

Prediksi Kondisi Udara Keluar Pada *Rotary Desiccant Dehumidifier*

M. Idrus Alhamid, Awaludin Martin, Nasruddin, dan Bambang Suryawan

Laboratorium Teknik Pendingin dan Tata Udara, Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Indonesia

e-mail: mamak@eng.ui.ac.id

Abstrak

Metode untuk menghitung efektifitas rotary desiccant dehumidifier yang tersedia selama ini selalu membutuhkan data-data kondisi udara masuk dan keluar serta udara regenerasi, sehingga sangat sulit untuk dilakukan proses perhitungan untuk memperkirakan kondisi keluar proses dehumidifikasi. Tulisan ini bertujuan memperkirakan atau memprediksi temperatur dan rasio kelembaban udara keluar pada proses dehumidifikasi berdasarkan pada hasil perhitungan efektifitas secara teoritis, dimana data kondisi udara masuk yang digunakan diambil dari data hasil eksperimen yang dilakukan oleh Seibu Giken Co., Ltd. dengan variasi kecepatan aliran udara $v = 2, 3, \text{ dan } 4 \text{ m/s}$. Prediksi temperatur udara keluar pada kecepatan, $v = 2, 3, \text{ dan } 4 \text{ m/s}$ berturut-turut berkisar pada $69.62 - 69.64^\circ\text{C}$, $68.9 - 68.95^\circ\text{C}$, dan $67.92 - 68.01^\circ\text{C}$ sementara pada hasil eksperimennya $66 - 70^\circ\text{C}$, $62 - 64.5^\circ\text{C}$, dan $61 - 63.5^\circ\text{C}$. Pada prediksi rasio kelembaban udara keluar pada kecepatan aliran $v = 2, 3, 4 \text{ m/s}$ berturut-turut dan $0.68 - 3.97 \text{ gr air/kg udara}$, $0.88 - 4.37 \text{ gr air/kg udara}$, $1.14 - 4.91 \text{ gr air/kg udara}$, sementara pada hasil eksperimennya $3 - 14.3 \text{ gr air/kg udara}$, $4 - 15.6 \text{ gr air/kg udara}$, dan $5 - 17 \text{ gr air/kg udara}$. Efektifitas hasil perhitungan teoritis berkisar antara $93.3 - 98.2 \%$. Prediksi temperatur udara keluar dehumidifier memiliki perbedaan yang kecil dengan temperatur hasil eksperimen, bahkan dalam grafik tren garisnya hampir berhimpit dan pada rasio kelembaban udara keluar juga memiliki tren garis yang sama dengan rasio kelembaban udara keluar hasil eksperimen, dengan demikian metode perhitungan ini dapat digunakan untuk memprediksi temperatur dan rasio kelembaban udara keluar proses dehumidifikasi pada rotary desiccant dehumidifier.

Kata kunci: Temperatur, Rasio Kelembaban, Efektifitas

1. Pendahuluan

Sistem pengkondisian udara dewasa ini merupakan sebuah sistem yang sangat dibutuhkan tidak saja oleh manusia tetapi juga oleh dunia industri. Manusia memerlukan sistem pengkondisian udara untuk mendapatkan kenyamanan dan kebersihan udara sehingga udara dapat diatur dan disesuaikan oleh manusia sesuai dengan kebutuhannya. Dalam dunia industri sistem pengkondisian udara juga menjadi prioritas utama, hal ini perlu dilakukan untuk menjamin kualitas hasil produk dunia industri tersebut seperti pabrik obat, percetakan, pabrik perangkat lunak dan lain-lain.

Untuk membuat kondisi udara sesuai dengan yang dibutuhkan maka dapat dilakukan beberapa proses pengkondisian udara, seperti mendinginkan, memanaskan, meningkatkan kelembaban (humidifikasi) dan menurunkan kelembaban (dehumidifikasi) udara atau gabungannya (Suryawan, Bambang dan M. Idrus Alhamid, 2005)

Salah satu proses pengkondisian udara yang sangat dibutuhkan dalam dunia industri adalah proses penurunan kelembaban udara atau proses dehumidifikasi. Proses ini dibutuhkan untuk memfasilitasi proses produksi, pengendalian kelembaban udara pada gudang-gudang penyimpanan, pengontrolan kondensasi dan korosi, menghindari berkembangnya jamur dan bakteri dan untuk aplikasi lainnya (Suryawan, Bambang dan M. Idrus Alhamid, 2005).

Dehumidifier adalah sebuah sistem pengkondisian udara yang berfungsi untuk menurunkan dan mempertahankan kondisi udara pada tingkat kelembaban relatif yang rendah. Dehumidifikasi dengan menggunakan *desiccant* adalah dengan mengalirkan udara lembab melewati suatu bahan penyerap, sehingga kandungan air yang terdapat pada udara tersebut akan tinggal di bahan penyerap sedangkan udara yang relatif telah kering akan melewati media penyerap tersebut (Suryawan, Bambang dan M. Idrus

Alhamid, 2005 dan Martin, Awaludin dkk, 2000). Salah satu alat yang digunakan pada proses dehumidifikasi yang menggunakan *desiccant* adalah *rotary desiccant dehumidifier*.

Unjuk kerja dari *rotary desiccant dehumidifier* dapat diwakili oleh besarnya nilai efektifitas. Para peneliti telah mendefinisikan tiga jenis efektifitas yaitu, efektifitas enthalpy yang merupakan kombinasi efektifitas perpindahan kalor dan massa, efektifitas *moisture* atau efektifitas perpindahan massa dan efektifitas temperatur atau efektifitas perpindahan kalor (Liu, X.H., dkk, 2006).

Namun permasalahan yang terjadi selama ini adalah untuk mendapatkan nilai efektifitas tersebut dibutuhkan data-data kondisi masuk dan keluar serta data regenerasi, sehingga dengan demikian akan sulit untuk memperkirakan kondisi keluar proses dehumidifikasi.

Tulisan ini bertujuan memperkirakan atau memprediksi temperatur dan rasio kelembaban udara keluar pada proses dehumidifikasi berdasarkan pada hasil perhitungan efektifitas secara teoritis, dimana data kondisi udara masuk yang digunakan diambil dari data hasil eksperimen yang dilakukan oleh Seibu Giken Co., Ltd. Nilai temperatur dan rasio kelembaban udara keluar yang diperoleh dari hasil perhitungan secara teoritis kemudian dibandingkan dengan data hasil eksperimen yang dilakukan oleh Seibu Giken Co., Ltd.

Efektifitas Rotary Desiccant Dehumidifier

Dehumidifier didefinisikan sebagai kemampuan *dehumidifier* untuk mengurangi jumlah uap air di udara selama proses pengeringan (Suryawan, Bambang dan M. Idrus Alhamid, 2005). Efektifitas *dehumidifier* dapat dinyatakan dengan efektifitas enthalpy yang merupakan kombinasi efektifitas perpindahan kalor dan massa, efektifitas *moisture* atau efektifitas perpindahan massa dan efektifitas temperatur atau efektifitas perpindahan kalor (Liu, X.H., dkk, 2006).

$$\epsilon_h = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_e} \quad (1)$$

$$\epsilon_m = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w_e} \quad (2)$$

Disamping efektifitas unjuk kerja *dehumidifier* dapat juga dengan menggunakan Number Thermal Unit (NTU) (Slayzak, S.J., and J.P. Ryan, 2000).

$$NTU = \frac{h_d A}{m c_p} \quad (3)$$

dan
$$\frac{1}{NTU_{tot}} = \frac{1}{NTU_{cold}} + \frac{C^*}{NTU_{hot}} \quad (4)$$

Dimana
$$C^* = \frac{(m c_p)_{min}}{(m c_p)_{max}} \quad (5)$$

Sehingga didapat efektifitas alat penukar kalor:

$$\epsilon_{ef} = \frac{NTU_{tot}}{NTU_{tot} + 1} \quad (6)$$

Efektifitas *dehumidifier* disamping merupakan fungsi dari sifat-sifat termodinamika fluidanya juga merupakan fungsi dari matriks nya, menurut Kays. W.M., dan A.L. London, 1984 efektifitas *dehumidifier* adalah:

$$\epsilon = \epsilon_{ef} \left[1 - \frac{1}{9(C_r)^{1,93}} \right] \quad (7)$$

Dimana; $C_r = (M.c_p \cdot \phi)_{matriks} / (m.c_p)_{min}$

Dengan telah diketahuinya nilai efektifitas, maka dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) dapat diprediksi besarnya nilai enthalpi dan rasio kelembaban udara keluar. Sedangkan untuk memprediksi temperatur udara keluar dapat digunakan persamaan (Slayzak, S.J., and J.P. Ryan, 2000):

$$\varepsilon = \frac{\left(\dot{m} \cdot c_p \right)_p}{\left(\dot{m} \cdot c_p \right)_{\min}} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_{reg,in} - T_1} \quad (8)$$

Koefisien Perpindahan Massa Menyeluruh

Koefisien Perpindahan Massa menyeluruh dianalogikan seperti koefisien perpindahan panas (Kays. W.M. and A.L. London, 1984), jika:

$$h = f(\text{Re}, \text{Pr}), \text{ maka}$$

$$h_d = f(\text{Re}, \text{Sc})$$

Dengan:

$$\text{Re} = \frac{4 \text{ rh } G}{\mu} \quad (9)$$

$$\text{Sc} = \mu_a / (D_{w-a} \cdot \rho_a) \quad (10)$$

Dimana:

$$G = \frac{\dot{m}}{p A_{fr,Pr}} \quad \dot{m} = \dot{m}_m \frac{P}{Ra T_R (1 + 1,6078W)}$$

$$D_{w-a} = \text{koef. difusi air ke udara} \\ = (0.926/P) \times (T^{2.5}/(T+245))$$

Untuk difusi yang terjadi dalam ruangan-ruangan dimana zat cair membasahi permukaan dan udara mengalir melalui ruangan tersebut maka koefisien perpindahan massa merupakan fungsi dari angka Sherwood (Alhamid, M. Idrus, 1990).

$$\text{Sh} = h_d \cdot r_h / D_{w-LiCl} \cdot \rho_w \quad (11)$$

Dimana:

$$\text{Sh} = 0.8632 + 2.2941 \cdot \text{Gz}$$

$$\text{Gz} = \text{Re} \cdot \text{Sc} \cdot r_h / L$$

$$D_{w-LiCl} = \text{Koef. Difusi air ke LiCl}$$

$$= D_{25} \times T / 334 \cdot \mu_w$$

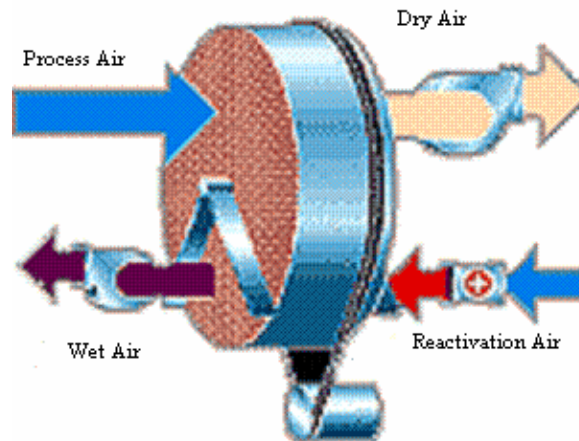
$$D_{25} = 1.37 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}, \text{ pada temp. } 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. Metode Penelitian

Rotary Desiccant Dehumidifier (Gambar 1) yang digunakan adalah *Rotary Desiccant Dehumidifier* yang dikeluarkan oleh Seibu Giken Co., Ltd. Dehumidifier tersebut terdiri dari roda desikan sebagai tempat untuk meletakkan LiCl, pemanas yang berfungsi untuk memanaskan udara yang berasal dari lingkungan untuk meregenerasi LiCl yang sudah jenuh, ruang distribusi yang dipergunakan untuk mendistribusikan aliran yang melalui roda desikan berdasarkan tujuan masing-masing, kipas, saringan dan kontrol panel.

Dengan data-data sebagai berikut :

Massa matriks	: 17 kg
Diameter Φ	: 320 mm
tebal L	: 200 dan 400 mm
Porositas	: 0.733
Radius hidraulik rh	: 0.000448 m

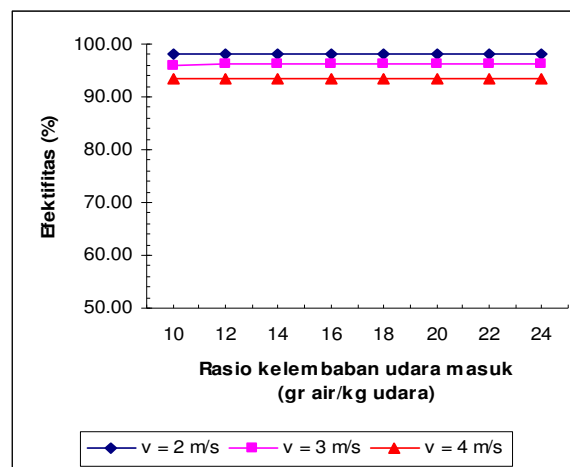


Gambar 1. Skema *Rotary Desiccant Dehumidifier*

Dengan data fisik yang tersedia dan data kondisi udara masuk yang diperoleh dari hasil eksperimen seibu Giken Co., Ltd., maka langkah selanjutnya adalah memprediksi temperatur dan rasio kelembaban udara keluar proses dehumidifikasi dengan terlebih dahulu menghitung efektifitas dehumidifier secara teoritis. Nilai temperatur dan rasio kelembaban udara keluar proses yang diperoleh dari hasil prediksi selanjutnya dibandingkan dengan hasil eksperimen seibu Giken Co., Ltd.

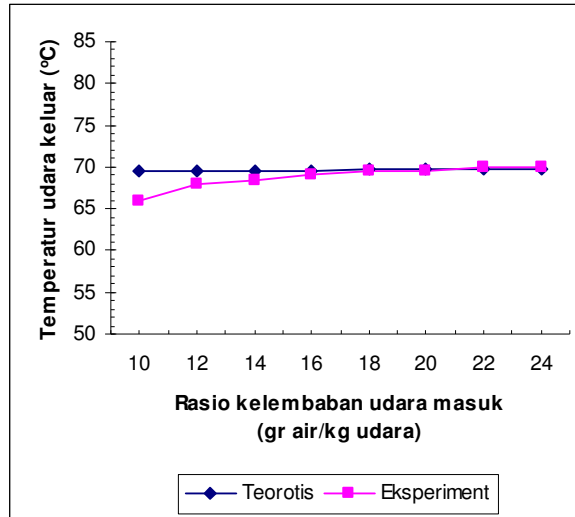
Analisis Data

Gambar 2 menggambarkan perbandingan efektifitas pada kecepatan aliran udara yang berbeda. Semakin lambat aliran udara yang melewati dehumidifier maka efektifitas dehumidifier tersebut juga akan semakin meningkat, dan pada kecepatan aliran udara yang sama dengan rasio kelembaban yang semakin besar juga akan meningkatkan efektifitas dehumidifier.

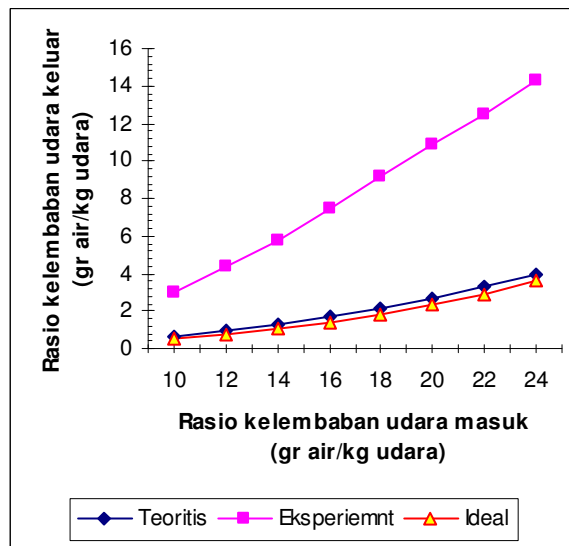


Gambar 2. Grafik Hubungan antara Efektifitas dan Rasio Kelembaban udara masuk proses pada variasi kecepatan aliran udara masuk $V = 2, 3, 4$ m/s

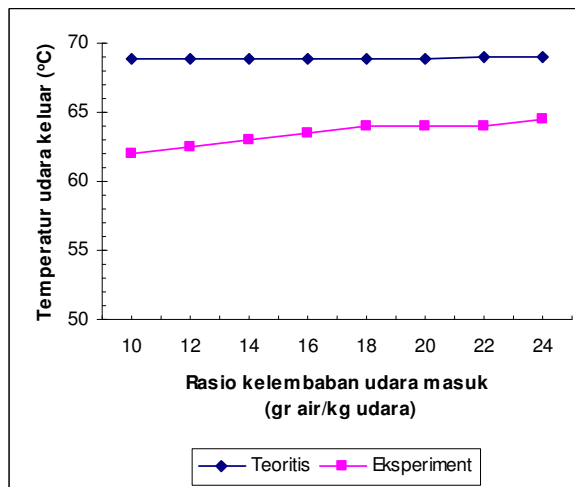
Pada gambar 3, 5, dan 7 memperlihatkan hubungan antara rasio kelembaban udara masuk proses dengan temperatur udara keluar proses antara hasil eksperimen dan perhitungan teoritis. Secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar rasio kelembaban udara masuk proses maka temperatur keluar udara juga semakin besar. Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa temperatur udara keluar proses antara hasil eksperimen dan hasil perhitungan tidak terlalu jauh berbeda bahkan hampir berhimpit.



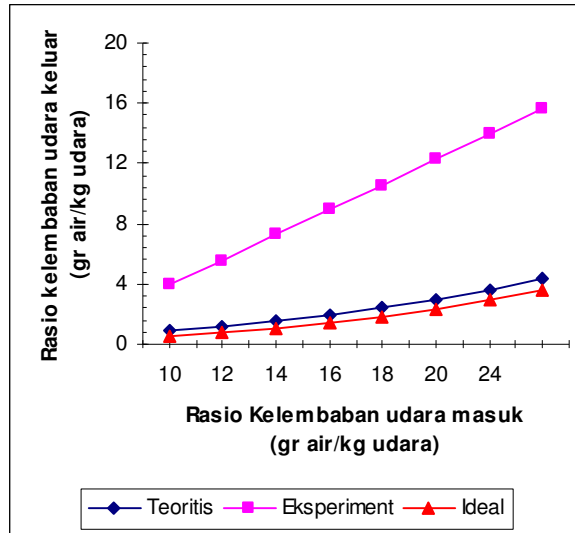
Gambar 3. Grafik Hubungan antara Rasio Kelembaban udara masuk dan temperatur udara keluar pada $v = 2$ m/s



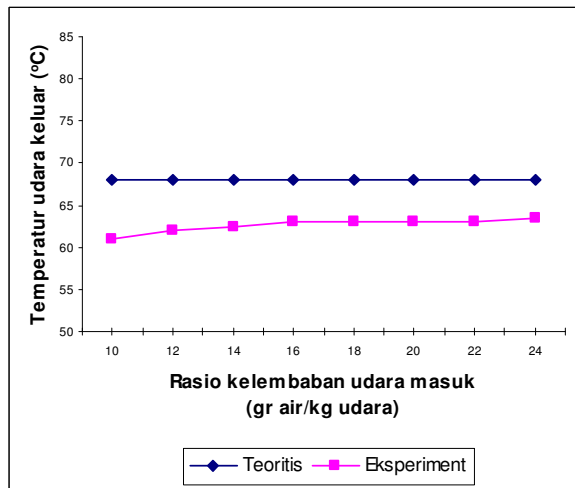
Gambar 4. Grafik Hubungan antara Rasio Kelembaban udara masuk dan Rasio Kelembaban udara keluar pada $v = 2$ m/s



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Rasio Kelembaban udara masuk dan temperatur udara keluar pada $v = 3$ m/s



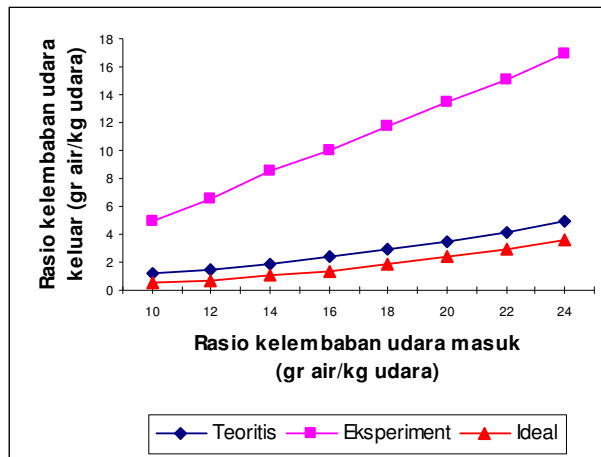
Gambar 6. Grafik Hubungan antara Rasio Kelembaban udara masuk dan Rasio Kelembaban udara keluar pada $v = 3 \text{ m/s}$



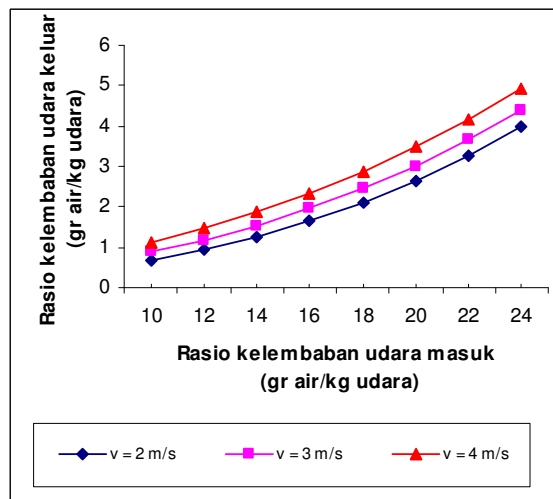
Gambar 7. Grafik Hubungan antara Rasio Kelembaban udara masuk dan temperatur udara keluar pada $v = 4 \text{ m/s}$

Gambar 4, 6, dan 8 memperlihatkan hubungan antara rasio kelembaban udara masuk proses dengan rasio kelembaban udara keluar proses antara hasil eksperimen dan perhitungan teoritis dan pada kondisi ideal, dimana kondisi ideal rasio kelembaban udara adalah kemungkinan nilai rasio kelembaban minimum pada udara keluar proses. Pada diagram psychrometri nilai tersebut dapat diperoleh pada proses garis enthalpi tetap atau konstan.

Secara umum terlihat bahwa semakin besar rasio kelembaban udara masuk, maka rasio kelembaban udara keluar juga semakin besar. Pada gambar 9 terlihat semakin kecil kecepatan aliran udara masuk, maka rasio kelembaban udara keluarnya juga semakin kecil dengan demikian kecepatan aliran udara yang besar akan menyebabkan terangkutnya kembali moisture yang dikandung udara tersebut keluar dari desikan.



Gambar 8. Grafik Hubungan antara Rasio Kelembaban udara masuk dan Rasio Kelembaban udara keluar pada $v = 4 \text{ m/s}$



Gambar 9. Grafik hubungan antara rasio kelembaban udara masuk dan keluar pada kecepatan aliran udara masuk $v = 2, 3, 4 \text{ m/s}$

3. Kesimpulan

Dari uraian diatas didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prediksi temperatur udara keluar pada kecepatan, $v = 2, 3,$ dan 4 m/s berturut-turut berkisar pada $69.62 - 69.64^\circ\text{C}$, $68.9 - 68.95^\circ\text{C}$, dan $67.92 - 68.01^\circ\text{C}$ sementara pada hasil eksperimennya $66 - 70^\circ\text{C}$, $62 - 64.5^\circ\text{C}$, dan $61 - 63.5^\circ\text{C}$.
2. Pada prediksi rasio kelembaban udara keluar pada kecepatan aliran $v = 2, 3,$ dan 4 m/s berturut-turut berkisar pada $0.68 - 3.97 \text{ gr air/kg udara}$, $0.88 - 4.37 \text{ gr air/kg udara}$, $1.14 - 4.91 \text{ gr air/kg udara}$, sementara pada hasil eksperimennya $3 - 14.3 \text{ gr air/kg udara}$, $4 - 15.6 \text{ gr air/kg udara}$, dan $5 - 17 \text{ gr air/kg udara}$.
3. Efektifitas hasil perhitungan teoritis berkisar antara $93.3 - 98.2 \%$.
4. Besarnya temperatur udara keluar proses antara hasil eksperimen dengan hasil prediksi secara teoritis pada gambar garisnya hampir berhimpit, dan pada rasio kelembaban udara keluar proses tren garisnya sama sehingga dengan demikian metode perhitungan yang digunakan pada tulisan ini dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi udara keluar proses pada dehumidifier khususnya untuk temperatur dan rasio kelembaban.
5. Efektifitas rotary desiccant dehumidifier disamping ditentukan oleh karakteristik matriksnya (seperti: Luas permukaan, porositas, massa matriks dll) juga ditentukan oleh temperatur udara regenerasi dan kecepatan putaran roda desikan.

6. Efektifitas rotary desiccant dehumidifier juga terpengaruh oleh besarnya rasio kelembaban udara masuk proses. Semakin besar rasio kelembaban udara masuk proses, maka nilai efektifitasnya juga semakin besar.

Daftar Symbol

A	: Surface area, m^2
$A_{fr,pr}$: Frontal area process, m^2
c_p	: Kalor spesifik, kJ/kg.K
G	: Laju aliran massa per satuan luas, $kg/s.m^2$
h_d	: Koef. perpindahan massa, $kg/m^2.s$
m	: Laju aliran massa, kg/s
m_m	: Laju aliran, $m^3/hour$
M	: Massa matriks, kg
P	: Tekanan total, 101,325 kPa
p	: Porosity
R	: Konstanta gas untuk udara kering, 287,055 j/kg.K
Re	: Angka Reynolds
rh	: Radius hydraulic, m
Sc	: Angka Schmidt
T	: Temperatur, K
W	: Rasio kelembaban kg_{air}/ kg_{udara}
ϕ	: Putaran matriks, rph
ρ_w	: Densitas air, kg/m^3
ρ_a	: Densitas udara, kg/m^3
μ_a	: Viskositas udara, Pa.s

Daftar Pustaka

1. Alhamid, M. Idrus, 1990, *Packed Bed and Rotary Desiccant Dehumidifier in Air Conditioning System*, Katholieke Universiteit Leuven, Haverlee
2. Liu, X.H., K.Y. Qu, Y. Jiang, 2006, *Empirical Correlations to Predict The Performance of The Dehumidifier Using Liquid Desiccant in Heat and Mass Transfer*, Renewable Energy, 31 (2006) 1627-1639
3. Martin, Awaludin, M. Idrus Alhamid, Bambang Suryawan, 2000, *Formula Sederhana untuk Menghitung Efektifitas Rotary Desiccant Dehumidifier*, Prosiding Seminar Quality in Research (QIR), FT-UI, Depok
4. Kays, W.M., and A.L. London, 1984, *Compact Heat Exchangers*, McGraw-Hill Book Company, New York.
5. Seibu Giken Co., Ltd., New-SSCR Performance Curve, Sheet No. s2001, s2002, s2003
6. Slayzak, S.J., and J.P. Ryan, 2000, *Desiccant dehumidification Wheel Test Guide*, National Renewable energy Laboratory, Colorado
7. Suryawan, Bambang, M. Idrus Alhamid, 2005, *Analisa Effectiveness pada rotary desiccant dehumidifier*, Prosiding SNTTM IV, Universitas Udayana, Denpasar.