

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka membahas landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep dasar *desiccant dehumidifier*, prinsip adsorpsi dan regenerasi, faktor-faktor yang memengaruhi kinerja sistem, karakteristik material *desiccant*, serta dasar perancangan *test bed* sebagai acuan dalam penelitian ini.

2.1 Teknologi Pengendalian Kelembapan (*Dehumidifier*)

Pengendalian kelembapan udara merupakan aspek krusial dalam sistem industri modern karena banyak proses produksi memerlukan kondisi udara yang stabil dan terkontrol. Kelembapan udara mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan makhluk hidup serta kondisi material dan mutu produk di dalam ruang tertutup (Kamsah et al., 2016; Pamungkas dan Sasongko, 2023). Untuk itu, industri menerapkan sistem *dehumidifier* yang dirancang beroperasi kontinu dengan kapasitas aliran udara besar dan keandalan tinggi, serta terintegrasi dengan sistem kontrol proses. Pemilihan teknologi *dehumidifier* mempertimbangkan kelembapan target, temperatur operasi, laju aliran udara, dan konsumsi energi, sementara sistem berbasis *desiccant* dilaporkan efektif mengurangi beban laten dan memungkinkan regenerasi pada temperatur relatif rendah dengan memanfaatkan energi dengan tingkat rendah (Jani, 2020). Oleh karena itu, pemahaman karakteristik teknologi *dehumidifier* menjadi dasar penting dalam perancangan dan analisis sistem industri.

2.1.1 Pengertian Dehumidifier

Dehumidifier merupakan perangkat yang berfungsi menurunkan kandungan uap air di udara melalui proses dehumidifikasi untuk mencegah dampak negatif terhadap kesehatan, kualitas produk, dan kondisi material akibat kelembapan yang buruk (Pamungkas dan Sasongko, 2023). Secara umum, bentuk dan konfigurasi peralatan *dehumidifier* industri dapat dilihat pada Gambar 2.1, yang menunjukkan integrasi antara unit pengolahan udara, sistem kontrol, serta komponen penunjang lainnya dalam satu kesatuan sistem. Perbedaan mekanisme ini menyebabkan variasi karakteristik performa dan kebutuhan energi, sehingga pemilihan sistem harus disesuaikan dengan kondisi operasi.



Gambar 2.1 Industrial *dehumidifier*
(Sumber: Kontraktor HVAC Team 2018)

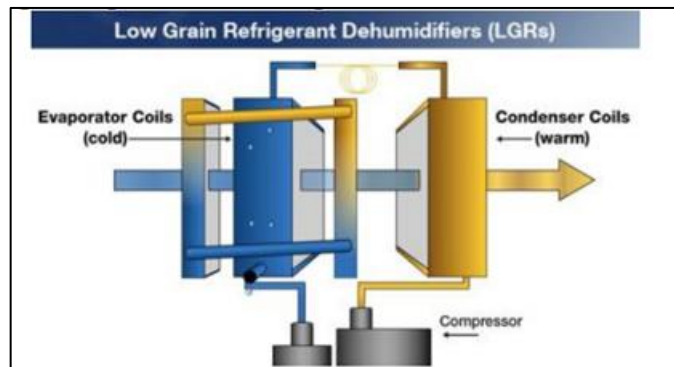
Dalam penerapannya, *industrial dehumidifier* umumnya terintegrasi dengan sistem ventilasi dan pengondisian udara berbasis kontrol otomatis untuk mengatur temperatur, aliran udara, serta proses regenerasi atau pendinginan secara presisi guna mendukung operasi yang efisien dan berkelanjutan.

2.1.2 Jenis - Jenis *Dehumidifier* Skala Industri

Secara umum, *dehumidifier* industri terbagi menjadi 2 jenis utama, yaitu *dehumidifier* refrigerasi dan *dehumidifier desiccant*.

1. *Dehumidifier* Refrigerasi

Dehumidifier refrigerasi merupakan salah satu jenis *dehumidifier* yang paling umum digunakan karena pengoperasiannya relatif sederhana dan efektif untuk berbagai aplikasi, baik domestik maupun komersial. sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2.



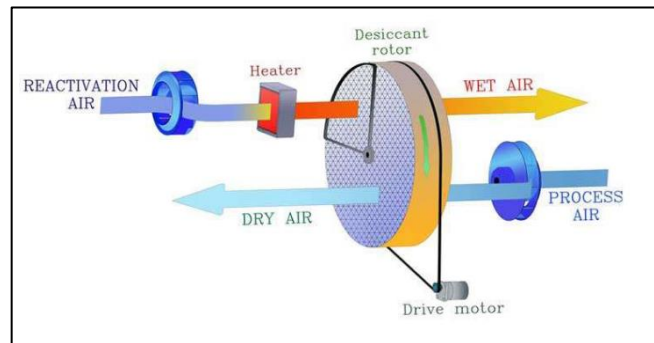
Gambar 2.2 Proses *refrigerant dehumidifier*
(Sumber: Kurniawan, Ruslani dan Anggriawan, 2017)

Jenis ini sangat sesuai digunakan pada lingkungan dengan temperatur udara yang cenderung hangat dengan kadar kelembapan relatif udara yang cukup rendah. (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).



Gambar 2.3 Proses *desiccant dehumidifier*
(Sumber: <https://www.visionaq.com/methods-of-operation/>)

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).

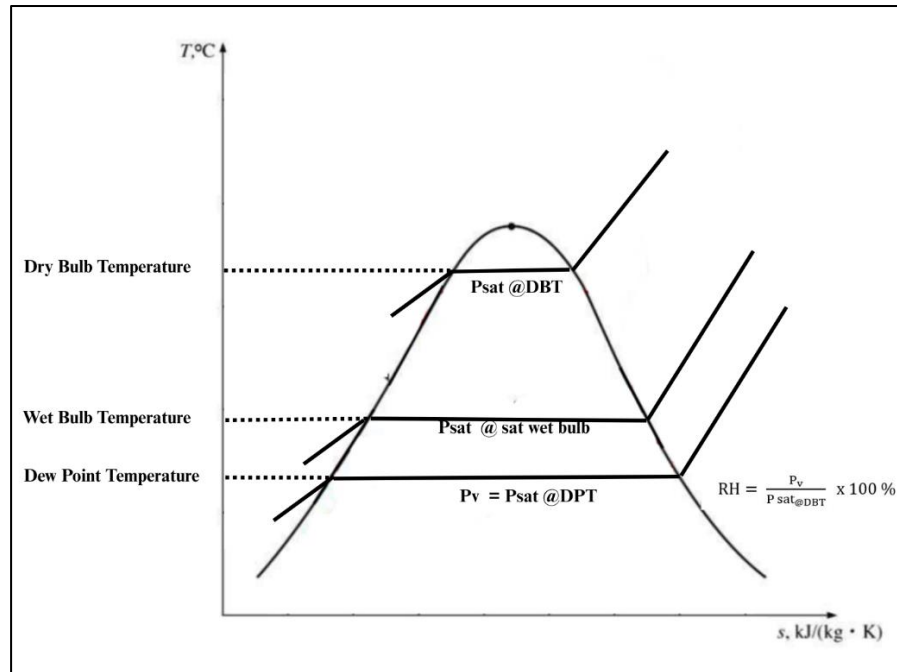
2.2 Test bed Dehumidifier

Test bed dehumidifier digunakan sebagai sarana pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem dehumidifikasi pada berbagai kondisi operasi. Melalui perangkat ini, pengaruh parameter seperti temperatur regenerasi, laju aliran udara, dan karakteristik

material *desiccant* dapat dianalisis secara terkontrol. Pada bagian ini dibahas penelitian terdahulu terkait pengembangan *test bed dehumidifier* serta persamaan yang digunakan untuk menghitung parameter kinerja sistem.

2.2.1 Pengembangan dan Studi Eksperimental *Test bed Dehumidifier*

Berbagai penelitian eksperimental menunjukkan bahwa kinerja sistem *dehumidifier* berbasis *desiccant* dipengaruhi oleh temperatur regenerasi, laju aliran udara adsorpsi dan regenerasi. Dalam proses dehumidifikasi, kelembapan relatif udara menjadi salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kandungan uap air di dalam udara. Kurniawan et al. (2017) menjelaskan bahwa kelembapan relatif atau *relative humidity* (RH) merupakan salah satu sifat termodinamika udara yang menyatakan perbandingan antara tekanan uap aktual terhadap tekanan uap jenuh pada suhu konstan yang hasilnya dinyatakan dalam satuan persen. 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.



Gambar 2.4 Representasi Relative Humidity pada Diagram T–s Udara Lembap

(Sumber : <https://signalwires.com/what-is-a-ts-diagram> n,d.)

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, $P_{\text{sat@DBT}}$ menunjukkan tekanan uap jenuh pada dry bulb temperature atau temperatur udara aktual. Nilai RH diperoleh dari perbandingan antara P_v dan $P_{\text{sat@DBT}}$. Ketika udara dipanaskan dari kondisi DPT menuju DBT, nilai $P_{\text{sat@DBT}}$ meningkat lebih cepat dibandingkan perubahan P_v , sehingga rasio $P_v/P_{\text{sat@DBT}}$ 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. Temperatur regenerasi merupakan parameter penting karena berpengaruh langsung terhadap proses desorpsi uap air dari material. Semakin tinggi temperatur regenerasi, semakin besar energi yang tersedia untuk melepaskan uap air sehingga kapasitas adsorpsi pada siklus berikutnya meningkat, meskipun peningkatan temperatur yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi energi sistem. Beberapa penelitian melaporkan bahwa temperatur regenerasi umumnya berada pada rentang 40–120°C, tergantung pada jenis *desiccant* dan konfigurasi sistem. Yu et al. (2022) menunjukkan bahwa variasi temperatur regenerasi 40–70°C mampu meningkatkan performa sistem dehumidifikasi berbasis polimer secara signifikan.

Kushwaha dan Kumar (2025) serta Yang et al. (2025) menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar dan pengaturan laju aliran udara berpengaruh signifikan terhadap *moisture removal capacity (MRC)* dan efisiensi adsorpsi. Yang et al. (2025) melaporkan bahwa kenaikan temperatur regenerasi hingga sekitar 110°C mampu meningkatkan kapasitas dehumidifikasi ketika dikombinasikan dengan kecepatan putar optimum. Selain itu, studi numerik menunjukkan bahwa kelembapan relatif awal dan kecepatan udara memengaruhi kapasitas adsorpsi aktual dan distribusi temperatur sistem. Saputra et al. (2020) juga membuktikan bahwa pengendalian temperatur regenerasi yang konstan mampu menjaga stabilitas performa sistem saat terjadi fluktuasi beban panas.

Dari aspek material, *silica gel* masih menjadi *desiccant* yang paling banyak digunakan karena kestabilan termal dan karakteristik adsorpsinya pada kondisi udara lembap. Al Obaidi, Peterson, dan Hui (2022) melaporkan bahwa *silica gel* mampu menyerap air sebesar 48,4% pada menit ke-45, yaitu sekitar 0,484 g air per 98,9 g silica gel ($\approx 4,9$ g/kg), sedangkan kapasitas adsorpsi teoritis maksimum dapat mencapai

sekitar 400 g/kg. Perbedaan ini menunjukkan adanya keterbatasan kinetika selama proses adsorpsi. Hasil tersebut sejalan dengan Hraiech et al. (2025), yang menyatakan bahwa peningkatan suhu operasi menurunkan kapasitas adsorpsi silica gel akibat sifat adsorpsi uap air yang eksotermik. Karakteristik ini juga didukung oleh luas permukaan spesifik dan volume pori *silica gel* yang tinggi berdasarkan hasil uji BET (Yeboah dan Darkwa, 2021). Selain itu, Hanif et al. (2023) menunjukkan bahwa meskipun *silica gel* RD memiliki kapasitas kesetimbangan hingga sekitar 0,38 kg/kg pada RH 60% dan suhu 27°C, kapasitas efektifnya tetap dibatasi oleh kinetika, difusi massa, dan efek termal selama proses adsorpsi. Efisiensi dehumidifikasi sebesar 85% menunjukkan bahwa *silica gel* memiliki performa yang sangat baik dalam sistem dehumidifikasi berbasis *solid desiccant*.

Pengembangan material komposit juga menunjukkan peningkatan performa dibandingkan material tunggal. Behede, Chakrabarti, dan Wankhede (2024) melaporkan bahwa komposit *silica gel* CaCl₂ meningkatkan *moisture removal capacity* dan *dehumidification coefficient of performance*. Rambhad et al. (2023) menemukan bahwa kombinasi *silica gel* LiCl molecular sieve 5A menghasilkan laju adsorpsi yang lebih tinggi, sedangkan synthesized metal silicate menunjukkan performa yang lebih baik pada konfigurasi regenerasi resirkulasi (Su et al., 2024). Selain itu, dual desiccant coated heat exchanger mampu meningkatkan dehumidification coefficient of performance hingga 0,41 (Liu et al., 2024), sehingga pemilihan material menjadi faktor strategis dalam perancangan sistem.

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.

Meskipun berbagai penelitian telah mengevaluasi pengaruh parameter operasi dan material secara komprehensif, sebagian besar studi masih mempertahankan desain fisik rotor dalam kondisi tetap sehingga pengaruh desain geometris dan konfigurasi test bed belum dianalisis secara terintegrasi. Hal ini ditegaskan oleh Gorai, Singh, dan Jani (2024), yang menyatakan bahwa pendekatan eksperimental yang menggabungkan desain fisik, parameter operasi, dan analisis konsumsi energi dalam satu sistem uji masih terbatas. Oleh karena itu, pengembangan *test bed dehumidifier* berbasis desiccant yang memungkinkan evaluasi simultan terhadap parameter operasi dan performa energi menjadi penting untuk menghasilkan analisis yang lebih komprehensif dan aplikatif pada kondisi iklim panas dan lembap.

2.2.2 Perhitungan *Sizing*

1. Volume Wheel

Untuk memperoleh volume total desiccant wheel, dilakukan perhitungan terhadap setiap elemen penyusun yang membentuk struktur wheel. Komponen-komponen tersebut terdiri atas ring wheel, hub, dan spoke. Oleh karena itu, volume

tiap komponen dihitung secara individual menggunakan persamaan geometri yang sesuai, kemudian dijumlahkan sehingga diperoleh volume total desiccant wheel. Secara matematis, volume total wheel dapat dinyatakan sebagai berikut.

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

Keterangan :

V_{wheel} : Volume *wheel* (m³)

V_{ring} : Volume *ring* (m³)

V_{hub} : Volume *hub* (m³)

V_{spoke} : Volume *spoke* (m³)

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.

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

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.

$$V_{hub} = \frac{\pi}{4} \times (D_{o_{hub}}^2 - D_{i_{hub}}^2) \times b \quad (2.3)$$

Keterangan :

b : Tebal *wheel* (m)

$D_{o_{hub}}$: Diameter luar *hub* (m)

$D_{i_{hub}}$: 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)

2. **Massa *dessicant***

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*) ($\frac{kg}{m^3}$)

3. 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:

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

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

A_{ads} : Luas permukaan *ducting* sisi adsorpsi (m²)

4. 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. Nilai laju aliran massa udara adsorpsi ini digunakan sebagai analisis perpindahan massa.

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

Keterangan:

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

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

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

5. 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 (m³/s)

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

A_{reg} : Luas permukaan *ducting* sisi regenerasi (m²)

6. Laju Aliran Massa Regenerasi

Laju aliran massa udara regenerasi ($\dot{m}_{reg}$) 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.

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

Keterangan:

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

$\dot{V}_{\text{reg}}$: Debit pada sisi regenerasi (m³/s)

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

7. Daya Motor Listrik untuk *Desiccant Wheel*

Daya motor yang 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)

a. Torsi

Untuk memperoleh nilai daya *wheel*, terlebih dahulu perlu ditentukan nilai torsi yang bekerja pada *wheel*. 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 (kg m²)

α : percepatan sudut (rad/s²)

b. Momen Inersia

Nilai momen inersia *wheel* dihitung dengan pendekatan silinder berongga karena bentuk *desiccant wheel* menyerupai cakram berongga. Menurut OpenStax (n.d.), momen inersia *wheel* dinyatakan sebagai berikut.

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

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

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

Keterangan :

I_{total} : Momen inersia total (kg m²)

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

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

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

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

Ro_{ring} : jari – jari luar *ring* (m)

Ri_{ring} : 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)

8. 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.

$$W_{\text{blow}_{\text{ads}}} = \dot{V}_{\text{ads}} \times \frac{\Delta P_{\text{ads}}}{\epsilon_{\text{ads}}} \quad (2.18)$$

Keterangan :

$W_{\text{blow}_{\text{ads}}}$: Daya *blower* adsorpsi (W)

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

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

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

a. Total pressure drop adsorpsi

Total pressure drop tersebut merupakan akumulasi dari penurunan tekanan pada ducting dan desiccant wheel.

$$\Delta P_{\text{ads}} = P_{\text{a duct}_{\text{ads}}} + P_{\text{a wheel}_{\text{ads}}} \quad (2.19)$$

Keterangan :

$P_{\text{a duct}_{\text{ads}}}$: *Pressure drop ducting* adsorpsi (Pa)

$P_{\text{a wheel}_{\text{ads}}}$: *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.

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan :

f	: Faktor gesekan
ρ_{ads}	: Massa jenis udara adsorpsi(kg/m ³)
v_{ads}	: Kecepatan udara adsorpsi (m/s)
b	: Tebal <i>desiccant wheel</i> (m)
Dh_{ads}	: Diameter hidrolis saluran adsorpsi (m)
K_o	: Koefisien kehilangan tekanan lokal
Re	: Bilangan Reynolds
μ_{ads}	: Viskositas dinamis udara adsorpsi (Pa·s)
A_{ads}	: Luas penampang aliran adsorpsi (m ²)
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)

9. 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.

$$9W_{blow_{reg}} = \dot{V}_{reg} \times \frac{\Delta Pa_{reg}}{\epsilon_{reg}} \quad (2.28)$$

Keterangan :

$W_{\text{blow}_{reg}}$: 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 (%)

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. Menurut Engineering ToolBox (n.d), pressure drop karena *ducting* dihitung sebagai berikut.

$$Pa_{duct_{reg}} = Friction\ Loss_{reg} \times L_{reg} \quad (2.30)$$

Keterangan :

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

L : Panjang *ducting* (m)

c. ***Pressure drop wheel***

Penurunan tekanan pada *wheel* regenerasi 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 regenerasi (kg/m³)

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

b : Tebal desiccant wheel (m)

Dh_{reg} : Diameter hidrolis saluran regenerasi (m)

Ko : Koefisien kehilangan tekanan lokal

Re : Bilangan Reynolds

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

a : Lebar ducting regenerasi (m)

- b : Tinggi ducting regenerasi (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.

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

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

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

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

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

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

Keterangan :

- f : Faktor gesekan
- L_{heater} : Panjang saluran *heater* (m)
- ρ_{reg} : Massa jenis udara (kg/m³)

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

Dh_{reg} : Diameter hidrolis saluran (m)

k : Koefisien kehilangan tekanan lokal

N : Jumlah tube *heater*

10. Diameter *Sprocket*

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

a. Diameter *sprocket input*

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

Keterangan :

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

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

p : *Pitch timing belt* (mm)

b. Diameter *sprocket 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 *sprocket* penggerak dan *sprocket* yang digerakkan pada sistem transmisi *desiccant wheel*. Menurut Tsubaki (n.d.), panjang *timing belt* dapat dihitung berdasarkan jarak antar poros dan diameter kedua *sprocket*.

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

Keterangan:

L : Panjang *timing belt* (mm)

C : Jarak antara pusat *sprocket input* dan *output* (mm)

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

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

2.2.3 Perhitungan Parameter

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.

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

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

2. ***Moisture Removal Capacity (MRC)***

Moisture Removal Capacity (MRC) 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).

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

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

3. ***Moisture Removal Regenerate (MRR)***

Menurut Mehare, et al (2025), *Moisture Removal Regeneration* (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 Removal Regeneration* ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)

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

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

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

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.

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

Keterangan:

ε_{deh} : Efektivitas dehumidifikasi (%)

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

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

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.

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

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 (DCOP)*

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

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

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 ($\frac{KJ}{kg^{\circ}C}$)

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)

2.2.4 Perpindahan panas (*heat transfer*)

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.

a. *Heat Transfer Konveksi Adsorpsi di Rotary Wheel*

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

Untuk mencari h , menggunakan rumus:

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

Untuk aliran laminar, nilai Nu menggunakan rumus:

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

Untuk aliran turbulen, nilai Nu menggunakan rumus:

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

Untuk mencari nilai reynold, menggunakan rumus:

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

Untuk mencari v_{wheel} menggunakan rumus:

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

Untuk mencari nilai Pr, menggunakan rumus:

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

Untuk mencari k_{ads} , menggunakan tabel 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 hidrolis honeycomb (m)

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

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

b. Heat Transfer Konveksi Regenerasi di Rotary Wheel

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

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:

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

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

Keterangan

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

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

A_v : Luas perpindahan kalor regenerasi (m^2)

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

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

Nu : Bilangan nusselt

Re : Bilangan reynold

Pr : Bilangan prandtl

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

$Dh_{\text{honeycomb}}$: 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*

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

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 (J/s)

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)

L : Ketebalan *Wheel*

d. *Heat Transfer Konduksi pada sisi Regenerasi*

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

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 (J/s)

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

A : Luas perpindahan kalor regenerasi (m²)

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

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

L : Ketebalan *Wheel*

2.3 Material *Desiccant*

Material *desiccant* merupakan bahan utama yang digunakan dalam sistem *dehumidifier* untuk menyerap uap air dari udara sehingga kelembapan udara dapat diturunkan. *Silica gel* biru merupakan material *desiccant* adsorben padat berbasis silikon dioksida amorf (SiO_2) yang banyak digunakan pada sistem dehumidifikasi karena memiliki struktur pori dan luas permukaan spesifik yang tinggi, yaitu sekitar 400–800 m^2/g (Hraiech, 2025). sehingga menyediakan banyak situs aktif untuk mengikat molekul air. Situs aktif adalah bagian pada permukaan adsorben yang berperan sebagai lokasi terjadinya adsorpsi.

Selama proses adsorpsi berlangsung, pelepasan panas akan terjadi karena adsorpsi merupakan proses eksotermis dengan panas adsorpsi sekitar 40–42 kJ/mol (Hraiech, 2025). Oleh karena itu, temperatur silica gel umumnya meningkat selama proses dehumidifikasi. Ketika seluruh situs adsorpsi telah terisi, kemampuan silica gel untuk mengadsorpsi uap air akan menurun (jenuh). Untuk mengembalikan kapasitas adsorpsinya, silica gel harus diregenerasi dengan mengalirkan udara panas sehingga molekul air terlepas dari permukaan material.

Salah satu keunggulan utama material ini adalah kemampuannya untuk diregenerasi pada suhu relatif rendah, yaitu sekitar 50–120 °C (Rambhad et al., 2023). Selain memiliki stabilitas kimia yang baik, tidak beracun, dan tahan terhadap kelembapan tinggi, *silica gel* biru juga dapat digunakan sebagai *desiccant* tunggal maupun sebagai material dasar dalam komposit *desiccant*.

Berdasarkan karakteristik adsorpsi yang baik, kemampuan regenerasi pada temperatur rendah, kestabilan material, serta kemudahan identifikasi tingkat kejenuhan melalui perubahan warna biru menjadi merah muda, *silica gel* biru dipilih sebagai material *desiccant* pada penelitian rancang bangun *test bed dehumidifier* ini. Adapun spesifikasi dari *silica gel* biru dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi material desiccant silica gel biru

Nama produk	: <i>Silica gel</i> biru
Bentuk	: <i>Beads</i> (butiran bulat)
Diameter	: 2.0 - 4.0 mm
pH	: 4 – 8
Kekuatan spesifik	: >3000 Ω .cm
Kapasitas penyerapan kelembapan	: 20% RH: >8% : 50% RH: >20% : 90% RH: >30%

(Sumber: Douyee, n.d)