

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi Test Bed Dehumidifier

Proses fabrikasi *test bed dehumidifier desiccant* padat berbasis *silica gel* biru 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	Control Panel	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	Blower Regenerasi	Amp	:	1.0 A
		Daya	:	150 W
		Frekuensi	:	50/60 Hz
		Kecepatan	:	2800/3400 rpm
4	Ducting Regenerasi	Material	:	Stainless Steel 304
		Ukuran	:	450 x 270 x 170 mm
5	Chamber Adsorpsi	Material	:	Stainless Steel 304
		Ukuran	:	R150 mm x 170 mm
6	Ducting Adsorpsi	Material	:	Stainless Steel 304
		Ukuran	:	R150 mm x 190 mm
		Model	:	BBLK - 202
		Tegangan	:	220 V
7	Blower Adsorpsi	Amp	:	1.0 A
		Daya	:	150 W
		Frekuensi	:	50/60 Hz
		Kecepatan	:	2800/3400 rpm
8	Chamber 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	Thermocouple	Probe Type K		
B	Thermohygrometer	HTC - 2		
C	Sensor suhu dan RH	RS485 Modbus Probe		
D	Anemometer	Lutron AM-4201		

INSTRUMENTASI		
D	Anemometer	Lutron AM-4201
E	<i>Inverter</i>	CT 2000 ES
F	<i>Dimmer</i>	SYO - 70066
G	<i>Heater</i>	<i>Electric heater tipe U 1500 W</i>

4.2 Kondisi Udara Proses Adsorpsi dan Regenerasi (*Humidity ratio / W*)

Kondisi udara pada jalur adsorpsi merupakan parameter kunci yang menggambarkan kemampuan sistem *dehumidifier* dalam menurunkan kandungan uap air udara adsorpsi. Pengukuran dilakukan pada titik *inlet* dan *outlet bed desiccant* pada lima variasi *set point* suhu *heater* regenerasi, yakni 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, dan 65°C. Laju aliran udara dijaga konstan pada kecepatan 10 m/s selama seluruh pengujian. Hasil pengambilan data pada proses adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4. 2.

Tabel 4. 2 Data kondisi udara proses adsorpsi

Menit ke-	T set heater (°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)
5	40	34,7	46,1	0,016	34,7	37	0,013
10	45	34,9	44,84	0,016	37,2	32,7	0,013
15	50	34,9	44,2	0,016	38,6	30,2	0,013
20	55	34,9	43,72	0,015	41,6	26,1	0,013
25	60	34,8	44,92	0,016	42	25,6	0,013
30	65	35,1	45,4	0,016	46,3	21,78	0,014

Kondisi udara pada jalur regenerasi merupakan parameter penting yang menunjukkan kemampuan sistem dalam melepaskan uap air yang telah teradsorpsi oleh material *desiccant* sehingga kapasitas adsorpsinya dapat dipulihkan. Pengukuran dilakukan pada sisi *inlet* dan *outlet bed desiccant* dengan variasi suhu *heater* 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, dan 65°C, sementara kecepatan udara dijaga konstan sebesar 10 m/s. Perubahan kondisi udara pada sisi regenerasi digunakan sebagai indikator keberhasilan proses desorpsi dan pemulihan kapasitas adsorpsi *silica gel*. Hasil

pengambilan data pada proses regenerasi dapat dilihat pada Tabel 4. 3.

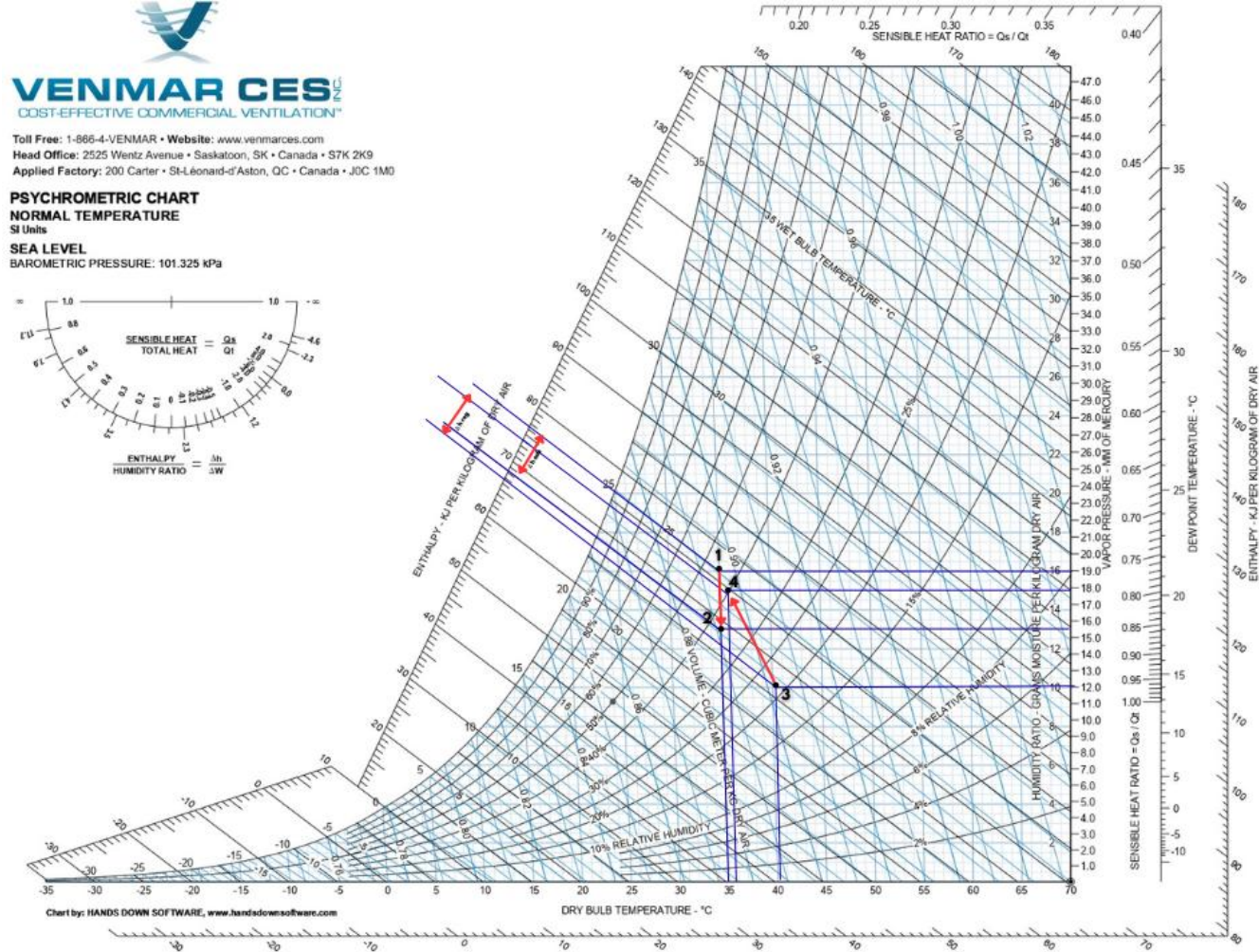
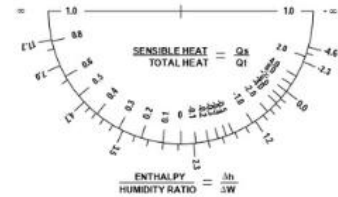
Tabel 4. 3 Data kondisi udara proses regenerasi

Menit ke-	T set heater (°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)
5	40	40,12	21,64	0,010	35,42	40,52	0,015
10	45	44,64	16,64	0,010	37,5	38,1	0,016
15	50	50,6	11,78	0,009	39,6	34,94	0,016
20	55	56,4	8,54	0,009	41,2	34	0,017
25	60	63,2	6,2	0,009	43,4	32,06	0,018
30	65	69,4	4,58	0,009	45,2	31,7	0,020

Untuk memberikan visualisasi yang lebih jelas mengenai perubahan kondisi udara selama proses dehumidifikasi, kondisi udara pada proses adsorpsi dan regenerasi selanjutnya akan disajikan dalam bentuk diagram psikrometrik. Diagram ini menunjukkan pergeseran kondisi udara pada sisi adsorpsi dan regenerasi untuk setiap variasi temperatur regenerasi yang digunakan selama pengujian.

PSYCHROMETRIC CHART
 NORMAL TEMPERATURE
 SI Units

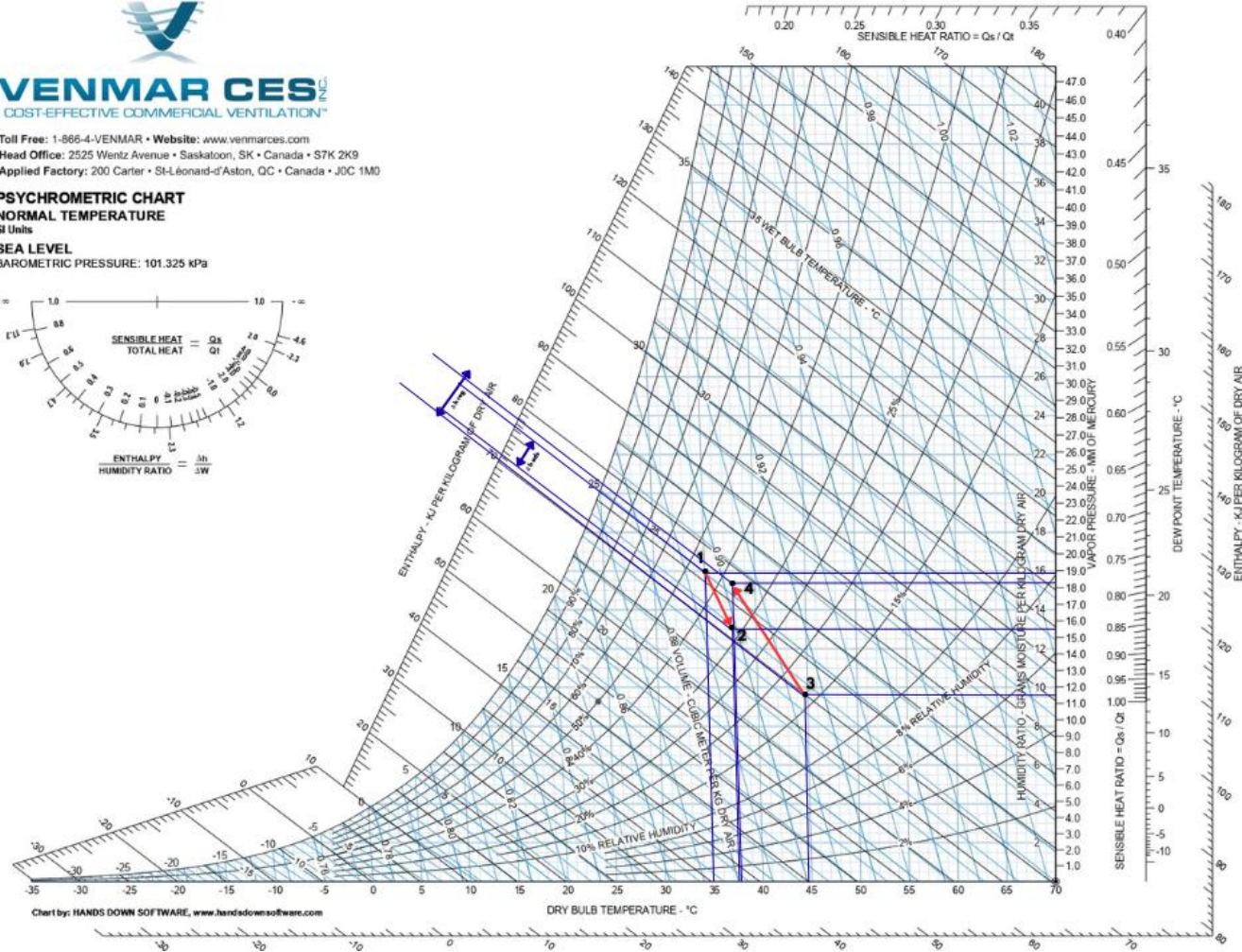
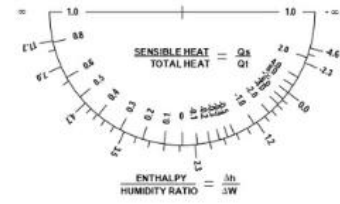
SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



Gambar 4. 2 Diagram psikrometri pada set temperatur regenerasi 40°C

PSYCHROMETRIC CHART
NORMAL TEMPERATURE
SI Units

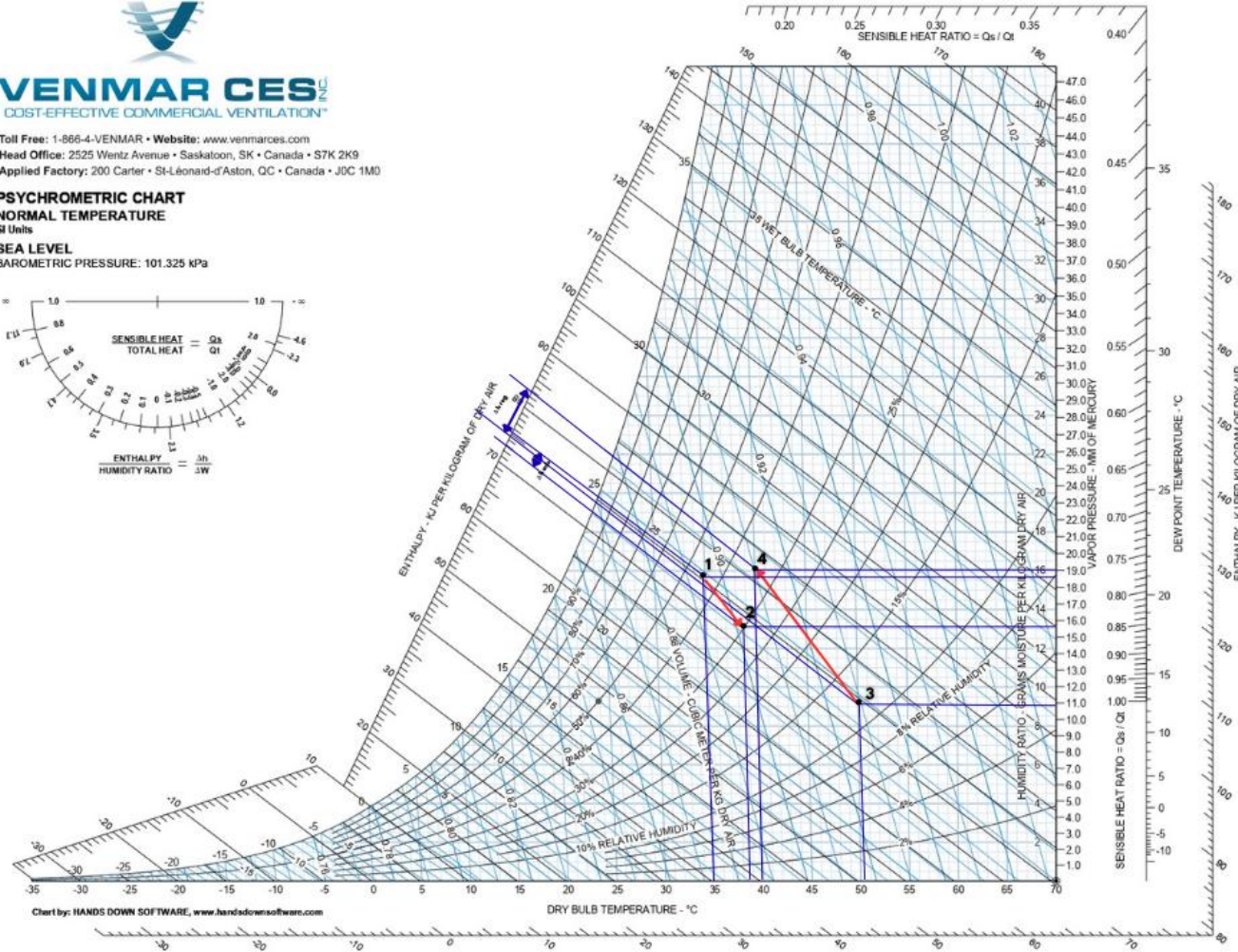
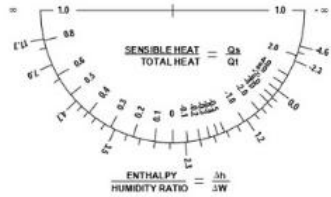
SEA LEVEL
BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



Gambar 4. 3 Diagram psikrometri pada set temperatur regenerasi 45°C

PSYCHROMETRIC CHART
NORMAL TEMPERATURE
 SI Units

SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



Gambar 4. 4 Diagram psikometri pada set temperatur regenerasi 50°C

PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURE

SI Units

SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa

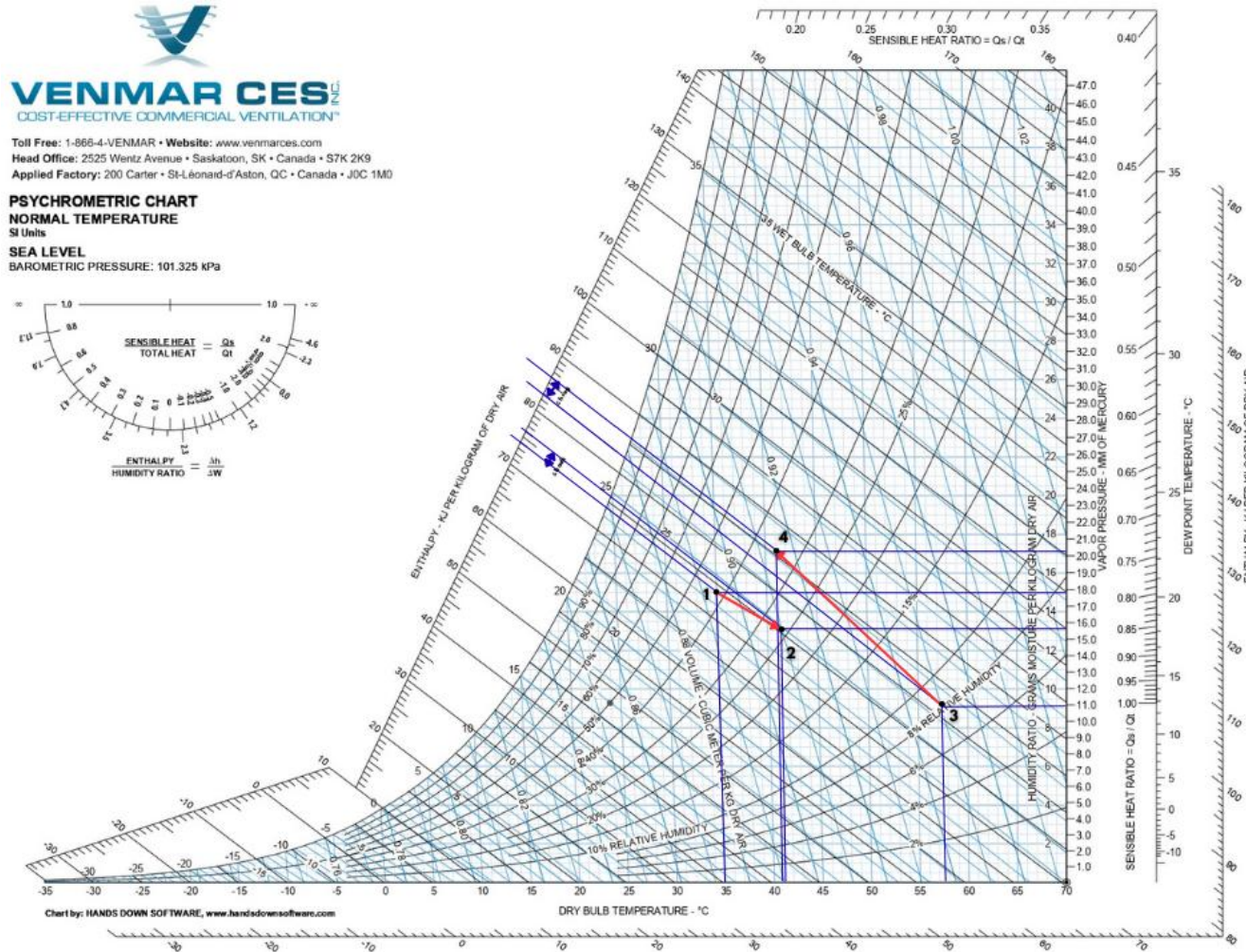
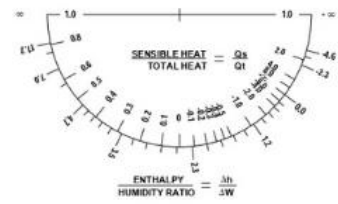
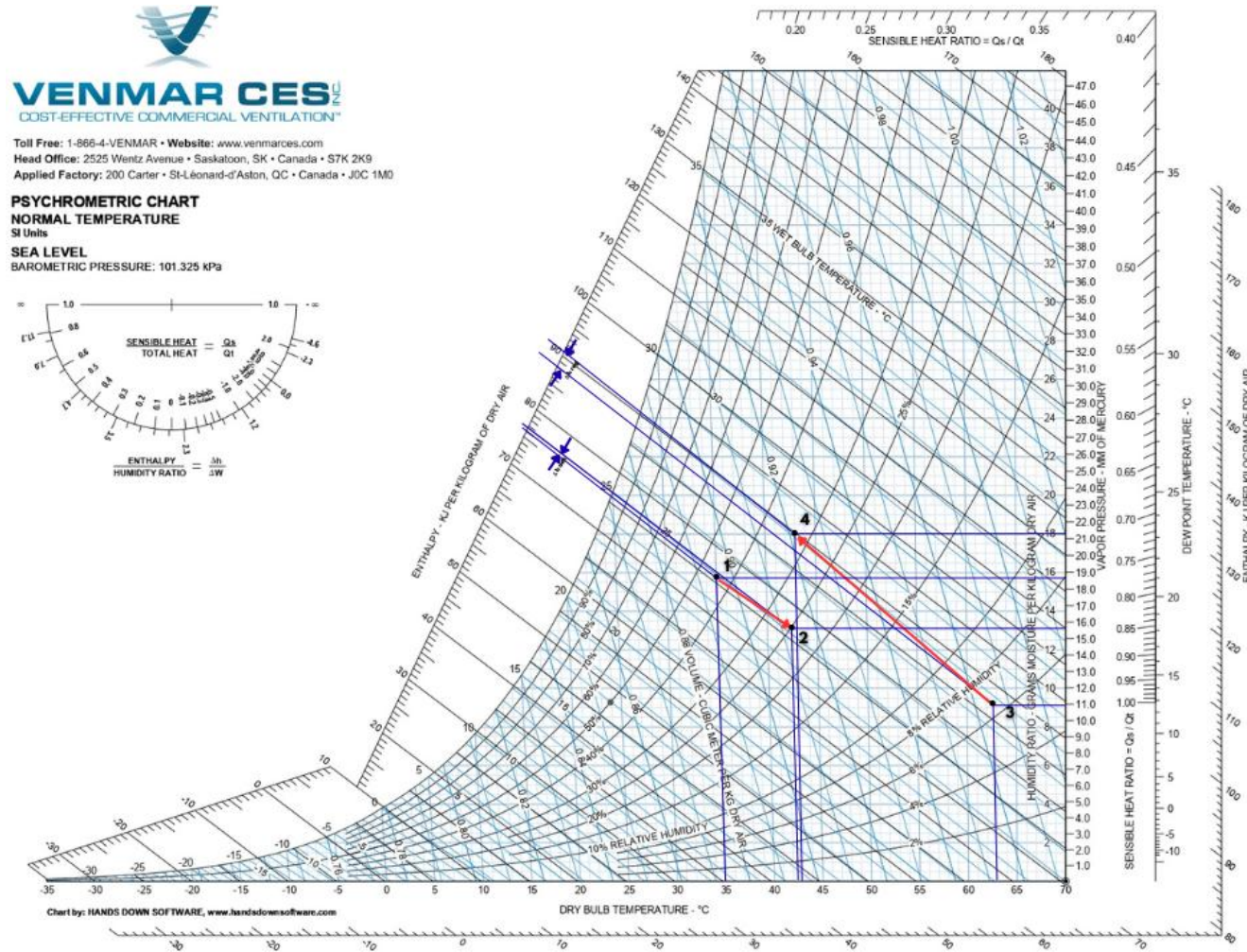
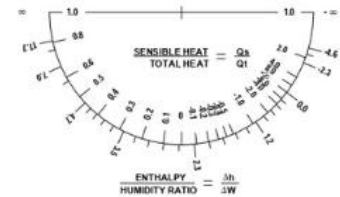


Chart by: HANDS DOWN SOFTWARE, www.handsdownsoftware.com

Gambar 4. 5 Diagram psikrometri pada set temperatur regenerasi 55°C

PSYCHROMETRIC CHART
 NORMAL TEMPERATURE
 SI Units

SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



Gambar 4. 6 Diagram psikrometri pada set temperatur regenerasi 60°C

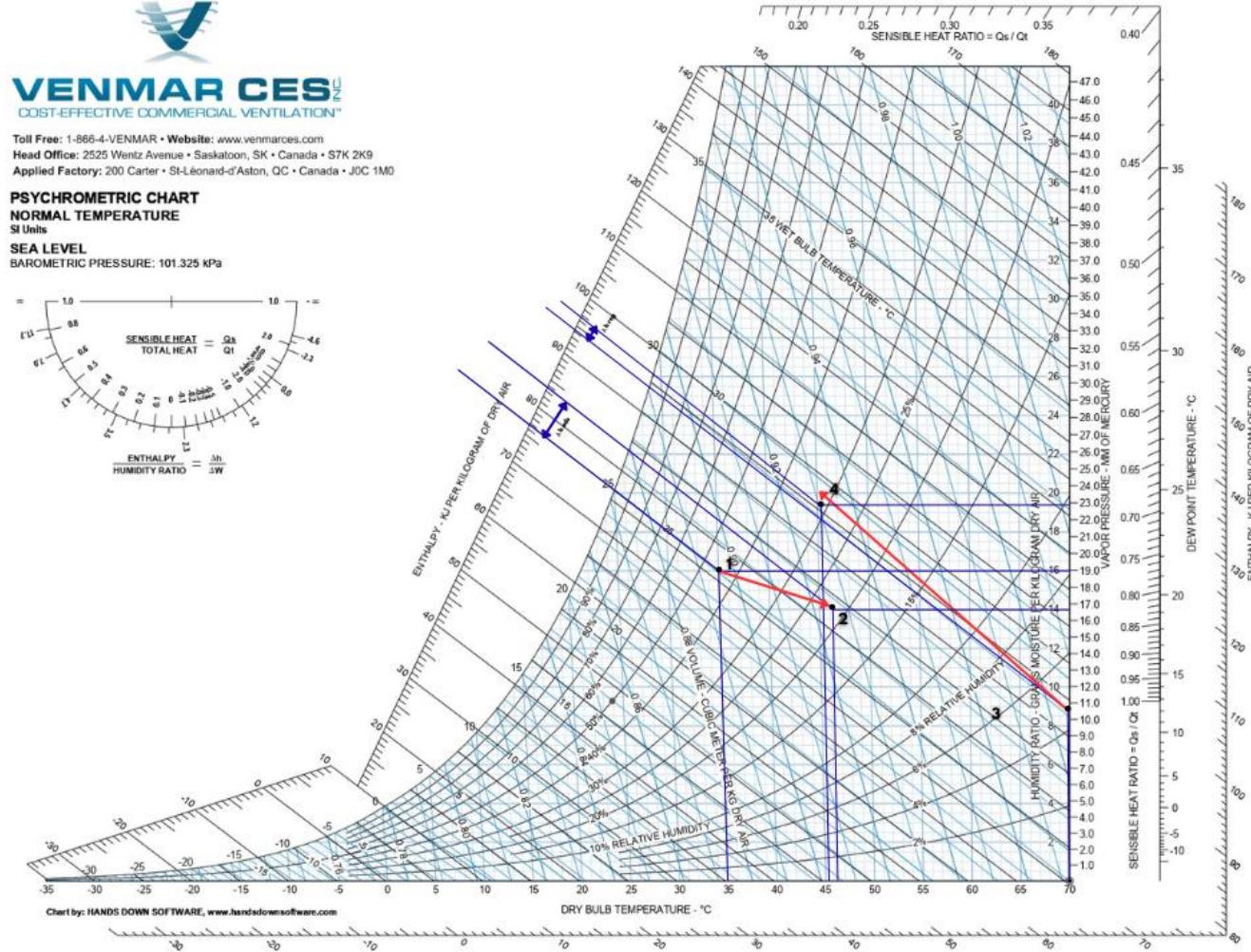
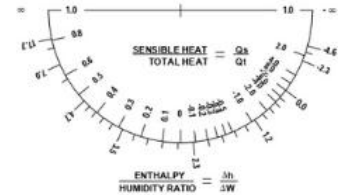
PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURE

SI Units

SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



Gambar 4. 7 Diagram psikrometri pada set temperatur regenerasi 65°C

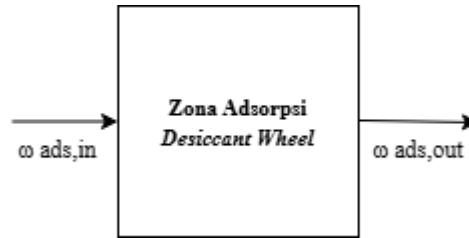
Berdasarkan diagram psikrometrik pada Gambar 4. 2, Gambar 4. 3, Gambar 4. 4, Gambar 4. 5, Gambar 4. 6, serta Gambar 4. 7, terlihat bahwa peningkatan temperatur regenerasi menghasilkan perubahan kondisi udara yang semakin signifikan pada sisi adsorpsi maupun regenerasi. Perubahan kandungan uap air pada *desiccant wheel* terjadi akibat proses adsorpsi dan regenerasi yang berlangsung secara bergantian. Pada sisi adsorpsi, udara lembap yang melewati kanal-kanal honeycomb bersentuhan dengan *silica gel* sehingga uap air berpindah dari udara menuju permukaan *desiccant*. Akibatnya, kandungan uap air dalam udara berkurang yang ditunjukkan oleh penurunan nilai *humidity ratio* udara keluaran. Setelah menyerap uap air, *desiccant wheel* berputar menuju sisi regenerasi. Pada sisi ini, udara panas dari heater mengalir melalui *silica gel* dan memberikan energi termal yang menyebabkan uap air yang tersimpan di dalam *desiccant* terlepas kembali ke aliran udara regenerasi. Proses tersebut meningkatkan *humidity ratio* udara regenerasi sekaligus mengembalikan kemampuan adsorpsi *silica gel*. Dengan demikian, perubahan *humidity ratio* pada kedua sisi menunjukkan terjadinya perpindahan massa uap air dari udara proses menuju *desiccant* pada sisi adsorpsi dan dari *desiccant* menuju udara regenerasi pada sisi regenerasi.

4.3 Kalkulasi Hasil Data

Subbab ini menyajikan perhitungan data hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui hasil dari setiap pengujian serta sebagai dasar analisis dan penarikan kesimpulan terhadap sistem yang difabrikasi.

4.3.1 Penurunan Kelembapan Absolut

Perhitungan nilai penurunan kelembapan absolut (ΔW_{ads}) dilakukan berdasarkan skema proses adsorpsi yang ditunjukkan pada Gambar 4. 8 dengan menggunakan Persamaan (2.55).



Gambar 4. 8 Skema penurunan kelembapan absolut

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

Keterangan:

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

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

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

Sehingga, penurunan kelembapan absolut pada suhu regenerasi set poin 40°C adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Delta\omega_{ads} &= 0,016133 \frac{kg}{kg} - 0,012883 \frac{kg}{kg} \\ &= 0,00325 \text{ kg/kg}\end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan penurunan kelembapan absolut yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan penurunan kelembapan absolut

Suhu Regenerasi (°C)	$\omega_{ads,in}$ (kg/kg)	$\omega_{ads,out}$ (kg/kg)	$\Delta\omega_{ads}$ (kg/kg)
40,12	0,016133	0,012883	0,00325
44,64	0,015860	0,013065	0,002795
50,6	0,015628	0,013015	0,002613
56,4	0,015454	0,013202	0,002252
63,2	0,015799	0,013225	0,002574
69,4	0,016247	0,014074	0,002173

4.3.2 Moisture Removal Capacity (MRC)

Perhitungan nilai *Moisture Removal Capacity* (MRC) dilakukan berdasarkan skema proses adsorpsi yang ditunjukkan pada Gambar 4. 9 dengan menggunakan Persamaan (2.56).



Gambar 4. 9 Skema MRC

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

Keterangan:

MRC : *Moisture Removal Capacity* ($\frac{kg}{s}$)

$\dot{m}_{ads}$: 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 ($\frac{kg}{kg}$)

Sehingga, *Moisture Removal Capacity* (MRC) pada suhu regenerasi set poin 40°C adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{MRC} &= 0,2978 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (0,016133 - 0,012883) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \\ &= 0,0009678578 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan *Moisture Removal Capacity* (MRC) yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Hasil perhitungan *Moisture Removal Capacity* (MRC)

Suhu Regenerasi (°C)	$\dot{m}_{ads}$ (kg/s)	$\omega_{ads,in}$ (kg/kg)	$\omega_{ads,out}$ (kg/kg)	MRC (kg/s)
40,12	0,29780240	0,016133	0,012883	0,000967858
44,64	0,29754025	0,015860	0,013065	0,000831625
50,6	0,29754025	0,015628	0,013015	0,000777473
56,4	0,29754025	0,015454	0,013202	0,000670061
63,2	0,29754025	0,015799	0,013225	0,000765869
69,4	0,29727810	0,016247	0,014074	0,000645985

4.3.3 *Moisture Regeneration Rate* (MRR)

Perhitungan nilai *Moisture Regeneration Rate* (MRR) dilakukan berdasarkan skema proses regenerasi yang ditunjukkan pada Gambar 4. 10 dengan menggunakan Persamaan (2.57).



Gambar 4. 10 Skema MRR

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

Keterangan:

MRR : *Moisture Regeneration Rate* ($\frac{kg}{s}$)

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

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

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

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

$$\begin{aligned} MRR &= 0,0271 \frac{kg}{s} \times (0,01007 - 0,014724) \frac{kg}{kg} \\ &= 0,0001263505152 \frac{kg}{s} \end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan *Moisture Regeneration Rate* (MRR) yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan *Moisture Regeneration Rate* (MRR)

Suhu Regenerasi (°C)	$\dot{m}_{reg}$ (kg/s)	$\omega_{reg,in}$ (kg/kg)	$\omega_{reg,out}$ (kg/kg)	MRR (kg/s)
40,12	0,0271488	0,010070	0,014724	0,000126351
44,64	0,02676096	0,009809	0,015533	0,00015318
50,6	0,02627616	0,009375	0,015962	0,000173081
56,4	0,0258156	0,008995	0,016937	0,000205027
63,2	0,02530656	0,008949	0,017952	0,000227835
69,4	0,024846	0,008700	0,019529	0,000269057

4.3.4 Efektivitas Dehumidifikasi

Perhitungan nilai efektivitas dehumidifikasi dilakukan berdasarkan skema proses adsorpsi yang ditunjukkan pada Gambar 4. 11 dengan menggunakan Persamaan (2.58).



Gambar 4. 11 Skema efektifitas dehumidifikasi

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

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 ($\frac{kg}{kg}$)

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

$$\begin{aligned} \varepsilon_{deh} &= \frac{0,016133 - 0,012883}{0,016133} \times 100 \% \\ &= 20,15 \% \end{aligned}$$

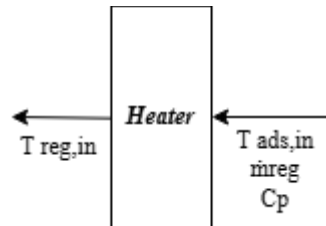
Secara lengkap hasil perhitungan efektivitas dehumidifikasi yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. 7.

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan efektivitas dehumidifikasi

Suhu Regenerasi (°C)	$\omega_{ads,in}$ (kg/kg)	$\omega_{ads,out}$ (kg/kg)	ϵ_{deh} (%)
40,12	0,016133	0,012883	20,15
44,64	0,015860	0,013065	17,62
50,6	0,015628	0,013015	16,72
56,4	0,015454	0,013202	14,57
63,2	0,015799	0,013225	16,29
69,4	0,016247	0,014074	13,37

4.3.5 Konsumsi Daya Heater

Perhitungan konsumsi daya *heater* dilakukan berdasarkan skema proses pemanasan udara regenerasi yang ditunjukkan pada Gambar 4. 12 dengan menggunakan Persamaan (2.59).

Gambar 4. 12 Skema konsumsi daya *heater*

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

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* (°C)

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

$$\begin{aligned}
 W_{heater} &= \dot{m}_{reg} \times C_p \times \Delta T_{heater} \\
 &= 0,0271 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (40,12 - 34,7)^\circ\text{C} \\
 &= 0,1479 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \\
 &= 147,9 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

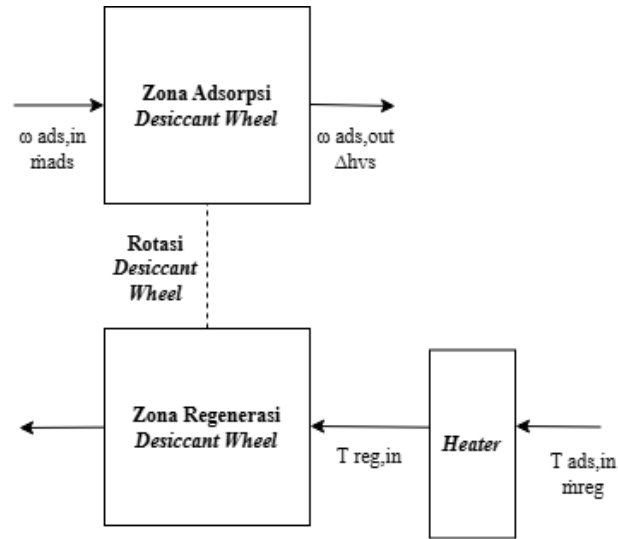
Secara lengkap hasil perhitungan konsumsi daya *heater* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. 8.

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan konsumsi daya *heater*

Suhu Regenerasi (°C)	$\dot{m}_{reg}(\text{kg/s})$	C_p (KJ/kg°C)	ΔT_{heater} (°C)	W_{heater} (Watt)
40,12	0,0271488	1,005	5,42	147,9
44,64	0,02676096	1,005	9,74	262
50,6	0,02627616	1,005	15,7	414,6
56,4	0,0258156	1,005	21,5	557,8
63,2	0,02530656	1,005	28,4	722,3
69,4	0,024846	1,005	34,3	856,5

4.3.6 *Dehumidification Coefficient of Performance (DCOP)*

Perhitungan nilai *Dehumidification Coefficient of Performance (DCOP)* dilakukan berdasarkan skema kinerja energi sistem yang ditunjukkan pada Gambar 4. 13 dengan menggunakan Persamaan (2.60).



Gambar 4. 13 Skema DCOP

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

Untuk mencari Δh_{vs} menggunakan rumus sebagai berikut.

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

Keterangan:

DCOP : *Dehumidification coefficient of performance*

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

$\dot{m}_{ads}$: 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 ($\frac{kg}{kg}$)

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

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

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

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

Sehingga Δh_{vs} dan DCOP pada suhu regenerasi set poin $40\ ^\circ\text{C}$ adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\Delta h_{vs} &= (-0,614342 \times 10^{-4}) \times 34,7^\circ\text{C} + \\ &0,0158927 \times 10^{-2} \times 34,7^2\text{C} - \\ &0,236418 \times 10 \times 34,7\ ^\circ\text{C} + 0,250079 \times 10^4 \\ &= 2.416,3775 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

Maka, DCOP untuk suhu regenerasi set poin 40°C adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{DCOP} &= \frac{0,298 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2.416,3775 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times (0,016133 - 0,012883) \frac{\text{kg}}{\text{kg}}}{0,0271 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (40,12 - 34,7)^\circ\text{C}} \\ &= 15,8147\end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan DCOP yang dihasilkan dapat dilihat pada

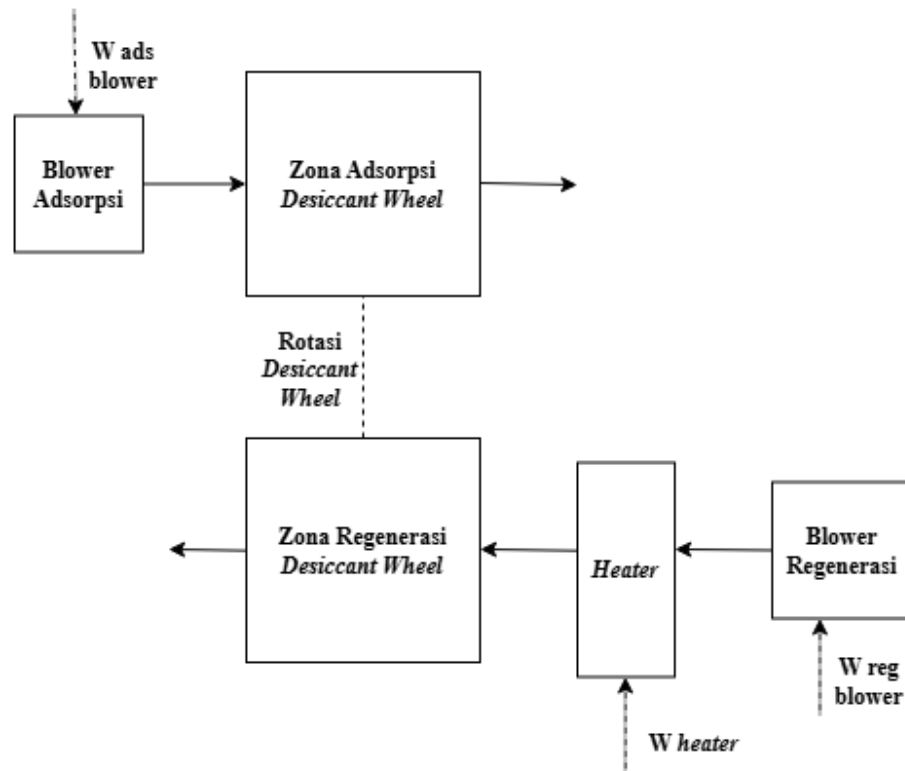
Tabel 4. 9.

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan DCOP

$T_{reg\ in}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_{ads\ in}$ ($^\circ\text{C}$)	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 $^\circ\text{C}$)	ΔT_{heater} ($^\circ\text{C}$)	DCOP
40,12	34,7	2416,4	0,298	0,016	0,013	0,027	1,005	5,42	15,24
44,64	34,9	2415,9	0,299	0,016	0,013	0,027	1,005	9,74	6,94
50,6	34,9	2415,9	0,298	0,016	0,013	0,026	1,005	15,7	4,15
56,4	34,9	2415,9	0,298	0,015	0,013	0,026	1,005	21,5	2,86
63,2	34,8	2416,1	0,298	0,016	0,013	0,025	1,005	28,4	1,73
69,4	35,1	2415,3	0,297	0,016	0,014	0,025	1,005	34,3	1,52

4.3.7 *Specific Energy Consumption (SEC)*

Perhitungan nilai *Specific Energy Consumption (SEC)* dilakukan berdasarkan skema kebutuhan energi sistem yang ditunjukkan pada Gambar 4. 14 dengan menggunakan Persamaan (2.61).



Gambar 4. 14 Skema SEC

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

Keterangan:

SEC : *Specific Energy Consumption (SEC)* (kJ/kg)

W_{heater} : Daya heater (kW)

W_{blower} : Daya blower (kW)

MRC : *Moisture Removal Capacity* ($\frac{kg}{s}$)

Sehingga, SEC pada suhu regenerasi set poin 40°C adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{SEC} &= \frac{(0,1478 + 0,0112447)\text{kW}}{0,00097 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} \\ &= 164,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Secara lengkap hasil perhitungan SEC yang dihasilkan dapat dilihat pada

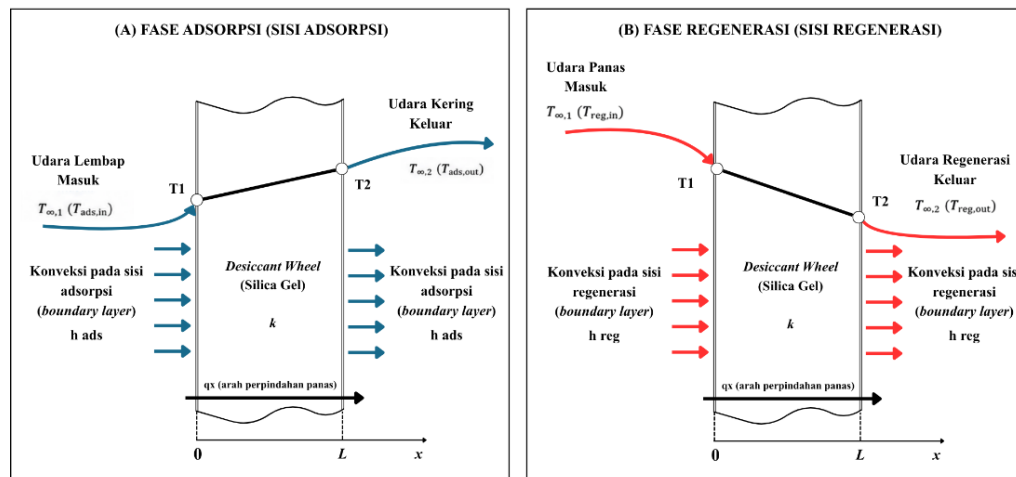
Tabel 4. 10.

Tabel 4. 10 Hasil perhitungan SEC

Suhu Regenerasi (°C)	W_{heater} (kW)	W_{blower} (kW)	MRC (kg/s)	SEC ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
40,12	0,147882	0,0112447	0,000967858	164,4115
44,64	0,261955	0,0112447	0,000831625	328,5131
50,6	0,414598	0,0112447	0,000777473	547,7274
56,4	0,557811	0,0112447	0,000670061	849,2594
63,2	0,7223	0,0112447	0,000765869	957,7942
69,4	0,856479	0,0112447	0,000645985	1343,256

4.3.8 *Heat Transfer*

Perhitungan nilai *Heat Transfer* dilakukan berdasarkan skema kinerja energi sistem yang ditunjukkan pada Gambar 4. 15.



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

1. *Heat Transfer* Konveksi Adsorpsi di *Rotary Wheel*

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan 2.62 Sampai 2.68.

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

Diketahui:

$$\dot{V}_{duct,ads} : 0,26215 \frac{m^3}{s}$$

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

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

$$T_{in,ads} : 34,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 307,85 \text{ K}$$

$$T_{out,ads} : 34,7 \text{ } ^\circ\text{C} = 307,85 \text{ K}$$

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

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

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

Untuk mencari h, menggunakan rumus:

$$h_{ads} = \frac{Nu \times k_{ads}}{Dh_{honeycomb}}$$

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*.

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. 16 Tabel *thermal conductivity* adsorpsi

$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_{in_{ads}} + T_{out_{ads}}}{2} \\
 &= \left(\frac{34,7 + 34,7}{2} \right) ^\circ\text{C} \\
 &= 34,7 ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

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 dilakukan interpolasi

$$\begin{aligned} k_{\text{ads}} @ 34,7^{\circ}\text{C} &= 0,02662 + \left(\frac{(34,7 - 30)^{\circ}\text{C}}{(40 - 30)^{\circ}\text{C}} \right) \times (0,02735 - 0,02662) \frac{\text{W}}{\text{m K}} \\ &= 0,02696 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \end{aligned}$$

Untuk mencari Pr, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= \frac{\mu_{\text{ads}} \times C_p}{k_{\text{ads}}} \\ &= \frac{1,9 \times 10^{-5} \text{Pa s} \times 1.005 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}}{0,02696 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} \\ &= 0,70819 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \end{aligned}$$

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:

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

$$= 17,66$$

Untuk mencari h_{ads} , menggunakan rumus

$$\begin{aligned} h_{ads} &= \frac{Nu \times k_{ads}}{Dh_{honeycomb}} \\ h_{ads} &= \frac{17,67 \times 0,02693 \frac{W}{m K}}{0,002 m} \\ &= 238,11 \frac{W}{m^2 K} \end{aligned}$$

Untuk luas perpindahan kalor adsorpsi

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

Sehingga, heat transfer adsorpsi di rotary wheel pada suhu regenerasi set poin $40^\circ C$

$$\begin{aligned} Q_{conv,ads} &= h_{ads} \times A_v \times (T_s - T_{in,ads}) \\ &= 237,979 \frac{W}{m^2 K} \times 0,863 m^2 \times (307,85 - 307,85) K \\ &= 0 \text{ Watt} \\ &= 0 \frac{J}{s} \end{aligned}$$

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* konveksi pada adsorpsi di *rotary wheel*

Menit ke-	T set heater (°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} ($\frac{J}{s}$)
5	40	34,7	34,7	0,02696	0,7082	17,66	238,11	0
10	45	34,9	37,2	0,02706	0,7056	17,64	238,68	473,74
15	50	34,9	38,6	0,02711	0,7043	17,63	239,00	763,10
20	55	34,9	41,6	0,02722	0,7014	17,61	239,63	1385,64
25	60	34,8	42	0,02723	0,7012	17,60	239,69	1489,33
30	65	35,1	46,3	0,02740	0,6969	17,57	240,66	2326,13

2. Heat Transfer Konveksi Regenerasi di Rotary Wheel

Hasil perhitungan menggunakan Persamaan 2.69 Sampai 2.75.

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

Diketahui:

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

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

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

$$T_{in,reg} : 40,12 \text{ } ^\circ\text{C} = 313,27 \text{ K}$$

$$T_{out,reg} : 35,42 \text{ } ^\circ\text{C} = 308,57 \text{ K}$$

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

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

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

Untuk mencari h, menggunakan rumus:

$$h_{reg} = \frac{Nu \times k_{reg}}{Dh_{honeycomb}}$$

Untuk mencari nilai reynold, menggunakan persamaan

$$Re = \frac{\rho_{reg} \times V_{wheel,reg} \times Dh_{honeycomb}}{\mu_{reg}}$$

Untuk mencari v_{wheel} menggunakan persamaan

$$v_{\text{wheel,reg}} = \frac{\dot{V}_{\text{duct,reg}}}{A_{\text{wheel,reg}}}$$

$$v_{\text{wheel,reg}} = \frac{\dot{V}_{\text{duct,reg}}}{A_{\text{wheel,reg}}}$$

$$= \frac{0,02424 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{1}{2} \pi \frac{(0,3 \text{ m})^2}{4}}$$

$$= 0,686 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_{in_{reg}} + T_{out_{reg}}}{2} \\
 &= \left(\frac{40,12 + 35,42}{2} \right) ^\circ\text{C} \\
 &= 37,8 ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Diketahui

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

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

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

$$\begin{aligned}
 k_{reg} @ 34,42 ^\circ\text{C} &= 0,02662 + \left(\frac{(37,8 - 30)^\circ\text{C}}{(40 - 30)^\circ\text{C}} \right) \times (0,02735 - 0,02662) \frac{\text{W}}{\text{m K}} \\
 &= 0,02718 \frac{\text{W}}{\text{m K}}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari Pr, menggunakan rumus:

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

Untuk mencari nilai Re, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\rho_{reg} \times v_{wheel} \times D_{h_{honeycomb}}}{\mu_{reg}} \\
 &= \frac{1,118 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,686 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,002 \text{ m}}{1,934 \times 10^{-5} \text{ Pa s}} \\
 &= 79,295
 \end{aligned}$$

Karena $Re < 2.300$, maka aliran nya adalah aliran laminar. Untuk mencari Nu,

menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= 0,664 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,33} \\ &= 0,664 \times 79,295^{0,5} \times 0,715^{0,33} \\ &= 5,291 \end{aligned}$$

Untuk mencari h_{reg} , menggunakan rumus

$$\begin{aligned} h_{\text{reg}} &= \frac{5,32 \times 0,027182 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{0,002 \text{ m}} \\ &= 71,93 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \end{aligned}$$

Untuk luas perpindahan kalor regenerasi

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

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

$$\begin{aligned} Q_{\text{conv,reg}} &= h_{\text{reg}} \times A_v \times (T_s - T_{\text{in,ads}}) \\ &= 71,93 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \times 0,863 \text{ m}^2 \times (313,27 - 308,57) \text{K} \\ &= 236,188 \text{ Watt} \\ &= 291,75 \frac{\text{J}}{\text{s}} \end{aligned}$$

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* konveksi pada 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} ($\frac{J}{s}$)
40	40,12	35,42	0,02718	0,7149	5,291	79,335	71,93	291,75
45	44,64	37,5	0,02742	0,7086	5,276	77,347	72,35	445,82
50	50,6	39,6	0,02772	0,7011	5,257	74,788	72,87	691,73
55	56,4	41,2	0,02799	0,6943	5,240	72,307	73,34	962,06
60	63,2	43,4	0,02831	0,6863	5,220	70,032	73,91	1262,86
65	69,4	45,2	0,02860	0,6794	5,202	67,625	74,41	1554,06

3. Heat Transfer Konduksi Adsorpsi di Rotary Wheel

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

$$= 0,01343 m^2$$

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

$$Q_{konduksi,ads} = 0,18 \times \frac{0,01343 \times (34,7 - 34,7)}{0,13}$$

$$= 0 W$$

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* konduksi pada adsorpsi di *rotary wheel*

Menit ke-	T set heat er (°C)	T in ads (°C)	T out ads (°C)	Q _{kond,ads} ($\frac{J}{s}$)
5	40	34,7	34,7	0
10	45	34,9	37,2	0,0428
15	50	34,9	38,6	0,0688
20	55	34,9	41,6	0,1246
25	60	34,8	42	0,1339
30	65	35,1	46,3	0,2083

4. *Heat Transfer* Konduksi Regenerasi di *Rotary Wheel*

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

$$= 0,01343 \text{ m}^2$$

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

$$Q_{konduksi,reg} = 0,18 \times \frac{0,01343 \times (40,12 - 35,42)}{0,13}$$

$$= 0,0874 \text{ W}$$

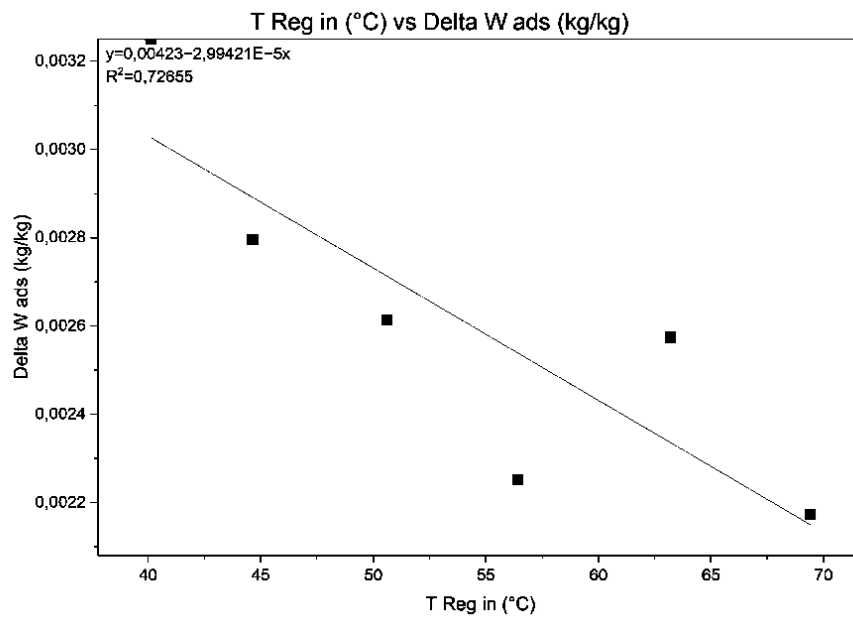
Secara lengkap hasil perhitungan heat transfer konduksi pada regenerasi di rotary wheel yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. 14.

Tabel 4. 14 Hasil perhitungan *heat transfer* konduksi pada regenerasi di *rotary wheel*

T set heater (°C)	T in reg (°C)	T out reg (°C)	Q _{kond,reg} ($\frac{J}{s}$)
40	40,12	35,42	0,0874
45	44,64	37,5	0,1328
50	50,6	39,6	0,2045
55	56,4	41,2	0,2827
60	63,2	43,4	0,3682
65	69,4	45,2	0,4500

4.4 Analisis Penurunan Kelembapan Absolut (ΔW)

Pada penelitian ini, analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur regenerasi (Treg) terhadap kapasitas penurunan kelembapan yang dihasilkan oleh sistem. Hubungan antara temperatur regenerasi dan penurunan kelembapan absolut ditunjukkan pada Gambar 4. 18.



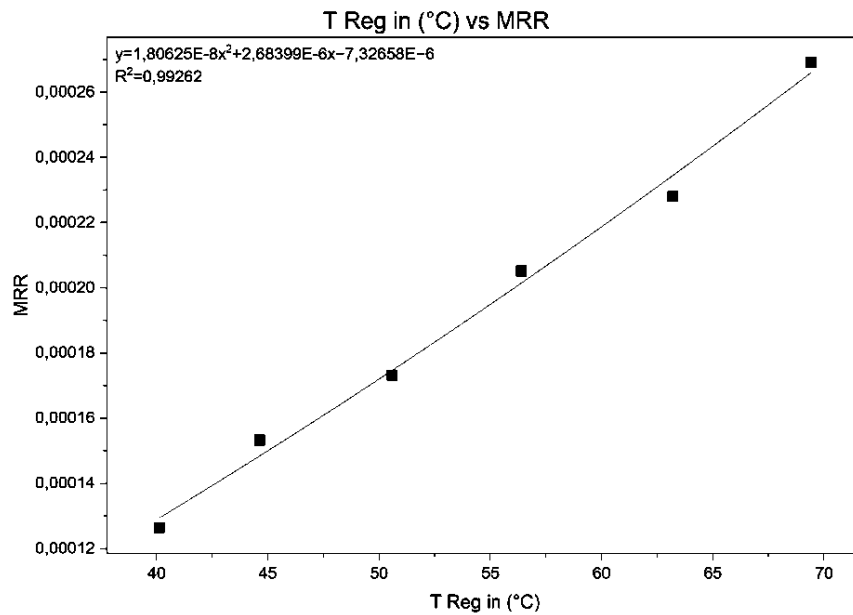
Gambar 4. 18 Hubungan antara temperatur regenerasi dan penurunan kelembapan absolut

Berdasarkan Gambar 4. 18, hubungan antara temperatur regenerasi (Treg) dan kapasitas penurunan kelembapan (ΔW_{ads}) menunjukkan tren menurun. Nilai ΔW_{ads} mengalami penurunan dari 0,00325 kg/kg pada 40,12°C menjadi 0,002173 kg/kg pada 69,4°C. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa kenaikan temperatur regenerasi pada rentang pengujian tidak diikuti oleh peningkatan kapasitas penyerapan uap air oleh *desiccant*.

Hasil ini berbeda dengan temuan Chaudhari et al. (2022) yang melaporkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi karena proses regenerasi *desiccant* berlangsung lebih efektif. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kinerja dehumidifikasi dipengaruhi oleh berbagai faktor selain temperatur regenerasi, seperti karakteristik *desiccant*, kondisi operasi, distribusi temperatur, dan mekanisme perpindahan panas dalam sistem. Pada penelitian ini, penurunan ΔW_{ads} diduga terjadi akibat *heat carryover* dari zona regenerasi ke zona adsorpsi yang meningkatkan temperatur *desiccant* sebelum proses adsorpsi berlangsung sehingga kemampuan *desiccant* dalam mengikat uap air berkurang. Selain itu, kondisi kelembapan udara masuk serta keterbatasan temperatur regenerasi maksimum selama pengujian juga berpotensi menyebabkan proses regenerasi belum berlangsung secara optimal.

4.5 Analisis Moisture Regeneration Rate (MRR)

Moisture Regeneration Rate (MRR) digunakan untuk menggambarkan kemampuan sistem dalam mengurangi kandungan uap air dari aliran udara selama proses dehumidifikasi. Pengaruh temperatur regenerasi (T_{reg}) terhadap nilai MRR hasil pengujian disajikan pada Gambar 4. 19.



Gambar 4. 19 Hubungan antara temperatur regenerasi dan *moisture regeneration rate*

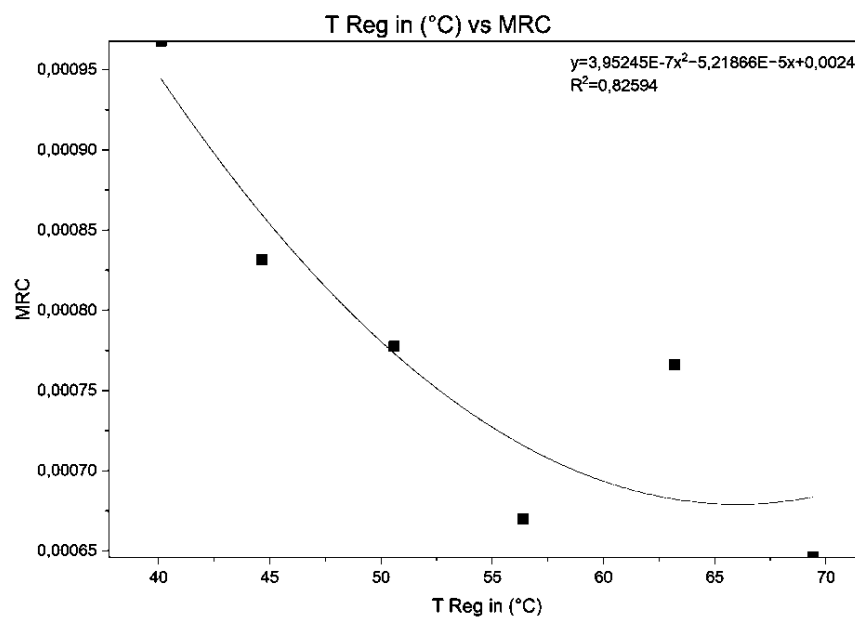
Berdasarkan Gambar 4. 19, nilai *Moisture Regeneration Rate* (MRR) menunjukkan tren meningkat seiring kenaikan temperatur regenerasi. Nilai MRR yang semakin tinggi menunjukkan bahwa jumlah uap air yang dilepaskan dari material *desiccant* selama proses regenerasi juga meningkat. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan temperatur regenerasi mampu memperkuat proses pelepasan kelembapan yang tersimpan dalam *desiccant*.

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Mehare et al. (2025) yang melaporkan bahwa kenaikan temperatur regenerasi dapat meningkatkan proses desorpsi sehingga uap air yang tersimpan dalam *desiccant* lebih mudah berpindah ke udara regenerasi. Meskipun besarnya nilai MRR dapat berbeda akibat perbedaan material *desiccant*, konfigurasi sistem, laju aliran udara, dan kondisi operasi, kecenderungan yang diperoleh menunjukkan bahwa temperatur regenerasi merupakan faktor penting dalam

meningkatkan efektivitas regenerasi *desiccant*. Peningkatan MRR menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi *desiccant* dapat dipulihkan dengan lebih baik, sehingga material memiliki kesiapan yang lebih tinggi untuk digunakan kembali pada siklus adsorpsi berikutnya.

4.6 Analisis *Moisture Removal Capacity* (MRC)

Moisture Removal Capacity (MRC) merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan kemampuan sistem dalam menghilangkan uap air dari aliran udara selama proses dehumidifikasi. Hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan nilai MRC ditunjukkan pada Gambar 4. 20.



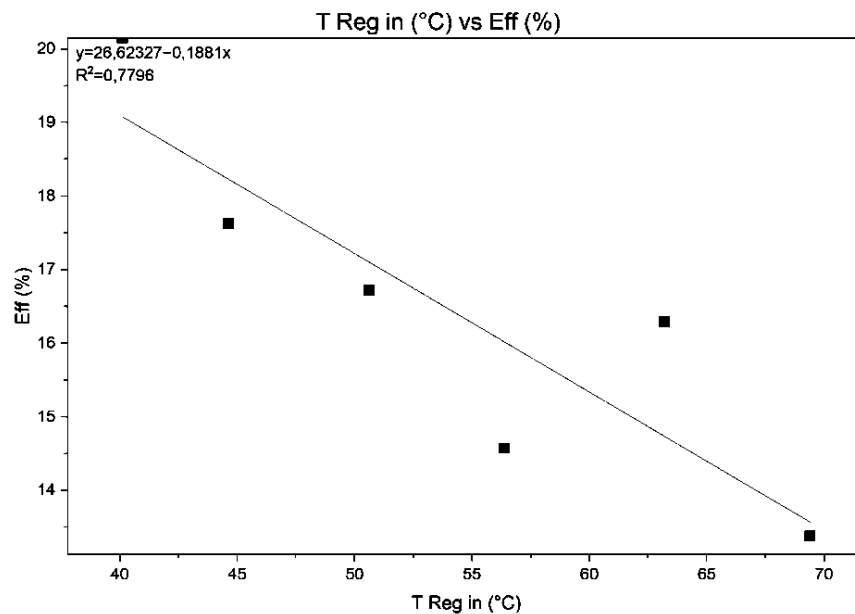
Gambar 4. 20 Hubungan antara temperatur regenerasi dan *moisture removal capacity*

Berdasarkan Gambar 4. 20, hubungan antara temperatur regenerasi (Treg) dan *Moisture Removal Capacity (MRC)* menunjukkan tren penurunan seiring meningkatnya temperatur regenerasi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa temperatur regenerasi yang lebih rendah menghasilkan nilai MRC yang lebih tinggi, sedangkan peningkatan temperatur regenerasi hingga batas pengujian diikuti oleh penurunan kapasitas sistem dalam menghilangkan kelembapan. Temuan ini mengindikasikan bahwa kenaikan temperatur regenerasi pada rentang pengujian yang dilakukan belum memberikan peningkatan kemampuan sistem dalam mengurangi kandungan uap air pada udara proses.

Hasil tersebut berbeda dengan temuan Li dan Tao (2022) yang melaporkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi dapat meningkatkan kapasitas penghilangan kelembapan karena proses regenerasi yang lebih efektif menghasilkan *desiccant* yang lebih kering dan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi pada siklus berikutnya. Perbedaan tren ini menunjukkan bahwa pengaruh temperatur regenerasi terhadap kapasitas penghilangan kelembapan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi dalam sistem. Pada penelitian ini, peningkatan temperatur regenerasi belum mampu menghasilkan peningkatan kapasitas penghilangan kelembapan yang sebanding. Selain temperatur regenerasi, karakteristik material *desiccant*, distribusi aliran udara, perpindahan panas dan massa, serta kondisi operasi sistem juga berpotensi memengaruhi kapasitas penghilangan kelembapan yang dicapai.

4.7 Analisis Efektivitas Dehumidifikasi

Nilai efektivitas menunjukkan tingkat keberhasilan sistem dalam mencapai kondisi pengeringan yang diharapkan berdasarkan perubahan kelembapan yang terjadi antara udara masuk dan udara keluar. Hubungan antara temperatur dan efektivitas dehumidifikasi pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4. 21.



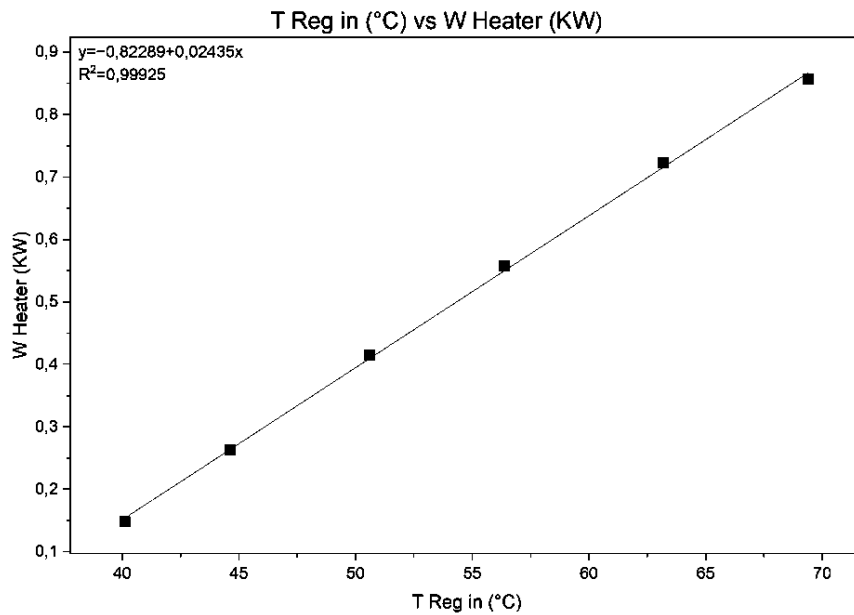
Gambar 4. 21 Hubungan antara temperatur dan efektivitas dehumidifikasi

Berdasarkan Gambar 4. 21, hubungan antara temperatur regenerasi (Treg) dan efektivitas dehumidifikasi menunjukkan tren menurun. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa efektivitas dehumidifikasi tertinggi diperoleh pada temperatur regenerasi yang lebih rendah dan terus menurun seiring peningkatan temperatur regenerasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kenaikan temperatur regenerasi pada rentang pengujian yang dilakukan belum mampu meningkatkan kemampuan sistem dalam mengurangi kandungan uap air udara proses.

Hasil tersebut berbeda dengan temuan Chaudhari et al. (2022) yang melaporkan bahwa temperatur regenerasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan efektivitas dehumidifikasi karena proses desorpsi berlangsung lebih optimal sehingga *desiccant* menjadi lebih kering dan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar pada siklus berikutnya. Perbedaan tren ini menunjukkan bahwa performa dehumidifikasi dipengaruhi oleh interaksi berbagai parameter operasi dalam sistem. Pada penelitian ini, peningkatan temperatur regenerasi belum menghasilkan peningkatan kemampuan penurunan kelembapan yang sebanding, sehingga efektivitas dehumidifikasi cenderung menurun. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan proses dehumidifikasi tidak hanya ditentukan oleh temperatur regenerasi, tetapi juga oleh kesesuaian kondisi operasi secara keseluruhan selama proses adsorpsi dan regenerasi berlangsung.

4.8 Analisis Konsumsi Daya *Heater*

Energi yang disuplai oleh *heater* berfungsi untuk meningkatkan temperatur udara regenerasi sehingga proses pelepasan uap air dari material *desiccant* dapat berlangsung dengan baik. Hubungan antara temperatur regenerasi dan konsumsi energi *heater* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4. 22.



Gambar 4. 22 Hubungan antara temperatur regenerasi dan konsumsi energi *heater*

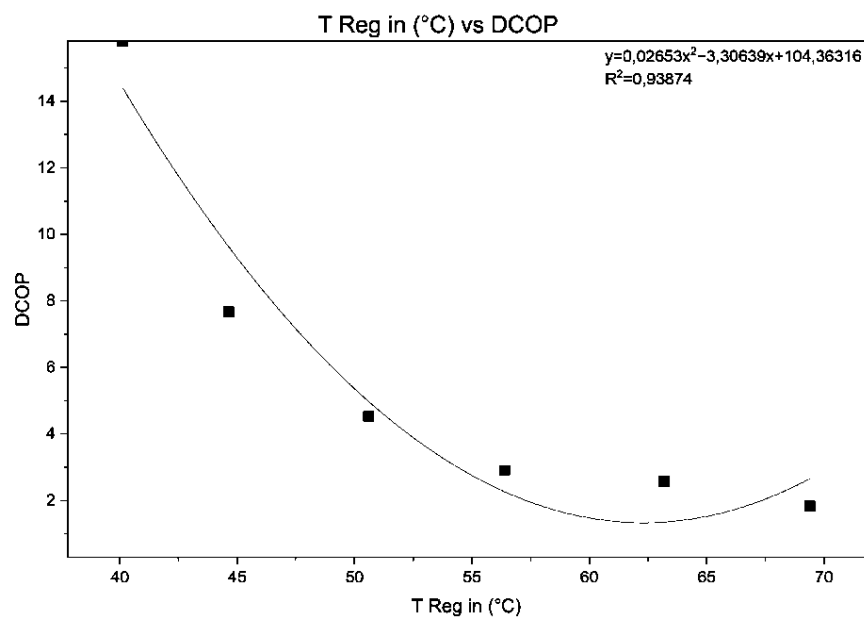
Berdasarkan Gambar 4. 22, konsumsi energi *heater* menunjukkan tren meningkat seiring kenaikan temperatur regenerasi (Treg). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kenaikan temperatur regenerasi dari sekitar 40°C hingga mendekati 70°C diikuti oleh peningkatan konsumsi energi *heater* dari 0,147 kW menjadi 0,856 kW. Temuan ini menunjukkan bahwa kebutuhan energi pemanasan bertambah secara konsisten seiring meningkatnya temperatur regenerasi yang ditetapkan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Kosasih et al. (2022) yang melaporkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi menyebabkan konsumsi energi *heater* semakin besar karena diperlukan energi tambahan untuk memanaskan udara regenerasi hingga mencapai kondisi operasi yang diinginkan. Selain temperatur regenerasi, konsumsi energi juga dapat dipengaruhi oleh laju aliran udara, kondisi kelembapan udara, rancangan sistem, dan mekanisme perpindahan panas yang terjadi

selama proses regenerasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa temperatur regenerasi merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kebutuhan energi *heater*, sehingga peningkatan temperatur regenerasi perlu dievaluasi bersama peningkatan performa sistem yang diperoleh agar operasi dehumidifikasi tetap berlangsung secara efisien

4.9 Analisis *Desiccant Coefficient of Performance* (DCOP)

Nilai DCOP menunjukkan perbandingan antara energi yang dimanfaatkan untuk proses penghilangan kelembapan dengan energi yang dibutuhkan selama proses regenerasi. Pengaruh temperatur regenerasi terhadap nilai DCOP pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4. 23.



Gambar 4. 23 Hubungan antara temperatur regenerasi terhadap nilai DCOP

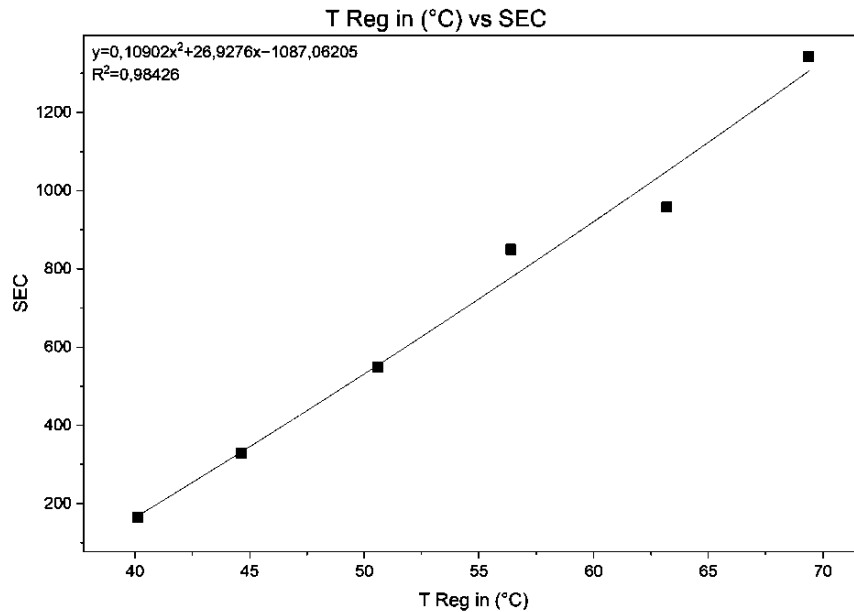
Berdasarkan Gambar 4. 23, hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan *Dehumidification Coefficient of Performance* (DCOP) menunjukkan tren menurun. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai DCOP tertinggi diperoleh pada temperatur regenerasi terendah dan terus menurun seiring peningkatan temperatur regenerasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kenaikan temperatur regenerasi pada rentang pengujian yang dilakukan justru menurunkan efisiensi pemanfaatan energi sistem dehumidifikasi.

Hasil tersebut berbeda dengan temuan Li dan Tao (2022) yang melaporkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi hingga rentang tertentu dapat meningkatkan DCOP karena proses regenerasi berlangsung lebih efektif sehingga kapasitas adsorpsi *desiccant* meningkat, sementara konsumsi energi masih relatif efisien. Pada penelitian ini, tidak ditemukan peningkatan DCOP maupun titik operasi optimum dalam rentang temperatur yang diuji. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tambahan energi regenerasi yang diberikan belum mampu menghasilkan peningkatan performa dehumidifikasi yang sebanding. Fenomena ini diduga dipengaruhi oleh karakteristik material *desiccant*, konfigurasi sistem, mekanisme regenerasi, serta kondisi operasi selama pengujian. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan temperatur regenerasi lebih dominan meningkatkan konsumsi energi dibandingkan meningkatkan kemampuan sistem dalam menghilangkan kelembapan.

4.10 Analisis *Specific Energy Consumption* (SEC)

Nilai SEC menunjukkan besarnya energi yang diperlukan untuk mengurangi satu satuan massa air, sehingga dapat digunakan sebagai indikator efisiensi energi sistem. Pengaruh temperatur regenerasi terhadap nilai SEC pada penelitian ini

ditunjukkan pada Gambar 4. 24.



Gambar 4. 24 Hubungan antara temperatur regenerasi terhadap nilai SEC

Berdasarkan Gambar 4. 24, nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) menunjukkan tren meningkat seiring kenaikan temperatur regenerasi (Treg). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan SEC pada temperatur regenerasi rendah masih relatif kecil, namun meningkat lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kebutuhan energi sistem semakin besar seiring dengan peningkatan temperatur regenerasi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Kosasih et al. (2022) yang melaporkan bahwa kenaikan temperatur regenerasi meningkatkan energi yang diperlukan untuk memanaskan udara regenerasi dan mendukung proses desorpsi uap air dari material *desiccant*. Peningkatan SEC menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan untuk menghilangkan setiap satuan massa air menjadi semakin besar pada

temperatur regenerasi yang lebih tinggi. Dengan demikian, pemilihan temperatur regenerasi perlu mempertimbangkan keseimbangan antara efektivitas proses regenerasi dan konsumsi energi sistem. Hasil ini menunjukkan bahwa temperatur regenerasi yang lebih tinggi tidak selalu memberikan keuntungan operasional apabila peningkatan kebutuhan energi tidak diimbangi oleh peningkatan performa dehumidifikasi yang signifikan.