pada *test bed dehumidifier* yang berfungsi menyerap uap air dari udara menggunakan material adsorben berupa *silica gel*, ditunjukkan pada Gambar 3. 11.

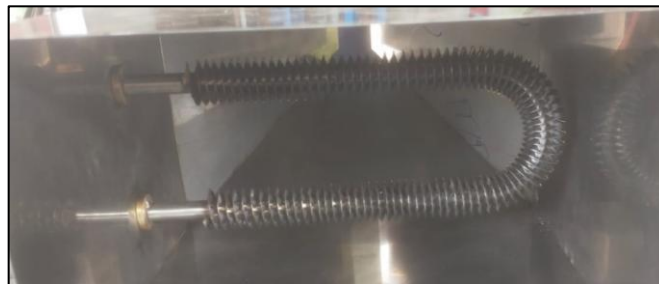


Gambar 3. 11 *Desiccant rotary wheel*

Pada penelitian ini, *desiccant rotary wheel* diputar setiap interval waktu tertentu sesuai dengan variasi penelitian sehingga setiap bagian adsorben secara bergantian mengalami proses adsorpsi dan regenerasi. Mekanisme tersebut memungkinkan kemampuan adsorpsi *silica gel* tetap terjaga selama proses dehumidifikasi berlangsung.

2. *Electric heater*

Heater merupakan komponen pemanas yang berfungsi menaikkan temperatur udara regenerasi sebelum dialirkan ke *desiccant*.



Gambar 3. 12 *Heater*

Udara panas tersebut digunakan untuk melepaskan uap air yang terserap pada *desiccant* sehingga material dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 12.

3. Motor listrik

Motor listrik merupakan komponen penggerak yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk mendukung kerja sistem, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 13.



Gambar 3. 13 Motor listrik

Pada penelitian ini digunakan motor listrik 3 fasa karena memiliki efisiensi tinggi, putaran stabil, dan torsi yang besar sehingga sesuai untuk mengoperasikan sistem *dehumidifier desiccant*.

4. Inverter (*Variable Frequency Drive/VFD*)

Inverter adalah perangkat elektronika daya yang digunakan untuk mengatur kecepatan dan daya kerja motor listrik melalui pengendalian frekuensi dan tegangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 14.



Gambar 3. 14 Inverter

Pada *test bed dehumidifier* berbasis *desiccant*, inverter digunakan untuk mengendalikan putaran motor *desiccant wheel* sehingga laju aliran udara dapat diatur sesuai kebutuhan pengujian.

5. *Blower*

Blower berfungsi mengalirkan udara adsorpsi menuju *desiccant wheel* serta mengalirkan udara panas pada sisi regenerasi sehingga proses dehumidifikasi dapat berlangsung dengan baik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 15.



Gambar 3. 15 *Blower*

Blower yang digunakan memiliki kecepatan putar 3000/3600 RPM dan arus kerja

1,0 A untuk menghasilkan aliran udara yang stabil selama pengujian.

6. *Dimmer*

Dimmer merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur daya listrik yang disuplai ke motor blower.

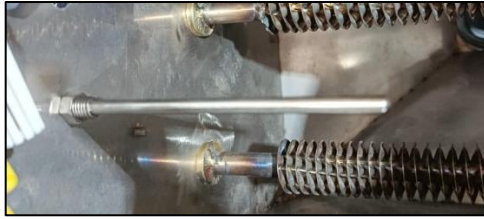


Gambar 3. 16 *Dimmer*

Dimmer pada *blower* berfungsi sebagai pengatur daya listrik yang masuk ke motor *blower*, sehingga kecepatan putaran *blower* dapat diatur sesuai kebutuhan aliran udara, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 16.

7. *Thermocouple*

Fungsi utama termokopel (*thermocouple*) adalah sebagai sensor suhu yang mengubah perbedaan suhu pada dua ujung logam konduktor menjadi tenaga atau tegangan listrik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 17.



Gambar 3. 17 *Thermocouple*

Pada penelitian ini, termokopel digunakan untuk mengukur temperatur pada beberapa titik pengujian. Data temperatur yang diperoleh digunakan untuk menganalisis kinerja sistem *dehumidifier* selama proses pengujian.

8. Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan untuk mengukur arah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

18 .

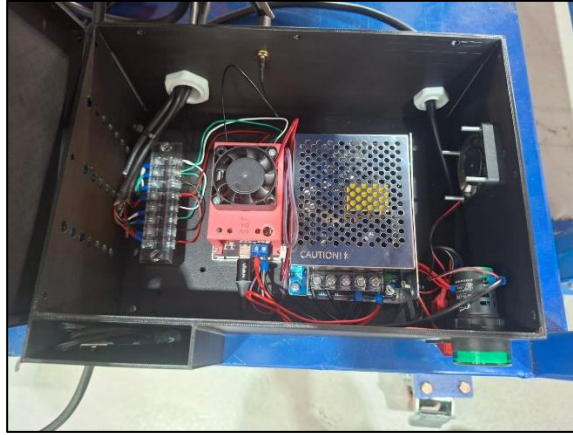


Gambar 3. 18 Anemometer

Alat ini juga harus diletakkan di tempat yang terbuka, pada saat tertiup angin baling-baling akan bergerak dengan mengikuti arah anginnya. Jika, anginnya tertiup dengan cepat maka, kecepatannya dapat diketahui.

9. *Data Logger*

Data logger adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur, merekam, dan menyimpan data dari berbagai sensor secara otomatis selama periode waktu tertentu.



Gambar 3. 19 *Data logger*

Pada penelitian ini, *data logger* digunakan untuk mencatat parameter pengujian seperti suhu dan kelembapan udara secara kontinu sehingga data dapat dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem *dehumidifier*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 19.

10. Timbangan Digital

Timbangan digital adalah alat ukur yang digunakan untuk menentukan massa *silica gel* secara akurat dengan menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk digital, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 20.



Gambar 3. 20 Timbangan digital

Pada penelitian ini, timbangan digital digunakan untuk mengukur massa *silica gel* sebelum dan sesudah proses pengujian guna mengetahui perubahan massa akibat adsorpsi dan regenerasi uap air.

3.5.2 Bahan

Bahan yang digunakan merupakan komponen utama dan pendukung dalam penyusunan sistem *test bed dehumidifier* berbasis *desiccant*. Pemilihan bahan dilakukan dengan mempertimbangkan fungsi, efisiensi energi, ketahanan, serta kesesuaian terhadap kebutuhan sistem sehingga mampu mendukung performa *dehumidifier* secara optimal selama proses pengujian dan analisis.



Gambar 3. 21 *Silica gel* putih

Silica gel adalah sebuah bentuk pemurnian mineral alami yang diolah menjadi butiran bulat kecil atau manik-manik yang memiliki ukuran pori sekitar 2 - 4 milimeter dengan keterikatan yang kuat akan elemen air, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 21.

3.6 Manufaktur *Test bed*

Proses fabrikasi dilakukan berdasarkan desain yang telah disusun secara rinci pada tahap perancangan. Tahapan ini sangat krusial karena akan menentukan kualitas dan kinerja akhir dari *test bed* yang dibuat. Langkah-langkah utama dalam tahap manufaktur meliputi:

a. Pembuatan komponen *test bed*

Setiap komponen *test bed* diproduksi sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan dalam dokumen desain. Ketelitian dalam tahap ini sangat penting untuk memastikan kesesuaian dimensi dan toleransi antar komponen.

b. Perakitan komponen

Semua bagian dirakit menjadi satu kesatuan sistem *test bed* sesuai dengan urutan

dan metode perakitan yang telah direncanakan. Proses ini melibatkan penyambungan mekanis, pemasangan sistem kelistrikan, serta pengujian awal terhadap kompatibilitas antar bagian.

c. Pemeriksaan dan penyesuaian awal

Setelah perakitan selesai, dilakukan inspeksi awal untuk memastikan tidak ada kesalahan fabrikasi atau cacat material. Jika ditemukan ketidaksesuaian, dilakukan penyesuaian atau perbaikan sebelum memasuki tahap pengujian. Langkah ini penting untuk menjamin bahwa *test bed* berfungsi secara optimal dan siap untuk dioperasikan pada tahap berikutnya.

3.7 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian untuk melihat hubungan, pengaruh, atau perubahan akibat perlakuan tertentu. Pada penelitian ini digunakan tiga jenis variabel yaitu variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat.

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang diberikan perlakuan atau diubah secara sengaja untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah suhu udara regenerasi.

Berdasarkan penelitian (Kuswaha *and* Kumar, 2025; Yang *et al.*, 2025), *silica gel* menunjukkan peningkatan kapasitas desorpsi yang signifikan pada temperatur regenerasi 90 sampai 110 °C tanpa menyebabkan degradasi material. Saputra *et al.* (2020) juga menunjukkan bahwa pengendalian temperatur regenerasi dalam rentang tersebut mampu menjaga stabilitas performa sistem. Dengan mempertimbangkan daya

heater yang digunakan, maka dipilih variasi suhu udara regenerasi sebagai variabel bebas pada temperatur 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, dan 65°C.

2. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikontrol atau dipertahankan secara konstan selama penelitian.

a. Material *desiccant*

Material *desiccant* yang digunakan sebagai variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu *silica gel* putih. *Silica gel* putih dipilih karena memiliki kemampuan adsorpsi uap air yang tinggi, mudah diregenerasi, serta bersifat non toxic dan tidak korosif.

b. Laju Aliran Udara

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa laju aliran udara merupakan salah satu parameter operasi yang memengaruhi *Moisture Removal Capacity* (MRC) dan efektivitas adsorpsi melalui perubahan waktu kontak antara udara dengan material *desiccant* serta *driving force* perpindahan massa (Yang et al., 2025; Norazam et al., 2019). Meskipun demikian, penelitian ini tidak bertujuan mengkaji pengaruh variasi laju aliran udara terhadap performa sistem, tetapi berfokus pada analisis karakteristik dehumidifikasi pada kondisi operasi yang telah ditentukan. Oleh sebab itu, laju aliran udara pada sisi adsorpsi maupun regenerasi dipertahankan tetap selama seluruh rangkaian pengujian. Kecepatan aliran udara ditetapkan sebesar 10,7 m/s pada *inlet* adsorpsi dan 12 m/s pada *inlet* regenerasi dengan mempertimbangkan kapasitas blower yang digunakan serta kebutuhan untuk menjaga kestabilan aliran di dalam sistem. Penerapan kondisi aliran yang konstan memungkinkan pengaruh parameter penelitian lainnya terhadap kinerja *dehumidifier* dianalisis secara lebih objektif.

c. Interval waktu rotasi *desiccant wheel*

Interval waktu rotasi *desiccant wheel* digunakan sebagai parameter operasi pada sistem *rotary desiccant*. Pendekatan operasi *steady-periodic* ini sejalan dengan kajian Cuce *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa kinerja *rotary desiccant* lebih tepat dianalisis berdasarkan siklus periodik karena performa dehumidifikasi sangat dipengaruhi oleh durasi paparan *desiccant* terhadap aliran udara proses dan regenerasi. Oleh karena itu, variasi interval rotasi 180° setiap 5 menit digunakan untuk mengevaluasi pengaruh waktu siklus terhadap kinerja dehumidifikasi sistem *rotary desiccant*.

3. Variabel terikat

Variabel terikat adalah parameter keluaran yang digunakan untuk menilai kinerja sistem *dehumidifier* akibat perubahan variabel bebas.

a. Penurunan kelembapan absolut (ΔW_{ads})

Penurunan kelembapan absolut merupakan perbedaan *humidity ratio* udara pada sisi masuk dan keluar proses adsorpsi, yang menunjukkan jumlah uap air yang diserap oleh desikan selama proses dehumidifikasi (kg uap air/kg udara kering).

b. Moisture removal capacity

Moisture Removal Capacity (MRC) adalah parameter yang menunjukkan jumlah uap air yang berhasil dihilangkan dari udara oleh sistem dehumidifikasi dalam satuan waktu tertentu.

c. Moisture regeneration rate

Moisture Regeneration Rate (MRR) adalah laju massa uap air yang dilepaskan

oleh material desikan ke aliran udara regenerasi selama proses regenerasi.

d. Efektivitas dehumidifikasi

Efektivitas dehumidifikasi adalah parameter yang menunjukkan kemampuan sistem dalam menurunkan kandungan uap air udara dibandingkan dengan kandungan uap air maksimum yang secara teoritis dapat dihilangkan.

e. Konsumsi daya heater

Konsumsi daya *heater* merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kebutuhan energi selama proses regenerasi desikan.

f. *Dehumidification coefficient of performance*

Dehumidification Coefficient of Performance (DCOP) merupakan parameter yang menunjukkan efisiensi sistem dehumidifikasi dalam menghasilkan pengurangan kelembapan dibandingkan dengan energi yang digunakan untuk proses tersebut.

g. *Specific energy consumption*

Specific Energy Consumption (SEC) merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kebutuhan energi sistem dalam menghilangkan sejumlah massa uap air selama proses dehumidifikasi.

3.8 Proses Kalibrasi Alat Ukur

Akurasi data hasil pengujian unjuk kerja *dehumidifier* berbasis *silica gel* sangat bergantung pada keandalan instrumen ukur yang digunakan untuk mencatat parameter suhu dan kelembaban relatif udara. Sebelum digunakan dalam pengujian, seluruh instrumen pengukuran pada *test bed* perlu dipastikan akurasinya melalui proses

kalibrasi. Kalibrasi bertujuan untuk membandingkan pembacaan suatu instrumen ukur terhadap nilai yang ditunjukkan oleh instrumen standar (acuan) yang telah diketahui tingkat akurasi, sehingga deviasi atau ketidaktepatan pengukuran dapat diidentifikasi dan diperhitungkan dalam analisis data.

3.8.1 Instrumen kalibrasi

Instrumen yang terlibat dalam proses kalibrasi pada penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu instrumen standar (acuan) dan instrumen uji (yang dikalibrasi), sebagaimana dijabarkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Instrumen kalibrasi

No	Instrumen	Fungsi	Parameter Ukur	Status
1	<i>Fluke (Digital thermo-hygrometer)</i>	Instrumen standar (acuan)	Suhu out (°C) dan RH (%)	Acuan kalibrasi
2	HTC-2 Unit 1	Instrumen uji sisi <i>outlet</i> adsorpsi	Suhu out (°C) dan RH (%)	Dikalibrasi
3	HTC-2 Unit 2	Instrumen uji sisi <i>outlet</i> adsorpsi	Suhu out (°C) dan RH (%)	Dikalibrasi
4	Sensor RH, Temp 1–4 (<i>Smart Monitoring System</i>)	Instrumen uji akuisisi data otomatis (data logger)	Suhu (°C), RH (%)	Dikalibrasi

Fluke digunakan sebagai instrumen standar karena memiliki spesifikasi akurasi yang lebih tinggi dibandingkan sensor HTC-2 dan sensor digital pada sistem *monitoring*, serta dilengkapi fitur MIN/MAX dan HOLD yang memudahkan pembacaan nilai stabil pada saat pengambilan data acuan. Dua unit HTC-2 ditempatkan pada titik *outlet* sisi adsorpsi, sedangkan empat sensor digital pada *smart*

monitoring system ditempatkan pada empat titik pengukuran yang sama (Sensor 1: *inlet* adsorpsi, Sensor 2: *outlet* adsorpsi, Sensor 3: *inlet* regenerasi, Sensor 4: *outlet* regenerasi) untuk mendukung akuisisi data secara *real-time* dan otomatis selama pengujian berlangsung.



Gambar 3. 22 Proses kalibrasi alat ukur

Kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan acuan dari standar acuan yaitu alat ukur fluke seperti pada Gambar 3. 22, kalibrasi dilakukan dalam satu waktu bersamaan agar data yang diperoleh sesuai.

3.8.2 Prosedur kalibrasi

Prosedur kalibrasi titik tunggal pada penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Seluruh instrumen (*Fluke*, HTC-2 Unit 1, HTC-2 Unit 2, dan sensor *smart monitoring system*) ditempatkan pada satu titik pengukuran yang sama secara berdekatan, sehingga keempatnya mengalami kondisi udara yang identik pada saat pengambilan data.
2. Sistem dibiarkan dalam kondisi tunak (*steady state*) selama beberapa menit untuk memastikan tidak ada hasil suhu maupun kelembaban yang signifikan antar titik pengukuran.
3. Pembacaan suhu dan kelembaban relatif pada *fluke* dicatat sebagai nilai acuan, menggunakan fitur *HOLD* untuk menghindari kesalahan baca akibat fluktuasi tampilan digital.
4. Secara bersamaan, pembacaan pada HTC-2 Unit 1, HTC-2 Unit 2, dan keempat sensor pada dashboard *smart monitoring system* dicatat pada waktu yang sama dengan pembacaan *fluke*.
5. Data pembacaan dari masing-masing instrumen kemudian dibandingkan dengan nilai acuan *fluke* untuk menghitung deviasi (selisih) dan persentase *error* pengukuran.
6. Apabila deviasi yang diperoleh berada dalam rentang toleransi yang dapat diterima, instrumen uji dinyatakan layak digunakan untuk pengambilan data pengujian; jika tidak, dilakukan koreksi pembacaan (*offset correction*) pada tahap pengolahan data.

3.8.3 Hasil Kalibrasi

Tabel 3.2 menyajikan hasil perbandingan pembacaan satu titik kalibrasi antara

instrumen standar (Fluke) dengan instrumen uji yang digunakan pada *test bed*. Nilai deviasi dihitung sebagai selisih antara pembacaan instrumen uji terhadap nilai acuan Fluke, sedangkan persentase error dihitung terhadap nilai acuan tersebut Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil perbandingan pembacaan

Instrumen	Parameter	Nilai Acuan (Fluke)	Pembacaan Instrumen	Deviasi / Error
HTC-2 Unit 1	Suhu (°C)	38,0	38,3	+0,3 °C (0,79%)
HTC-2 Unit 1	RH (%)	52,5	63,0	+10,5% (20,0%)
HTC-2 Unit 2	Suhu (°C)	38,0	37,9	-0,1 °C (0,26%)
HTC-2 Unit 2	RH (%)	52,5	70,0	+17,5% (33,3%)

Berdasarkan data tersebut, pembacaan suhu pada kedua unit HTC-2 menunjukkan kesesuaian yang baik terhadap nilai acuan Fluke, dengan deviasi kurang dari 1°C atau error di bawah 1%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor suhu pada HTC-2 cukup andal digunakan untuk pengukuran suhu pada *test bed* tanpa memerlukan koreksi tambahan yang signifikan.

Sebaliknya, pembacaan kelembaban relatif (RH) pada kedua unit HTC-2 menunjukkan deviasi yang cukup besar terhadap nilai acuan, yaitu sekitar 20–33%. Deviasi RH yang besar ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: (1) karakteristik sensor kapasitif pada HTC-2 yang umumnya memiliki akurasi RH lebih rendah dibandingkan sensor pada alat ukur presisi seperti Fluke, (2) waktu respons (*response time*) sensor RH yang lebih lambat sehingga nilai yang terbaca belum mencapai kondisi tunak pada saat pencatatan, dan (3) posisi penempatan sensor yang tidak benar-benar identik dengan titik pengukuran Fluke akibat keterbatasan ruang pada *test bed* (Alam & Hussain, 2022).

Mengingat parameter RH merupakan variabel utama dalam perhitungan

penurunan kelembaban absolut (ΔW) dan *Moisture Removal Rate* (MRR) pada Bab IV, deviasi pembacaan RH pada HTC-2 perlu diperhitungkan sebagai sumber ketidakpastian (*uncertainty*) pengukuran. Oleh karena itu, pada pengolahan data selanjutnya diterapkan faktor koreksi (*offset correction*) terhadap pembacaan RH HTC-2 berdasarkan hasil kalibrasi titik tunggal ini, sehingga data yang digunakan dalam analisis unjuk kerja *dehumidifier* lebih mendekati kondisi sebenarnya.

Hasil kalibrasi ini juga digunakan sebagai dasar validasi terhadap pembacaan sensor pada *Smart Monitoring System*, mengingat sistem tersebut berfungsi sebagai sarana akuisisi data otomatis secara real-time selama pengujian berlangsung menggantikan pencatatan manual.

3.8.4 Validasi Sistem *Smart Monitoring*

Selain kalibrasi terhadap HTC-2, dilakukan pula perbandingan pembacaan terhadap dashboard *Smart Monitoring System* yang merekam data suhu, kelembaban relatif, dan tekanan udara dari empat titik sensor (Sensor 1 hingga Sensor 4) secara kontinu dan dapat diekspor dalam bentuk data historis maupun grafik tren. Validasi ini penting dilakukan karena seluruh data pengujian unjuk kerja pada Bab IV diperoleh melalui sistem ini, sehingga keandalannya harus dipastikan sejak awal.

Perbandingan pembacaan keempat sensor pada *Smart Monitoring System* terhadap nilai acuan Fluke pada titik kalibrasi yang sama menunjukkan kecenderungan yang serupa dengan hasil kalibrasi HTC-2, yaitu pembacaan suhu yang relatif konsisten dengan deviasi kecil, sementara pembacaan RH menunjukkan deviasi yang lebih besar. Hasil ini memperkuat dugaan bahwa deviasi RH bersifat sistematis pada jenis sensor kapasitif yang digunakan, bukan disebabkan oleh kesalahan acak pada

satu unit instrumen saja. Dengan demikian, faktor koreksi RH yang diperoleh dari kalibrasi titik tunggal ini diterapkan secara konsisten pada seluruh data RH yang bersumber dari *Smart Monitoring System* maupun HTC-2 sebelum digunakan dalam perhitungan parameter unjuk kerja dehumidifier pada Bab IV.

Dengan dilakukannya prosedur kalibrasi dan validasi instrumen sebagaimana diuraikan di atas, data hasil pengujian yang digunakan dalam analisis unjuk kerja *test bed dehumidifier* berbasis *silica gel* pada bab selanjutnya dapat dipertanggungjawabkan tingkat akurasi, sekaligus memberikan transparansi mengenai batas ketidakpastian pengukuran yang melekat pada instrumen yang digunakan.

3.9 Prosedur Pengujian *Test bed*

3.9.1 Pengumpulan data

Data hasil pengujian dikumpulkan untuk melakukan analisis tambahan untuk menilai efisiensi dan kinerja *dehumidifier* yang dirancang. Mengingat sejumlah parameter penting yang mempengaruhi proses dehumidifikasi, pengumpulan data dilakukan secara sistematis.

Parameter yang dikumpulkan meliputi:

- a. Temperatur udara *inlet* dan *outlet* adsorpsi
- b. Temperatur udara *inlet* dan *outlet* regenerasi
- c. Kelembapan relatif udara *inlet* dan *outlet* adsorpsi
- d. Kelembapan relatif udara *inlet* dan *outlet* regenerasi

- e. Laju aliran udara adsorpsi dan regenerasi
- f. Daya listrik *heater*

3.9.2 Analisis data

Setelah proses pengambilan data dilakukan, data yang diperoleh dianalisis secara menyeluruh untuk mengevaluasi performa dan efektivitas *test bed*. Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi kinerja termal dan kemampuan dehumidifikasi sistem berdasarkan data hasil pengujian.

Parameter kinerja yang dianalisis meliputi:

- a. Penurunan kelembapan absolut
- b. *Moisture removal capacity*
- c. *Moisture regeneration rate*
- d. Efektivitas dehumidifikasi
- e. Konsumsi daya *heater*
- f. *Dehumidification coefficient of performance* sistem *desiccant*
- g. *Specific energy consumption* per kilogram uap air yang dihilangkan

3.10 Penyusunan Laporan

Tahap akhir dalam pelaksanaan penelitian adalah penyusunan laporan sebagai bentuk dokumentasi terhadap seluruh rangkaian kegiatan yang telah dilakukan. Laporan disusun secara sistematis sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah agar informasi yang disajikan memiliki tingkat validitas yang tinggi dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademis. Penyusunan laporan dilakukan setelah

seluruh tahapan penelitian, termasuk analisis data, telah diselesaikan. Isi laporan mencakup keseluruhan proses penelitian, mulai dari penyusunan diagram alir penelitian, studi literatur, perancangan dan pembuatan desain, penyusunan skema sistem, fabrikasi *test bed*, penyiapan alat dan bahan, pelaksanaan pengujian, pengambilan data, hingga analisis hasil pengujian. Seluruh proses penulisan mengacu pada pedoman penyusunan tugas akhir yang ditetapkan oleh Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik, baik terkait sistematika penulisan, format sitasi, penomoran bab, maupun tata letak dokumen. Selain itu, setiap data dan informasi yang disajikan dalam laporan disusun secara objektif berdasarkan hasil pengamatan dan fakta yang diperoleh selama penelitian.

3.11 Selesai

Setelah seluruh kegiatan penelitian dan penyusunan laporan selesai, dilakukan evaluasi terhadap seluruh proses yang telah dilalui. Evaluasi ini mencakup pencapaian tujuan, kesesuaian pelaksanaan dengan rencana awal, serta hambatan yang dihadapi beserta solusi yang telah diterapkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi *Test Bed Dehumidifier*

Proses fabrikasi *test bed dehumidifier desiccant* padat berbasis *silica gel white* dilakukan melalui beberapa tahapan utama, meliputi perancangan konstruksi rangka, pembuatan saluran udara (*ducting*), perakitan *bed desiccant*, instalasi pemanas (*heater*), serta integrasi sistem instrumentasi pengukuran temperatur dan kelembapan relatif.

Test bed yang difabrikasi terdiri atas lima komponen utama: *desiccant compartment* yang dapat diisi ulang, saluran udara adsorpsi dan saluran udara regenerasi, pemanas listrik (*electric heater*) dengan pengatur suhu (*thermostat*), *blower* sentrifugal untuk mengalirkan udara, serta sistem sensor dan akuisisi data berbasis data logger yang dapat diakses melalui website.



Gambar 4. 1 Hasil fabrikasi *test bed dehumidifier*

Komponen-komponen yang digunakan pada sistem *dehumidifier desiccant* ditunjukkan pada Gambar 4. 1. Untuk mendukung proses pengujian, setiap komponen memiliki spesifikasi tertentu yang dijelaskan melalui Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Komponen dan spesifikasi *test bed dehumidifier*

No	Komponen	Spesifikasi	
1	<i>Control Panel</i>	Ukuran	: 300 x 400 x 180 mm
2	Rangka	Material	: Pipa Hollow 30 x 30 mm
		Ukuran	: 1100 x 630 x 730 mm
		Model	: BBLK - 202
		Tegangan	: 220 V
3	<i>Blower</i> Regenerasi	Amp	: 1.0 A
		Daya	: 150 W
		Frekuensi	: 50/60 Hz
		Kecepatan	: 2800/3400 rpm
4	<i>Ducting</i> Regenerasi	Material	: Stainless Steel 304
		Ukuran	: 450 x 270 x 170 mm
5	<i>Chamber</i> Adsorpsi	Material	: Stainless Steel 304
		Ukuran	: R150 mm x 170 mm
6	<i>Ducting</i> Adsorpsi	Material	: Stainless Steel 304
		Ukuran	: R150 mm x 190 mm
		Model	: BBLK - 202
		Tegangan	: 220 V
7	<i>Blower</i> Adsorpsi	Amp	: 1.0 A
		Daya	: 150 W
		Frekuensi	: 50/60 Hz
		Kecepatan	: 2800/3400 rpm
8	<i>Chamber</i> Regenerasi	Material	: Stainless Steel 304
		Ukuran	: R135 x 305 x 80 mm
9	Motor Listrik	Daya	: 0.25 HP
		Tegangan	: 380 V
		Kecepatan	: 1500 rpm
INSTRUMENTASI			
a	<i>Thermocouple</i>	Probe Type K	
b	<i>Thermohygrometer</i>	HTC - 2	
c	Sensor suhu dan RH	RS485 Modbus Probe	
d	Anemometer	Lutron AM-4201	

Lanjutan Tabel 4.1 Komponen dan spesifikasi <i>test bed dehumidifier</i>		
e	Inverter	CT 2000 ES
f	<i>Dimmer</i>	SYO - 70066
g	<i>Heater</i>	<i>Electric heater</i> tipe U 1500 W

4.2 Kondisi Udara Proses Adsorpsi dan Regenerasi

Kondisi udara pada jalur adsorpsi dan regenerasi digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem dehumidifier dalam proses penyerapan dan pelepasan uap air oleh material *desiccant*. Pengukuran dilakukan pada titik *inlet* dan *outlet bed desiccant* pada enam variasi setpoint suhu *heater* regenerasi, yakni 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C. Kecepatan aliran udara dijaga konstan sebesar 10,7 m/s pada sisi adsorpsi dan 12 m/s pada sisi regenerasi selama seluruh pengujian. Hasil pengambilan data pada proses adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

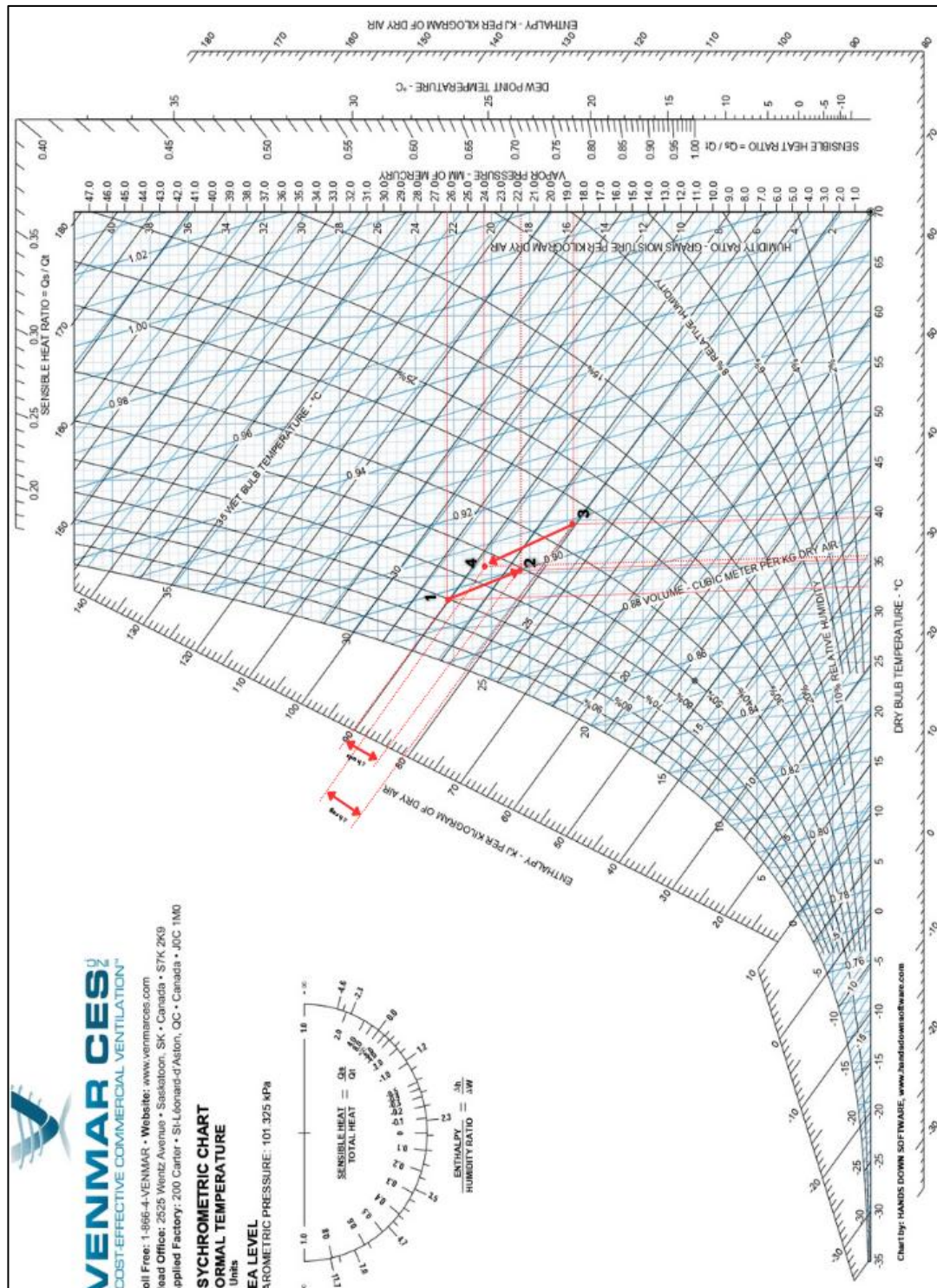
Tabel 4.2 Data kondisi udara adsorpsi

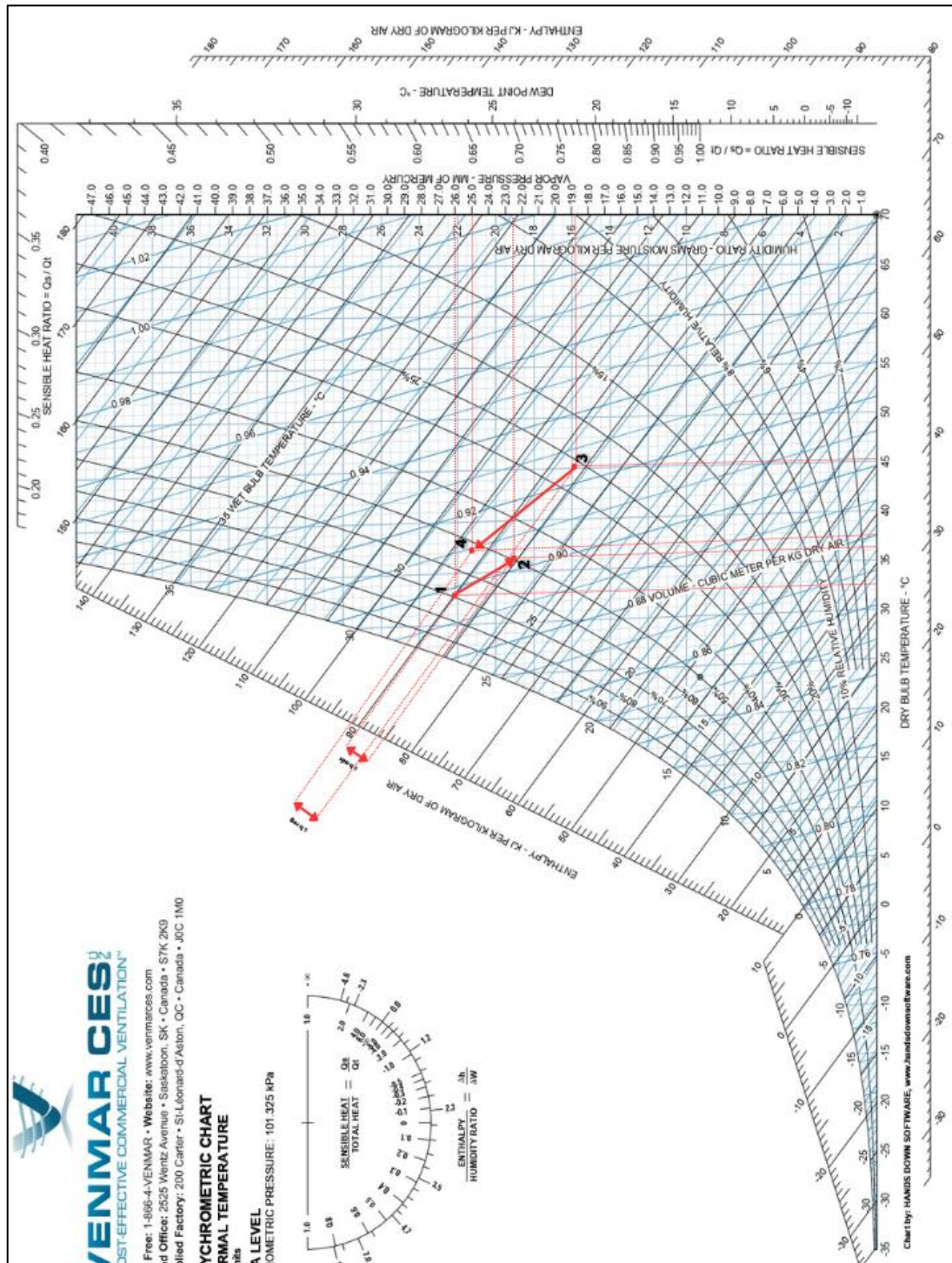
Menit ke-	T set <i>heater</i> (°C)	T in ads (°C)	RH in ads (°C)	W in ads (kg/kg)	T out ads (°C)	RH out ads (°C)	W out ads (kg/kg)
3	40	31.9	69.4	0.020918	35	50.1	0.017875
6	45	31.72	70.6	0.021068	37.2	45.9	0.018496
9	50	31.8	70.48	0.02113	38.4	44.2	0.019023
12	55	31.6	71	0.021043	40.36	40.58	0.019409
15	60	31.6	71	0.021043	42.3	37.24	0.019744
18	65	31.5	71.54	0.021085	44.58	33.86	0.020227

Tabel 4.3 Data kondisi udara regenerasi

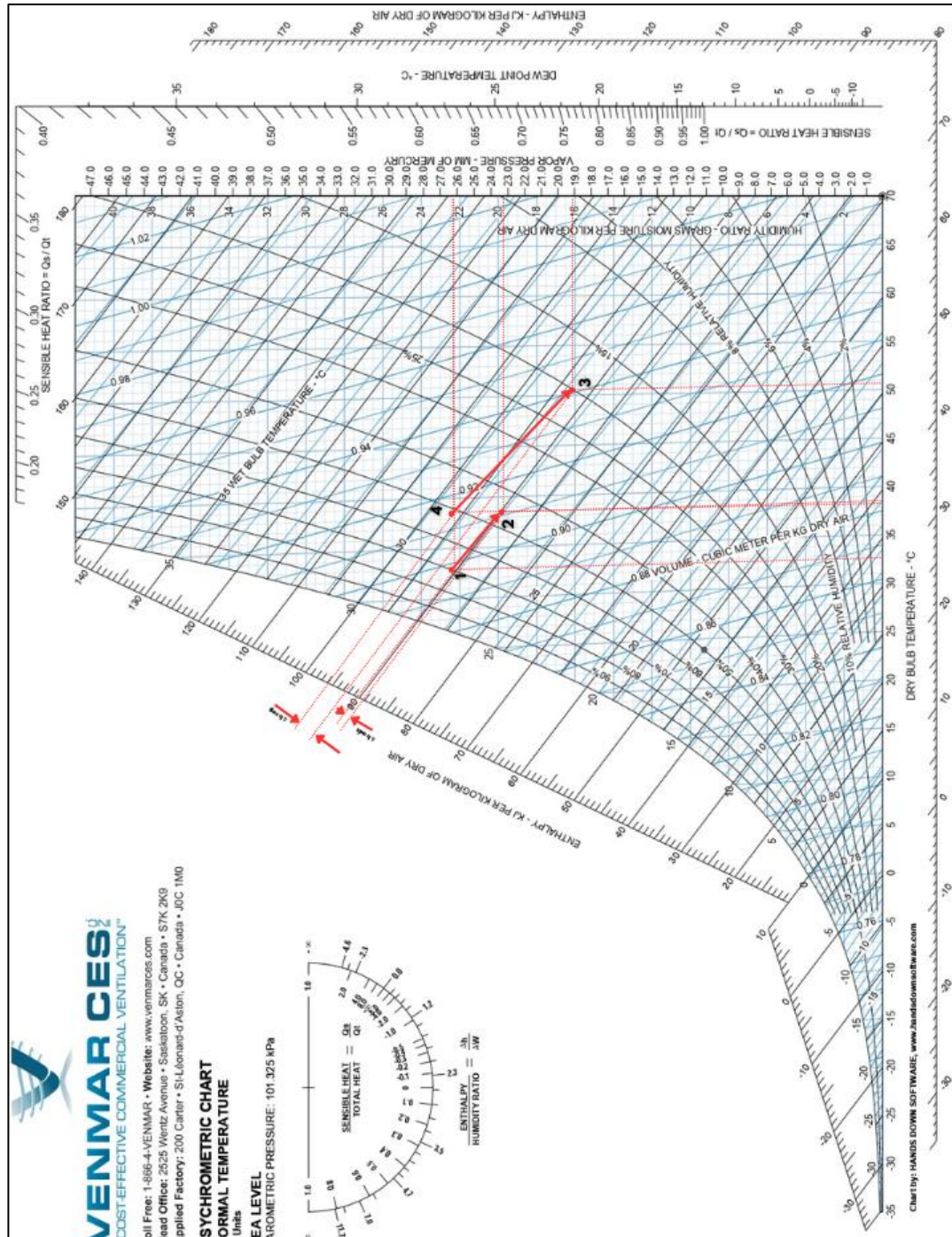
Menit ke-	T set <i>heater</i> (°C)	T in reg (°C)	RH in reg (°C)	W in reg (kg/kg)	T out reg (°C)	RH out reg (°C)	W out reg (kg/kg)
3	40	39.3	33.2	0.0149	33.9	55.8	0.018755
6	45	45.04	24.8	0.015047	35.8	52.5	0.01963
9	50	50.4	19.1	0.01519	36.1	52.98	0.020155
12	55	55.3	14.82	0.014953	38.5	48.4	0.021008
15	60	62.9	10.04	0.014421	38.8	49.2	0.021727
18	65	68.6	7.5	0.013871	41.74	44.12	0.022822

Berdasarkan data kondisi udara pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, kondisi udara pada proses adsorpsi dan regenerasi selanjutnya divisualisasikan menggunakan diagram *psychrometric* yang disajikan pada Gambar 4. 2, Gambar 4. 3, Gambar 4. 4, Gambar 4. 5, Gambar 4. 6, Gambar 4. 7. Diagram *psychrometric* tersebut menunjukkan perubahan kondisi udara dari sisi *inlet* ke *outlet bed desiccant* pada setiap variasi suhu regenerasi, sehingga proses penurunan dan pelepasan kandungan uap air dapat diamati dengan lebih jelas.

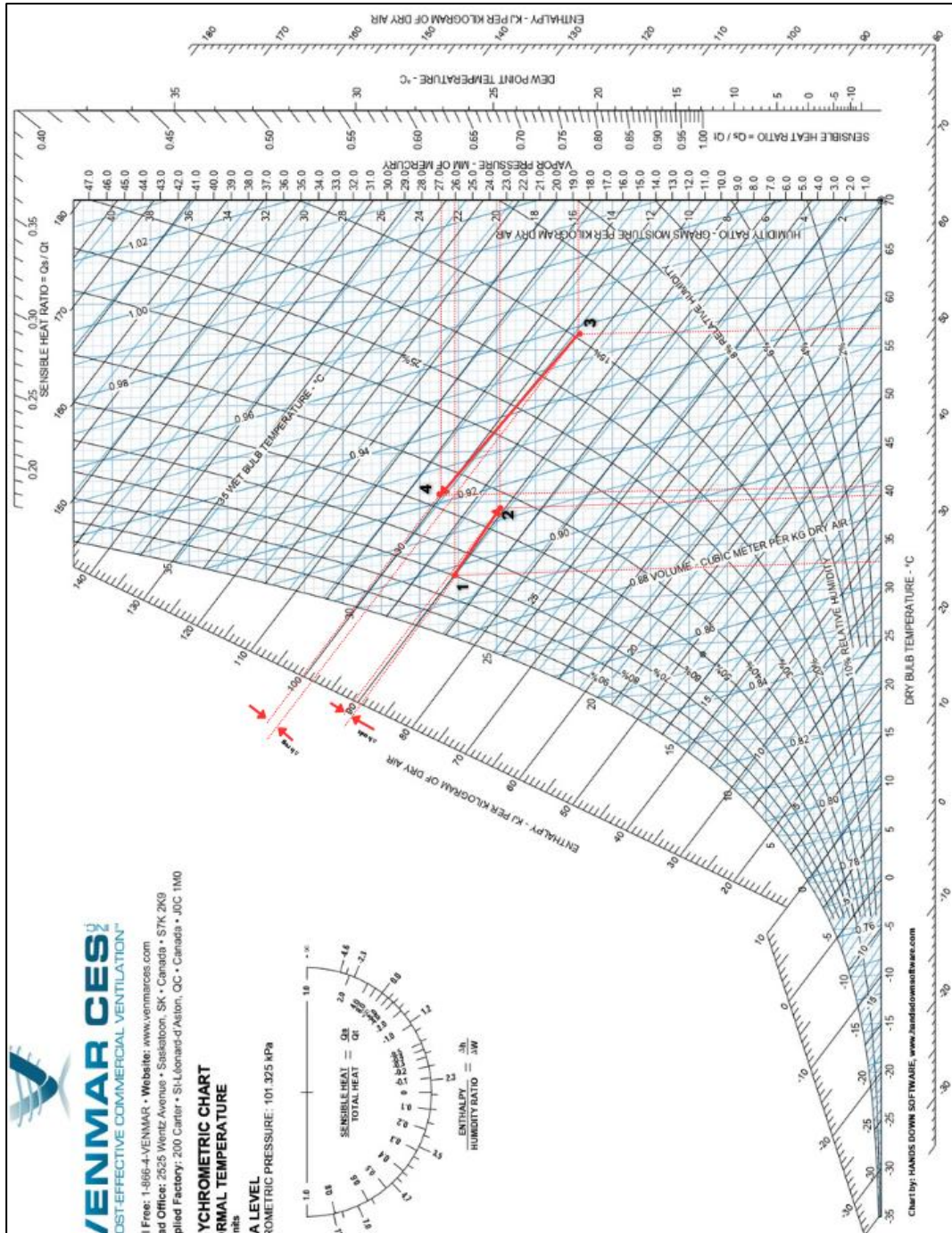




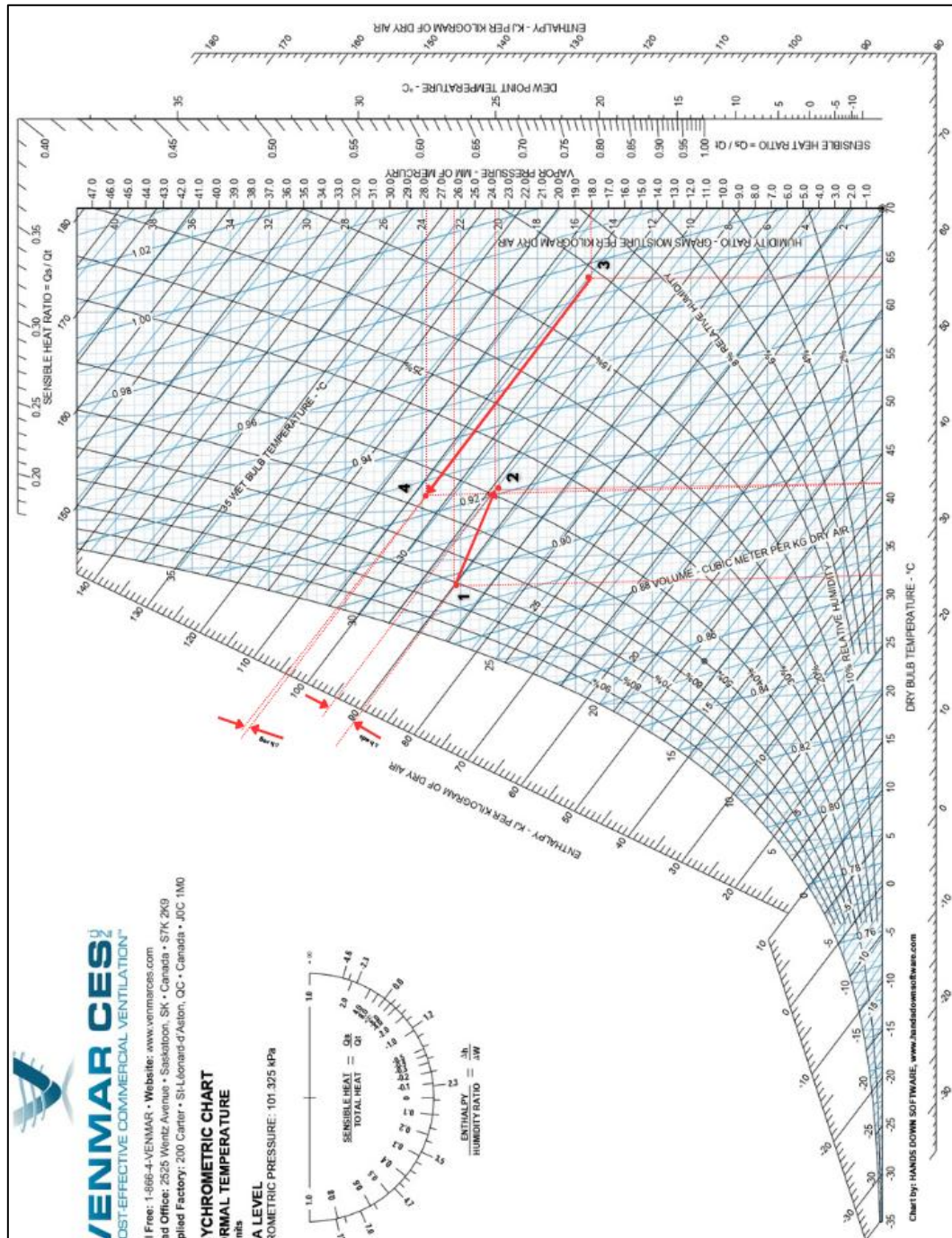
Gambar 4. 3 Diagram psychrometric set suhu 45°C



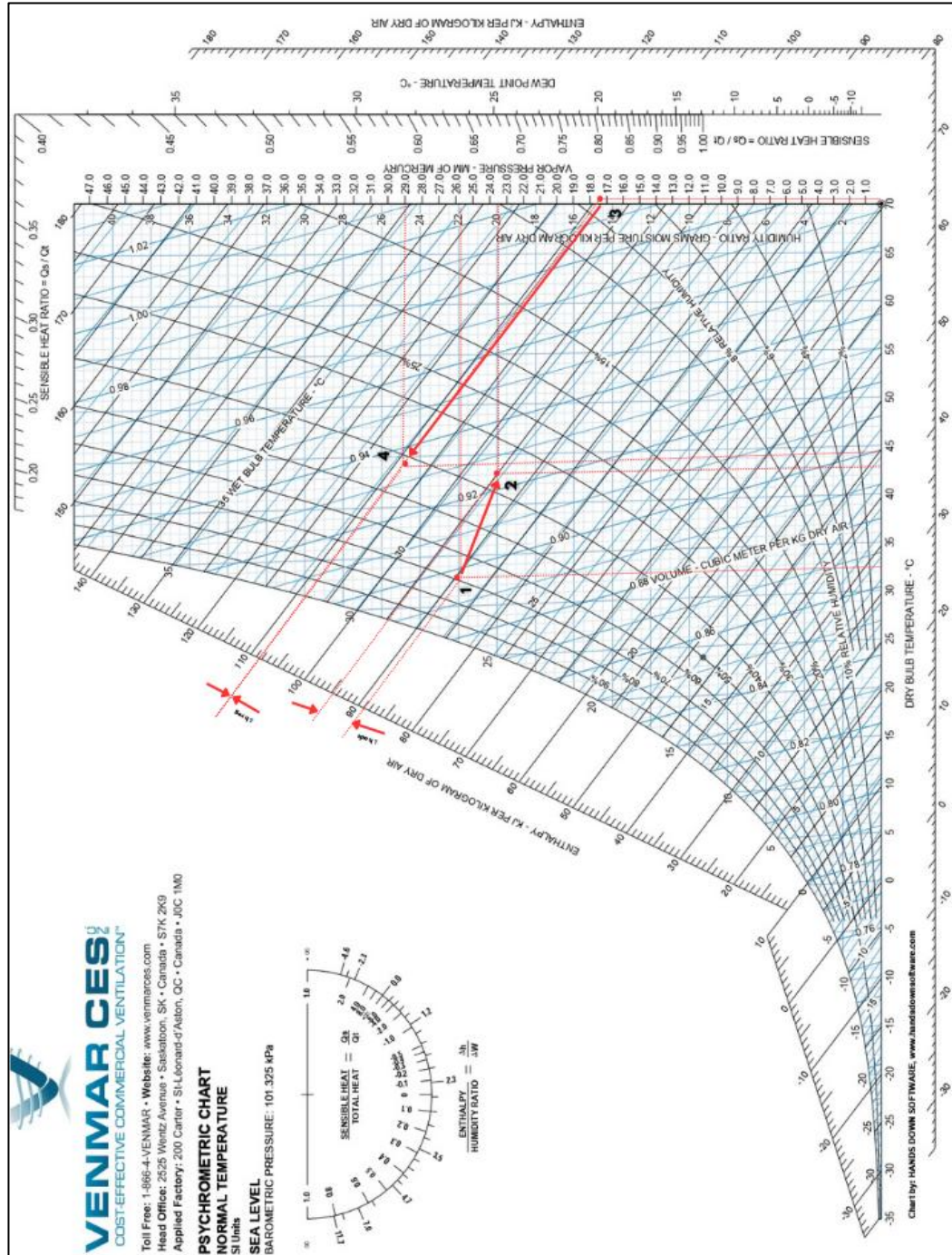
Gambar 4. 4 Diagram psychrometric set suhu 50°C



Gambar 4. 5 Diagram psychrometric set suhu 55°C



Gambar 4. 6 Diagram psychrometric set suhu 60°C



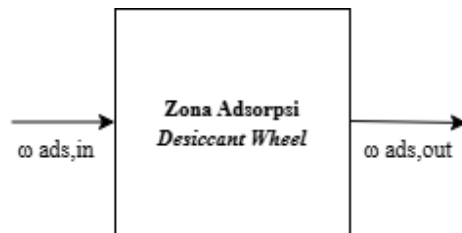
Gambar 4. 7 Diagram psychrometric set suhu 65°C

4.3 Kalkulasi Hasil Data

Subbab ini menyajikan kalkulasi hasil data yang diperoleh berdasarkan proses pengujian yang telah dilakukan. Perhitungan tersebut digunakan untuk mengetahui hasil dari masing-masing pengujian serta menjadi dasar dalam melakukan analisis dan penarikan kesimpulan terhadap sistem yang difabrikasi.

4.3.1 Penurunan Kelembapan Absolut

Berdasarkan model skema yang disajikan pada Gambar 4. 8, penurunan kelembapan absolut dihitung dengan menggunakan persamaan (2.45).



Gambar 4. 8 Model skema penurunan kelembapan absolut

$$\Delta\omega_{\text{ads}} = \omega_{\text{ads},in} - \omega_{\text{ads},out}$$

Sehingga, penurunan kelembapan absolut pada suhu regenerasi set poin 40°C

$$\begin{aligned}\Delta\omega_{\text{ads}} &= 0,022271 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} - 0,018466 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \\ &= 0,003805 \text{ kg/kg}\end{aligned}$$

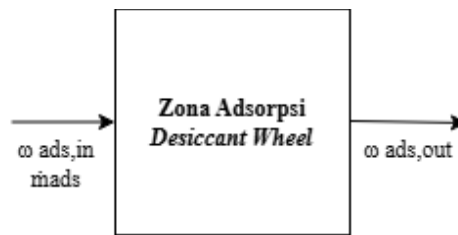
Secara lengkap hasil perhitungan penurunan kelembapan absolut yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan penurunan kelembapan absolut

Treg in (°C)	$\omega_{ads,in}$ (kg/kg)	$\omega_{ads,out}$ (kg/kg)	$\Delta\omega_{ads}$ (kg/kg)
39,60	0,022271	0,018466	0,003805
45,10	0,022164	0,019001	0,003163
50,80	0,022340	0,019635	0,002705
56,90	0,022183	0,019728	0,002455
63,00	0,022205	0,020371	0,001834
70,06	0,021931	0,019985	0,001946

4.3.2 Moisture removal capacity

Berdasarkan model skema yang disajikan pada Gambar 4. 9, *moisture removal capacity* dihitung dengan menggunakan persamaan (2.46).



Gambar 4. 9 Model skema MRC

$$MRC = \dot{m}_{ads} \times (\omega_{ads,in} - \omega_{ads,out})$$

Sehingga, *moisture removal capacity* pada suhu regenerasi set poin 40°C adalah

$$\begin{aligned}
 MRC &= 0,298327 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (0,022271 - 0,018466) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \\
 &= 0,001135 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan *Moisture removal capacity* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan *moisture removal capacity*

T _{reg in} (°C)	$\dot{m}_{ads}$ (kg/s)	$\omega_{ads,in}$ (kg/kg)	$\omega_{ads,out}$ (kg/kg)	MRC (kg/s)
39,60	0.298327	0,022271	0,018466	0,001135
45,10	0.298589	0,022164	0,019001	0,000944
50,80	0.298327	0,022340	0,019635	0,000806
56,90	0.298589	0,022183	0,019728	0,000733
63,00	0.298589	0,022205	0,020371	0,000547
70,06	0.298589	0,021931	0,019985	0,000581

4.3.3 *Moisture regeneration rate*

Berdasarkan model skema yang disajikan pada Gambar 4. 10, *moisture regeneration rate* dihitung dengan menggunakan persamaan (2.47).



Gambar 4. 10 Model skema MRR

$$MRR = \dot{m}_{reg} \times (\omega_{reg,out} - \omega_{reg,in})$$

Sehingga, *Moisture Regeneration Rate* (MRR) pada suhu regenerasi set poin 40°C adalah

$$\begin{aligned}
 MRR &= 0,0271 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (0,020248 - 0,015737) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \\
 &= 0,000122 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan *Moisture Regeneration Rate* (MRR) yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan *moisture regeneration rate*

Treg in (°C)	$\dot{m}_{reg}$ (kg/s)	$\omega_{reg,in}$ (kg/kg)	$\omega_{reg,out}$ (kg/kg)	MRR (kg/s)
39,60	0,0271	0,015737	0,020248	0,000122
45,10	0,0266	0,015832	0,021004	0,000137
50,80	0,0261	0,016083	0,022147	0,000158
56,90	0,0256	0,015785	0,022921	0,000183
63,00	0,0252	0,015286	0,023970	0,000219
70,06	0,0247	0,014559	0,024904	0,000255

4.3.4 Efektivitas dehumidifikasi

Berdasarkan model skema yang disajikan pada Gambar 4. 11, efektivitas dehumidifikasi dapat dihitung dengan persamaan (2.48).



Gambar 4. 11 Model skema efektivitas dehumidifikasi

$$\varepsilon_{deh} = \frac{\omega_{ads,in} - \omega_{ads,out}}{\omega_{ads,in}} \times 100 \%$$

Sehingga, efektivitas dehumidifikasi pada suhu regenerasi set poin 40°C adalah

$$\begin{aligned} \varepsilon_{deh} &= \frac{0,022271 - 0,018466}{0,022271} \times 100 \% \\ &= 17,08 \% \end{aligned}$$

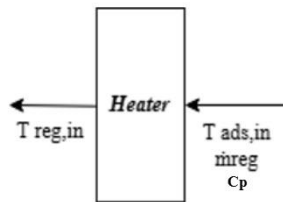
Secara lengkap hasil perhitungan efektivitas dehumidifikasi yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan efektivitas dehumidifikasi

T _{reg in} (°C)	ω _{ads,in} (kg/kg)	ω _{ads,out} (kg/kg)	ε _{deh} (%)
39,60	0,022271	0,018466	17,08
45,10	0,022164	0,019001	14,27
50,80	0,022340	0,019635	12,11
56,90	0,022183	0,019728	11,07
63,00	0,022205	0,020371	8,26
70,06	0,021931	0,019985	8,87

4.3.5 Konsumsi daya *heater*

Berdasarkan model skema yang disajikan pada Gambar 4. 12, konsumsi daya *heater* dapat dihitung dengan persamaan (2.49)



Gambar 4. 12 Model skema konsumsi daya *heater*

$$W_{heater} = \dot{m}_{reg} \times C_p \times \Delta T_{heater}$$

Sehingga, konsumsi daya *heater* pada suhu regenerasi set poin 40°C adalah

$$\begin{aligned}
 W_{heater} &= \dot{m}_{reg} \times C_p \times \Delta T_{heater} \\
 &= 0,0271 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (39,6 - 32,98)^\circ\text{C} \\
 &= 0,1803 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 0,1803 \text{ kW} \\
 &= 180,3 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

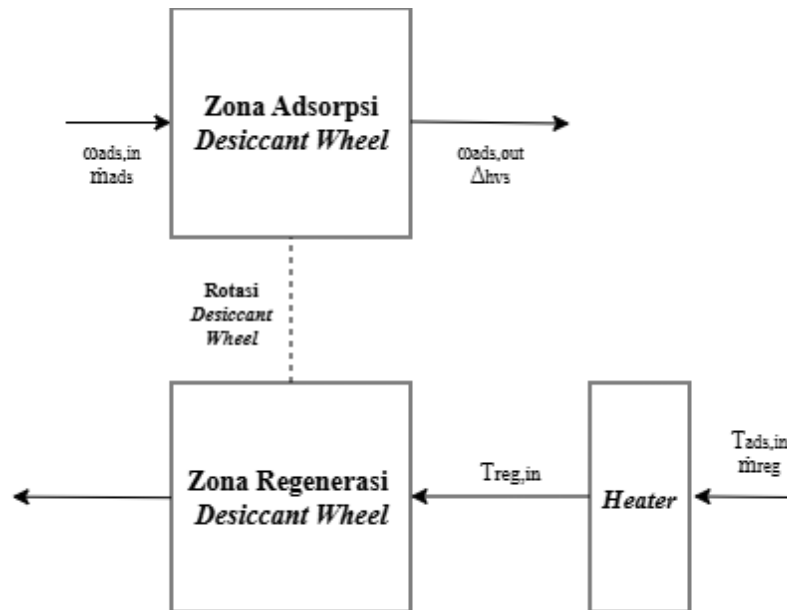
Secara lengkap hasil perhitungan konsumsi daya *heater* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan konsumsi daya *heater*

$T_{reg, in}$ (°C)	$\dot{m}_{reg}$ (kg/s)	C_p ($\frac{KJ}{kg^{\circ}C}$)	ΔT_{heater} (°C)	W_{heater} (Watt)
39,60	0,0271	1,005	6,62	180,30
45,10	0,0266	1,005	12,30	329,30
50,80	0,0261	1,005	17,90	470,51
56,90	0,0256	1,005	24,08	621,21
63,00	0,0252	1,005	30,30	768,40
70,06	0,0247	1,005	37,36	928,33

4.3.6 Dehumidification coefficient of performance

Berdasarkan model skema yang disajikan pada Gambar 4. 13, DCOP dapat dihitung dengan persamaan (2.50) dan (2.51).



Gambar 4. 13 Model skema DCOP

$$DCOP = \frac{\dot{m}_{ads} \times \Delta h_{vs} \times (\omega_{ads,in} - \omega_{ads,out})}{\dot{m}_{reg} \times C_p \times \Delta T_{heater}}$$

Dimana untuk mencari Δh_{vs} kita menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\Delta h_{vs} = & (-0,614342 \times 10^{-4}) \times T_{ads\ in}^3 + \\ & 0,0158927 \times 10^{-2} \times T_{ads\ in}^2 - \\ & 0,236418 \times 10 \times T_{ads\ in} + 0,250079 \times 10^4\end{aligned}$$

Sehingga Δh_{vs} dan DCOP pada suhu regenerasi set poin 40 °C adalah

$$\begin{aligned}\Delta h_{vs} = & (-0,614342 \times 10^{-4}) \times 32,98^3 \text{°C} + \\ & 0,0158927 \times 10^{-2} \times 32,98^2 \text{°C} - \\ & 0,236418 \times 10 \times 32,98 \text{°C} + 0,250079 \times 10^4 \\ = & 2.420,788 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

Jadi, DCOP untuk suhu regenerasi set poin 40°

$$\begin{aligned}DCOP = & \frac{0,298 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2.420,788 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times (0,022271 - 0,018466) \frac{\text{kg}}{\text{kg}}}{0,0271 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg °C}} \times (39,6 - 32,98) \text{°C}} \\ = & 15,24071\end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan DCOP yang dihasilkan dapat dilihat pada

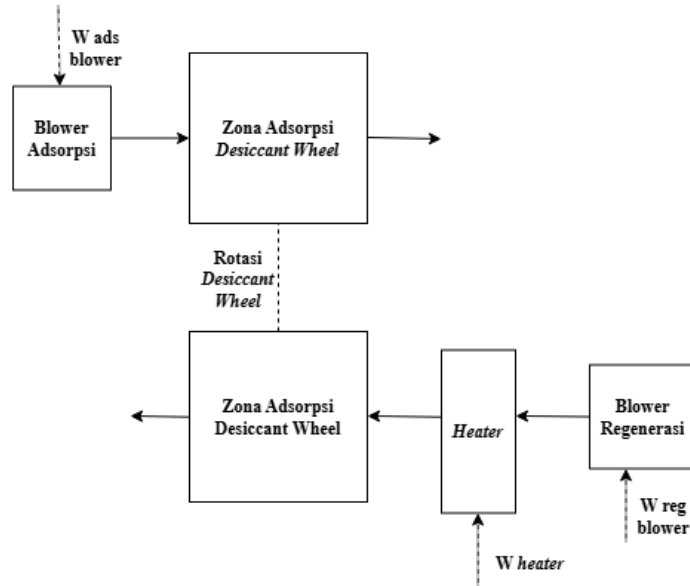
Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan DCOP

$T_{reg\ in}$ (°C)	$T_{ads\ in}$ (°C)	Δh_{vs}	$\dot{m}_{ads}$ (kg/s)	$\omega_{ads,in}$ (kg/kg)	$\omega_{ads,out}$ (kg/kg)	$\dot{m}_{reg}$ (kg/s)	C_p (KJ/kg°C)	DCOP	$T_{reg\ in}$ (°C)
39,60	32,98	2420,788	0.298327	0,022271	0,018466	0.0271	1,005	15,2407	39,60
45,10	32,8	2421,248	0.298589	0,022164	0,019001	0,0266	1,005	6,9440	45,10
50,80	32,9	2420,993	0.298327	0,022340	0,019635	0,0261	1,005	4,1522	50,80
56,90	32,82	2421,197	0.298589	0,022183	0,019728	0,0256	1,005	2,8569	56,90
63,00	32,7	2421,503	0.298589	0,022205	0,020371	0,0252	1,005	1,7257	63,00
70,06	32,7	2421,503	0.298589	0,021931	0,019985	0,0247	1,005	1,5156	70,06

4.3.7 Specific energy consumption

Berdasarkan model skema yang disajikan pada Gambar 4. 14, *specific energy consumption* dapat dihitung dengan persamaan (2.52).



Gambar 4. 14 Model skema SEC

$$SEC = \frac{W_{heater} + W_{blower}}{MRC}$$

Sehingga, SEC pada suhu regenerasi set poin 40°C adalah:

$$\begin{aligned} SEC &= \frac{(0,1803 + 0,011544)kW}{0,001135 \frac{kg}{s}} \\ &= 169,0067 \frac{kJ}{kg} \end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan SEC yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel

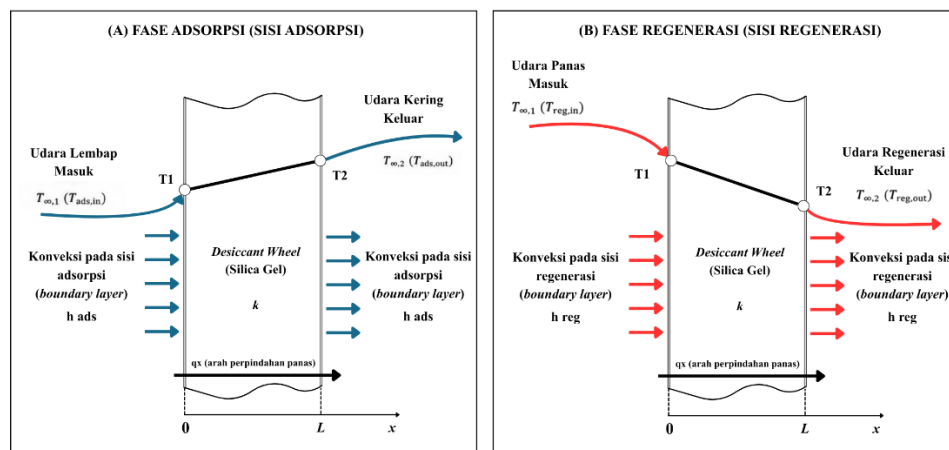
4.10.

Tabel 4.10 Hasil perhitungan SEC

Treg in (°C)	W_{heater} (kW)	W_{blower} (kW)	MRC (kg/s)	SEC ($\frac{kJ}{kg}$)
39,60	0,1803	0.011544	0,001135	169,0067
45,10	0,3293	0.011544	0,000944	360,9045
50,80	0,4705	0.011544	0,000806	597,366
56,90	0,6212	0.011544	0,000733	863,2215
63,00	0,7684	0.011544	0,000547	1424,279
70,06	0,9283	0.011544	0,000581	1617,545

4.3.8 Heat transfer pada Rotary Wheel

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses perpindahan energi termal dari suatu benda atau sistem yang memiliki temperatur lebih tinggi ke benda atau sistem lain yang memiliki temperatur lebih rendah akibat adanya perbedaan temperatur. Secara umum, perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.



Gambar 4. 15 Skema perpindahan panas pada *rotary wheel*

Berdasarkan mekanisme perpindahan panas yang ditunjukkan pada Gambar 4. 15, analisis kebutuhan kalor pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data temperatur udara masuk dan keluar.

a. *Heat transfer* konveksi adsorpsi di *rotary wheel*

Hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.54 Sampai 2.60

$$Q_{\text{conv,ads}} = h_{\text{ads}} \times A_v \times (T_{\text{ads in}} - T_{\text{ads out}})$$

Diketahui:

$\dot{V}_{\text{duct,ads}}$	: $0,26215 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
d_{wheel}	: 0,3 m
$d_{\text{lubang honeycomb}}$	: 0,002 m
$T_{\text{in ads}}$	: $32,98 \text{ }^{\circ}\text{C} = 306,13 \text{ K}$
$T_{\text{out ads}}$	: $35,5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 308,65 \text{ K}$
μ_{ads}	: $1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$
ρ_{ads}	: $1,138 \text{ kg/m}^3$
C_p	: $1.005 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

Untuk mencari h , menggunakan rumus:

$$h_{\text{ads}} = \frac{\text{Nu} \times k_{\text{ads}}}{D_{\text{h honeycomb}}}$$

Untuk mencari nilai reynold, menggunakan persamaan

$$Re = \frac{\rho_{ads} \times v_{wheel,ads} \times Dh_{honeycomb}}{\mu_{ads}}$$

Untuk mencari v_{wheel} menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} v_{wheel,ads} &= \frac{\dot{V}_{duct,ads}}{A_{wheel,ads}} \\ &= \frac{0,26216 \frac{m^3}{s}}{\frac{1}{2} \pi \frac{(0,3 \text{ m})^2}{4}} \\ &= 7,421 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

Untuk mencari k_{ads} , menggunakan tabel thermal conductivity yang ditunjukkan pada Gambar 4. 16.

Air - Thermal Conductivity vs. Temperature at Atmospheric Pressure - SI Units

Temperature (°C)	Thermal conductivity		
	(mW/m K)	(kcal(IT)/(h m K))	(Btu(IT)/(h ft °F))
-190	7.82	0.00672	0.00452
-150	11.69	0.01005	0.00675
-100	16.20	0.01393	0.00936
-75	18.34	0.01577	0.01060
-50	20.41	0.01755	0.01179
-25	22.41	0.01927	0.01295
-15	23.20	0.01995	0.01340
-10	23.59	0.02028	0.01363
-5	23.97	0.02061	0.01385
0	24.36	0.02094	0.01407
5	24.74	0.02127	0.01429
10	25.12	0.02160	0.01451
15	25.50	0.02192	0.01473
20	25.87	0.02225	0.01495
25	26.24	0.02257	0.01516
30	26.62	0.02289	0.01538
40	27.35	0.02352	0.01580
50	28.08	0.02415	0.01623
60	28.80	0.02477	0.01664
80	30.23	0.02599	0.01746
100	31.62	0.02719	0.01827
125	33.33	0.02866	0.01926
150	35.00	0.03010	0.02022
175	36.64	0.03151	0.02117
200	38.25	0.03289	0.02210
225	39.83	0.03425	0.02301
300	44.41	0.03819	0.02566
412	50.92	0.04378	0.02942
500	55.79	0.04797	0.03224
600	61.14	0.05257	0.03533
700	66.32	0.05702	0.03832
800	71.35	0.06135	0.04122
900	76.26	0.06557	0.04406
1000	81.08	0.06971	0.04685
1100	85.83	0.07380	0.04959

Gambar 4. 16 Tabel *thermal conductivity* adsorpsi

$$T_f = \frac{T_{in_{ads}} + T_{out_{ads}}}{2}$$

$$= \left(\frac{32,98 + 35,5}{2} \right) ^\circ C$$

$$= 34,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Diketahui:

$$k_{\text{ads}} @ 30^{\circ}\text{C} = 0,02662 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$k_{\text{ads}} @ 40^{\circ}\text{C} = 0,02735 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

Untuk mencari $k_{\text{ads}} @ 34,42^{\circ}\text{C}$, maka harus ngeinterpolasi

$$\begin{aligned} k_{\text{ads}} @ 34,42 \text{ }^{\circ}\text{C} &= 0,02662 + \left(\frac{(34,42 - 30)^{\circ}\text{C}}{(40 - 30)^{\circ}\text{C}} \right) \times (0,02735 - 0,02662) \frac{\text{W}}{\text{m K}} \\ &= 0,02693 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \end{aligned}$$

Untuk mencari Pr, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= \frac{\mu_{\text{ads}} \times \text{Cp}}{k_{\text{ads}}} \\ &= \frac{1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s} \times 1.005 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}}{0,02693 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} \\ &= 0,70907 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai Re, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\rho_{\text{ads}} \times v_{\text{wheel}} \times D_{\text{honeycomb}}}{\mu_{\text{ads}}} \\ &= \frac{1,138 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 7,421 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,002 \text{ m}}{1,9 \times 10^{-5} \text{ Pa s}} \\ &= 888,968 \end{aligned}$$

Karena $\text{Re} < 2.300$, maka aliran nya adalah aliran laminar. Untuk mencari Nu, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 Nu &= 0,664 Re^{0,5} Pr^{0,33} \\
 &= 0,664 \times 888,968^{0,5} \times 0,70907^{0,33} \\
 &= 17,67
 \end{aligned}$$

Untuk mencari h_{ads} , menggunakan rumus

$$\begin{aligned}
 h_{ads} &= \frac{Nu \times k_{ads}}{D h_{honeycomb}} \\
 h_{ads} &= \frac{17,67 \times 0,02693 \frac{W}{m K}}{0,002 m} \\
 &= 237,979 \frac{W}{m^2 K}
 \end{aligned}$$

Untuk luas perpindahan kalor adsorpsi

$$\begin{aligned}
 A_{v ads} &= \frac{1}{2} \pi \times d_{lubang honeycomb} \times b \times N_{lubang honeycomb} \\
 &= \frac{1}{2} \times 0,002 m \times 0,13 m \times 2.116 \\
 &= 0,863 m^2
 \end{aligned}$$

Sehingga, heat transfer adsorpsi di rotary wheel pada suhu regenerasi set poin 40°C

$$\begin{aligned}
 Q_{conv,ads} &= h_{ads} \times A_v \times (T_s - T_{in,ads}) \\
 &= 237,979 \frac{W}{m^2 K} \times 0,863 m^2 \times (308,65 - 306,13) K \\
 &= 517,996 \text{ Watt} \\
 &= 517,996 \frac{J}{s} = 517.996 W
 \end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan heat transfer adsorpsi di rotary wheel yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil perhitungan *heat transfer* adsorpsi di *rotary wheel*

Menit ke-	T set heat er (°C)	T in ads (°C)	T out ads (°C)	k ads ($\frac{W}{m K}$)	Pr	Nu	h ($\frac{W}{m^2 K}$)	Q _{conv,ads} (W)
5	40	32,98	35,50	0,02693	0,7090	17,67	237,979	517,996
10	45	32,8	36,26	0,02695	0,7085	17,66	238,104	711,59
15	50	32,9	38,40	0,02703	0,7064	17,65	238,595	1133,47
20	55	32,82	39,44	0,02706	0,7056	17,64	238,817	1365,56
25	60	32,7	41,90	0,02715	0,7056	17,64	239,570	1903,74
30	65	32,7	43,12	0,02720	0,7056	17,64	239,963	2159,73

b. *Heat transfer* konveksi regenerasi di *rotary wheel*

Hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.61 Sampai 2.67

$$Q_{\text{conv,reg}} = h_{\text{reg}} \times A_v \times (T_{\text{reg in}} - T_{\text{reg out}})$$

Diketahui:

$$\dot{V}_{\text{duct,ads}} : 0,02424 \frac{m^3}{s}$$

$$d_{\text{wheel}} : 0,3 \text{ m}$$

$$d_{\text{lubang honeycomb}} : 0,002 \text{ m}$$

$$T_{\text{in,reg}} : 39,6 \text{ }^{\circ}\text{C} = 312,75 \text{ K}$$

$$T_{\text{out,reg}} : 35,8 \text{ }^{\circ}\text{C} = 308,95 \text{ K}$$

$$\mu_{\text{reg}} : 1,934 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$$

$$\rho_{\text{reg}} : 1,118 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p : 1.005 \frac{J}{kg K}$$

Untuk mencari h, menggunakan rumus:

$$h_{\text{reg}} = \frac{\text{Nu} \times k_{\text{reg}}}{Dh_{\text{honeycomb}}} \quad (2.2)$$

Untuk mencari nilai reynold, menggunakan persamaan

$$\text{Re} = \frac{\rho_{\text{reg}} \times v_{\text{wheel,reg}} \times Dh_{\text{honeycomb}}}{\mu_{\text{reg}}} \quad (2.2)$$

Untuk mencari v_{wheel} menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} v_{\text{wheel,ads}} &= \frac{\dot{V}_{\text{duct,ads}}}{A_{\text{wheel,ads}}} \\ &= \frac{0,02424 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{1}{2} \pi \frac{(0,3 \text{ m})^2}{4}} \\ &= 0,6862 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Untuk mencari k_{reg} , menggunakan tabel thermal conductivity yang ditunjukkan pada Gambar 4. 17.

Air - Thermal Conductivity vs. Temperature at Atmospheric Pressure - SI Units

Temperature	Thermal conductivity		
(°C)	(mW/m K)	(kcal(IT)/(h m K))	(Btu(IT)/(h ft °F))
-190	7.82	0.00672	0.00452
-150	11.69	0.01005	0.00675
-100	16.20	0.01393	0.00936
-75	18.34	0.01577	0.01060
-50	20.41	0.01755	0.01179
-25	22.41	0.01927	0.01295
-15	23.20	0.01995	0.01340
-10	23.59	0.02028	0.01363
-5	23.97	0.02061	0.01385
0	24.36	0.02094	0.01407
5	24.74	0.02127	0.01429
10	25.12	0.02160	0.01451
15	25.50	0.02192	0.01473
20	25.87	0.02225	0.01495
25	26.24	0.02257	0.01516
30	26.62	0.02289	0.01538
40	27.35	0.02352	0.01580
50	28.08	0.02415	0.01623
60	28.80	0.02477	0.01664
80	30.23	0.02599	0.01746
100	31.62	0.02719	0.01827
125	33.33	0.02866	0.01926
150	35.00	0.03010	0.02022
175	36.64	0.03151	0.02117
200	38.25	0.03289	0.02210
225	39.83	0.03425	0.02301
300	44.41	0.03819	0.02566
412	50.92	0.04378	0.02942
500	55.79	0.04797	0.03224
600	61.14	0.05257	0.03533
700	66.32	0.05702	0.03832
800	71.35	0.06135	0.04122
900	76.26	0.06557	0.04406
1000	81.08	0.06971	0.04685
1100	85.83	0.07380	0.04959

Gambar 4. 17 Tabel *thermal conductivity* regenerasi

$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_{\text{in reg}} + T_{\text{out reg}}}{2} \\
 &= \left(\frac{39,6 + 35,8}{2} \right) ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$= 37,7^{\circ}\text{C}$$

Diketahui

$$k_{\text{reg}} @ 30^{\circ}\text{C} = 0,02662 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$k_{\text{reg}} @ 40^{\circ}\text{C} = 0,02735 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

Untuk mencari $k_{\text{reg}} @ 37,7^{\circ}\text{C}$, maka harus interpolasi

$$\begin{aligned} k_{\text{reg}} @ 37,7^{\circ}\text{C} &= 0,02662 + \left(\frac{(37,7 - 30)^{\circ}\text{C}}{(40 - 30)^{\circ}\text{C}} \right) \times (0,02735 - 0,02662) \frac{\text{W}}{\text{m K}} \\ &= 0,02718 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \end{aligned}$$

Untuk mencari Pr, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= \frac{\mu_{\text{reg}} \times \text{Cp}}{k_{\text{reg}}} \\ &= \frac{1,934 \times 10^{-5} \text{Pa s} \times 1.005 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}}{0,02718 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} \\ &= 0,715 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai Re, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\rho_{\text{reg}} \times v_{\text{wheel}} \times D_{\text{honeycomb}}}{\mu_{\text{reg}}} \\ &= \frac{1,118 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,6862 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,002 \text{ m}}{1,934 \times 10^{-5} \text{Pa s}} \\ &= 79,335 \end{aligned}$$

Karena $\text{Re} < 2.300$, maka aliran nya adalah aliran laminar. Untuk mencari Nu, menggunakan rumus:

$$\text{Nu} = 0,664 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,33}$$

$$= 0,664 \times 79,335^{0,5} \times 0,715^{0,33}$$

$$= 5,293$$

Untuk mencari h_{reg} , menggunakan rumus

$$h_{ads} = \frac{5,2945 \times 0,027182 \frac{W}{m K}}{0,002 m}$$

$$= 71,981 \frac{W}{m^2 K}$$

Untuk luas perpindahan kalor regenerasi

$$A_{v reg} = \frac{1}{2} \pi \times d_{lubang honeycomb} \times b \times N_{lubang honeycomb}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,002 m \times 0,13 m \times 2.116$$

$$= 0,863 m^2$$

Sehingga, heat transfer regenerasi di rotary wheel pada suhu regenerasi set poin 40°C

$$Q_{conv,reg} = h_{reg} \times A_v \times (T_s - T_{in_{ads}})$$

$$= 71,981 \frac{W}{m^2 K} \times 0,863 m^2 \times (308,65 - 306,13) K$$

$$= 236,188 \text{ Watt}$$

$$= 236,26 \frac{J}{s} = 236,26 W$$

Secara lengkap hasil perhitungan heat transfer regenerasi di rotary wheel yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan heat transfer regenerasi di rotary wheel

T set heater (°C)	T in reg (°C)	T out reg (°C)	k ads ($\frac{W}{m K}$)	Pr	Nu	Re	h ($\frac{W}{m^2 K}$)	Q _{conv,reg} (W)
40	39,60	35,80	0,02718	0,7150	5,293	79,335	71,9810	236,260
45	45,10	37,40	0,02744	0,7083	5,211	77,347	71,5049	479,664
50	50,80	38,60	0,02769	0,7018	5,109	74,788	70,7442	745,486
55	56,90	40,80	0,028	0,6942	5,005	72,307	70,0694	974,413
60	63,00	41,60	0,02825	0,6881	4,911	70,032	69,3699	1282,25
65	70,06	44,04	0,02859	0,6799	4,807	67,625	68,7191	1544,45

c. *Heat transfer* konduksi adsorpsi di rotary wheel

Hasil perhitungan menggunakan persamaan (2.68) sampai (2.69)

$$A = \frac{3,14}{4} (0,30^2 - 0,27^2)$$

$$= 0,01343 m^2$$

Sehingga, heat transfer konveksi adsorpsi di rotary wheel pada suhu regenerasi set poin 40°C

$$Q_{konduksi,ads} = 0,18 \times \frac{0,01343 \times (35,5 - 32,98)}{0,13}$$

$$= 0,0469 W$$

Secara lengkap hasil perhitungan heat transfer konduksi sisi adsorpsi di rotary wheel yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. 13.

Tabel 4.13 Hasil perhitungan *heat transfer* adsorpsi di *rotary wheel*

Menit ke-	T set heat er (°C)	T in ads (°C)	T out ads (°C)	Q _{kond,ads} (W)
5	40	32,98	35,50	0,047
10	45	32,8	36,26	0,064
15	50	32,9	38,40	0,1023
20	55	32,82	39,44	0,123
25	60	32,7	41,90	0,171
30	65	32,7	43,12	0,194

d. *Heat transfer* konduksi pada regenerasi

$$A = \frac{3,14}{4} (0,30^2 - 0,27^2) \\ = 0,01343 \text{ m}^2$$

Sehingga, *heat transfer* konveksi adsorpsi di *rotary wheel* pada suhu regenerasi set poin 40°C

$$Q_{konduksi,reg} = 0,18 \times \frac{0,01343 \times (39,6 - 35,8)}{0,13} \\ = 0,071 \text{ W}$$

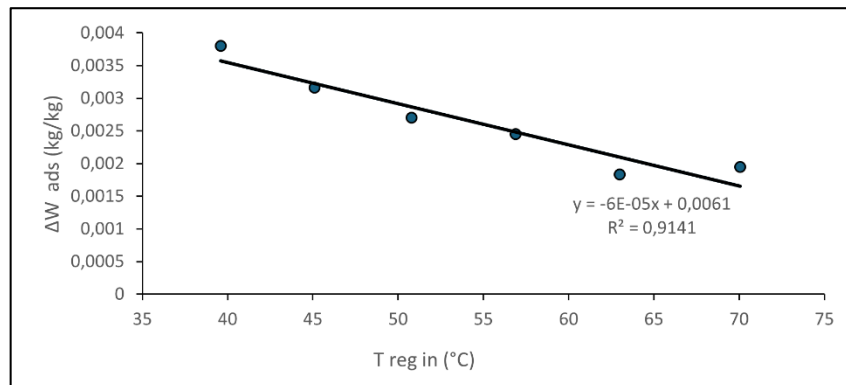
Secara lengkap hasil perhitungan *heat transfer* konduksi pada regenerasi di *rotary wheel* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. 14.

Tabel 4.14 Heat transfer konduksi pada regenerasi di rotary wheel

T set heater (°C)	T in reg (°C)	T out reg (°C)	Q _{kond,reg} (W)
40	39,60	35,80	0,071
45	45,10	37,40	0,143
50	50,80	38,60	0,227
55	56,90	40,80	0,30
60	63,00	41,60	0,398
65	70,06	44,04	0,483

4.4 Analisis Penurunan Kelembapan Absolut (ΔW_{ads})

Nilai ΔW_{ads} merupakan selisih *humidity ratio* udara masuk dan keluar sisi adsorpsi yang menunjukkan jumlah uap air yang diserap oleh desikan selama proses dehumidifikasi. Hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan nilai ΔW_{ads} ditunjukkan pada Gambar 4. 18.



Gambar 4. 18 Hubungan temperatur regenerasi dengan penurunan kelembapan absolut

Berdasarkan Gambar 4. 18, dapat dilihat bahwa peningkatan temperatur regenerasi menyebabkan nilai ΔW_{ads} mengalami penurunan, yaitu dari 0,003805 kg/kg pada temperatur 39,6°C menjadi sekitar 0,001946 kg/kg pada temperatur 70,06°C. Grafik menunjukkan hubungan negatif antara kedua variabel dengan nilai koefisien

determinasi (R^2) sebesar 0,9141 yang menunjukkan bahwa sekitar 91,41% variasi nilai ΔW_{ads} dapat dijelaskan oleh perubahan temperatur regenerasi selama proses pengujian.

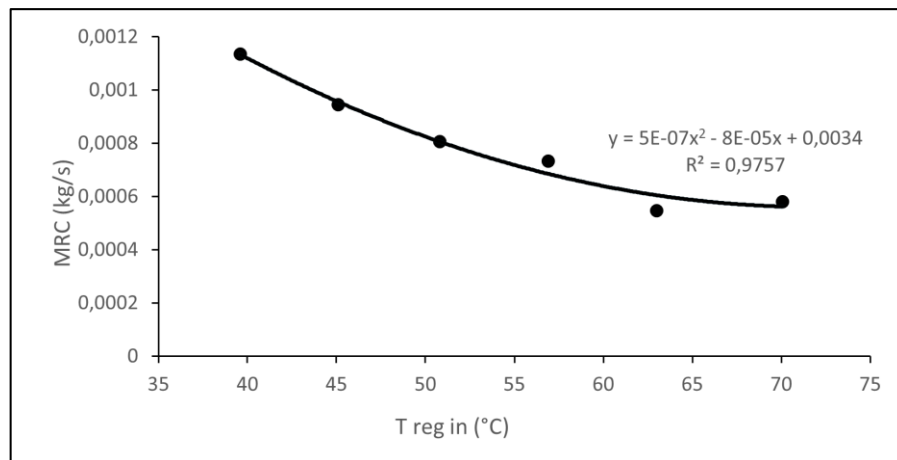
Secara prinsip kerja *desiccant wheel*, peningkatan temperatur regenerasi seharusnya mampu memperbaiki proses pelepasan kandungan air dari material desikan. Temperatur regenerasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan proses desorpsi, sehingga kandungan air yang tersimpan dalam pori-pori *silica gel* berkurang dan material desikan memiliki kemampuan penyerapan yang lebih besar pada siklus adsorpsi berikutnya. Berdasarkan hasil pengujian, kenaikan temperature regenerasi tidak menunjukkan peningkatan terhadap nilai ΔW_{ads} , melainkan menyebabkan nilai tersebut semakin berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi pada kondisi operasi penelitian belum mampu meningkatkan performa adsorpsi *silica gel* secara optimal.

Hasil penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian Chaudhary *et al.* (2019), yang menyatakan bahwa peningkatan temperatur regenerasi dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi karena proses pemanasan yang lebih tinggi mampu mengurangi kandungan air yang tersisa pada material *silica gel*, sehingga desikan menjadi lebih siap untuk menyerap uap air pada siklus berikutnya. Perbedaan hasil ini kemungkinan dipengaruhi oleh adanya fenomena *heat carryover*, yaitu perpindahan panas dari sisi regenerasi menuju sisi adsorpsi akibat rotasi *desiccant wheel*, sehingga temperatur udara pada zona adsorpsi meningkat dan mengurangi kemampuan *silica gel* dalam melakukan penyerapan uap air. Selain itu, temperatur regenerasi yang diterapkan pada pengujian ini diduga belum mencapai kondisi optimum untuk melepaskan kandungan air dari *silica gel* secara maksimal, sehingga peningkatan temperatur regenerasi belum memberikan peningkatan terhadap kapasitas

adsorpsi sistem.

4.5 Moisture Removal Capacity (MRC)

Moisture Removal Capacity (MRC) menunjukkan kemampuan desikan dalam menghilangkan uap air dari udara proses selama dehumidifikasi. Pengaruh variasi temperatur regenerasi (T_{reg}) terhadap MRC ditunjukkan pada Gambar 4. 19.



Gambar 4. 19 Hubungan temperatur regenerasi dengan *moisture removal capacity*

Berdasarkan Gambar 4. 19, nilai MRC cenderung menurun seiring dengan meningkatnya temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 0,001135 kg/s pada 39,6°C menjadi sekitar 0,000581 kg/s pada 70,06°C. Grafik menunjukkan hubungan negatif antara kedua variabel dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9757 yang menunjukkan bahwa sekitar 97,57% variasi nilai MRC dapat dijelaskan oleh perubahan temperatur regenerasi selama proses pengujian.

Secara prinsip kerja *desiccant wheel*, peningkatan temperatur regenerasi umumnya dapat meningkatkan performa *desiccant wheel*. Temperatur regenerasi yang lebih tinggi dapat membantu proses pelepasan molekul air yang masih terikat pada

permukaan dan pori-pori *silica gel* melalui mekanisme desorpsi. Dengan berkurangnya kandungan air pada material desikan, *silica gel* diharapkan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih besar ketika kembali memasuki zona adsorpsi.

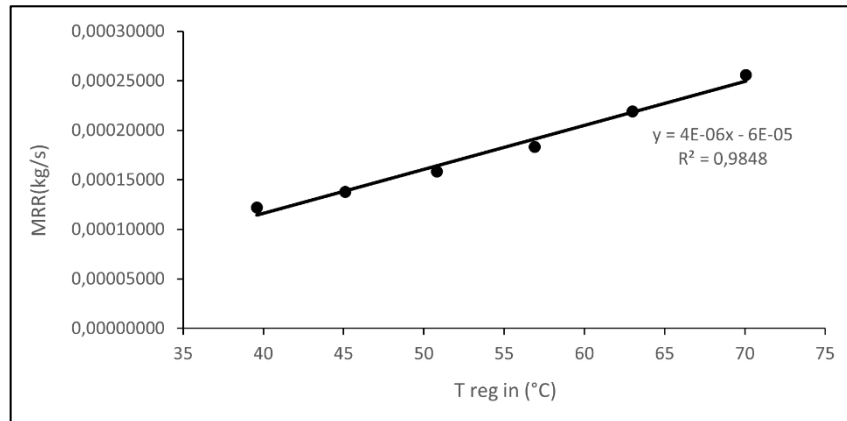
Berdasarkan grafik yang diperoleh, peningkatan temperatur regenerasi menyebabkan penurunan kemampuan *desiccant wheel* dalam melakukan pengurangan kandungan uap air pada udara proses, yang ditunjukkan oleh menurunnya nilai MRC. Parameter MRC menggambarkan jumlah massa uap air yang berhasil dihilangkan oleh sistem setiap satuan waktu, sehingga nilai MRC yang lebih rendah menunjukkan bahwa proses penyerapan uap air oleh material desikan berlangsung kurang efektif.

Hasil penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian Li & Tao (2023) menunjukkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi meningkatkan nilai MRC, karena proses regenerasi yang lebih efektif menghasilkan desikan yang lebih kering sehingga kapasitas penyerapan uap air pada siklus adsorpsi berikutnya menjadi lebih tinggi. Perbedaan tren ini diduga dipengaruhi oleh fenomena *heat carryover*, yaitu perpindahan panas yang terbawa oleh material desikan dari zona regenerasi menuju zona adsorpsi. Akibatnya, temperatur *silica gel* ketika memasuki zona adsorpsi menjadi lebih tinggi, sehingga kemampuan material dalam menyerap uap air dari udara proses dapat mengalami penurunan. Pada penelitian ini, temperatur regenerasi yang diterapkan diduga belum mencapai kondisi optimal untuk melepaskan seluruh kandungan air yang terikat pada *silica gel*, sehingga peningkatan kapasitas adsorpsi pada proses berikutnya belum terjadi secara maksimal.

4.6 Moisture Regeneration Rate (MRR)

Moisture Regeneration Rate (MRR) menunjukkan laju pelepasan kandungan uap

air dari material *desiccant* ke udara regenerasi selama proses desorpsi. Pengaruh variasi temperatur regenerasi (T_{reg}) terhadap MRR ditunjukkan pada Gambar 4. 20.



Gambar 4. 20 Hubungan temperatur regenerasi dengan *moisture regeneration rate*

Berdasarkan Gambar 4. 20, nilai MRR meningkat seiring dengan kenaikan temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 0,00012225 kg/s pada 39,6°C menjadi sekitar 0,00025578 kg/s pada 70,06°C. Grafik menunjukkan hubungan positif antara kedua variabel dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9848 yang menunjukkan bahwa sekitar 98,48% variasi nilai MRR dapat dijelaskan oleh perubahan temperatur regenerasi selama proses pengujian.

Secara prinsip kerja, peningkatan temperatur regenerasi berperan dalam meningkatkan efektivitas pelepasan kelembapan dan material desikan. Temperatur yang lebih tinggi memberikan energi panas yang lebih besar sehingga proses desorpsi pada *silica gel* dapat berlangsung lebih cepat. Sehingga, material desikan dapat kembali memiliki kemampuan penyerapan yang lebih baik pada proses adsorpsi selanjutnya.

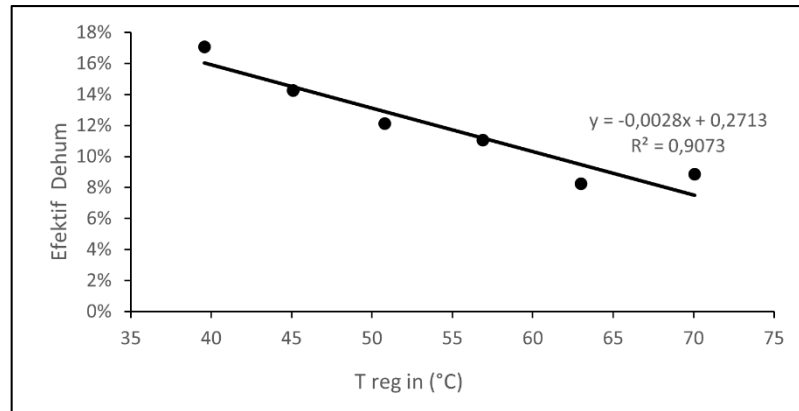
Berdasarkan hasil pengujian, kenaikan temperatur regenerasi dari 39,6°C hingga

70,06°C menghasilkan peningkatan nilai MRR secara bertahap. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan energi panas pada sisi regenerasi mampu mempercepat perpindahan massa uap air dari material desikan menuju aliran udara regenerasi. Sehingga efektif proses pelepasan kelembapan yang terjadi, maka jumlah uap air yang berhasil dikeluarkan dari *silica gel* semakin besar, sehingga material desikan dapat kembali memiliki kemampuan penyerapan yang lebih baik pada proses adsorpsi selanjutnya.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Mehare *et al.* (2025) yang juga menunjukkan bahwa peningkatan temperatur udara regenerasi meningkatkan *regeneration rate* karena energi panas yang lebih tinggi mempercepat pelepasan uap air yang tersimpan di dalam desikan. Dengan demikian, kenaikan temperatur regenerasi memberikan pengaruh positif terhadap efektivitas proses regenerasi dan meningkatkan kemampuan desikan untuk digunakan kembali pada siklus adsorpsi berikutnya.

4.7 Efektivitas Dehumidifikasi

Nilai efektivitas menunjukkan kemampuan sistem dalam mengurangi kandungan uap air pada udara proses. Pengaruh variasi temperatur regenerasi (T_{reg}) terhadap efektivitas dehumidifikasi ditunjukkan pada Gambar 4. 21.



Gambar 4. 21 Hubungan temperatur regenerasi dengan efektivitas dehumidifikasi

Berdasarkan Gambar 4. 21, nilai efektivitas dehumidifikasi cenderung menurun seiring dengan meningkatnya temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 17,08% pada 39,06°C menjadi sekitar 8,87% pada 70,06°C. menurun pada rentang temperatur regenerasi yang diuji. Grafik menunjukkan hubungan negatif antara kedua variabel dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9073 yang menunjukkan bahwa sekitar 90,73% variasi nilai efektivitas dehumidifikasi dapat dijelaskan oleh temperatur regenerasi selama proses pengujian.

Secara prinsip kerja, peningkatan temperatur regenerasi dapat meningkatkan kemampuan kerja *desiccant wheel* karena temperatur yang lebih tinggi mampu mempercepat proses pelepasan kandungan air dari material desikan melalui mekanisme desorpsi. Dengan berkurangnya kandungan air yang tersimpan pada *silica gel*, material desikan seharusnya memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar ketika kembali memasuki zona adsorpsi.

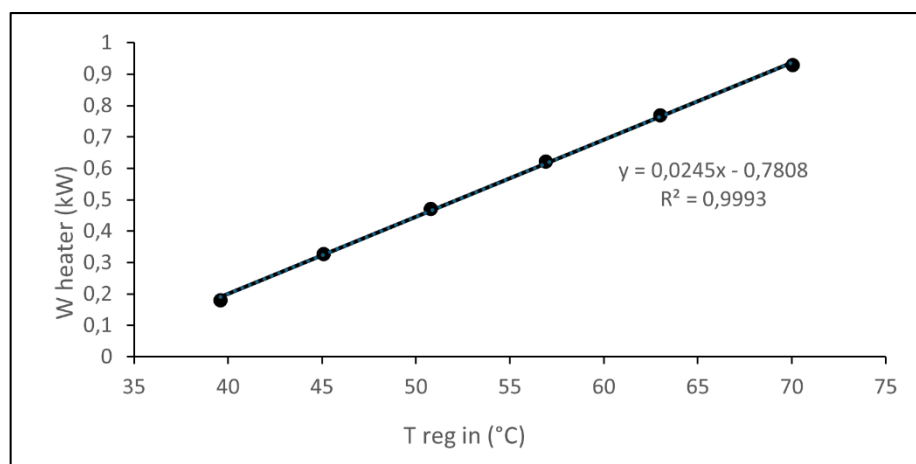
Namun, hasil pengujian menunjukkan kecenderungan yang berbeda, yaitu peningkatan temperatur regenerasi menyebabkan efektivitas dehumidifikasi menurun. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi pada rentang

pengujian belum mampu memberikan peningkatan performa adsorpsi pada siklus adsorpsi berikutnya.

Berbeda dengan hasil tersebut, Chaudhary *et al.* (2019) melaporkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi justru meningkatkan efektivitas dehumidifikasi karena proses regenerasi yang lebih baik menghasilkan desikan yang lebih kering sehingga kapasitas adsorpsinya meningkat. Perbedaan tren ini diduga disebabkan oleh fenomena *heat carryover* yang meningkatkan temperatur pada sisi adsorpsi serta temperatur regenerasi pada penelitian ini yang belum cukup tinggi untuk meregenerasi *silica gel* secara optimal, sehingga efektivitas dehumidifikasi tidak meningkat.

4.8 Konsumsi Daya Heater

Daya heater menunjukkan besarnya energi yang digunakan untuk memanaskan udara regenerasi selama proses regenerasi desikan. Hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan konsumsi energi heater ditunjukkan pada Gambar 4. 22.



Gambar 4. 22 Hubungan temperatur regenerasi dengan konsumsi daya heater

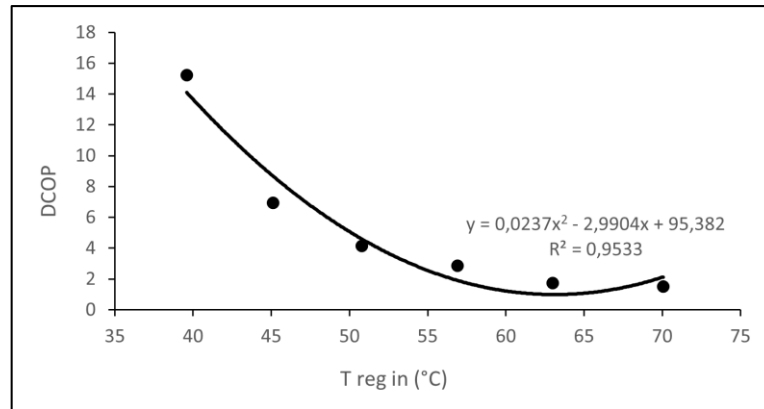
Berdasarkan Gambar 4. 22, konsumsi energi heater (*Wheater*) meningkat seiring

dengan kenaikan temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 0,1803 kW pada 32,98°C menjadi sekitar 0,928 kW pada 70,06°C. Grafik menunjukkan hubungan positif antara kedua variabel dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9993 yang menunjukkan bahwa sekitar 99,93% variasi W_{heater} dapat dijelaskan oleh temperatur regenerasi selama proses pengujian.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Kosasih *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa konsumsi energi *heater* meningkat seiring dengan kenaikan temperatur pemanas karena kebutuhan energi untuk mencapai temperatur regenerasi yang lebih tinggi juga semakin besar. Dengan demikian, peningkatan temperatur regenerasi berpengaruh langsung terhadap kenaikan konsumsi energi *heater* pada sistem dehumidifikasi.

4.9 Dehumidification Coefficient of Performance (DCOP)

Dehumidification Coefficient of Performance (DCOP) adalah parameter yang menunjukkan efisiensi sistem dehumidifikasi dalam menghasilkan pengurangan kelembapan dibandingkan dengan energi yang digunakan untuk proses tersebut. Hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan nilai DCOP ditunjukkan pada Gambar 4. 23.



Gambar 4. 23 Hubungan temperatur regenerasi dengan DCOP

Berdasarkan Gambar 4. 23, nilai DCOP cenderung menurun seiring dengan meningkatnya temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 15,2407 pada 39,06°C menjadi sekitar 1,51 pada 70,06°C. Grafik menunjukkan hubungan positif antara kedua variabel dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9533 yang menunjukkan bahwa sekitar 95,33% variasi nilai DCOP dapat dijelaskan oleh temperatur regenerasi selama proses pengujian.

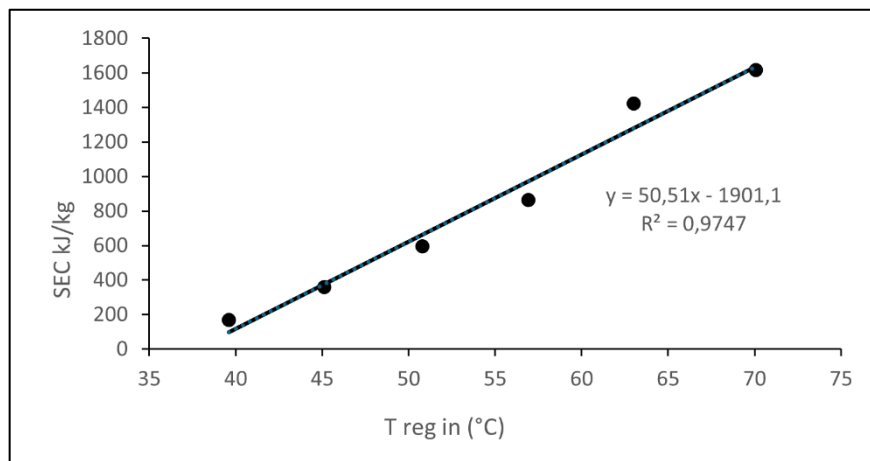
Secara prinsip kerja, peningkatan temperatur regenerasi dapat meningkatkan kemampuan regenerasi material desikan karena temperatur yang lebih tinggi mampu mempercepat proses pelepasan molekul air dari permukaan dan pori-pori *silica gel*. Namun, peningkatan temperatur tersebut juga menyebabkan konsumsi energi regenerasi meningkat akibat kebutuhan panas yang lebih besar dari *heater*. Apabila peningkatan energi yang digunakan lebih besar dibandingkan peningkatan jumlah kelembapan yang berhasil dihilangkan, maka nilai DCOP akan mengalami penurunan.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Li & Tao (2023) yang menunjukkan bahwa nilai DCOP cenderung menurun ketika temperatur regenerasi meningkat akibat kebutuhan energi regenerasi yang semakin besar. Dengan demikian, meskipun

temperatur regenerasi yang lebih tinggi dapat memperbaiki proses regenerasi desikan, peningkatan konsumsi energi yang lebih besar menyebabkan nilai DCOP menurun.

4.10 Specific Energy Consumption

Specific Energy Consumption (SEC) menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk menghilangkan satu satuan massa air pada proses dehumidifikasi. Pengaruh variasi temperatur regenerasi (T_{reg}) terhadap SEC ditunjukkan pada Gambar 4. 24.



Gambar 4. 24 Hubungan temperatur regenerasi dengan *specific energy consumption*

Berdasarkan Gambar 4. 24, nilai SEC cenderung meningkat seiring dengan kenaikan temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 169,0067 kJ/kg pada 39,06°C menjadi sekitar 1.617,545 kJ/kg pada 70,06°C. Grafik menunjukkan hubungan positif antara kedua variabel dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9747 yang menunjukkan bahwa sekitar 97,47% variasi nilai SEC dapat dijelaskan oleh temperatur regenerasi selama proses pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan temperatur regenerasi menyebabkan nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) semakin meningkat. Nilai SEC yang

semakin kecil menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan proses dehumidifikasi dengan konsumsi energi yang lebih rendah atau memiliki tingkat efisiensi energi yang lebih baik.

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Kosasih *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa nilai SEC meningkat seiring dengan kenaikan temperatur pemanas (*heater temperature*) karena kebutuhan energi untuk proses regenerasi semakin besar. Dengan demikian, meskipun temperatur regenerasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan proses regenerasi desikan, konsumsi energi yang dibutuhkan juga semakin besar sehingga nilai SEC meningkat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil rancang bangun, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penelitian ini telah berhasil merancang, membangun, dan mengoperasikan *test bed dehumidifier* berbasis *desiccant wheel* dengan *electric heater* sebagai sumber panas regenerasi. Sistem dilengkapi dengan blower, sensor temperatur, sensor kelembapan, dimmer untuk kecepatan aliran udara, serta sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler yang mampu memantau parameter pengujian secara *real time*. *Test bed* yang dikembangkan mampu menurunkan kelembapan relatif udara dari kisaran 69,38–70,28% menjadi sekitar 36,1 – 50,3% dengan peningkatan temperatur udara dari kisaran 32,7 – 32,98°C menjadi sekitar 35,5 – 43,12°C pada variasi temperatur regenerasi 40 – 65°C sehingga layak digunakan sebagai media penelitian dan pengujian kinerja sistem dehumidifikasi.
2. Variasi temperatur regenerasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja dehumidifikasi. Peningkatan temperatur regenerasi, *Moisture Regeneration Rate* (MRR), konsumsi daya *heater*, dan *Specific Energy Consumption* (SEC) meningkat, sedangkan kemampuan dehumidifikasi menurun yang ditunjukkan oleh penurunan nilai ΔW_{ads} , *Moisture Removal Capacity* (MRC), efektivitas dehumidifikasi, dan *Dehumidification Coefficient*

of Performance (DCOP).

3. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental yang diperoleh melalui sistem instrumentasi dan akuisisi data secara *real time*, seluruh parameter operasi sistem dapat dipantau dan dianalisis dengan baik. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi performa dehumidifikasi pada berbagai kondisi temperatur regenerasi.
4. Kondisi operasi terbaik diperoleh pada temperatur regenerasi 40°C. Pada kondisi tersebut, sistem menghasilkan keseimbangan terbaik antara kemampuan penurunan kelembapan udara dan efisien energi dibandingkan variasi temperatur regenerasi yang lebih tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penambahan isolasi termal pada *casing* dan saluran udara regenerasi–adsorpsi diperlukan untuk mengurangi *heat loss* dan perpindahan panas antarbagian sistem.
2. Pengujian dengan variasi temperatur regenerasi yang lebih luas disarankan untuk memperoleh kondisi operasi optimum berdasarkan kinerja dehumidifikasi dan konsumsi energi.
3. Pengujian dengan variasi kecepatan udara yang lebih luas diperlukan untuk mengevaluasi pengaruh laju aliran udara terhadap waktu kontak dan performa dehumidifikasi.

4. Pengujian dengan waktu operasi yang lebih panjang disarankan untuk mengevaluasi penurunan performa akibat kejenuhan *silica gel* dan menentukan durasi regenerasi optimum.
5. Menggunakan jenis *desiccant* atau bahan komposit lain untuk membandingkan kapasitas adsorpsi dan efektivitas dehumidifikasi sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelgaied, M, Saber, MA, Bassuoni, MM & Khaira, A.M. 2023, 'Solid *desiccant* air conditioning system using *desiccant dehumidifiers* with cooling technique and thermal recovery unit: Experimental investigation and performance analysis', *Journal of Cleaner Production*, vol. 421, pp.138387. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.138387.
- Ai, ZT, Mak, CM 2013, 'Pressure Losses across Multiple Fittings in Ventilation Ducts', *Research Article*, DOI:http://dx.doi.org/10.1155/2013/195763
- Al-Obaidi, ASM, Peterson, S & Hui, KJLN 2022, 'Desiccant-based air *dehumidifier* and cooling system', *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2222, no. 1, pp. 012012, DOI:10.1088/1742-6596/2222/1/012012.
- Alam, Z & Hussain, T 2022, 'Experimental analysis and performance evaluation of solid *desiccant dehumidifier* using *silica gel*', *International Journal of Analytical, Experimental and Finite Element Analysis*, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, DOI:10.26706/ijaefea.1.9.20211202.
- Asa, FN, Yunianto, B & Muchammad 2024, 'Dehumidifikasi udara tertutup menggunakan *desiccant silica gel*', *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 12, no. 1, pp. 19–24.
- Behede, B, Chakrabarti, S & Wankhede, U 2024, 'Development of rotary *dehumidifier* with silica-gel-based composite *desiccant*', *Thermal Science*, vol. 28, no. 5, pp. 4223–4233, DOI:10.2298/TSCI231016174B.
- Chaudhary, GQ, Ali, M, Ashiq, M, Ali, HM, Amber, KP 2019, 'Experimental and model based performance investigation of a solid *desiccant wheel dehumidifier* in subtropical climate', *Thermal Science*, vol. 23, no. 2B, pp. 975–988, DOI: <https://doi.org/10.2298/TSCI170127165C>
- Cuce, PM, Yilmaz, YN & Cuce, E 2025, 'A comprehensive review on rotary *desiccant wheel* systems: The future of smart building climate control', *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 150, pp. 9827–9850, DOI:10.1007/s10973-025-14362-x.
- Dalian Haixin Chemical Co., Ltd., 2024, 'Fine-pored *Silica gel*(A Type *Silica gel*)' Available at : https://www.hxmol.com/product/fine-pored-silica-gel-a-type-silica-gel?gad_source=1&gad_campaignid=21129160470&gbraid=0AAAAApuPyYBYZId_h9VmAILCAMHoswXX&gclid=Cj0KCQjwi8nRBhDhARIsAHZf_pbcQvt_huc0OW4hROTgdZywKKmyeoDsCa6ZnedrkCfyK4kW3cJGRXkaAv_4EALw_wcB, diakses pada 19 Juni 2026
- Engineering Tool Box (n.d.), 'Angular Motion - Power and Torque', *The Engineering ToolBox*, Available at : <https://www.engineeringtoolbox.com/>, diakses pada 26 Juni 2026.
- Fu, HX & Liu, XH 2017, 'Review of the impact of liquid *desiccant* dehumidification on indoor air quality', *Building and Environment*, vol. 116, pp. 158–172, DOI:10.1016/j.buildenv.2017.02.014.
- Gorai, VK, Singh, SK & Jani, DB 2024, 'A comprehensive review on solid *desiccant*-

- assisted novel dehumidification and its advanced regeneration methods', *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 149, no. 17, pp. 8979-9000, DOI:10.1007/s10973-024-13479-9.
- Hanif, S, Adiputra, S, Yaningsih, I, Budiana, EP 2023, 'Adsorption Characteristics of *Silica gel*-Water Pairs in Personal Protection Equipment', *Mekanika:Majalah Ilmiah Mekanika*, vol. 22, pp. 50-58, DOI: <https://dx.doi.org/10.20961/mechanika.v22i2.71250>
- Hasibuan, R & Marbun, IDS 2018, 'Effectiveness of various *desiccants* and air velocity on adsorption of water vapor from air', *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 7, no. 1, pp. 41–47.
- Hraiech, I, Zallama, B, Belkhiria, S, Zili-Ghedira, L, Maatki, C, Hassen, W, Hadrich, B & Kolsi, L 2025, 'Experimental characterization of *silica gel* adsorption and desorption isotherms under varying temperature and relative humidity in a fixed bed reactor', *Scientific Reports*, vol. 15, pp. 29041, DOI:10.1038/s41598-025-14677-7.
- Innovative Air Technologies 2024, *Desiccant dehumidification with Innovative Air Technologies* [video], YouTube, diakses pada 20 Januari 2026, (<https://youtu.be/y9BW7N8nBTc>).
- Iqbal, W, Mahmood, M, Iqbal, S, Ali, M, Iqbal, MH, Hussien, AG & Kamel, S 2023, 'Techno-economic and emission analysis of solar assisted *desiccant* dehumidification: An experimental and numerical study', *Energy Reports*, vol. 10, pp. 2640–2654. DOI:10.1016/j.egyr.2023.08.077.
- Jani, DB 2020, 'Application of liquid *desiccant* cooling technology in built environment: a review', *International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering (IJMSME)*, vol. 6, no. 1, pp. 9–18, DOI:10.20431/2454-9711.061002.
- Kamsah, N, Mohamed Kamar, H, Wan Khairuzzaman, MI, Alhamid, MI & Zawawi, FM 2016, 'Performance assessment of a solid *desiccant* air *dehumidifier*', *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, vol. 78, no. 8–4, pp. 57–64.
- Khan, K, Moses, SC, Kumar, A & Soni, S 2017, 'Design a seed metering wheel for sowing corn (*Zea mays*) seeds', *Plant Archives*, vol. 17, no. 2, pp. 1651–1657
- Kosasih, EA, Zikri, A, Dzaky, MI 2022, 'Water vapor desorption from *silica gel* in a combined drying and double-condenser compression refrigeration system, *Heliyon*, vol. 8, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09757>
- Kurniawan, Y, Ruslani & Anggriawan, FA 2017, 'Analisa kinerja sistem heating *dehumidifier* menggunakan AC split untuk pengeringan ikan', *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 3, no. 1, pp. 41–47.
- Kushwaha, PK & Kumar, A 2025, 'Effect of ambient conditions on the performance of solar-powered atmospheric water harvesting system based on *desiccant wheel*: An experimental investigation', *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 279, pp. 113288, DOI:10.1016/j.solmat.2024.113288.
- Li, Z & Tao, R 2023, 'Performance enhancement of *desiccant wheels* by adsorption/desorption in stages with type-S isotherm *desiccants*' *Journal of Applied Thermal Engineering*, vol. 224, p. 120068. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120068>
- Liu, L, Wu, R, Huang, H, Li, J, Bai, Y, He, Z, Deng, L, Wang, Z, Kubota, M & Kobayashi, N 2024, 'Theoretical study on the dehumidification behaviors of dual-*desiccants* coated cross-flow heat exchanger with staged adsorption-

- desorption process', *Energy*, vol. 297, pp. 131050, DOI:10.1016/j.energy.2024.131050.
- Mathwords, n.d. 'RPM — Definition, Formula & Examples', *Mathwords*, Available at : <https://www.mathwords.com/r/rpm.htm>, diakses pada 26 Juni 2026
- Mehare, HB, Hussain, T, Zia, MA, Saleem, S 2025, 'Performance evaluation of a rotary *dehumidifier* with molecular sieve *desiccant* using coupled regeneration mode: Experimental investigation', *Energy and Built Environment*, vol. 6, pp. 219-229, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.10.008>
- Mohammed, R.H., Mesalhy, O., Abdelkareem, M., Hou, S., Su, M. & Chow, L.C., 2018. Physical properties and adsorption kinetics of silica-gel/water for adsorption chillers. *Applied Thermal Engineering*, vol. 137, pp.368–376, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.088>
- Norazam, AS, Kamar, HM, Kamsah, N, Alhamid, MI 2019, 'simulation of adsorption process in a rotary solid *desiccant wheel*', *International Journal of Technology*, vol. 10, pp. 1120-1130, DOI: <https://dx.doi.org/10.14716/ijtech.v10i6.3590>
- Nuryanto, H n.d, 'Rumus Volume Balok dan Contoh-Contoh Soalnya', *Gamedia Blog*, Available at : <https://www.gamedia.com/literasi/rumus-volume-balok/>, diakses pada 26 Juni 2026.
- Open-Meteo, 2025. *Historical Weather API*. Available at : <https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api>, diakses pada 25 Juni 2026
- OpenStax, n.d, '10.1: Angular Acceleration', *LibreTexts Physics*, Available at : [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/College_Physics_1e_\(OpenStax\)/10%3A_Rotational_Motion_and_Angular_Momentum/10.01%3A_Angular_Acceleration](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/College_Physics_1e_(OpenStax)/10%3A_Rotational_Motion_and_Angular_Momentum/10.01%3A_Angular_Acceleration), diakses pada 26 Juni 2026.
- Om Vin 2025, 'Rumus Debit Aliran Air dan Cara Menghitungnya dengan Flowmeter', *Avindocs*, Available at : <https://www.alvindocs.com/blog/rumus-debit-aliran-air>, diakses pada 26 Juni 2026.
- Pamungkas, AD & Sasongko, SB 2023, 'Performansi *dehumidifier* pada variasi suhu ruangan dengan waktu pengujian yang berbeda', in Proceedings of the Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan III (SENASTITAN III), Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya.
- PT. Damases Sejahtera, n.d., *Silica gel white*, PT. Damases Sejahtera, diakses pada 18 Juni 2026, (<https://damases.com/product/silica-gel-white/>)
- Rambhad, KS, Walke, PV, Kalbande, VP, Kumbhalkar, MA, Khond, VW, Nandanwar, Y, Mohan, M & Jibhakate, R 2023, 'Experimental investigation of *desiccant* dehumidification with four different combinations of *silica gel desiccant wheel* on indoor air quality', *SN Applied Sciences*, vol. 5, no. 11, DOI:10.1007/s42452-023-05505-6.
- Risno, SJ 2023, 'Rumus volume tabung lengkap dengan pengertian, ciri, dan jenisnya', *Brilio.net*, Available at: <https://www.brilio.net/ragam/rumus-volume-tabung-lengkap-dengan-pengertian-ciri-dan-jenisnya-230829d/jenis-jenis-rumus-volume-tabung-230829c.html>, Diakses pada 26 Juni 2026.
- Saputra, DA, Osaka, Y, Tsujiguchi, T, Haruki, M, Kumita, M & Kodama, A 2020, 'Experimental investigation of *desiccant wheel* dehumidification control method for changes in regeneration heat *input*', *Energy*, vol. 205, pp. 118109, DOI:10.1016/j.energy.2020.118109.
- Sari, LH, Zahriah & Zuhriana 2021, Pengaruh karakter arsitektur tropis pada desain rumah Belanda, Syiah Kuala University, Banda Aceh.

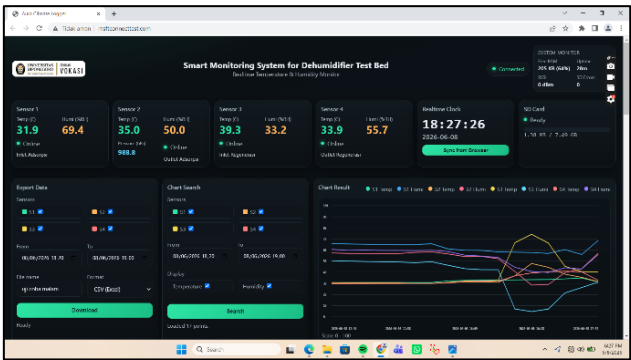
- Su, M, Han, X, Dai, Y, Wang, J, Liu, J & Yan, J 2024, 'Investigation on recirculated regenerative solid *desiccant*-assisted dehumidification system: Impact of system configurations and *desiccant* materials', *Energy*, vol. 286, pp. 129629, DOI:10.1016/j.energy.2023.129629.
- Surbakti, JS, Yunianto, B & Muchammad 2024, 'Dehumidifikasi udara tertutup menggunakan *desiccant* karbon aktif', *Jurnal Teknik Mesin S-I*, vol. 12, no. 1, pp. 91–98.
- Tsubaki n.d., *technical data Synchronous Belts and Belt Sprockets Selection*, Tsubaki, diakses pada 19 Februari 2026, (https://en.tt-net.tsubakimoto.co.jp/tecs/engd/tbl/engd_tbl_sen_kou.asp?utm_source=chatgpt.com).
- Yadav, A, Yadav, L 2014, 'Comparative performance of *desiccant wheel* with effective and ordinary regeneration sector using mathematical model', *Heat Mass Transfer*, vol. 50, pp. 1465-1478, DOI: 10.1007/s00231-014-1349-6
- Yang, G, Yu, W, Chen, W & Jiao, S 2025, 'Experimental investigation of rotating *wheel* speed and regeneration temperature effects on marine dual-stage *desiccant* dehumidification fresh-air pre-treatment system performance', *Processes*, vol. 13, no. 3, DOI:10.3390/pr13030669.
- Yang, J & Kim, YI 2025, 'Experimental analysis of energy savings in a combined rotary *desiccant dehumidifier* with a purge section', *Sustainability*, vol. 17, no. 9, DOI:10.3390/su17094126.
- Ybyraiymkul, D, Chen, Q, Burhan, M, Akhtar, FH, AlRowais, R, Shahzad, MW, Ja, MK & Ng, KC 2023, 'Innovative solid *desiccant* dehumidification using distributed microwaves', *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, pp. 1-12, DOI:10.1038/s41598-023-34542-9.
- Yeboah, SK, Darkwa, J 2021, 'Experimental Data on Water Vapour Adsorption on *Silica gel* in Fully Packed and Z-Annulus Packed Beds', *Journal Pre-proof*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106736>
- YouTube (Holden and Associates 2024) Holden and Associates 2024, *Desiccant Dehumidification with Innovative Air Technologies*, YouTube, 18 October, diakses pada Desember 28 2025, (<https://youtu.be/y9BW7N8nBTc?si=5xCsbzVHtWsFB036>).
- Yu, H, Seo, SW, Miksik, F, Thu, K, Miyazaki, T, Ng, KC 2022, 'Effects of temperature and *Humidity ratio* on the performance of *desiccant* dehumidification system under low-temperature regeneration', *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11368-7>

LAMPIRAN

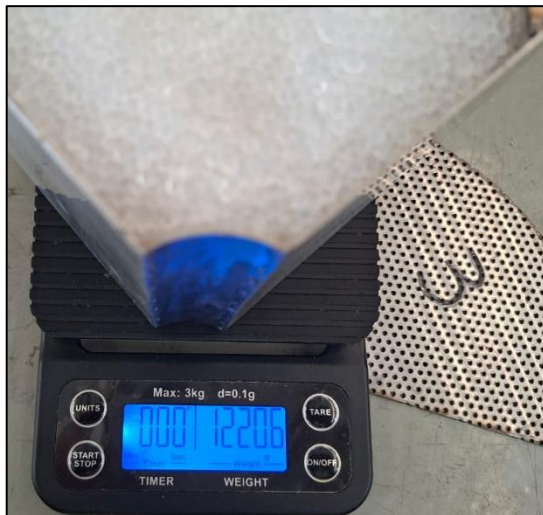
Lampiran 1 Proses fabrikasi *test bed dehumidifier*



Lampiran 2 Pengujian *test bed dehumidifier*



Lampiran 3 Berat *silica gel* sebelum pengujian



Lampiran 4 Berat *silica gel* setelah pengujian



Lampiran 5 Data hasil pengujian

16/06/2026	17:55:31	40	10	10.7	12	33	69.4	35.5	50.3	39.6	34.4	35.8	54.1
16/06/2026	17:55:32					33	69.4	35.5	50.3	39.6	34.5	35.8	54.1
16/06/2026	17:55:33					33	69.3	35.5	50.3	39.6	34.5	35.8	54.1
16/06/2026	17:55:34					33	69.4	35.5	50.3	39.6	34.4	35.8	54.1
16/06/2026	17:55:35					33	69.4	35.5	50.3	39.6	34.5	35.8	54.1
16/06/2026	18:00:40	45	10	10.7	Avg	32.98	69.38	35.5	50.3	39.6	34.46	35.8	51.4
16/06/2026	18:00:41				12	32.8	69.7	36.3	49.6	45.1	26	37.4	51.4
16/06/2026	18:00:41					32.8	69.8	36.3	49.6	45.1	26	37.4	51.4
16/06/2026	18:00:42					32.8	69.8	36.3	49.6	45.1	26	37.4	51.3
16/06/2026	18:00:43					32.8	69.7	36.2	49.6	45.1	26	37.4	51.3
16/06/2026	18:00:44					32.8	69.8	36.2	49.6	45.1	25.9	37.4	51.3
16/06/2026	18:00:44				Avg	32.8	69.76	36.26	49.6	45.1	25.98	37.4	51.36
16/06/2026	18:06:10	50	10	10.7	12	32.9	69.9	38.4	45.6	50.8	19.8	38.6	50.7
16/06/2026	18:06:11					32.9	69.9	38.4	45.6	50.8	19.8	38.6	50.7
16/06/2026	18:06:12					32.9	69.9	38.4	45.6	50.8	19.8	38.6	50.7
16/06/2026	18:06:13					32.9	69.9	38.4	45.6	50.8	19.8	38.6	50.6
16/06/2026	18:06:14				Avg	32.9	69.9	38.4	45.5	50.8	19.8	38.6	50.6
11/06/2026	18:11:30	55	10	10.7	12	32.9	69.9	38.4	45.58	50.8	19.8	38.6	50.66
16/06/2026	18:11:31					32.8	69.7	39.5	43.3	56.9	14.5	40.8	46.6
16/06/2026	18:11:32					32.8	69.7	39.4	43.3	56.9	14.5	40.8	46.6
16/06/2026	18:11:33					32.8	69.8	39.4	43.3	56.9	14.4	40.8	46.5
16/06/2026	18:11:34				Avg	32.8	69.8	39.4	43.3	56.9	14.5	40.8	46.5
16/06/2026	18:16:50	60	10	10.7	12	32.82	69.74	39.44	43.3	56.9	14.48	40.8	46.56
16/06/2026	18:16:51					32.7	70.3	41.9	39.2	63	10.5	41.6	46.6
16/06/2026	18:16:52					32.7	70.3	41.9	39.2	63	10.6	41.6	46.6
16/06/2026	18:16:53					32.7	70.3	41.9	39.2	63	10.6	41.6	46.6
16/06/2026	18:16:54				Avg	32.7	70.2	41.9	39.2	63	10.6	41.6	46.6
16/06/2026	18:22:05	65	10	10.7	Avg	32.7	70.28	41.9	39.2	63	10.58	41.6	46.6
16/06/2026	18:22:06				12	32.7	69.5	43.2	36.1	70.1	7.3	44	42.6
16/06/2026	18:22:07					32.7	69.4	43.1	36.1	70	7.4	44	42.6
16/06/2026	18:22:08					32.7	69.5	43.1	36.1	70	7.4	44.1	42.5
16/06/2026	18:22:09				Avg	32.7	69.4	43.1	36.1	70.1	7.4	44.1	42.5
					Avg	32.7	69.44	43.12	36.1	70.06	7.38	44.04	42.56

Lampiran 6 Proses fabrikasi dan *assembly desiccant rotary*

Desiccant rotary wheel merupakan komponen utama pada *test bed dehumidifier* yang berfungsi menyerap uap air dari udara menggunakan material adsorben berupa *silica gel*. Pada penelitian ini, *desiccant rotary wheel* diputar setiap interval waktu tertentu sesuai dengan variasi penelitian sehingga setiap bagian adsorben secara bergantian mengalami proses adsorpsi dan regenerasi. Mekanisme tersebut memungkinkan kemampuan adsorpsi *silica gel* tetap terjaga selama proses dehumidifikasi berlangsung.



Gambar Rotary wheel

1. Komponen *desiccant rotary wheel*

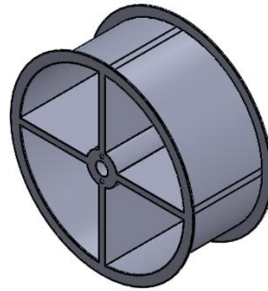
Berdasarkan pada gambar *desiccant wheel*, *rotary wheel* tersusun atas empat jenis komponen dengan jumlah dan fungsi yang berbeda-beda, sebagaimana disajikan pada Tabel dibawah ini.

No	Komponen	Fungsi	Material yang Umum Dipakai
1	Rim luar (outer ring)	Pembatas tepi wheel, dudukan matriks desiccant	Pelat aluminium/stainless tipis, dirol
2	Rim dalam (inner ring, sisi belakang)	Menahan sisi belakang matriks	Pelat aluminium/stainless tipis, dirol
3	Spoke / jari-jari (4 buah)	Penguat struktur, menyalurkan beban ke hub	Pelat aluminium/stainless
4	Hub tengah	Dudukan poros dan bearing	Batang pejal/pipa aluminium atau baja
5	Poros (shaft)	Menyalurkan putaran dari motor ke wheel	Baja ST41/ST60 atau stainless
6	Matriks desiccant (honeycomb)	Media adsorpsi kelembapan	Silica gel corrugated
7	Lockpin / pengunci DW	Mengunci posisi matriks desiccant	Stainless
8	Baut M3	Pengunci lockpin agar kencang	ISO 7045

2. Fabrikasi komponen – komponen *desiccant rotary wheel*

Setiap komponen rotary wheel difabrikasi secara terpisah sesuai dimensi yang tercantum pada gambar kerja sebelum memasuki tahap perakitan.

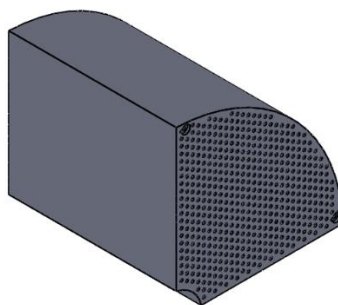
- a. Rangka Dalam DW dibuat dengan proses permesinan (machining) membentuk struktur radial berjari-jari luar R150.00 mm dan diameter dalam sesuai jari-jari R135.20 mm, dengan kedalaman/lebar aksial 130.00 mm.



Gambar Rangka *desiccant wheel*

Struktur ini mencakup empat sekat pembagi (*spoke*) yang membagi penampang roda menjadi empat kuadran, serta lubang poros di bagian tengah.

- b. *Silica gel compartment* difabrikasi sebanyak 4 unit dengan profil melengkung berjari-jari R134.50 mm dan panjang aksial 130.00 mm.



Gambar *Silica gel compartment*

Silica gel compartment memiliki permukaan berlubang (perforated/mesh) yang berfungsi menahan sekaligus meloloskan aliran udara melalui media

silica gel. Pada tiap segmen dibuat titik pengeboran untuk dudukan baut M3 x 6.

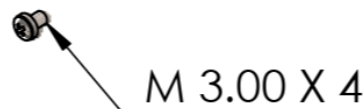
- c. Pengunci DW / *lockpin* difabrikasi sebanyak 2 unit berbentuk plat setengah lingkaran dengan jari-jari luar R32.50 mm dan lubang poros berjari-jari R12.50 mm.



Gambar Lockpin

Lockpin yang berperan mengunci rotary wheel agar tidak bergeser secara aksial terhadap poros penggerak motor.

- d. Baut ISO 7045 - M3 x 4 - Z - 4N disiapkan sebanyak 10 unit sebagai elemen pengencang standar yang akan digunakan pada tahap perakitan



Gambar Baut M3

3. Proses perakitan (*assembly*) desiccant rotary wheel

Setelah seluruh komponen selesai difabrikasi dan lolos pemeriksaan dimensi, komponen-komponen tersebut dirakit menjadi satu kesatuan *rotary wheel* melalui

tahapan berikut.

- a. Rangka Dalam DW (komponen 1) diposisikan sebagai basis utama assembly, dengan poros tengah dijadikan acuan kesumbuan (centerline) untuk pemasangan komponen berikutnya.

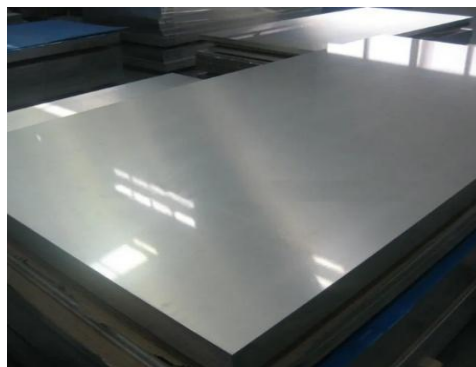


Gambar Fabrikasi dan *assembly* rangka *rotary wheel*

Dalam pembuatan atau fabrikasi rangka rotary wheel, ada beberapa komponen dan proses fabrikasi komponen tersebut, antara lain :

1. Rim Luar dan Rim Dalam

- Pemotongan pelat: pelat aluminium/stainless (tebal $\pm 1-2$ mm) dipotong memanjang sesuai keliling wheel menggunakan gunting plat atau mesin laser cutting.



Gambar Plat Stainless Steel 304



Gambar Pemotongan pelat

- Pengerolan (rolling) pelat digulung menggunakan mesin rol plat (roll bending) hingga membentuk silinder sesuai diameter rim yang direncanakan.



Gambar Pengerolan pelat

- Penyambungan (joining) ujung sambungan pelat disambung dengan las TIG (untuk material stainless/aluminium tipis) atau paku keling, kemudian dihaluskan agar tidak mengganggu aliran udara pada wheel.



Gambar Penyambungan pelat

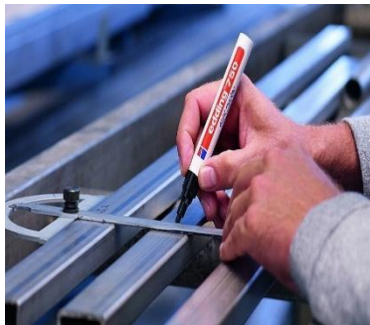
- Finishing tepi rim dihaluskan (deburring) agar tidak merusak matriks desiccant pada saat pemasangan.



Gambar Penghalusan pelat

2. Spoke (jari - jari)

- Penandaan pola (marking) digambar pada pelat sesuai jumlah spoke (4 buah) dengan bantuan mal/jig agar ukuran seragam.



Gambar Penggambaran pola

- Pemotongan pelat menggunakan laser cutting/waterjet agar diperoleh hasil yang presisi, atau gunting plat dan gerinda tangan untuk fabrikasi secara manual.



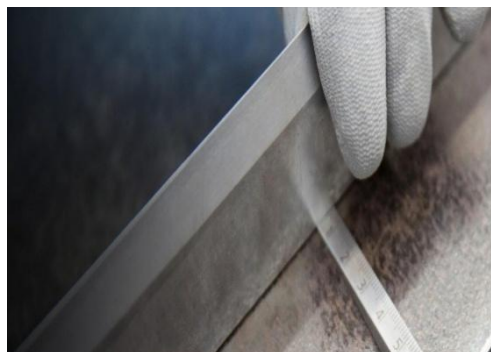
Gambar Pemotongan pelat

- Pembentukan lubang tengah untuk dudukan hub dibuat menggunakan bor atau punch sesuai diameter poros yang direncanakan.



Gambar Pengeboran lubang

- Pelurusan (straightening) pelat diperiksa rataannya dengan straight edge dan diluruskan apabila terjadi lengkungan akibat proses pemotongan.



Gambar Pelurusan pelat

3. Hub Tengah

- Pembubutan (turning) batang aluminium/baja dibubut hingga diperoleh diameter luar dan dalam sesuai rancangan, termasuk alur dudukan bearing.



Gambar Pembubutan lubang poros

- Pengeboran dan tapping dibuat lubang untuk baut pengikat spoke serta lubang poros, kemudian di-tap apabila menggunakan sambungan baut.



Gambar Pengeboran lubang



Gambar Tapping lubang

4. Poros (shaft)

- Poros dibubut sesuai panjang dan diameter yang dibutuhkan, dengan step diameter untuk dudukan bearing dan pulley/sproket penggerak.



Gambar Pembuatan poros

b. Proses *assembly*

Setelah seluruh komponen selesai difabrikasi, proses perakitan dilakukan secara bertahap sebagai berikut.

1. Tahap 1 Perakitan rangka spoke ke hub

- Ke empat spoke dipasang mengelilingi hub secara simetris dengan sudut antar spoke sebesar 90° , dikencangkan dengan dilas titik (tack weld) terlebih dahulu agar posisi tetap sebelum pengelasan penuh

dilakukan.

- Kerataan dan kesejajaran spoke diperiksa menggunakan dial indicator agar wheel tidak mengalami run-out (goyang) pada saat berputar.

2. Tahap 2 Pemasangan rim luar dan rim dalam

- Rim luar dipasang mengelilingi ujung-ujung spoke, kemudian dilas atau dikeling pada setiap titik pertemuan antara spoke dan rim.
- Rim dalam (sisi belakang) dipasang dengan cara yang sama, sehingga membentuk struktur drum yang kokoh.

3. Tahap 3 Pemasangan matriks *desiccant*

- Matriks *desiccant* berbentuk silinder dipotong/dibentuk sesuai diameter dalam rangka, kemudian dimasukkan ke dalam rongga di antara rim luar dan rim dalam.
- Matriks dikunci menggunakan sealant/perekat tahan panas atau klem tepi agar tidak bergeser pada saat wheel berputar.

4. Tahap Pemasangan pada rangka *test bed*

- Unit wheel yang telah lengkap dipasang padaudukan casing test bed, kemudian dihubungkan dengan motor penggerak melalui sistem pulley-belt atau langsung ke poros dengan reducer, mengingat kecepatan putar wheel *desiccant* umumnya rendah ($\pm 8-20$ rpm).
- Dilakukan uji putar tanpa beban (dry run) untuk memastikan tidak terdapat gesekan atau hambatan sebelum unit digunakan pada

pengujian sesungguhnya.



Gambar *Assembly rotary wheel*

Melalui tahapan fabrikasi komponen terpisah yang kemudian dirakit secara bertahap ini, rotary wheel dapat dibongkar-pasang (knock-down) untuk keperluan penggantian atau pengisian ulang media silica gel pada slot material, tanpa perlu mengganti keseluruhan struktur rangka dalam.

Lampiran 7 Proses fabrikasi dan *assembly ducting* regenerasi

Ducting regenerasi merupakan saluran udara yang berfungsi menyalurkan udara panas dari *heater* menuju sisi regenerasi *desiccant wheel* untuk mengeluarkan uap air yang terserap oleh *silica gel*, sehingga material desikan dapat diregenerasi dan digunakan kembali pada proses adsorpsi berikutnya.



Gambar *Ducting* regenerasi

Ducting regenerasi terdiri dari 5 komponen utama, yaitu:

1. Sambungan blower



Gambar Sambungan blower

Proses fabrikasi pipa outlet

- Memotong pelat sesuai ukuran panjang dan diameter pipa.



Gambar Pemotongan plat

- Menggulung pelat menggunakan mesin roll hingga membentuk silinder.



Gambar Pengerollan plat

- Menyambung sisi pelat menggunakan pengelasan.



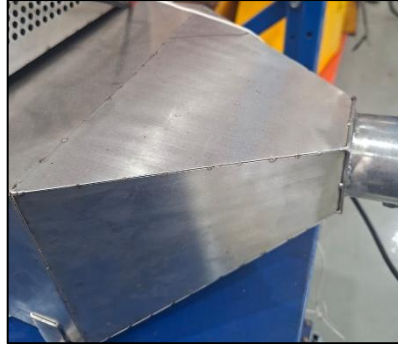
Gambar Pengelasan plat

- Meratakan hasil pengelasan menggunakan gerinda agar permukaan lebih rapi.



Gambar *Finishing*

2. *Duct inlet*



Gambar *Duct inlet*

Proses fabrikasi *duct inlet*

- Memotong pelat sesuai pola menggunakan gerinda.



Gambar Pemotongan pelat

- Membentuk setiap bidang sesuai sudut yang direncanakan menggunakan mesin bending.



Gambar Bending plat

- Merakit seluruh bidang hingga membentuk transisi dari penampang persegi menuju lingkaran.



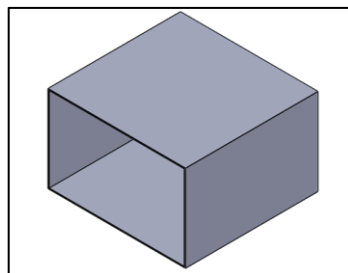
Gambar Pembentukan corong

- Menyambungkan seluruh sisi menggunakan pengelasan dan merapikan hasil las.



Gambar Pengelasan akhir

3. *Duct* transisi



Gambar *Duct* transisi

Proses fabrikasi *body* utama

- Membuat pola (layout) pada pelat *stainless steel* atau aluminium menggunakan

penggaris siku dan spidol.



Gambar Pembuatan pola

- Memotong pelat sesuai pola menggunakan mesin laser *cutting* atau gunting plat.



Gambar Pemotongan plat

- Membending pelat menggunakan mesin bending hingga membentuk saluran persegi panjang.



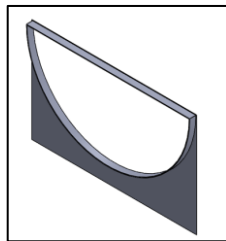
Gambar Bending plat

- Menyambung setiap sisi menggunakan pengelasan sehingga membentuk *body* utama *ducting*.



Gambar Pengelasan akhir

4. Panel depan



Gambar Panel depan

Proses fabrikasi panel depan

- Membuat pola panel sesuai ukuran inlet pada gambar kerja.



Gambar Membuat pola

- Memotong pelat menggunakan laser *cutting* sehingga terbentuk bukaan setengah lingkaran.



Gambar Membuat pola lingkaran

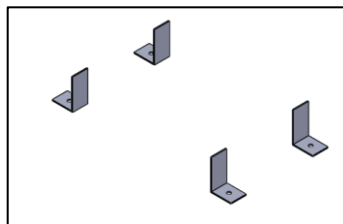
- Melakukan *finishing* pada tepi hasil pemotongan menggunakan gerinda atau amplas agar tidak tajam.



Gambar *Finishing*

- Memasang panel pada *body* utama menggunakan pengelasan.

5. **Bracket / dudukan**



Gambar *Bracket*/dudukan

Proses fabrikasi *bracket*

- Memotong pelat dengan gerinda.



Gambar Pemotongan pelat

- Membending pelat hingga membentuk sudut 90° menggunakan mesin bending.



Gambar Bending plat

- Membuat lubang baut menggunakan mesin bor apabila diperlukan.



Gambar Pengeboran lubang

- Mengelas *bracket* pada bagian bawah *body ducting* sesuai posisi yang telah ditentukan.



Gambar Pemasanganudukan

Tahap Akhir Perakitan

Setelah seluruh komponen selesai dibuat:

1. *Body* utama disambungkan dengan komponen transisi.
2. Pipa *outlet* dipasang pada ujung transisi menggunakan pengelasan.
3. Panel depan dipasang pada sisi *inlet body*.
4. *Bracket* dipasang pada bagian bawah *ducting*.
5. Seluruh sambungan dirapikan, diberi sealant pada celah sambungan, kemudian dilakukan pemeriksaan dimensi, kekuatan sambungan, dan uji kebocoran udara sebelum *ducting* dipasang pada sistem *dehumidifier*.

Lampiran 8 Proses fabrikasi dan *assembly chamber* regenerasi

Chamber regenerasi adalah ruang pada sisi *outlet* regenerasi yang berfungsi menampung dan mengarahkan udara panas yang telah melewati sisi regenerasi *desiccant wheel* menuju *ducting outlet*. *Chamber* ini memastikan aliran udara keluar berlangsung secara terarah, mengurangi kebocoran udara panas, serta menjaga kontinuitas aliran selama proses regenerasi.



Gambar *Chamber* regenerasi

Proses fabrikasi *chamber* regenerasi

1. Pembuatan pola dan pemotongan

Pola panel samping, panel depan-belakang, penutup atas, pelat perforated, dan dudukan kaki digambar pada pelat menggunakan spidol dan penggaris siku. Selanjutnya pelat dipotong menggunakan gerinda sesuai ukuran yang telah ditentukan.



Gambar Membuat pola



Gambar Pemotongan pelat

2. Pembentukan *housing desiccant wheel*

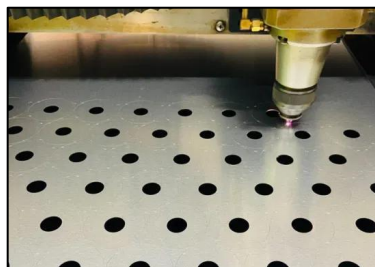
Bagian jalur setengah lingkaran dibentuk mengikuti diameter desiccant wheel (± 300 mm). Proses pembentukan dilakukan dengan *rolling* atau bending bertahap sehingga menghasilkan lengkungan yang sesuai dengan profil *wheel*.



Gambar Bending plat lingkaran

3. Pelubangan *chamber*

Pelat *chamber* regenerasi diproses menggunakan laser cutting sesuai gambar kerja CAD untuk membentuk lubang-lubang pada posisi dan diameter yang telah ditentukan.



Gambar Pembuatan lubang

4. Perakitan panel *chamber*

Panel samping, panel depan-belakang, dan housing setengah lingkaran dirakit menjadi satu kesatuan menggunakan pengelasan titik atau rivet. Pada tahap ini dilakukan pengecekan kesikuan dan keselarasan antar panel.



Gambar Pengelasan

5. Pemasanganudukan

Penutup atas dipasang untuk membentuk ruang regenerasi yang tertutup. Selanjutnya bracket kaki dipasang pada bagian bawah *chamber* menggunakan pengelasan sehingga *chamber* dapat dipasang dengan stabil pada rangka test bed.



Gambar Pemasanganudukan

Lampiran 9 Proses fabrikasi dan *assembly ducting* adsorpsi

Ducting adsorpsi adalah saluran udara yang berfungsi mengarahkan udara lembap dari lingkungan atau blower menuju sisi adsorpsi *desiccant wheel*. *Ducting* ini dirancang agar aliran udara masuk dapat mengalir secara merata menuju permukaan desikan (*silica gel*), sehingga proses penyerapan uap air berlangsung secara efektif. Selain itu, *ducting* adsorpsi berfungsi meminimalkan kebocoran udara dan kehilangan tekanan (*pressure drop*) selama proses dehumidifikasi.



Gambar *Ducting* adsorpsi

Proses Fabrikasi *Ducting* Adsorpsi

- **Pembuatan pola (layout):** Pola *body* utama berbentuk transisi lingkaran, pipa inlet, dan flange digambar pada pelat aluminium atau stainless steel menggunakan spidol dan penggaris siku.



Gambar Membuat pola

- **Pemotongan pelat:** Pelat dipotong sesuai pola menggunakan gerinda sehingga

diperoleh bagian body transisi dan pipa inlet sesuai ukuran yang direncanakan.



Gambar Pemotongan pelat

- **Pembentukan *body* utama:** Bagian *body* dibentuk menjadi saluran transisi berbentuk kerucut terpancung (cone transition) menggunakan mesin rolling atau dibentuk secara manual hingga menghasilkan perubahan diameter secara bertahap.



Gambar Pembentukan corong

- **Pembentukan pipa *inlet*:** Pelat untuk inlet digulung menggunakan mesin roll hingga membentuk silinder, kemudian kedua ujungnya disambung menggunakan pengelasan atau rivet.



Gambar Pengerollan plat

- **Pemasangan pipa *inlet*:** Pipa inlet dipasang pada ujung *body* transisi dan disambungkan menggunakan pengelasan sehingga membentuk satu kesatuan ducting adsorpsi.



Gambar Pengelasan plat

- **Perakitan dan penyegelan:** Seluruh sambungan dirakit dan dirapikan, kemudian dilakukan penyegelan pada setiap celah sambungan menggunakan sealant tahan udara untuk meminimalkan kebocoran selama proses adsorpsi.



Gambar Penyegelan

Lampiran 10 Proses fabrikasi dan *assembly chamber* adsorpsi

Chamber adsorpsi adalah ruang pada sisi outlet adsorpsi yang berfungsi menampung dan mengarahkan udara hasil proses adsorpsi setelah melewati *desiccant wheel* menuju saluran keluar atau komponen berikutnya. *Chamber* ini menjaga aliran udara tetap terarah, meminimalkan kebocoran udara, serta mendukung kelancaran proses dehumidifikasi.



Gambar *Chamber* adsorpsi

Proses Fabrikasi *Chamber* Adsorpsi

- **Pembuatan pola (layout):** Pola *body* utama berbentuk setengah silinder, panel samping, pelat perforasi,udukan poros, dan *bracket* digambar pada pelat aluminium atau stainless steel menggunakan spidol dan penggaris siku.



Gambar Membuat pola

- **Pemotongan pelat:** Pelat dipotong sesuai pola menggunakan gerinda sehingga diperoleh bagian *body* utama, panel samping, pelat perforasi,udukan poros,

dan komponen pendukung lainnya.



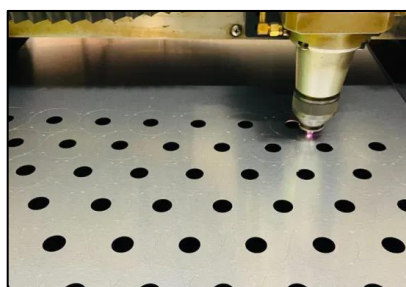
Gambar Pemotongan pelat

- **Pembentukan body utama:** Pelat body dibentuk menggunakan mesin rolling hingga membentuk lengkungan setengah silinder sesuai dimensi *chamber* adsorpsi.



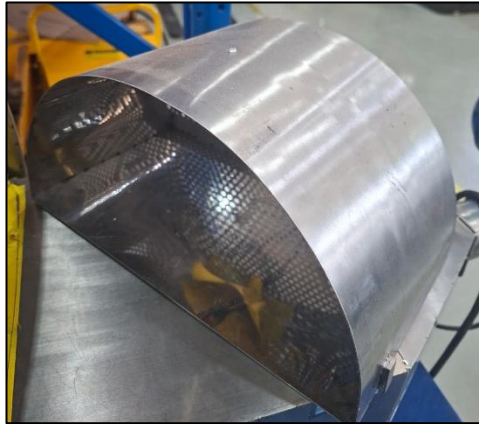
Gambar Pengerollan plat

- **Pembuatan pelat perforasi:** Pelat depan dibuat menggunakan pelat perforasi atau dilubangi sesuai diameter dan jarak antar lubang yang telah dirancang untuk mendistribusikan aliran udara secara merata menuju *desiccant wheel*.



Gambar Pembuatan lubang

- **Perakitan *chamber*:** *Body* utama, panel samping, pelat perforasi, dan dudukan poros dirakit menggunakan pengelasan sehingga membentuk *chamber* adsorpsi yang kokoh dan kedap udara.



Gambar *Finishing*