

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	Dimmer	SYO - 70066
g	Heater	Electric heater 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 9.6 m/s pada sisi adsorpsi dan 10.8 m/s pada sisi regenerasi selama pengujian. Hasil pengambilan data pada proses adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Data kondisi udara adsorpsi

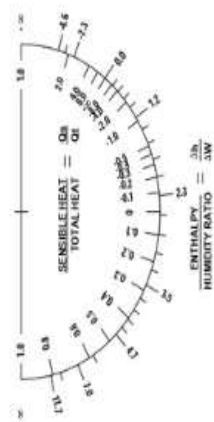
Menit ke-	T set heater (°C)	T in ads (°C)	RH in ads (°C)	W in ads (kg/kg)	T out ads (°C)	RH out ads (°C)	W out ads (kg/kg)
4	40	34.4	59.28	0,20	35.3	49.14	0,17
8	45	34.6	58.42	0,20	37	45.5	0,18
12	50	34.5	58.02	0,20	38.6	41.84	0,18
16	55	34.5	58.28	0,20	40.9	38.2	0,18
20	60	34.62	57.6	0,20	42.5	34.9	0,18
24	65	34.8	57.2	0,20	45.5	30.6	0,19

Tabel 4.3 Data kondisi udara 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)
4	40	39,8	31.78	0,014	35.6	50.1	0,018
8	45	44.4	24.64	0,014	37	48.66	0,019
12	50	50.5	17.52	0,013	39.3	44.4	0,020
16	55	56	13.2	0,013	40.16	44.6	0,021
20	60	62.8	9.24	0,013	43.36	39.24	0,022
24	65	68.48	6.74	0,012	43.6	40.42	0,023

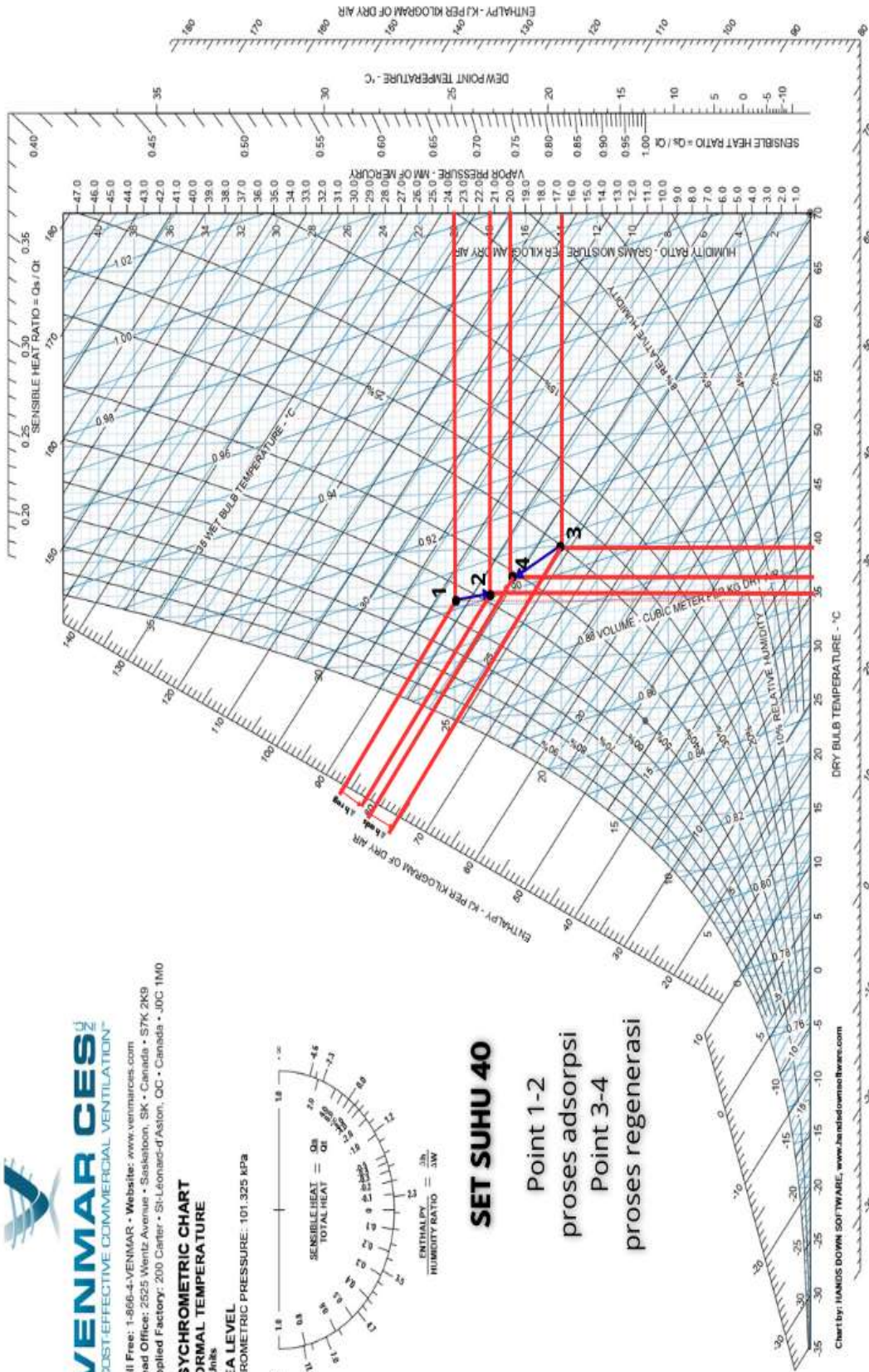
Berdasarkan data kondisi udara pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, kondisi udara pada proses adsorpsi dan regenerasi selanjutnya divisualisasikan menggunakan diagram *psychrometric* yang disajikan pada Gambar 4. 2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7

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.



SET SUHU 40

- Point 1-2
proses adsorpsi
- Point 3-4
proses regenerasi



Gambar 4.2 Diagram *psychrometric* set suhu 40°C



VENMAR CES
 COST-EFFECTIVE COMMERCIAL VENTILATION™

Toll Free: 1-866-4-VENMAR • Website: www.venmarces.com
 Head Office: 2525 Wentz Avenue • Saskatoon, SK • Canada • S7K 2K9
 Applied Factory: 200 Carter • St-Laurent-d'Aston, QC • Canada • J0C 1M0

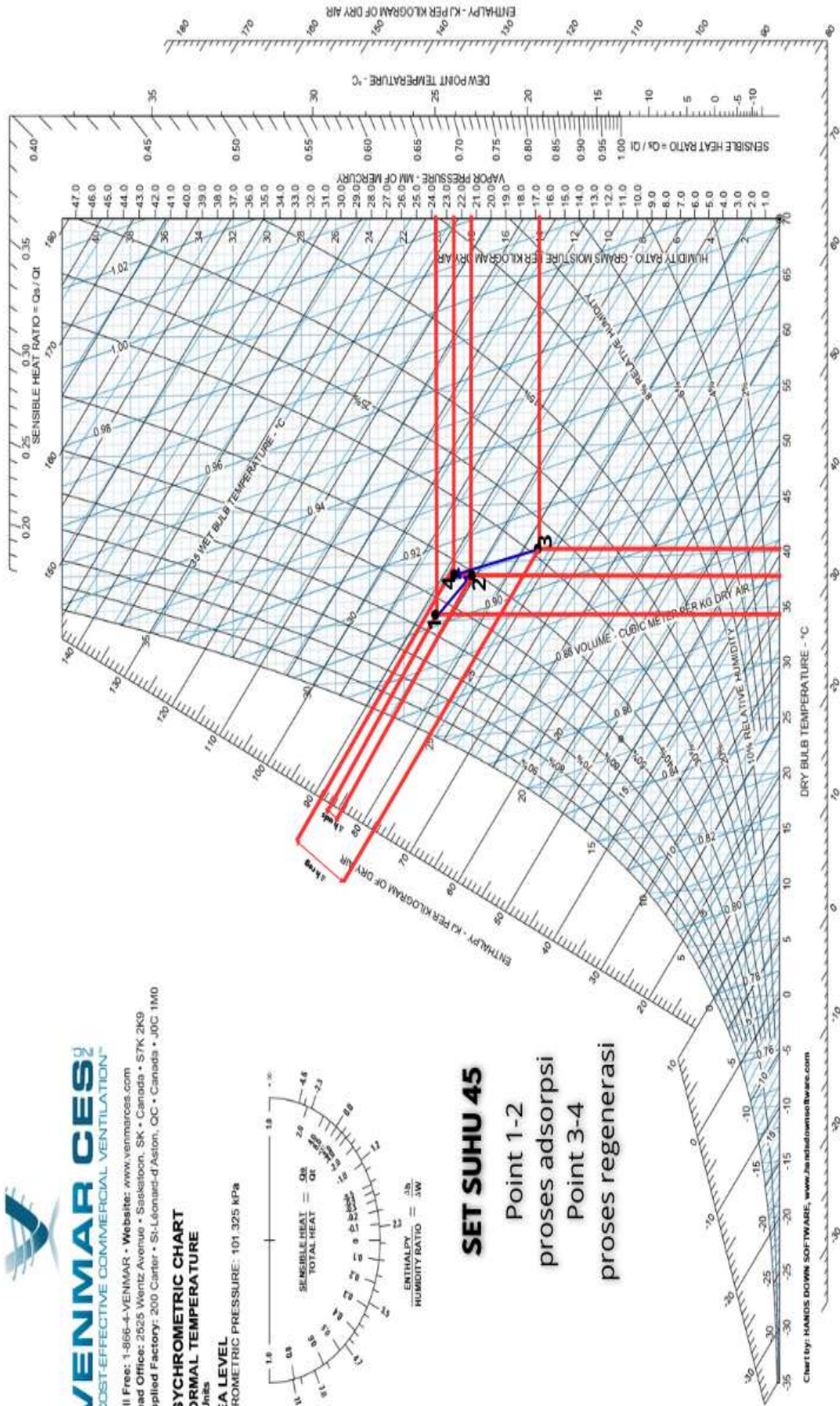
PSYCHROMETRIC CHART NORMAL TEMPERATURE

SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



SET SUHU 45

- Point 1-2
proses adsorpsi
- Point 3-4
proses regenerasi



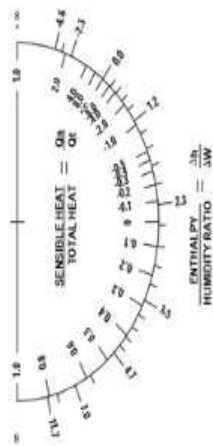
Gambar 4.3 Diagram psychrometric set suhu 45°C

VENMAR CES
 COST-EFFECTIVE COMMERCIAL VENTILATION™

Toll Free: 1-866-4-VENMAR • Website: www.venmarces.com
 Head Office: 2525 Wentz Avenue • Saskatoon, SK • Canada • S7K 2K9
 Applied Factory: 200 Carlier • St-Leonard-d'Aston, QC • Canada • J0C 1M0

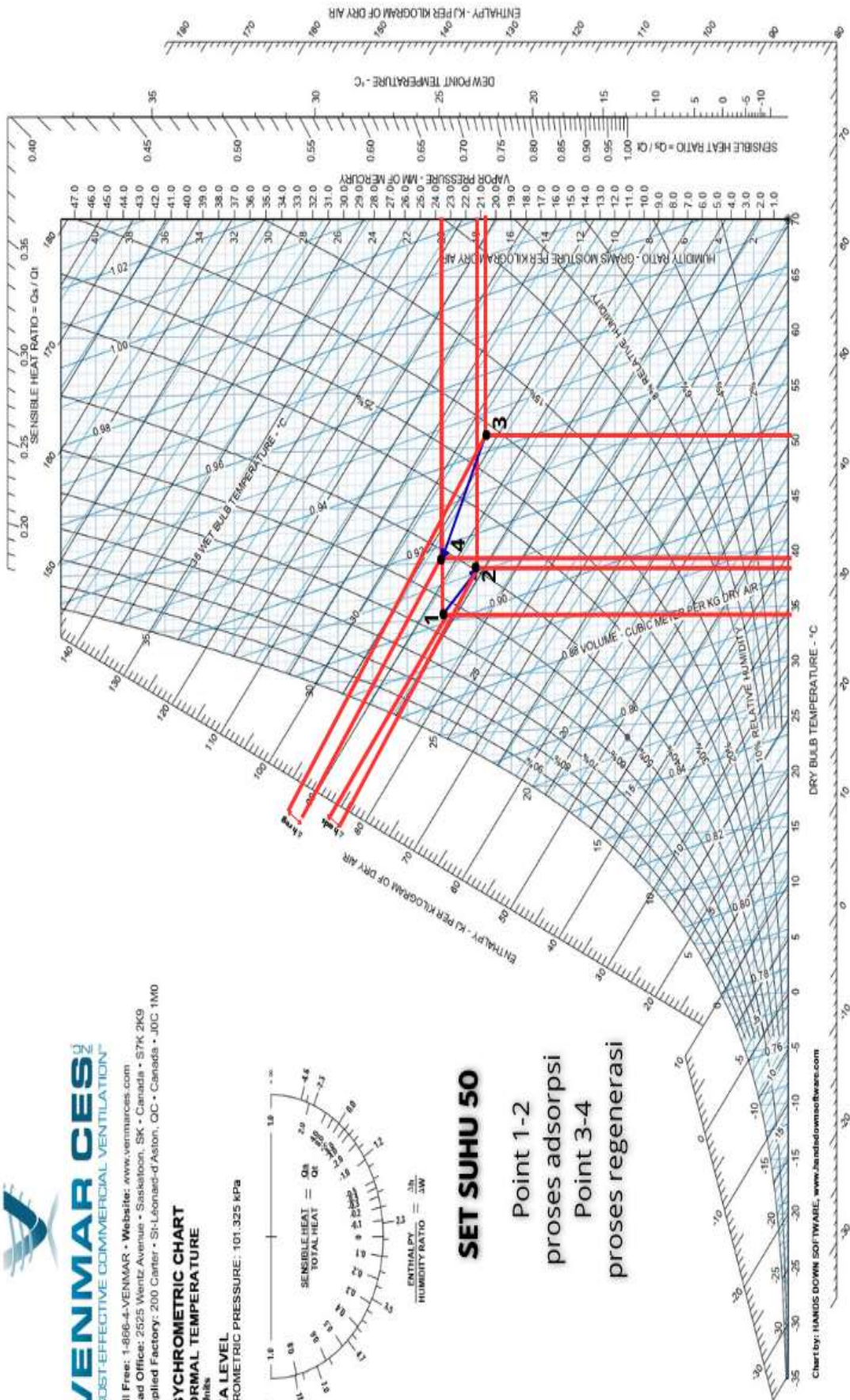
PSYCHROMETRIC CHART
 SI Units

SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



SET SUHU 50

- Point 1-2
proses adsorpsi
- Point 3-4
proses regenerasi

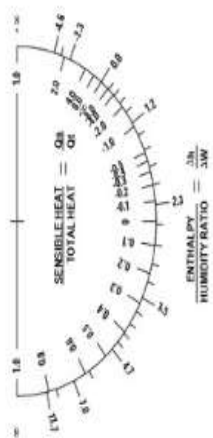


Gambar 4.4 Diagram *psychrometric* set suhu 50°C

VENMAR CES
 COST-EFFECTIVE COMMERCIAL VENTILATION™

Toll Free: 1-866-4-VENMAR • Website: www.venmarces.com
 Head Office: 2525 Wentz Avenue • Saskatoon, SK • Canada • S7K 2K9
 Applied Factory: 200 Center • St-Léonard-d'Aston, QC • Canada • J0C 1M0

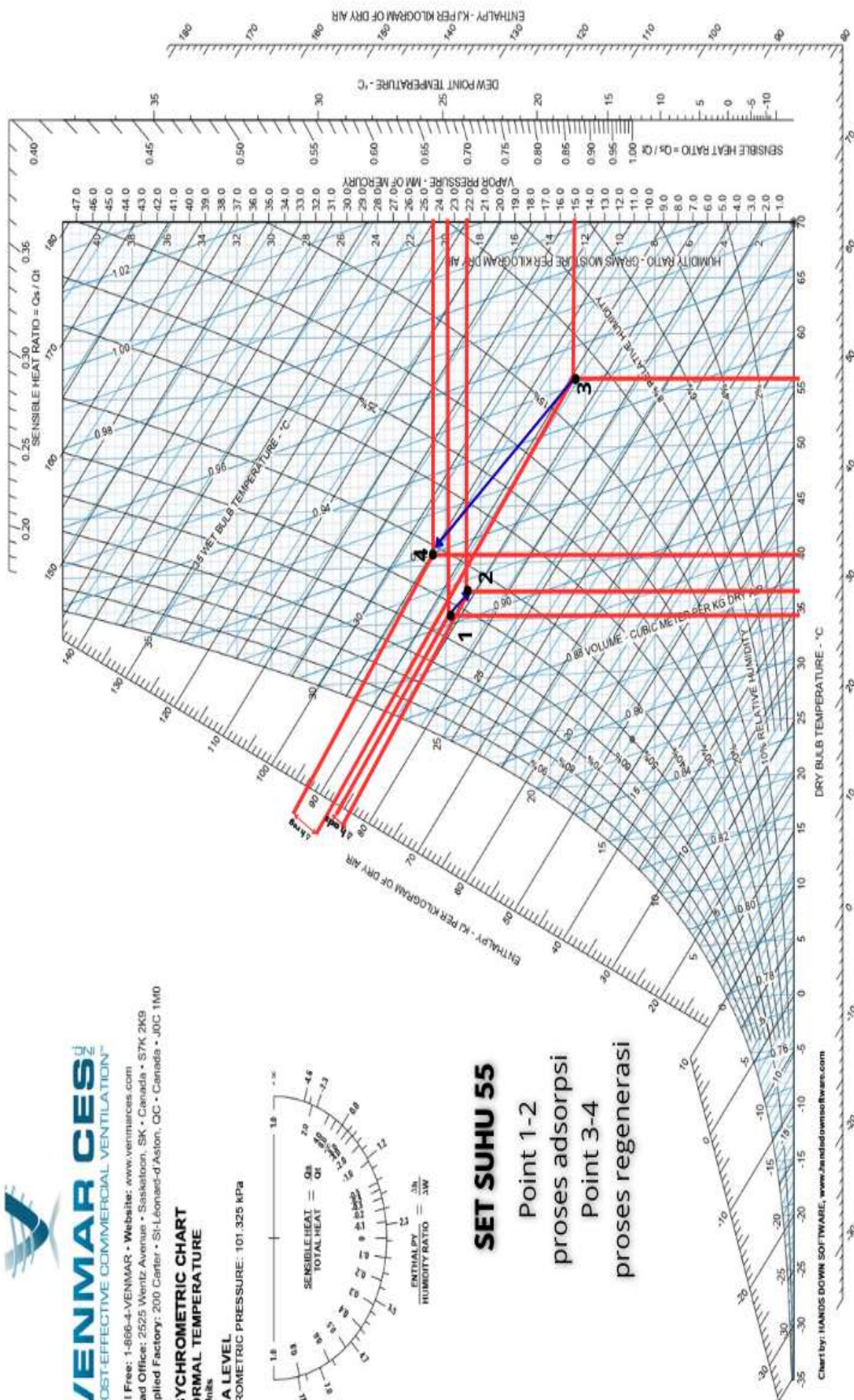
PSYCHROMETRIC CHART
 NORMAL TEMPERATURE
 SI Units
 SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa



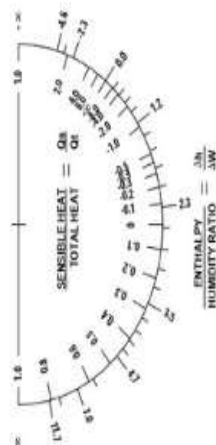
SET SUHU 55

Point 1-2
 proses adsorpsi

Point 3-4
 proses regenerasi

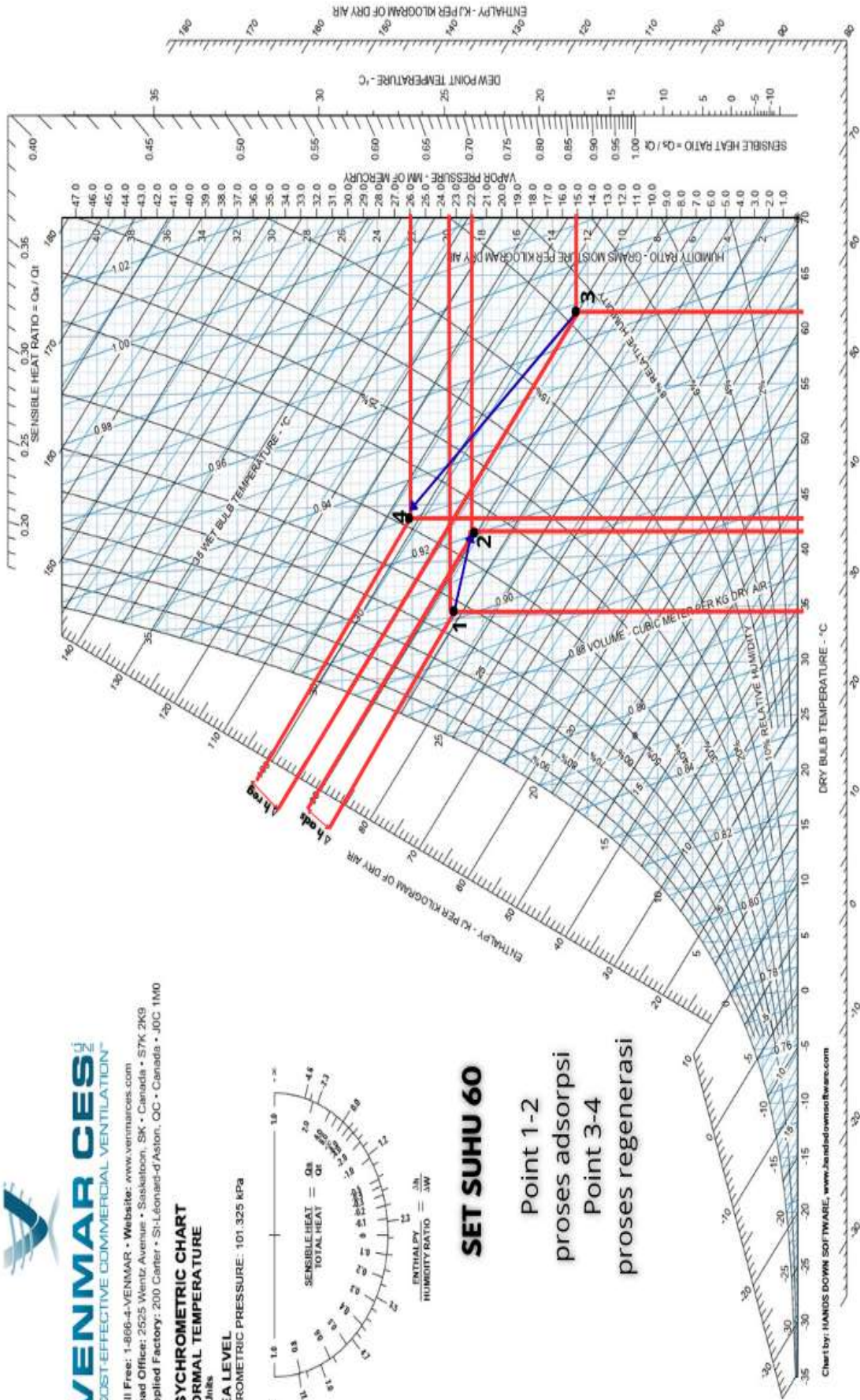


Gambar 4.5 Diagram psychrometric set suhu 55°C

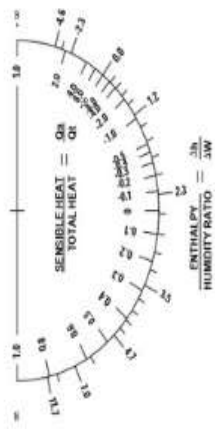


SET SUHU 60

- Point 1-2
proses adsorpsi
- Point 3-4
proses regenerasi

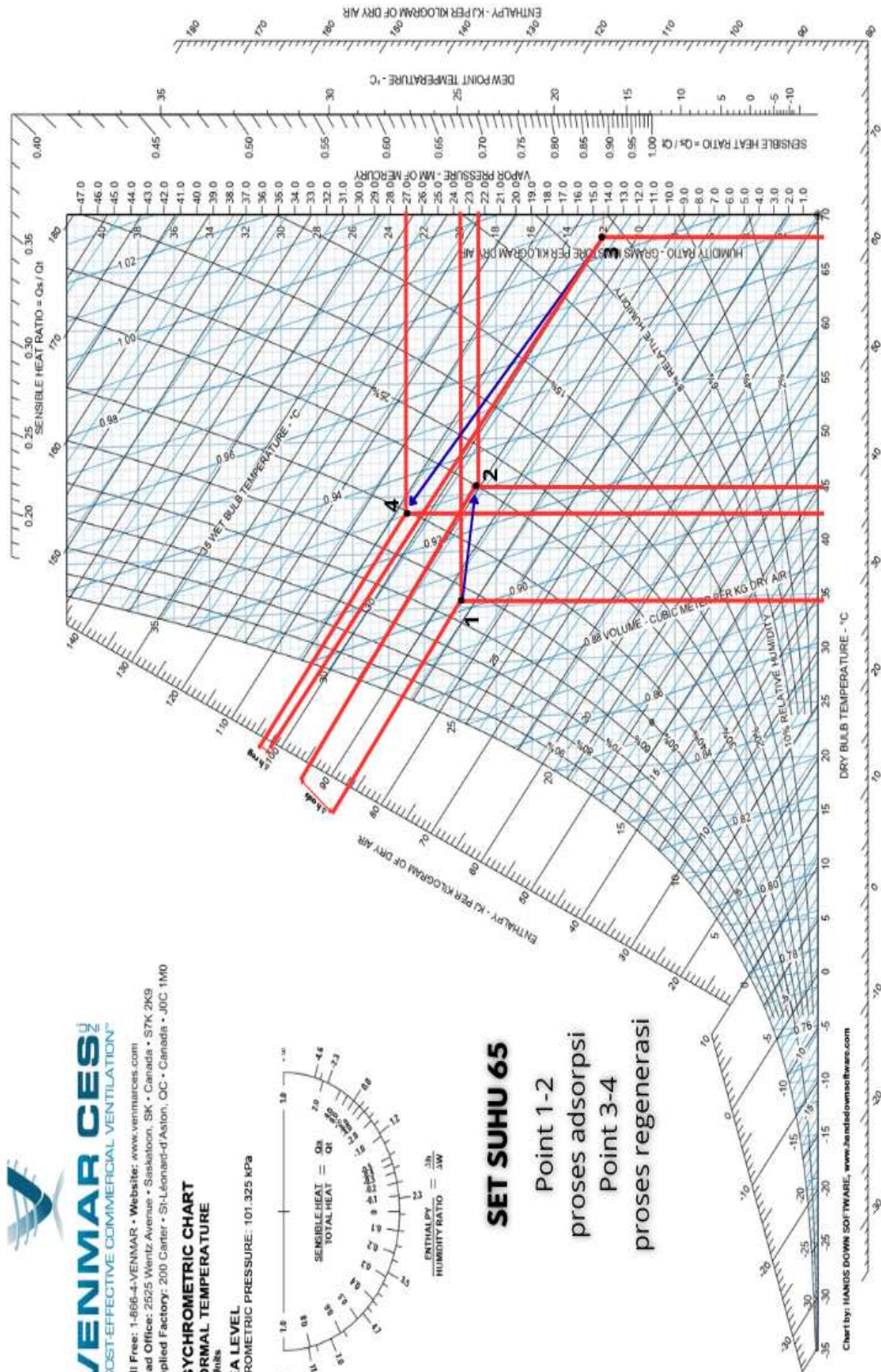


Gambar 4.6 Diagram psychrometric set suhu 60°C



SET SUHU 65

- Point 1-2
proses adsorpsi
- Point 3-4
proses regenerasi



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 skema yang disajikan pada Gambar 4.8, penurunan kelembapan absolut dihitung dengan menggunakan persamaan (2.45).



Gambar 4.8 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

$$\Delta\omega_{\text{ads}} = 0,02054 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} - 0,01782 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} = 0,00272 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

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)
39,8	0,020544	0,017824	0,00272
44,4	0,020478	0,018125	0,00234
50,5	0,020209	0,018178	0,00203
56	0,020302	0,018784	0,00151
62,8	0,020196	0,018689	0,00150
68,4	0,020259	0,019184	0,00107

4.3.2 Moisture removal capacity

Berdasarkan skema yang disajikan pada Gambar 4.9, *moisture removal capacity* dihitung dengan menggunakan persamaan (2.46).



Gambar 4.9 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

$$\begin{aligned} MRC &= 0,23978 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (0,02054 - 0,01782) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \\ &= 0,00072 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

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

Tabel 4.5 Hasil perhitungan *moisture removal capacity*

Suhu Regenerasi (°C)	$\dot{m}_{ads}$ (kg/s)	$\omega_{ads,in}$ (kg/kg)	$\omega_{ads,out}$ (kg/kg)	MRC (kg/s)
39,8	0.26755	0,020544	0,017824	0,00072
44,4	0.26731	0,02047	0,018125	0,00062
50,4	0.26755	0,020209	0,018178	0,00054
56	0.26755	0,020302	0,018784	0,00040
62,8	0.26731	0,020196	0,018689	0,00034
68,4	0.26731	0,020259	0,019184	0,00028

4.3.3 *Moisture regeneration rate*

Berdasarkan skema yang disajikan pada Gambar 4.10, *moisture regeneration rate* dihitung dengan menggunakan persamaan (2.47).



Gambar 4.10 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

$$\begin{aligned} MRR &= 0,02171 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times (0,01849 - 0,01424) \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \\ &= 0,0001037 \end{aligned}$$

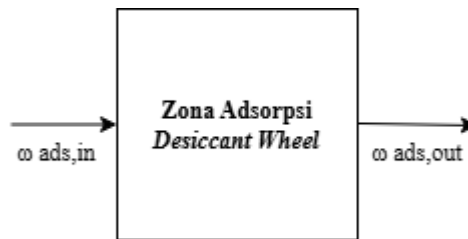
Secara lengkap hasil perhitungan *Moisture Regeneration Rate* (MRR) yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan *moisture regeneration rate*

Suhu Regenerasi (°C)	$\dot{m}_{reg}$ (kg/s)	$\omega_{reg,in}$ (kg/kg)	$\omega_{reg,out}$ (kg/kg)	MRR (kg/s)
39,8	0.0244	0,014249	0,018495	0,0001037
44,4	0.0267	0,014452	0,019423	0,0001327
50,5	0.0262	0,013976	0,020089	0,0001603
56	0.0257	0,013744	0,021164	0,0001913
62,8	0.0252	0,013186	0,022068	0,0002243
68,4	0.0248	0,012371	0,023052	0,0002656

4.3.4 Efektivitas dehumidifikasi

Berdasarkan skema yang disajikan pada Gambar 4.11, efektivitas dehumidifikasi dapat dihitung dengan persamaan (2.48).



Gambar 4.11 Skema efektifitas 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

$$\begin{aligned}\varepsilon_{deh} &= \frac{0,020918 - 0,017875}{0,020918} \times 100 \% \\ &= 13,23 \%\end{aligned}$$

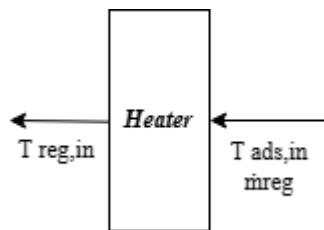
Secara lengkap hasil perhitungan efektivitas dehumidifikasi yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan efektivitas dehumidifikasi

Suhu Regenerasi (°C)	$\omega_{ads,in}$ (kg/kg)	$\omega_{ads,out}$ (kg/kg)	ε_{deh} (%)
39,8	0,020544	0,017824	13,23
44,4	0,02047	0,018125	11,4
50,5	0,020209	0,018178	10,9
56	0,020302	0,018784	7,47
62,8	0,020196	0,018689	7,46
68,4	0,020259	0,019184	5,3

4.3.5 Konsumsi daya heater

Berdasarkan skema yang disajikan pada Gambar 4.12, konsumsi daya heater dapat dihitung dengan persamaan (2.49)



Gambar 4.12 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

$$\begin{aligned}
 W_{heater} &= \dot{m}_{reg} \times C_p \times \Delta T_{heater} \\
 &= 0,02171 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (39,8 - 35,6)^\circ\text{C} \\
 &= 0,10695 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \\
 &= 106,95 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

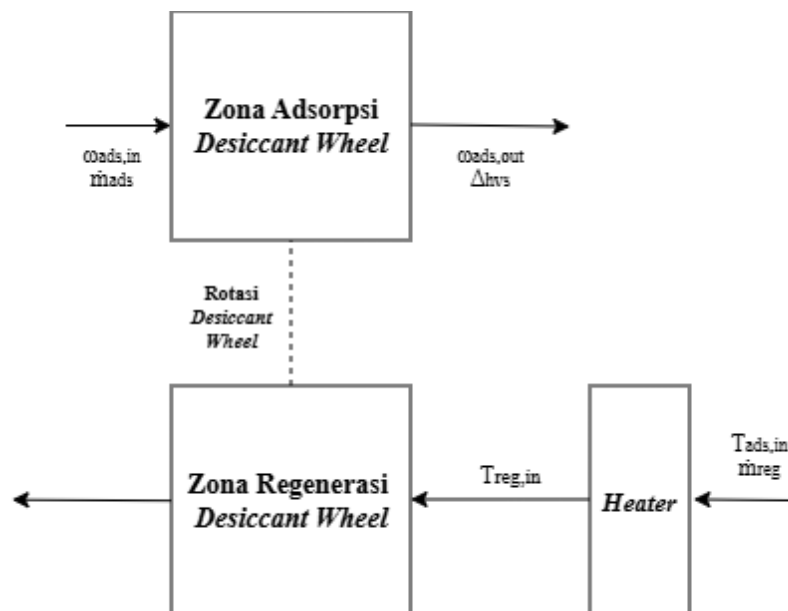
Secara lengkap hasil perhitungan konsumsi daya *heater* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

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)
39,8	0.0244	1,005	7,4	161,52
44,4	0.0267	1,005	13,32	285,29
50,5	0.0262	1,005	18,6	391,85
56	0.0257	1,005	23,7	491,91
62,8	0.0252	1,005	31,3	635,01
68,4	0.0248	1,005	37,1	740,39

4.3.6 Dehumidification coefficient of performance

Berdasarkan skema yang disajikan pada Gambar 4.13, DCOP dapat dihitung dengan persamaan (2.50) dan (2.51).



Gambar 4.13 Skema DCOP

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

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

$$\begin{aligned} \Delta h_{vs} = & (-0,614342 \times 10^{-4}) \times 31,9^3 \text{°C} + 0,0158927 \times 10^{-2} \times 31,9^2 \text{°C} - \\ & 0,236418 \times 10 \times 31,9 \text{°C} + 0,250079 \times 10^4 \\ = & 2.423,540 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Jadi, DCOP untuk suhu regenerasi set poin 40°

$$\begin{aligned} DCOP = & \frac{0,23971 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 2.423,540 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times (0,020918 - 0,017875) \frac{\text{kg}}{\text{kg}}}{0,02172 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \times (39,8 - 34,4) \text{°C}} \\ = & 14,6 \end{aligned}$$

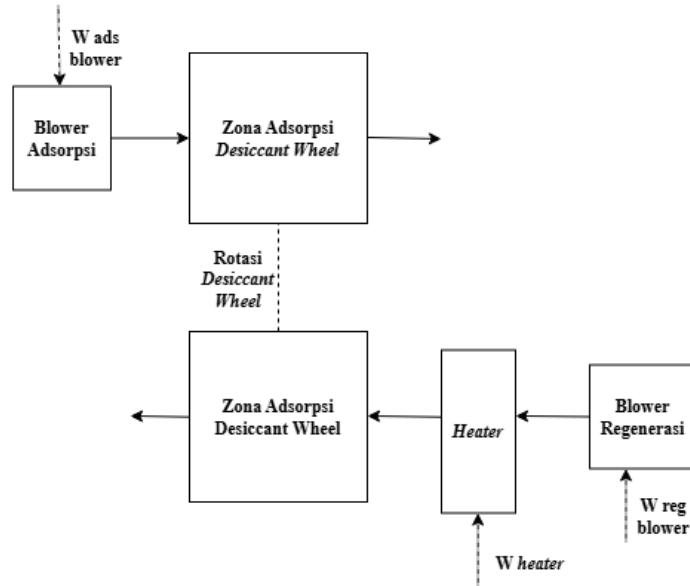
Secara lengkap hasil perhitungan DCOP dapat dilihat pada Tabel 4.9

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)	ΔT_{heater} (°C)	DCOP
39,8	34,4	2423,54	0.26755	0,020544	0,017824	0.0244	1,005	7,4	14,6
44,4	34,6	2423,99	0.26731	0,020470	0,018125	0.0267	1,005	13,32	6,39
50,5	34,5	2423,79	0.26755	0,020209	0,018178	0.0262	1,005	18,6	3,46
56	34,5	2424,30	0.26755	0,020302	0,018784	0.0257	1,005	23,7	1,95
62,8	34,62	2424,30	0.26731	0,020196	0,018689	0.0252	1,005	31,3	1,51
68,4	34,8	2424,55	0.26731	0,020259	0,019184	0.0248	1,005	37,1	0,91

4.3.7 Specific energy consumption

Berdasarkan skema yang disajikan pada Gambar 4.14, *specific energy consumption* dapat dihitung dengan persamaan (2.52).



Gambar 4.14 Skema SEC

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

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

$$\begin{aligned} SEC &= \frac{(0,161526 + 0,011544)kW}{0,000729 \frac{kg}{s}} \\ &= 182,75 \frac{kJ}{kg} \end{aligned}$$

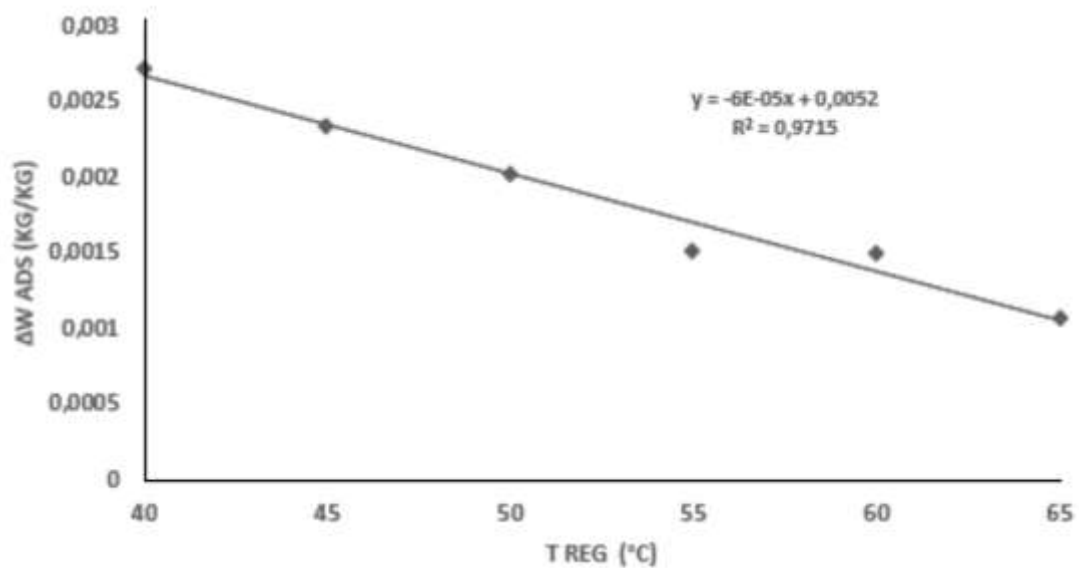
Secara lengkap hasil perhitungan SEC yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil perhitungan SEC

Suhu Regenerasi (°C)	W_{heater} (kW)	W_{blower} (kW)	MRC (kg/s)	SEC ($\frac{kJ}{kg}$)
39,8	0,10	0.0112447	0,00072	182,72
44,4	0,21	0.0112447	0,00062	397,91
50,5	0,33	0.0112447	0,00054	721,79
56	0,44	0.0112447	0,00040	1.266,08
62,8	0,57	0.0112447	0,00040	1.629,54
68,4	0,67	0.0112447	0,00028	2.680,53

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 4.15.



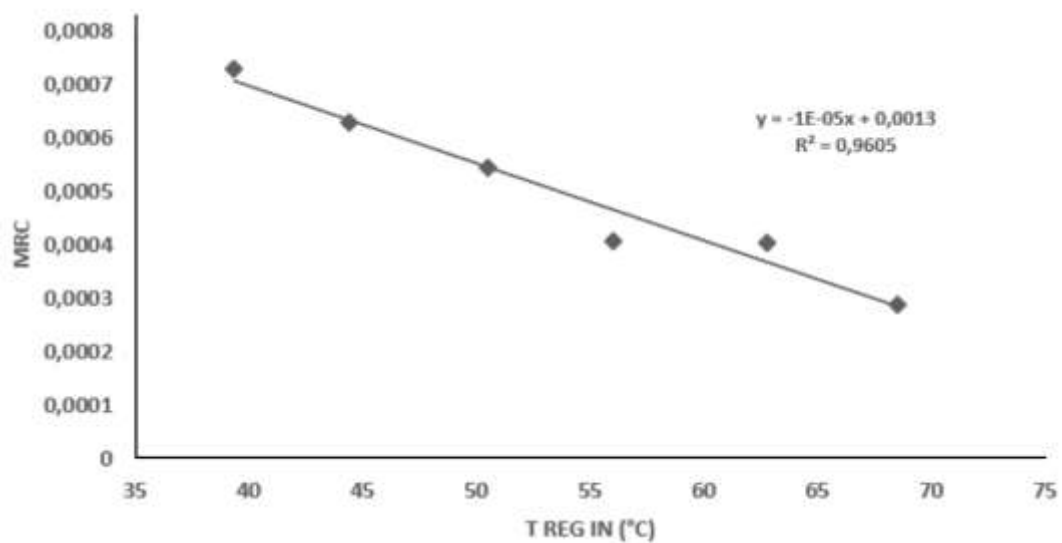
Gambar 4.15 Hubungan temperatur regenerasi dengan penurunan kelembapan absolut

Berdasarkan Gambar 4.15, terlihat bahwa semakin tinggi temperatur regenerasi, nilai ΔW_{ads} menurun dari 0,0027 kg/kg pada 39,8°C menjadi sekitar 0,0010 kg/kg pada 68,4°C. Hal ini menunjukkan bahwa selisih kelembapan spesifik udara sebelum dan sesudah melewati *desiccant wheel* semakin kecil sehingga kemampuan adsorpsi sistem cenderung menurun pada kondisi pengujian.

Berbeda dengan hasil tersebut, Chaudhary et al. (2019) melaporkan bahwa peningkatan temperatur regenerasi mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi karena *silica gel* menjadi lebih kering setelah proses regenerasi. Perbedaan tren tersebut diduga disebabkan oleh fenomena *heat carryover* yang meningkatkan temperatur pada sisi adsorpsi sehingga kemampuan *silica gel* dalam menyerap uap air berkurang. Selain itu, rentang temperatur regenerasi yang digunakan pada penelitian ini kemungkinan belum cukup tinggi untuk meregenerasi *silica gel* secara optimal, sehingga kapasitas adsorpsinya tidak meningkat.

4.5 Moisture Removal Capacity (MRC)

Moisture removal capacity menunjukkan kemampuan desikan dalam menghilangkan uap air dari udara proses selama dehumidifikasi. Semakin besar nilai MRC, semakin baik kemampuan sistem dalam menurunkan kelembapan udara. Hubungan antara temperatur regenerasi (Treg) dan nilai MRC hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.16.



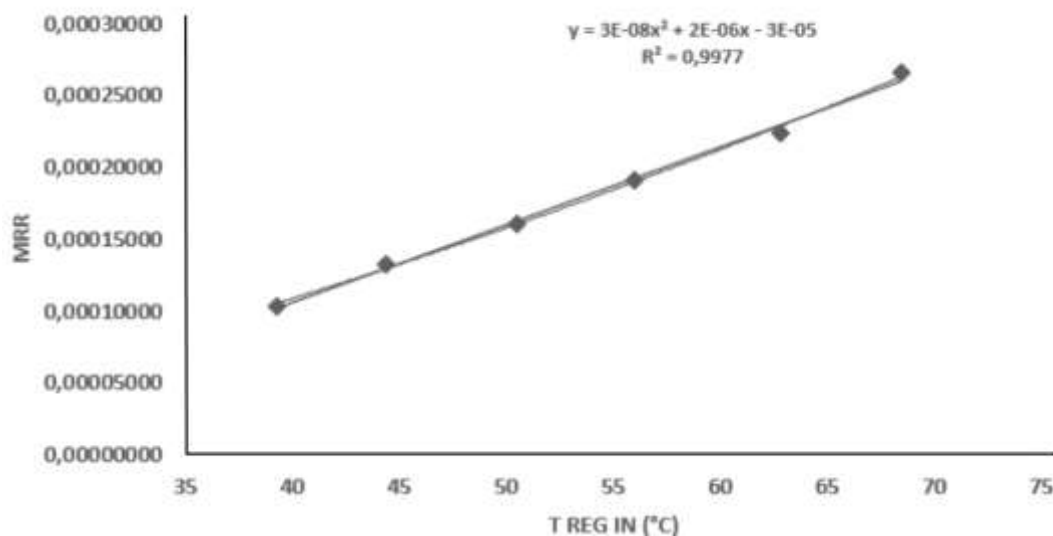
Gambar 4.16 Hubungan temperatur regenerasi dengan *mouisture removal capacity*

Berdasarkan Gambar 4.16, nilai MRC cenderung menurun seiring dengan meningkatnya temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 0,00072 kg/s pada 39,8°C menjadi sekitar 0,00028 kg/s pada 68,4°C. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan desikan dalam menghilangkan uap air dari udara proses semakin berkurang pada rentang temperatur regenerasi yang diuji.

Berbeda dengan hasil tersebut, 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* yang meningkatkan temperatur pada sisi adsorpsi serta temperatur regenerasi pada penelitian ini yang belum cukup tinggi untuk meregenerasi *silica gel* secara optimal, sehingga kemampuan desikan dalam menyerap uap air belum.

4.6 Moisture Regeneration Rate (MRR)

Moisture Regeneration Rate (MRR) menunjukkan kemampuan sistem dalam mengurangi kandungan uap air dari aliran udara selama proses dehumidifikasi. Semakin besar nilai MRR, semakin banyak uap air yang berhasil dipindahkan. Hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan nilai MRR hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Hubungan temperatur regenerasi dengan *mouisture regeneration rate*

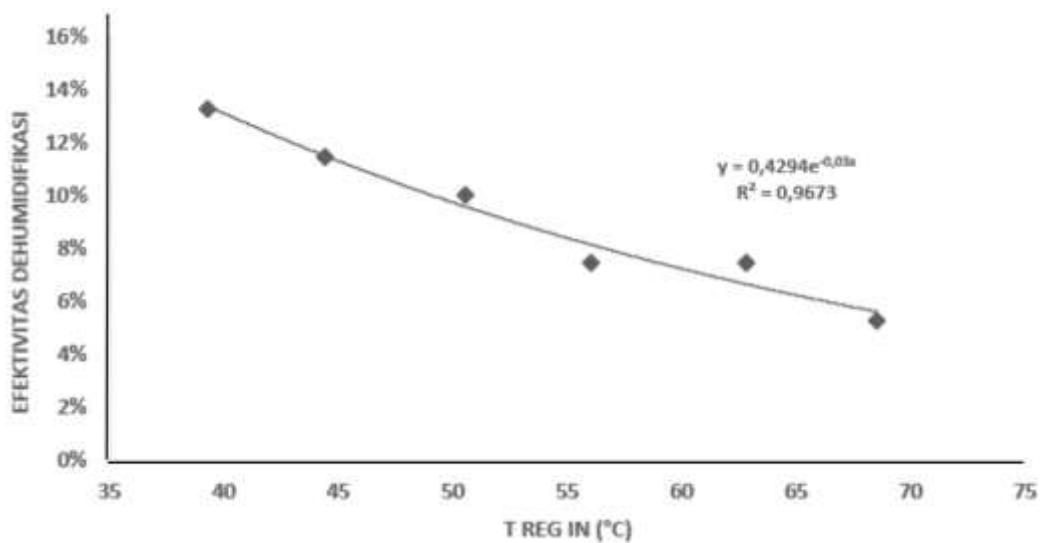
Berdasarkan Gambar 4.17, nilai MRR meningkat seiring dengan kenaikan temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar $10,0 \times 10^{-5}$ kg/s pada 39,8°C menjadi sekitar $2,6 \times 10^{-4}$ kg/s pada 68,4°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur regenerasi, semakin besar jumlah uap air yang berhasil dilepaskan dari material desikan selama proses regenerasi.

Hasil tersebut sejalan 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 dehumidifikasi menunjukkan kemampuan sistem dalam mengurangi kandungan uap air pada udara proses. Semakin tinggi nilai efektivitas, semakin baik kinerja dehumidifikasi sistem. Hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan efektivitas dehumidifikasi ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Hubungan temperatur regenerasi dengan efektivitas dehumidifikasi

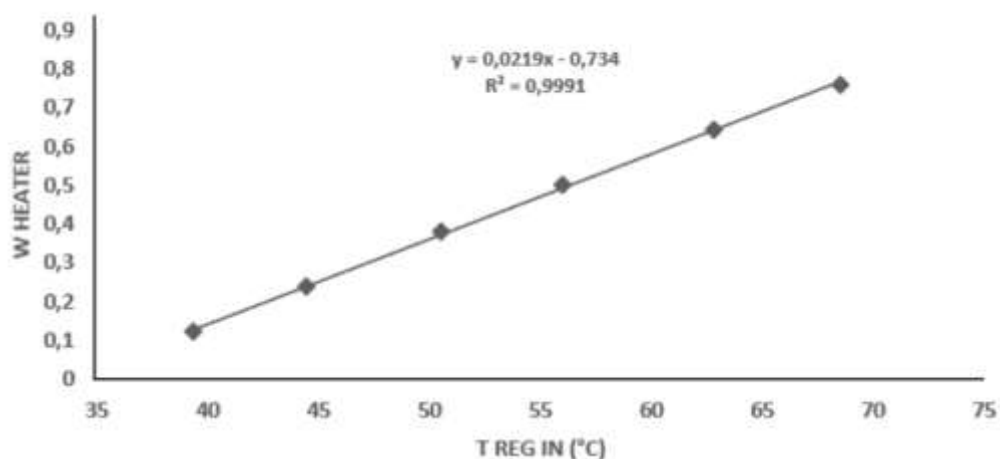
Berdasarkan Gambar 4.18, nilai efektivitas dehumidifikasi cenderung menurun seiring dengan meningkatnya temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 13,2%

pada 39,8°C menjadi sekitar 5,3% pada 68,4°C. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan sistem dalam mengurangi kandungan uap air pada udara proses semakin menurun pada rentang temperatur regenerasi yang diuji.

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

Energi *heater* menunjukkan besarnya energi yang digunakan untuk memanaskan udara regenerasi selama proses regenerasi desikan. Hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan konsumsi daya *heater* ditunjukkan pada Gambar 4.19.



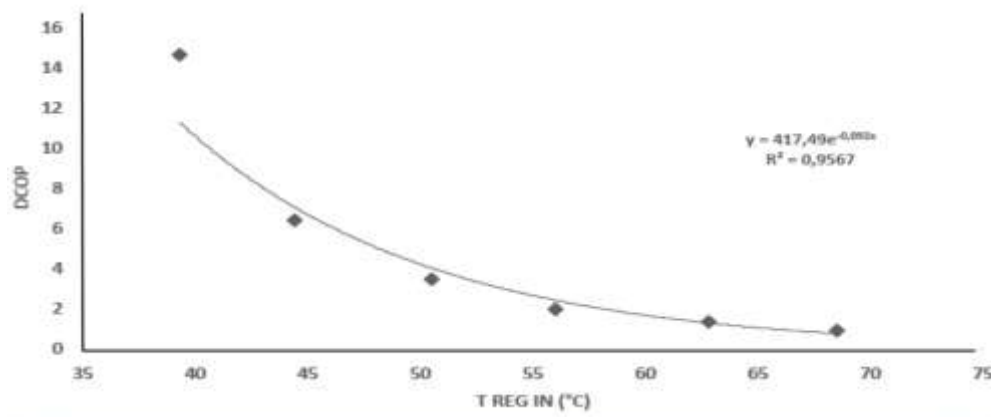
Gambar 4.19 Hubungan temperatur regenerasi dengan konsumsi daya *heater*

Berdasarkan Gambar 4.19, konsumsi daya *heater* (*Wheater*) meningkat seiring dengan kenaikan temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 0,16 kW pada 39,8°C menjadi sekitar 0,74 kW pada 68,4°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur regenerasi yang diinginkan, semakin besar energi yang dibutuhkan untuk memanaskan udara regenerasi.

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Kosasih et al. (2022) yang menunjukkan bahwa konsumsi daya *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 daya *heater* pada sistem dehumidifikasi.

4.9 Dehumidification Coefficient of Performance (DCOP)

Dehumidification coefficient of performance (DCOP) menunjukkan efisiensi sistem dalam memanfaatkan energi untuk menghasilkan efek dehumidifikasi. Semakin tinggi nilai DCOP, semakin efisien kinerja sistem. Hubungan antara temperatur regenerasi (*Treg*) dan nilai DCOP ditunjukkan pada Gambar 4.20.



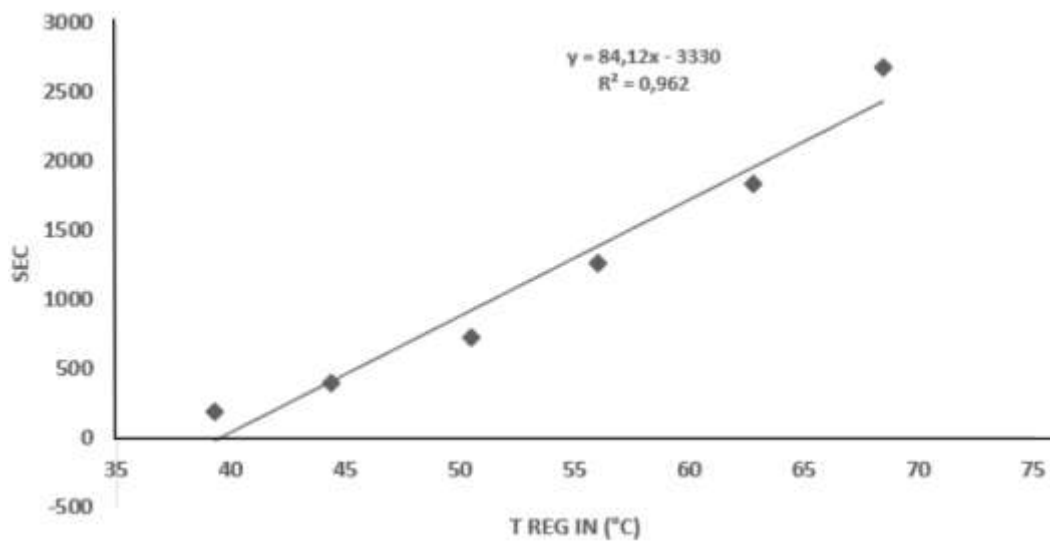
Gambar 4.20 Hubungan temperatur regenerasi dengan DCOP

Berdasarkan Gambar 4.20, nilai DCOP cenderung menurun seiring dengan meningkatnya temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 14,6 pada 39,8°C menjadi sekitar 0,91 pada 68,4°C. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi pemanfaatan energi untuk menghasilkan efek dehumidifikasi semakin menurun pada temperatur regenerasi yang lebih tinggi.

Hasil tersebut sejalan 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. Semakin rendah nilai SEC, semakin efisien penggunaan energi oleh sistem. Hubungan antara temperatur regenerasi (T_{reg}) dan nilai SEC ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Hubungan temperatur regenerasi dengan *specific energy consumption*

Berdasarkan Gambar 4.21, nilai SEC cenderung meningkat seiring dengan kenaikan temperatur udara regenerasi, yaitu dari sekitar 182,7 kJ/kg pada 39,8°C menjadi sekitar 2.680 kJ/kg pada 68,4°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur regenerasi, semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menghilangkan setiap satuan massa uap air, sehingga efisiensi energi sistem cenderung menurun.

Hasil tersebut sejalan 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.

4.11 Perhitungan *Heat Transfer*

Perhitungan *heat transfer* pada *rotary wheel* dilakukan untuk mengetahui besarnya laju perpindahan panas konveksi yang terjadi selama proses adsorpsi maupun regenerasi. Laju perpindahan panas konveksi dihitung berdasarkan hukum pendinginan Newton, yaitu perkalian antara koefisien perpindahan panas konveksi (h), luas permukaan perpindahan panas (A_v), dan selisih temperatur udara yang masuk dan keluar *rotary wheel*.

a. *Heat transfer adsorpsi rotary wheel*

Laju perpindahan panas konveksi pada proses adsorpsi ($Q_{conv,ads}$) dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{conv,ads} = h_{ads} \times A_v \times (T_{ads\ in} - T_{ads\ out}) \quad (2.53)$$

Untuk mencari h , menggunakan persamaan :

$$h_{ads} = \frac{Nu \times k_{ads}}{Dh_{kanal}} \quad (2.54)$$

Untuk aliran laminar, nilai Nu menggunakan persamaan :

$$Nu = 0,664Re^{0,5}Pr^{0,33} \quad (2.55)$$

Untuk aliran turbulen, nilai Nu menggunakan persamaan :

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,4} \quad (2.56)$$

Untuk mencari nilai reynold, menggunakan persamaan :

$$Re = \frac{\rho_{ads} \times v_{wheel,ads} \times Dh_{kanal}}{\mu_{ads}} \quad (2.57)$$

Untuk mencari v_{wheel} menggunakan persamaan :

$$v_{\text{wheel,ads}} = \frac{\dot{V}_{\text{duct,ads}}}{A_{\text{wheel,ads}}} \quad (2.58)$$

Untuk mencari nilai Pr, menggunakan persamaan :

$$\text{Pr} = \frac{\mu_{\text{ads}} \text{Cp}}{k_{\text{ads}}} \quad (2.59)$$

Untuk mencari k_{ads} , menggunakan thermal conductivity.

Keterangan

$Q_{\text{conv,ads}}$: Laju perpindahan kalor (J/s)

h_{ads} : Koefisien perpindahan kalor konveksi adsorpsi ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)

A_v : Luas perpindahan kalor adsorpsi (m^2)

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

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

Nu : Bilangan nusselt

Re : Bilangan reynold

Pr : Bilangan prandtl

ρ_{ads} : Massa jenis udara adsorpsi (kg/m^3)

$v_{\text{wheel,ads}}$: Kecepatan udara di wheel adsorpsi

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

μ_{ads} : Viskositas udara adsorpsi (Pa s)

k_{ads} : Konduktivitas udara adsorpsi (W/mK)

b. *Heat transfer regenerasi rotary wheel*

Laju perpindahan panas konveksi pada proses regenerasi ($Q_{conv,reg}$) dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{conv,reg} = h_{reg} \times A_v \times (T_{reg\ in} - T_{reg\ out}) \quad (2.60)$$

Untuk mencari h , menggunakan persamaan:

$$h_{reg} = \frac{Nu \times k_{reg}}{Dh_{honeycomb}} \quad (2.61)$$

Untuk aliran laminar, nilai Nu menggunakan persamaan:

$$Nu = 0,664Re^{0,5}Pr^{0,33} \quad (2.62)$$

Untuk aliran turbulen, nilai Nu menggunakan persamaan:

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,4} \quad (2.63)$$

Untuk mencari nilai reynold, menggunakan persamaan:

$$Re = \frac{\rho_{reg} \times v_{wheel,reg} \times Dh_{honeycomb}}{\mu_{reg}} \quad (2.64)$$

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

$$v_{wheel,reg} = \frac{\dot{V}_{duct,reg}}{A_{wheel,reg}} \quad (2.65)$$

Untuk mencari nilai Pr , menggunakan persamaan:

$$Pr = \frac{\mu_{reg} C_p}{k_{reg}} \quad (2.66)$$

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

Keterangan

$Q_{conv,reg}$: Laju perpindahan kalor regenerasi (W)

h_{reg} : Koefisien perpindahan kalor konveksi regenerasi ($W/m^2 K$)

A_v : 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

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)

Hasil perhitungan sisi adsorpsi menggunakan persamaan 2.52 Sampai 2.66

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

Diketahui:

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

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

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

$$T_{in,ads} : 32,98 \text{ }^{\circ}\text{C} = 306,13 \text{ K}$$

$$T_{out,ads} : 35,5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 308,65 \text{ K}$$

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

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

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

Untuk mencari h, menggunakan persamaan :

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

Untuk mencari nilai reynold, kita menggunakan persamaan

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

Untuk mencari v_{wheel} menggunakan persamaan :

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

Untuk mencari k_{ads} , menggunakan 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

T

Gambar 4. 22 Thermal conductivity

$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_{in_{ads}} + T_{out_{ads}}}{2} \\
 &= \left(\frac{32,98 + 35,5}{2} \right) ^\circ\text{C} \\
 &= 34,42 ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

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 kita harus ngeinterpolasi

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

Untuk mencari Pr, menggunakan persamaan:

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

Untuk mencari nilai Re, menggunakan persamaan:

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

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

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

$$= 17,67$$

Untuk mencari h_{ads} , menggunakan persamaan

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

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°C

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

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

Tabel 4.11 Hasil perhitungan *heat transfer* adsorpsi 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} ($\frac{J}{s}$)
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

Hasil perhitungan sisi regenerasi menggunakan persamaan 2.53 Sampai 2.66

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

Diketahui:

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

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

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

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

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

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

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

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

Untuk mencari h, menggunakan persamaan :

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

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 :

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

Untuk mencari k_{reg} , menggunakan 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. 23 Thermal conductivity

$$\begin{aligned}
 T_f &= \frac{T_{in_{reg}} + T_{out_{reg}}}{2} \\
 &= \left(\frac{39,6 + 35,8}{2} \right) ^\circ\text{C} \\
 &= 37,7 ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

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 interpolasi

$$\begin{aligned} k_{\text{reg}} @ 34,42^{\circ}\text{C} &= 0,02662 + \left(\frac{(37,7 - 30)^{\circ}\text{C}}{(40 - 30)^{\circ}\text{C}} \right) \times (0,02735 - 0,02662) \frac{\text{W}}{\text{m K}} \\ &= 0,02718 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \end{aligned}$$

Untuk mencari Pr, menggunakan persamaan :

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

Untuk mencari nilai Re, menggunakan persamaan :

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

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

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= 0,664 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,33} \\ &= 0,664 \times 79,335^{0,5} \times 0,715^{0,33} \\ &= 5,293 \end{aligned}$$

Untuk mencari h_{reg} , menggunakan persamaan :

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

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

Untuk luas perpindahan kalor regenerasi

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

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

$$= 0,863 m^2$$

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

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

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

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

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

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

Tabel 4.12 Hasil perhitungan *heat transfer* regenerasi *rotary wheel*

T set heater (°C)	T in reg (°C)	T out reg (°C)	k ads ($\frac{W}{m \cdot K}$)	Pr	Nu	Re	h ($\frac{W}{m^2 K}$)	Q _{conv,ads} ($\frac{J}{s}$)
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