

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

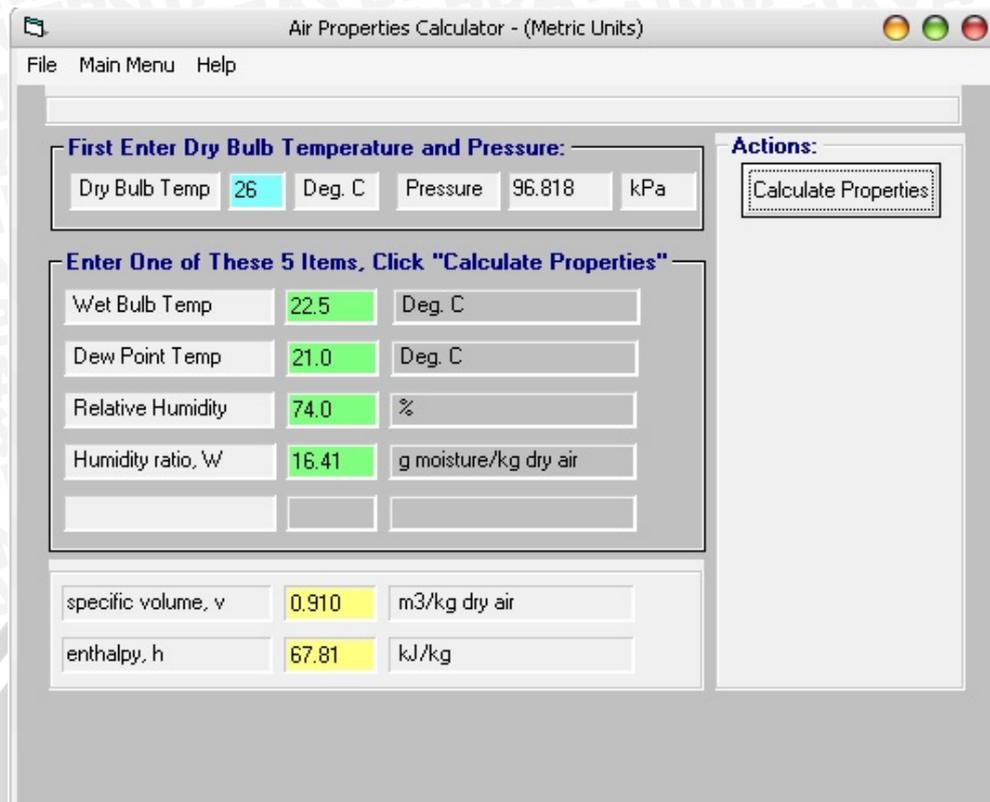
4.1 Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan pengujian maka akan didapatkan data untuk setiap variasi debit *desiccant* yang keluar melalui *nozzle* pada *dehumidifier tower*. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Temperatur *desiccant* masuk (T_{di}).
- Temperatur *desiccant* keluar (T_{do}).
- Temperatur udara masuk (T_{ui}).
- Temperatur udara keluar (T_{uo}).
- Kelembaban relatif udara masuk (Φ_{ui}).
- Kelembaban relatif udara keluar (Φ_{uo}).

Untuk setiap perlakuan, debit *desiccant* dijaga konstan dengan cara mengatur bukaan katup *bypass* dan ini diindikasikan dengan beda tekanan yang terjadi pada *orifice* yang dipasangkan pada instalasi *liquid desiccant dehumidification system*. Sedangkan debit udara juga dijaga konstan dengan mengatur voltase yang digunakan oleh *fan*. Pengambilan data dilakukan pada saat kondisi masuk sama untuk tiap variasi. Dalam hal ini nilai T_{di} , T_{ui} , dan Φ_{ui} berada pada kisaran yang sama yaitu $\Phi_{ui} \approx 74,9\%$; $T_{ui} \approx 26,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{di} \approx 26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

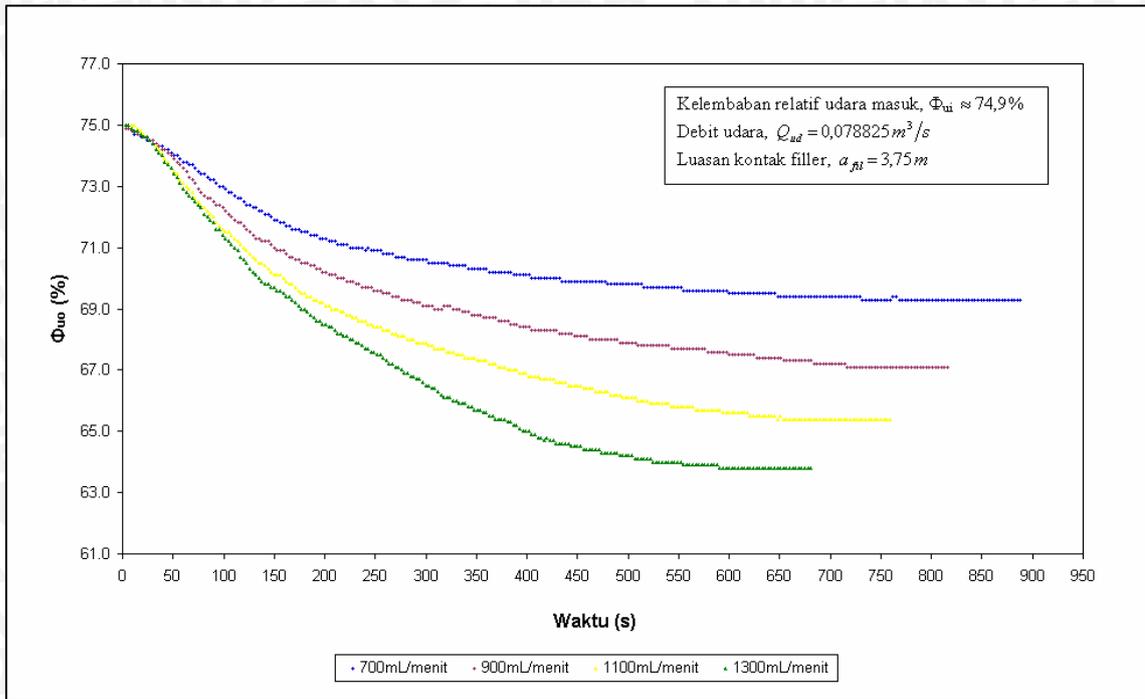
Berdasarkan data yang telah diperoleh, maka dapat dicari rasio kelembaban udara keluar (ω_{uo}). Nilai rasio kelembaban udara ini dicari berdasarkan hubungan psikometrik, dimana digunakan dua properties udara yang lain, yaitu kelembaban relatif udara (Φ_{uo}) dan temperatur udara (T_{uo}). Karena data yang didapatkan relatif banyak, maka untuk efisiensi dalam perhitungan digunakan suatu *software* yaitu EZAir Properties yang diintegrasikan dengan Microsoft Office Excel 2003 sehingga proses perhitungan data dapat lebih efisien dan akurat. Tampilan dari *software* EZAir Properties ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut:

Gambar 4.1 Tampilan *software* EZAir Properties

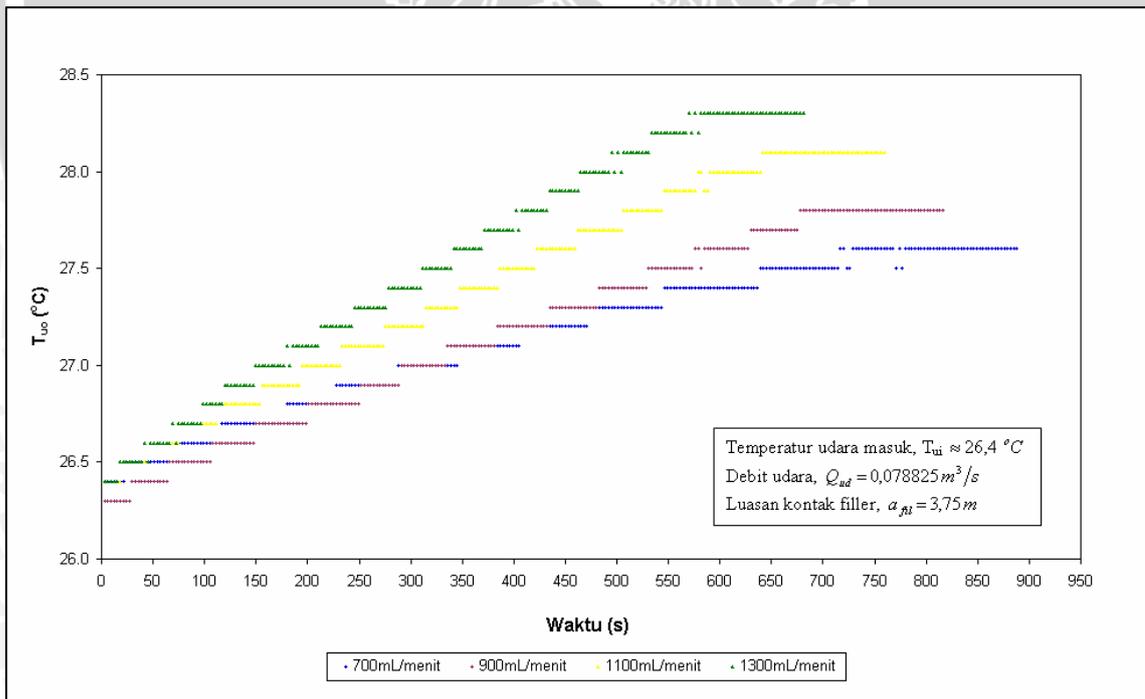
4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Debit *Desiccant* terhadap Transfer Massa pada *Liquid Desiccant Dehumidification System*

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh dua *properties* udara, yaitu kelembaban relatif udara keluar (Φ_{uo}) dan temperatur udara keluar yang dalam hal ini ditunjukkan oleh temperatur bola kering udara keluar (T_{uo}). Data tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan yang signifikan terhadap kelembaban udara dan temperatur udara. Kelembaban udara mengalami penurunan, sedangkan temperatur udara mengalami kenaikan seiring waktu. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.2 dan gambar 4.3 berikut:

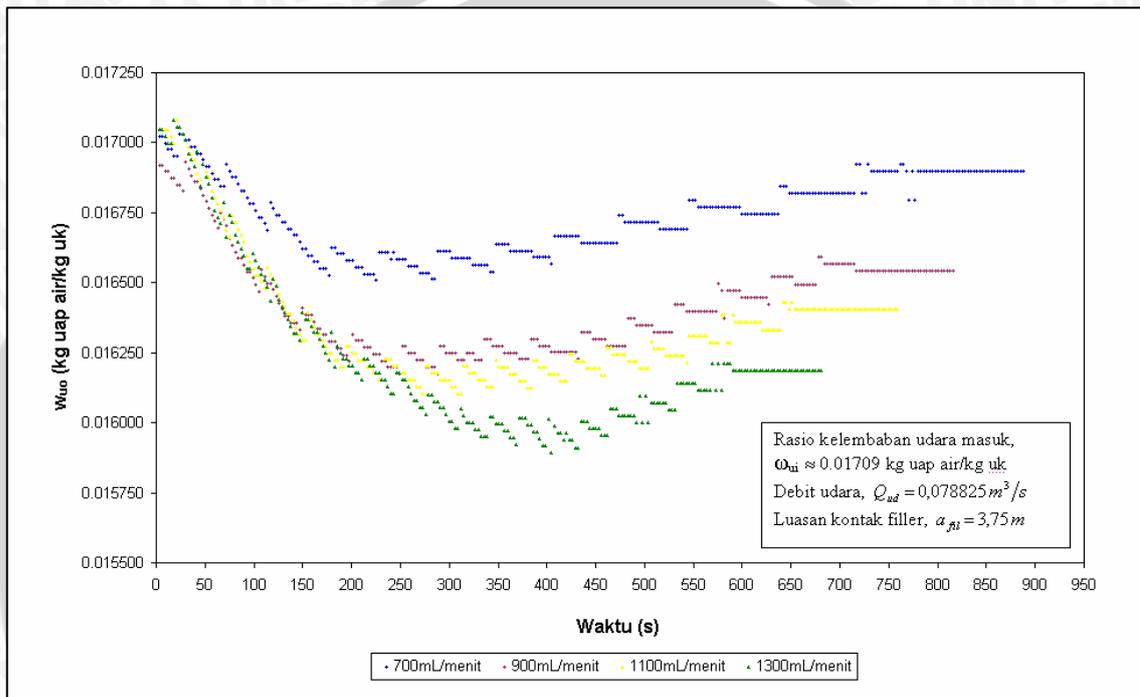


Gambar 4.2 Grafik perubahan kelembaban relatif udara keluar (Φ_{uo}) terhadap waktu pada berbagai variasi debit *desiccant*



Gambar 4.3 Grafik perubahan temperatur udara keluar (T_{uo}) terhadap waktu pada berbagai variasi debit *desiccant*

Proses transfer massa yang terjadi pada *liquid desiccant dehumidification system* ditunjukkan oleh perubahan nilai rasio kelembaban udara pada awal dan akhir proses *dehumidifikasi*. Nilai rasio kelembaban udara dapat diperoleh dari kelembaban udara dan temperatur udara yang diperoleh dari hasil pengujian. Dengan bantuan *software* EZAir Properties (seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1), maka nilai kelembaban udara akan lebih mudah dan cepat diperoleh. Hasil yang didapat ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 Grafik perubahan rasio kelembaban udara keluar (ω_{uo}) terhadap waktu pada berbagai variasi debit *desiccant*

Pada gambar 4.4 tersebut terlihat bahwa rasio kelembaban udara akan mengalami penurunan yang signifikan pada awalnya, kemudian akan mengalami peningkatan secara perlahan sampai mencapai kondisi *steady* dimana tidak terjadi lagi perubahan dari nilai rasio kelembaban udara. Nilai akhir dari rasio kelembaban udara lebih rendah daripada rasio kelembaban udara pada awal proses. Perubahan yang terjadi sampai menuju titik *steady* pada setiap variasi menunjukkan proses transfer massa dari udara ke *desiccant* membutuhkan waktu untuk mencapai titik kesetimbangan (*steady*).

Proses transfer massa uap air dari udara lembab ke *desiccant* terjadi dikarenakan tekanan parsial uap air pada udara lembab lebih tinggi daripada tekanan parsial uap air pada *desiccant*. Selama terdapat perbedaan antara tekanan parsial uap air di udara lebih tinggi maka uap air udara lembab akan terus berpindah ke *desiccant*, sehingga rasio

kelembaban udara akan terus menurun. Ketika terjadi kenaikan rasio kelembaban udara, maka proses transfer massa tetap berlangsung, hanya saja proses transfer massa yang terjadi tidak bisa optimum seperti semula. Hal ini dikarenakan kondisi pada *dehumidifier tower* yang telah terbasahi oleh *desiccant*, sehingga tidak hanya *desiccant* baru saja yang kontak dengan udara, tetapi masih terdapat *desiccant* lama yang ikut kontak dengan udara. Proses transfer massa ini akan terjadi sampai pada kondisi tekanan parsial antara uap air antara uap air di udara dan uap air di *desiccant* sama atau terjadi kesetimbangan, maka transfer massa mencapai posisi *steady*. Hal ini sesuai dengan teori yang coba dijelaskan pada sub bab 2.7, dimana transfer massa terjadi karena konsentrasi zat terlarut (dalam hal ini air) pada udara lembab lebih tinggi daripada konsentrasi zat terlarut pada *desiccant*. Kondisi ini menyebabkan tekanan parsial uap air dalam udara lembab lebih tinggi daripada tekanan parsial uap air pada *desiccant* sehingga transfer massa akan terjadi.

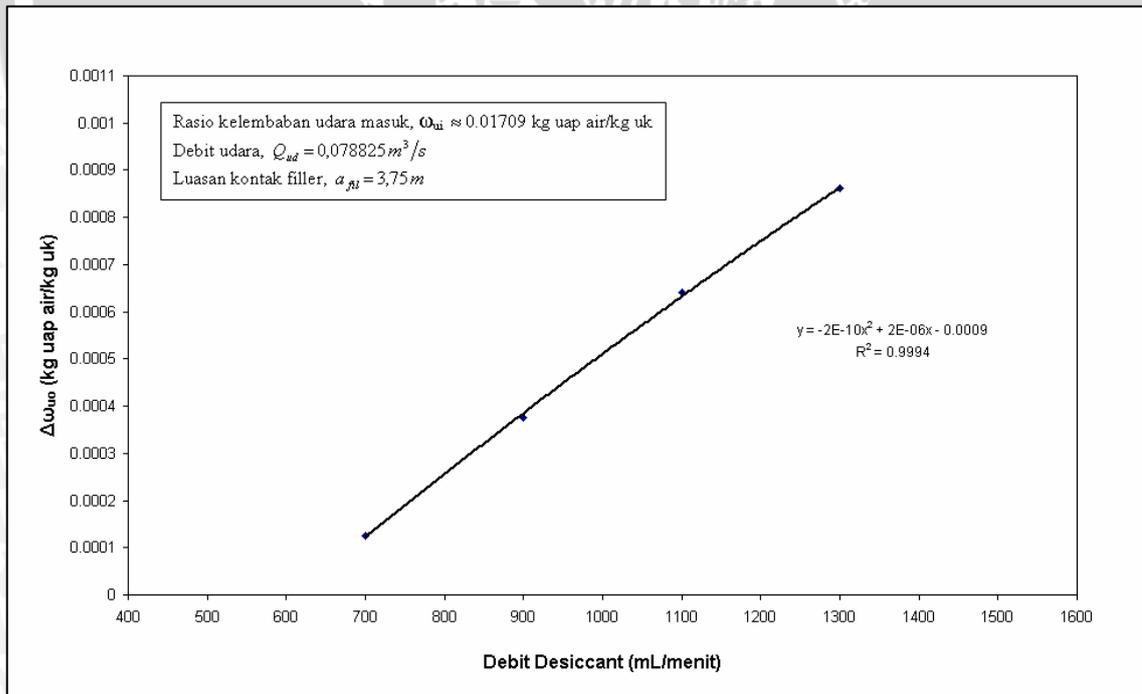
Pada *dehumidifier tower* kontak yang terjadi antara *desiccant* dengan udara sangat berpengaruh. Dalam hal ini kontak yang terjadi adalah jumlah luasan total *desiccant* yang kontak dengan udara. Karena pada penelitian meninjau akan variasi debit *desiccant*, maka dengan debit *desiccant* yang semakin meningkat massa alir dari *desiccant* yang akan dikontakkan dengan udara juga akan semakin besar. Hal ini memungkinkan untuk terjadi transfer massa yang lebih besar dari udara ke *desiccant*.

Berdasarkan pengamatan dengan dibantu kamera, maka bentuk sudut semprot *desiccant* keluar *spray nozzle* pada berbagai variasi debit *desiccant* ternyata mengalami perubahan. Pada debit *desiccant* 700 mL/menit sudut yang dibentuk adalah 58° , pada debit 900 mL/menit sudut yang dibentuk adalah 62° , pada debit 1100 mL/menit sudut yang dibentuk adalah 65° , dan pada sdebit *desiccant* 1300 mL/menit sudut yang dibentuk adalah 68° . Dari tinjauan bentuk dan ukuran droplet yang dibentuk menunjukkan bahwa bentuk dan ukuran droplet *desiccant* keluar *spray nozzle* pada berbagai variasi debit *desiccant* adalah relatif sama. Perbedaan sudut ini juga turut membantu proses transfer massa. Dengan sudut yang semakin besar/lebar, maka udara yang kontak langsung dengan *desiccant* pada *dehumidifier tower* juga akan semakin banyak. Hal ini juga tak terlepas bahwa pada debit *desiccant* yang besar juga akan mengakibatkan sudut semprot *spray nozzle* juga semakin besar/lebar yang disebabkan semakin banyaknya *desiccant* yang didistribusikan oleh *spray nozzle* per satuan waktu.

Debit *desiccant* yang lebih tinggi memungkinkan untuk memiliki massa alir yang lebih besar daripada debit *desiccant* yang lebih kecil. Dengan massa alir *desiccant* yang

lebih besar, maka kontak yang terjadi antara udara dan desiccant akan lebih banyak, sehingga transfer massa menjadi lebih besar. Berdasarkan grafik pada gambar 4.4, maka transfer massa terbesar terjadi pada debit *desiccant* 1300 mL/menit dengan mencapai titik minimum pada 0,015892 kg air/kg uk dengan kondisi awal proses sebesar 0,017046 kg air/kg uk, yang berarti terjadi penurunan kelembaban sebesar 0,001154 kg air/kg uk atau sebesar 6,770%. Sedangkan rasio kelembaban udara yg tercapai pada kondisi *steady* adalah 0,016186 kg air/kg uk atau sebesar 5,045% pada kondisi *steady*.

Dengan semakin tingginya debit *desiccant* yang dialirkan pada *dehumidifying tower*, maka perubahan rasio kelembaban yang terjadi akan semakin besar. Hal ini dikarenakan massa alir *desiccant* yang disemprotkan oleh spray nozzle semakin besar yang berakibat luas kontak yang terjadi pada *counter flow desiccant* dan udara pada *dehumidifying tower* semakin besar, sehingga transfer massa yang terjadi juga semakin besar. Pada debit 700 mL/menit penurunan maksimum sebesar 3,025% dan pada kondisi *steady* penuruna sebesar 0,740%, sedangkan pada debit 900 mL/menit penurunan maksimum sebesar 4,409% dan pada kondisi *steady* sebesar 2,2258. Untuk debit 1100 mL/menit penurunan rasio kelembaban udara maksimum sebesar 5,520% dan pada kondisi *steady* tercapai penurunan sebesar 3,760%.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh debit *desiccant* terhadap penurunan rasio kelembaban udara keluar (ω_{uo})

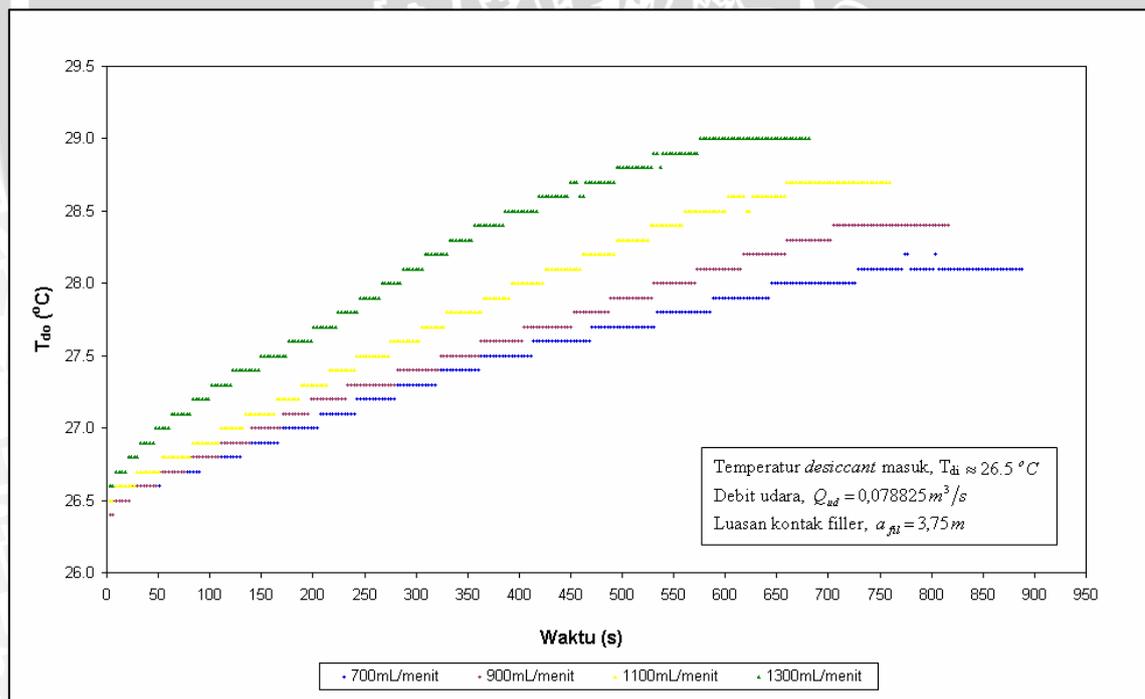
Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan akan perubahan debit *desiccant* terhadap rasio kelembaban udara keluar. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan debit *desiccant* yang mengalir pada *dehumidifier tower* akan berakibat semakin tingginya uap air yang berpindah dari udara lembab menuju *desiccant cair*. Fenomena ini terjadi dikarenakan terdapat perbedaan tekanan parsial antara *desiccant cair* dengan uap air pada udara lembab. Kondisi tekanan parsial uap air pada udara lembab yang lebih tinggi dibanding tekanan parsial *desiccant cair* sehingga memungkinkan terjadinya transfer massa dari uap air pada udara lembab menuju *desiccant cair*. Dengan penambahan debit *desiccant* yang dialirkan pada *dehumidifier tower* dengan debit udara yang dialirkan konstan, maka akan didapat transfer massa yang terjadi juga semakin besar.

Semakin besarnya debit *desiccant* yang mengalir akan berpotensi untuk terjadi penyerapan uap air pada udara yang lebih besar pula, sehingga transfer massa pada *liquid desiccant dehumidification system* akan semakin besar pula. Pada penelitian ini menunjukkan dengan debit *desiccant* 700 mL/menit didapat penurunan kelembaban sebanyak 0,000126 kg air/kg uk dan dengan penambahan debit *desiccant* yang dialirkan, maka akan didapatkan udara keluar yang lebih kering atau lebih sedikit kandungan uap airnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tingginya penyerapan kandungan uap air pada udara lembab oleh *desiccant cair* dengan debit yang semakin besar. Pada debit 900 mL/menit didapatkan penurunan kelembaban sebesar 0,000376 kg air/kg uk, pada debit 1100 mL/menit sebesar 0,000641kg air/kg uk. Sedangkan pada debit 1300 mL/menit didapat penurunan kelembaban sebesar 0,000860 kg air/kg uk. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan semakin besarnya debit *desiccant* yang mengalir pada *dehumidifier tower*, maka akan semakin banyak pula *droplet-droplet desiccant* yang kontak langsung dengan udara sehingga memungkinkan untuk terjadinya transfer massa yang lebih besar pula.

Berdasarkan uraian di atas, maka perubahan debit *desiccant* yang mengalir di dalam *dehumidifier tower* akan berpengaruh terhadap terjadinya transfer massa dan hal ini akan sangat bermanfaat pada perencanaan sistem penurunan kelembaban udara, terutama yang memanfaatkan *desiccant cair* sebagai fluida kerja. Dengan penggunaan debit yang tepat, maka akan diperoleh tingkat kelembaban udara yang diinginkan.

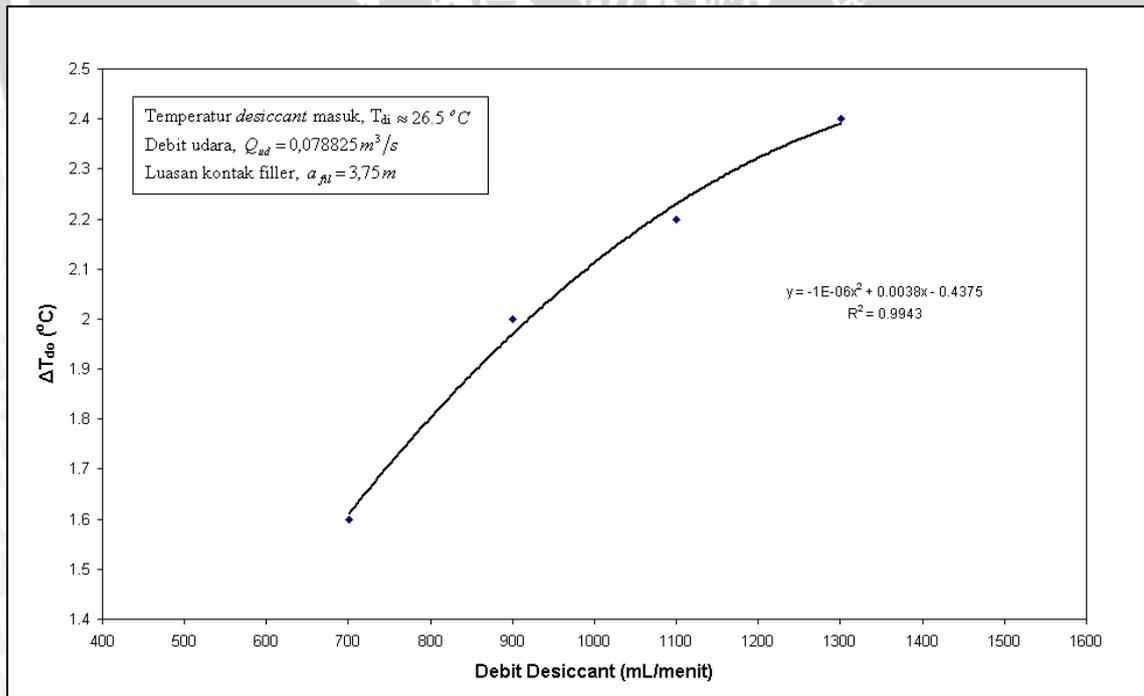
4.2.2 Pengaruh Debit *Desiccant* terhadap Transfer Kalor pada *Liquid Desiccant Dehumidification System*

Transfer massa yang terjadi antara *desiccant* dan udara juga disertai dengan transfer kalor, yaitu pelepasan sejumlah kalor yang disebut *heat of sorption*. Kalor yang ditimbulkan pada proses *absorpsi* ini berasal dari kondensasi uap air pada udara lembab yang diserap menjadi wujud cair ke dalam *desiccant*, sehingga udara akan semakin kering dan *desiccant* akan semakin encer. Proses penyerapan uap air itu sendiri akan mengakibatkan kalor laten yang dilepaskan juga semakin besar, sehingga temperatur *desiccant* menjadi naik. Kalor laten itu sendiri diakibatkan adanya perubahan fasa pada saat terjadi tranfer massa dari udara ke *desiccant*, yaitu fasa uap air menjadi cair yang kemudian diserap oleh *desiccant*. Dengan semakin besar debit *desiccant* yang dialirkan pada *dehumidifier tower*, maka potensi dari tranfer massa juga semakin besar. Hal ini tentu saja berakibat kalor laten yang ditransferkan udara ke *desiccant* semakin besar sehingga akan turut menaikkan temperatur *desiccant*. Fenomena ini ditunjukkan pada gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Grafik perubahan temperatur *desiccant* keluar (T_{do}) terhadap waktu pada berbagai variasi debit *desiccant*

Pada gambar 4.6 tersebut ditunjukkan bahwa transfer kalor yang terjadi secara signifikan akan menaikkan temperatur *desiccant*. Peningkatan temperatur *desiccant* terjadi dengan semakin besarnya debit *desiccant* yang mengalir dan kontak dengan udara pada *dehumidifying tower*. Peningkatan temperatur udara tertinggi dicapai pada perlakuan dengan debit *desiccant* 1300 mL/menit, yaitu dari 26,6 °C pada awal proses menjadi 29,0 °C pada saat tercapainya kondisi *steady*. Hal ini berarti terjadi kenaikan temperatur sebesar 2,4 °C. Pada debit 1100 mL/menit terjadi kenaikan temperatur sebesar 2,2 °C, yaitu dari 26,5 °C menjadi 28,7 °C pada akhir proses. Debit 900 mL/menit kenaikan temperatur sebesar 2 °C, dari 26,4 °C menjadi 28,4 °C, dan kenaikan temperatur *desiccant* terkecil terjadi pada debit 700 mL/menit, yaitu sebesar 1,6 °C dari 26,5 °C menjadi 28,1 °C. Hal ini menunjukkan bahwa dengan semakin besarnya debit *desiccant* yang mengalir pada *dehumidifying tower*, maka kontak yang terjadi dengan udara juga semakin banyak, sehingga proses transfer massa yang terjadi juga lebih besar. Karena pada transfer massa yang terjadi juga disertai pelepasan kalor, yaitu kalor laten yang diakibatkan dari kondensasi dari uap air yang diserap oleh *desiccant* dalam wujud cair. Sehingga dengan debit *desiccant* yang mengalir besar, maka tingkat pemanasan atau kenaikan temperatur *desiccant* juga semakin besar.

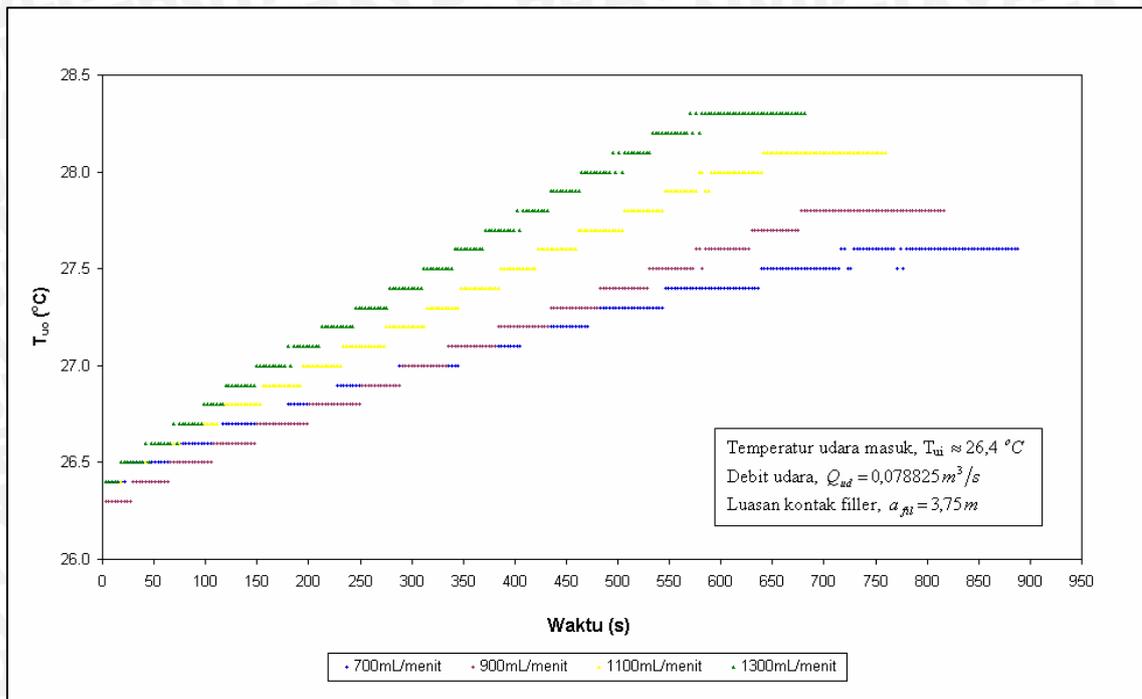


Gambar 4.7 Grafik pengaruh debit *desiccant* terhadap peningkatan temperatur *desiccant* keluar (T_{do})

Pada gambar 4.7 juga ditunjukkan, bahwa debit *desiccant* yang semakin besar akan menghasilkan tingkat kenaikan temperatur *desiccant* keluar. Pada debit 700 mL/menit terjadi peningkatan temperatur sebesar 1,6 °C dan pada debit 900 mL/menit terjadi peningkatan temperatur sebesar 2 °C. Hal ini akan semakin besar pada debit yang lebih besar pula, yaitu pada debit 1100 mL/menit kenaikan temperatur sebesar 2,2 °C dan pada debit 1300 mL/menit kenaikan temperaturnya sebesar 2,4 °C. Peningkatan temperatur ini terjadi dikarenakan debit *desiccant* yang mengalir semakin banyak, sehingga transfer massa yang terjadi dari udara ke *desiccant* cair semakin besar pula. Dengan adanya transfer massa yang semakin besar maka kalor laten yang diperlukan untuk mengubah fase uap air pada udara lembab ke wujud cair pada *desiccant* juga semakin besar sehingga akan turut menaikkan temperatur *desiccant* keluar juga.

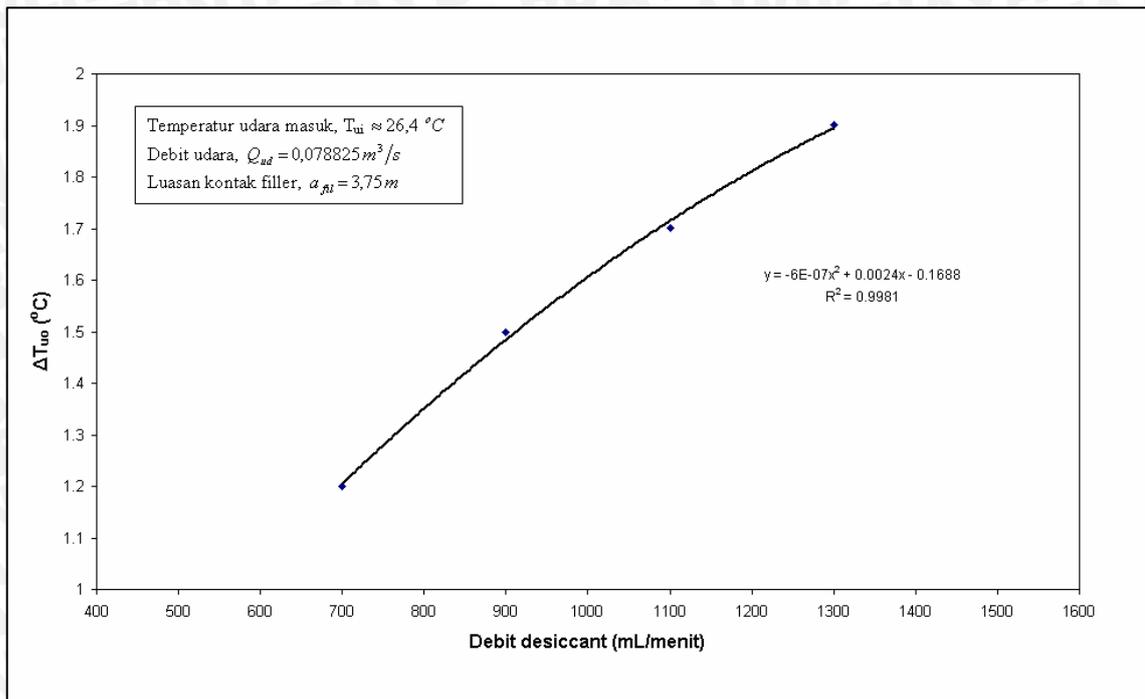
Proses transfer massa pada proses penurunan kelembaban udara dengan menggunakan *desiccant* cair merupakan proses *absorption* yang melibatkan sejumlah kalor, terutama kalor laten akibat kondensasi uap air menjadi wujud cairnya. Adanya kalor ini menyebabkan peningkatan temperatur *desiccant*. *Desiccant* yang telah mengalami kontak dengan udara lembab akan meningkat temperaturnya karena melepaskan kalor tersebut. Karena adanya kontak antara *desiccant* dengan udara, dan akibat terbentuknya perbedaan temperatur (temperatur *desiccant* telah meningkat), maka temperatur udara yang telah mengalami penurunan kelembaban akan meningkat pula meskipun tidak sebesar peningkatan temperatur pada *desiccant*.

Berdasarkan dasar teori pada sub bab 2.7 bahwa penyerapan uap air oleh *desiccant* ini akan memanasi *desiccant* itu sendiri, sehingga akan menyebabkan kenaikan temperatur pada udara yang melewatinya karena terjadinya proses transfer kalor dari *desiccant* ke udara yang melewatinya. Jadi, akibat proses transfer kalor tersebut, temperatur udara juga akan meningkat seperti terlihat pada gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8 Grafik perubahan temperatur udara keluar (T_{uo}) terhadap waktu pada berbagai variasi debit *desiccant*

Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa debit *desiccant* yang tinggi akan berakibat pada kenaikan temperatur udara yang tinggi pula. Pada debit *desiccant* 700 mL/menit terjadi kenaikan temperatur sebesar $1,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ dari $26,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ menjadi $27,6 \text{ } ^\circ\text{C}$, dan pada debit *desiccant* 900 mL/menit kenaikan temperatur sebesar $1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ dari $26,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ menjadi $27,8 \text{ } ^\circ\text{C}$. Sedangkan pada debit *desiccant* 1100 mL/menit terjadi kenaikan temperatur sebesar $1,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ dari $26,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ menjadi $28,1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Peningkatan temperatur udara keluar terbesar terjadi pada debit *desiccant* 1300 mL/menit, yaitu $1,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ dari $26,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ menjadi $28,3 \text{ } ^\circ\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa debit *desiccant* yang besar akan berakibat pada transfer massa yang besar pula, berarti melibatkan kalor laten akibat kondensasi yang paling besar pula (yang akan meningkatkan temperatur *desiccant*). Dan pada akhirnya akan terjadi pula transfer kalor yang besar dari *desiccant* ke udara, yang mengakibatkan peningkatan temperatur udara yang besar.



Gambar 4.9 Grafik pengaruh debit *desiccant* terhadap peningkatan temperatur udara keluar (T_{uo})

Pada gambar 4.8 menunjukkan terjadinya peningkatan temperatur udara keluar pada debit *desiccant* yang semakin besar. Pada penelitian ini peningkatan terbesar didapat pada debit *desiccant* terbesar, yaitu 1300 mL/menit dengan peningkatan temperatur udara keluar sebesar 1,9 $^\circ\text{C}$. Dengan debit *desiccant* yang semakin kecil peningkatan temperatur udara keluar juga lebih kecil. Pada debit 1100 mL/menit peningkatan temperatur sebesar 1,7 $^\circ\text{C}$, pada debit 900 mL/menit peningkatan temperatur sebesar 1,5 $^\circ\text{C}$, dan pada debit 700 mL/menit peningkatan temperatur sebesar 1,2 $^\circ\text{C}$. Adanya peningkatan temperatur udara keluar ini disebabkan kontak yang terjadi antara *desiccant* dengan udara. Karena terjadinya transfer massa dari udara lembab menuju *desiccant* cair sehingga temperatur *desiccant* cair mengalami peningkatan, sehingga mengakibatkan perbedaan temperatur antara *desiccant* cair dengan udara yang telah diturunkan kelembabannya. Oleh karena itu udara yang kontak dengan *desiccant* cair juga mengalami kenaikan temperatur, meski tidak sebesar kenaikan temperatur pada *desiccant* cair.