

Analisis Simulasi dan Eksperimental Karakteristik Termodinamika Refrigerasi Adsorpsi Karbon Aktif Ammonia

Suhengki^{1,a}*, Prayudi^{2,b} dan Roswati Nurhasanah^{3,c}

^{1,2,3}Sekolah Tinggi Teknik - PLN (STT-PLN) Menara PLN Jl. Lingkar Luar Barat Duri Kosambi Cengkareng Jakarta Barat Indonesia, 11750

Email: [a.suhengki@yahoo.co.id](mailto:suhengki@yahoo.co.id), [b.prayudi.sttplt@yahoo.com](mailto:prayudi.sttplt@yahoo.com), [c.roswatinurhasanah@gmail.com](mailto:roswatinurhasanah@gmail.com)

Abstrak

Permasalahan utama dari sistem refrigerasi adsorpsi adalah rendahnya COP, siklus refrigerasi yang lama, konduktivitas termal material adsorbent rendah, maka terbuka dilakukan penelitian dan pengembangannya, baik secara simulasi maupun eksperimental. Untuk meningkatkan konduktivitas termal salah satu pendekatannya adalah membuat desain bed generator. Pada penelitian simulasi dan eksperimental ini dikembangkan desain bed generator berbentuk balok empat persegi panjang, dengan pasangan adsorber-adsorbent karbon aktif ammonia. Karakteristik karbon aktif yang digunakan kerapatannya, $\rho=700 \text{ kg/m}^3$, konduktivitas termal antara, $k_1=0.3 \text{ W/m.K}$, $k_2=0.5 \text{ W/m.K}$, $k_3=0.7 \text{ W/m.K}$ dan kapasitas panas spesifik, $cp=0.93 \text{ kJ/kg}$, waktu siklus 60 menit, perubahan temperatur dan tekanan dalam bed generator mengikuti siklus desorpsi-adsorpsi *Clausius Clapeyron*. Bed adsorbent didesain berbentuk plat empat persegi panjang, dan sumber panas dialirkan dari dua sisi. Waktu siklus 60 menit, sumber panas optimuam yang menghasilkan desorpsi yang baik pada temperatur 80°C , proses desorpsi menguapnya ammonia dari karbon aktif terjadi pada temperatur 73°C - 78°C dan tekanan 27 bar - 29 bar. Proses adsorpsi optimal diserapnya ammonia oleh karbon aktif terjadi pada tekanan 12.5 bar - 10.5 bar dan temperatur generator 33°C - 31°C .

Kata kunci : karbon aktif-ammonia, desorpsi-adsorpsi, bed generator

LATAR BELAKANG

Kebutuhan akan mesin refrigerasi alternatif yang ramah lingkungan dan hemat energi mendorong penelitian untuk mengembangkan sistem refrigerasi adsorpsi. Kesulitan utama mengembangkan siklus refrigerasi adsorpsi adalah rendahnya COP, konduktivitas termal adsorbent, dan adanya tahanan kontak termal antara generator dan adsorbent. Meningkatkan COP terdapat dua pendekatan yaitu pertama mengembangkan *bed adsorbed* berbentuk *composite* dan yang kedua adalah membuat desain generator untuk meningkatkan perpindahan panas *regenerative adsorbent*. Dari berbagai penelitian sebelumnya oleh Komarudin [1], Mozous [8], Dawoud [3], Freni et.al [12], Metcalf [9] menyimpulkan bahwa, koefisien kinerja sistem refrigerasi adsorpsi, pada umumnya COP-nya masih cukup rendah, dan pasangan media adsorpsi yang telah digunakan sebagian besar adalah zeolite-air, carbon aktif-methanol, karbon aktif-ammonia, silica gel-air, clorida alkaline earth metal-air. Pasangan carbon aktif/ammonia, methanol/silica gel adalah pasangan adsorbat/adsorbent yang cukup baik untuk sistem refrigerasi. Pasangan carbon aktif/ammonia direkomendasikan sumber-sumber pada

temperatur tinggi ($>120^\circ\text{C}$) (Tang dkk, 2006). Penelitian dan pengembangan teknologi alternatif

untuk mengatasi masalah mesin refrigerasi kompresi uap diantaranya adalah mengembangkan sistem refrigerasi adsorpsi, adsorpsi padatan (*solid adsorption*) [11].

Pengembangan desain generator untuk meningkatkan masalah perpindahan panas telah dicoba oleh Abdullah [1], Mande [6], Saha [9], Melcalf [7], Tang [11] dan R.E. Critoph dan Z Tamainot-Telt [4], dimana pada umumnya desain generator berbentuk empat persegi panjang *plat exchange* dan silinder *stainless steel tube*.

Penelitian simulasi dan eksperimental ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik termodinamika pada generator yang terdiri atas temperatur dan tekanan dalam bed generator. Ruang lingkup penelitiannya dibatasi pada upaya untuk meningkatkan perpindahan panas regeneratif. Metode coba-coba digunakan dalam penelitian eksperimental ini. Generator dirancang sehingga diperoleh waktu siklus yang relative tidak terlalu lama. Pasangan adsorbent yang digunakan karbon aktif-ammonia, dan bed generatornya berbentuk persegi empat, dengan sumber panas antara 70°C , 80°C , dan 85°C , dan bed generator didesain terletak antara dua sumber

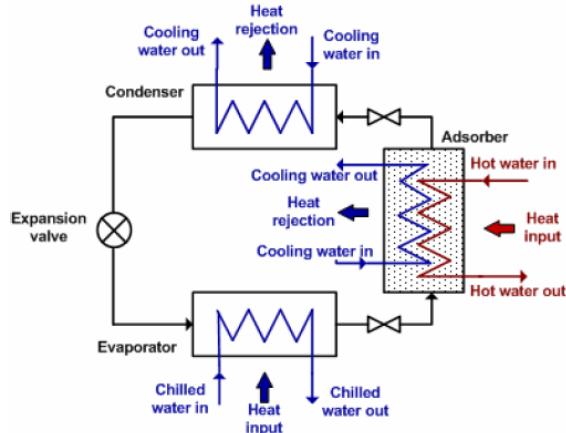
panas. Model siklus desorpsi-adsorpsi *Clausius Clapeyron* digunakan landasan untuk melakukan analisis. Keberhasilan penelitian simulasi dan eksperimental ini diukur apakah siklus yang dihasilkan mengikuti siklus *Clausius Clapeyron*. Demikian pula validasi hasil penelitian menggunakan data-data hasil penelitian sebelumnya.

STUDI PUSTAKA

Sistem Refrigerasi Adsorpsi

Refrigerasi adsorpsi merupakan siklus yang digerakkan oleh energi termal. Berbeda dengan sistem refrigerasi kompresi uap, energi mekanik yang diperlukan oleh refrigerasi adsorpsi sangat kecil [11]. Fungsi kompresor pada siklus refrigerasi kompresi uap digantikan dengan kompresor termal generator adsorber. Diagram skematis sistem refrigerasi adsorpsi diperlihatkan Gambar 1[4].

Seperti halnya siklus refrigerasi kompresi uap, efek pendinginan pada siklus adsorpsi juga terjadi pada sisi evaporator. Proses adsorpsi melibatkan pemisahan suatu zat dari cairan dan pengakumulasian pada permukaan sebuah zat padat. Zat yang menguap dari fasa cair disebut sebagai adsorbat, sedangkan zat padat yang menyerap adsorbat disebut sebagai adsorben. Molekul-molekul yang diserap oleh adsorben bisa dilepaskan kembali dengan cara memanaskan adsorben; dengan demikian proses ini bersifat reversibel. Terdapat dua macam adsorben, yakni *hydrophilic* seperti gel silika, zeolit dan alumina aktif atau alumina berpori; dan *hydrophobic* seperti karbon aktif, polimer dan silikat [9].

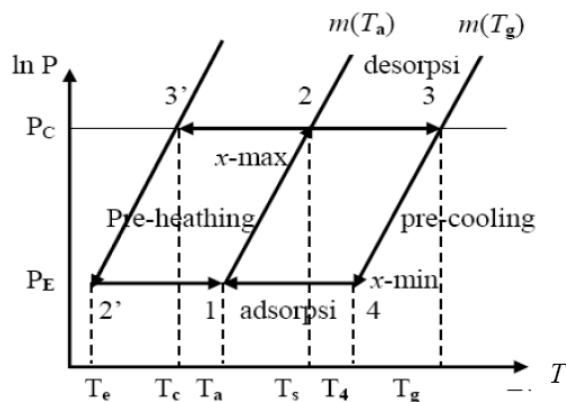


Gambar 1. Skematis Sistem Refrigerasi Adsorpsi (Critoph, 2005)

Adsorben *hydrophilic* memiliki daya mampu ikat yang tinggi dengan zat yang bersifat polar

(seperti air), sedangkan adsorben *hydrophobic* mempunyai kemampuan ikat yang tinggi dengan zat yang bersifat non-polar (seperti ammonia). Adsorber berfungsi untuk menyerap uap refrigeran ke dalam adsorben, sehingga keduanya bercampur menjadi larutan. Karena reaksi di dalam adsorber adalah eksotermik (mengeluarkan panas), maka perlu dilakukan proses pembuangan panas dari adsorber. [1]. Tanpa dilakukannya proses pembuangan panas, maka kelarutan (*solubility*) uap refrigeran ke dalam adsorben akan rendah. Selanjutnya, larutan tersebut dipompa ke generator. Dalam perjalanan menuju generator, larutan dilewatkan di dalam penukar kalor untuk meningkatkan temperatur (*preheating*). Daya pompa yang diperlukan sangat kecil, sehingga dalam perhitungan COP siklus adsorpsi, daya ini biasanya diabaikan. Di dalam generator, larutan dipanaskan hingga terjadi pemisahan refrigeran dari larutan. Selanjutnya, uap refrigeran tersebut akan memasuki kondensor. Proses selanjutnya tidak berbeda dengan siklus kompresi uap, yakni kondensasi, penurunan tekanan (melalui mekanisme penghambat aliran-*flow restrictor*) dan evaporasi.

Siklus ideal sistem refrigerasi adsorpsi diberikan oleh siklus *Clausius Clapeyron* seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram *Clapeyron* untuk siklus desorpsi-adsorpsi ideal

Secara teoritis siklus refrigerasi adsorpsi dibagi dalam empat proses seperti terlihat pada diagram PTX pada Gambar 2, yakni pemanasan isosterik (1-2), desorpsi isobarik (2-3), pendinginan isosterik (3-4) dan adsorpsi isobarik (4-1). Siklus ideal dimulai dari titik 1, adsorben berada pada temperatur rendah, T_a , dan tekanan rendah, P_E (tekanan evaporasi). Titik (1-2) menunjukkan pemanasan adsorben bersamaan dengan adsorbat. Pada saat ini, wadah adsorben (kolektor) dihubungkan dengan kondensor. Pemanasan lanjut pada adsorben dari titik 2 ke 3

menyebabkan sebagian adsorbat mengalami desorpsi dan selanjutnya uapnya terkondensasi di kondensor (Titik 2). Pada saat adsorben mencapai temperatur maksimum, T_g , proses desorpsi berhenti. Selanjutnya cairan adsorbat dikirimkan ke evaporator dari 2 ke 3'; kemudian kolektor ditutup dan mendingin. Penurunan temperatur dari 3 ke 4 menyebabkan penurunan tekanan dari P_{cke} P_E . Setelah kolektor dihubungkan dengan evaporator; evaporasi dan adsorpsi terjadi pada saat adsorben ditinggikan dari temperatur 4 ke 1. Efek pendinginan muncul pada saat terjadinya evaporasi adsorbat.

Model Matematika Distribusi Temperatur

Temperatur dalam adsorber mengikuti temperatur pada model persamaan integral pada kinerja sistem refrigerasi dihitung dari persamaan diferensial parsial distribusi temperatur. Persamaan diferensial untuk perpindahan panas konduksi tanpa produksi pada kondisi transient diberikan oleh persamaan :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{\rho c_p}{k} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

dengan asumsi koefisien dan sifat-sifatnya tetap. Turunan parsial, gradient temperatur ini dapat didekati dengan ekspansi deret Taylor [3],

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{T_{m-1} - 2T_m + T_{m+1}}{(\Delta x)^2} \quad (3)$$

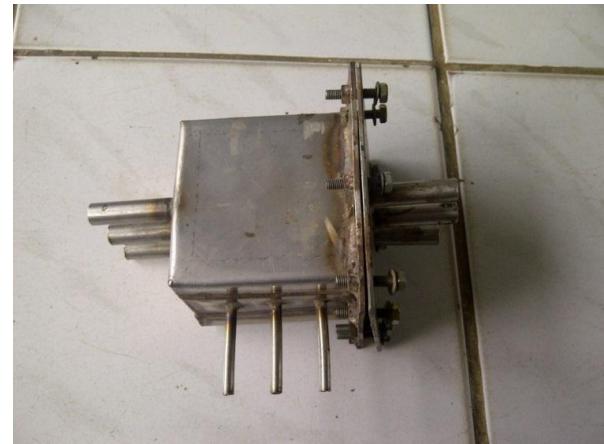
Sedangkan gradient temperatur terhadap waktu dapat didekati dengan,

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_m^{p+1} - T_m^p}{\Delta t} \quad (4)$$

Dengan menggunakan pendekatan model volume atur, disusunlah sistem persamaan linier dalam bentuk matrik model matematika untuk menghitung distribusi temperatur dalam generator dengan persamaan diferensial diatas.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi dan eksperimental. Metode simulasi diawali dengan melakukan menentukan kapasitas pendinginan, membuat desain generator adsorber, menyusun model matematika distribusi temperatur generator adsorber, membuat simulasi konsentrasi ammonia dengan persamaan Dubinin Astakhov.



Gambar 3. Rancangan Prototype Bed Generator Absorber

Sedangkan metode eksperimental digunakan pendekatan metode coba-coba. Desain bed generator yang digunakan berbentuk balok empat persegi panjang, dimensinya adalah (85 x 100 x 100)mm. bahan baku yang digunakan adalah baja jenis SS 304, dengan ketebalan dindingnya adalah 1,2 mm dan massa dinding adalah 1,0 kg. Bentuk bed-generator yang digunakan pada penelitian disajikan pada Gambar 3.

Pasangan adsorben dan adsorbat yang digunakan adalah karbon aktif ammonia. Fluida sumber panas yang digunakan adalah air pada kondisi kontan, temperatur untuk proses desorpsi dipertahankan pada 85°C, 80°C dan 70°C, dan proses adsorpsi pada temperatur 30°C. Temperatur udara luar adalah 30°C. Waktu siklus yang untuk proses desorpsi adsorpsi adalah 60 menit. Tahap akhir penelitian adalah analisis membandingkan hasil penelitian eksperimental dan simulasi, dilanjutkan dengan pengaruh waktu siklus terhadap temperatur, pengaruh waktu siklus terhadap tekanan dalam generator,

HASIL DAN PEMBAHASAN

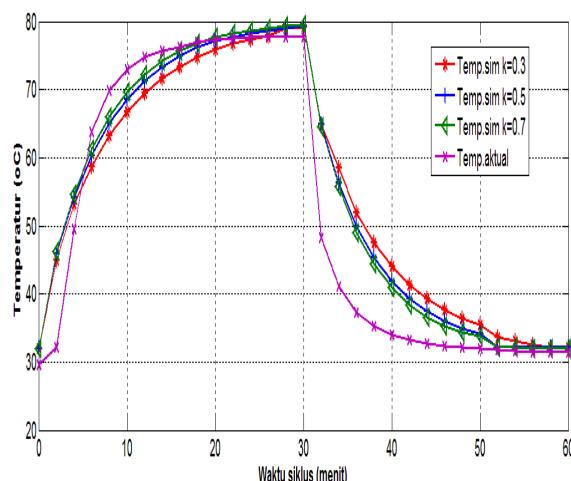
Simulasi Kondisi Awal Rancangan

Simulasidesain kondisi operasi sistem refrigerasi adsorpsi yang direncanakan adalah kapasitas pendinginan (*cooling capacity*) diasumsikan 1,32 kW dengan perkiraan lama waktu evaporasi $t=5\text{menit}=300\text{s}$, kondisi temperatur dan tekanan di diasumsikan pada kondisi, $T_{\text{evav}} = 7^\circ\text{C}$, $T_{\text{con}} = 48^\circ\text{C}$, $T_{\text{ads}} = 32^\circ\text{C}$, $P_{\text{evav}} = 68 \text{ psia}$, dan $P_{\text{des}} = 270 \text{ psia}$. Karbon aktif yang digunakan pada penelitian simulasi ini mempunyai parameter-parameter ukuran meskipun 14 s.d 28, dengan ketebalan 4mm, jenis butiran. Kerapatannya, $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$, konduktivitas termal antara, $k_1 = 0.3 \text{ W/m.K}$, $k_2 = 0.5$

$W/m.K, k_3=0.7$ W/m.K, kapasitas panas spesifik, $cp=0.93\text{kJ/kg.K}$. Temperatur maksimum pada generator adsorber atau temperatur desorpsi, $T_g = T_{des}$, yakni pada $T_1=80^\circ\text{C}$, $T_2=90^\circ\text{C}$, $T_3=100^\circ\text{C}$, $T_4=110^\circ\text{C}$, dan $T_5=120^\circ\text{C}$. Bahan baku yang digunakan untuk generator adsorber adalah baja jenis SS316, dengan ketebalan dindingnya adalah 0,5 mm. Koefisien perpindahan panas konduksi bahan yang digunakan antara 15,210-16,706 W/m.C yang sesuai dengan temperatur fluida, dan koefisien kontak termal $h=2000 \text{ W/m}^2\text{.C}$.

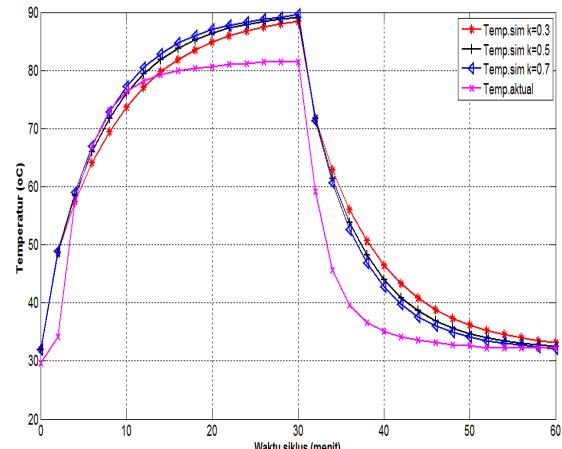
Analisis Perbandingan Temperatur Generator Aktual dan Simulasi

Dengan menggunakan kondisi syarat batas awal rancangan simulasi dan persamaan perpindahan panas (1), berikut ini disajikan perbandingan temperatur generator hasil simulasi dan eksperimental khususnya untuk sumber panas 80°C dan 85°C . Untuk itu perhatikanlah Gambar 4. dan Gambar 5.



Gambar 4. Temperatur Generator Aktual dan Simulasi, $T_f=80^\circ\text{C}$

Dari Gambar 4, menjelaskan bahwa hasil simulasi dan hasil pengukuran temperatur generator aktual memiliki pola dan perilaku yang sama, serta telah mengikuti siklus desorpsi-adsorpsi *Clausius Clapeyron*. Proses desorpsi yang ditandai dengan temperatur yang relatif konstan, terjadi pada antara menit 10-30 pada temperatur 78°C , dan proses adsorpsi terjadi menit 40-60 pada 32°C .

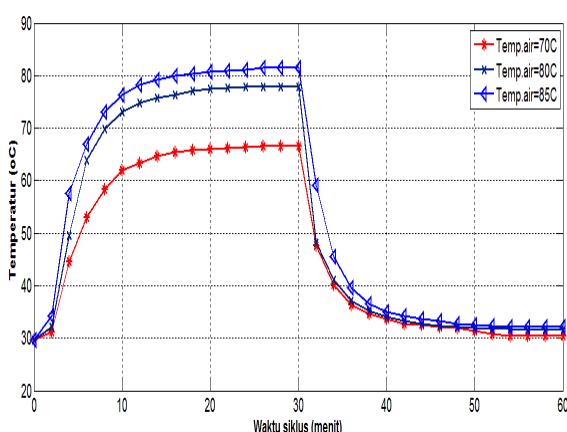


Gambar 5. Temperatur Generator Aktual dan Simulasi, $T_f=85^\circ\text{C}$

Demikian pula dari Gambar 5 menjelaskan bahwa hasil simulasi dan hasil pengukuran temperatur generator aktual memiliki pola dan perilaku yang sama, mengikuti siklus desorpsi-adsorpsi *Clausius Clapeyron*. Proses desorpsi ditandai dengan temperatur yang relatif konstan, terjadi pada antara menit 10-30 pada temperatur 78°C , dan proses adsorpsi terjadi menit 40-60 pada temperatur 32°C . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa data aktual hasil pengukuran temperatur generator baik pada proses desorpsi-adsorpsi sudah sesuai dengan simulasi penelitian sebelumnya dan siklus desorpsi-adsorpsi *Clausius Clapeyron*. Dengan demikian model matematika dan desain eksperimentalnya dapat digunakan untuk analisis berikutnya.

Pengaruh Waktu Siklus terhadap Temperatur Generator

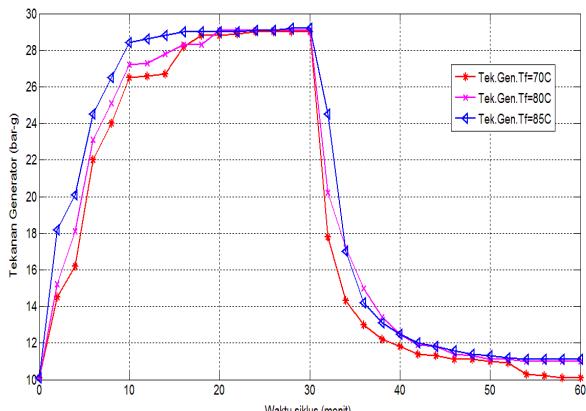
Pengaruh waktu siklus terhadap perubahan temperatur generator, dapat ditinjau dari perubahan temperatur generator apakah mengikuti siklus ideal desorpsi dan adsorpsi yang diberikan oleh *Clausius Clapeyron*. Untuk itu perhatikanlah Gambar 6. Dari Gambar 6, terlihat bahwa pada awal proses pre-heating sampai dengan menit ke-2 temperatur dalam generator kenaikannya tidak terlalu besar, dan temperatur dalam generator mulai meningkat setelah menit ke dua sampai dengan menit ke-10. Dari perilaku ini dapat dikatakan bahwa pada menit ke-2 sampai dengan menit ke-10 terjadi proses pre-heating. Sedangkan proses desorpsi terjadi pada menit ke-10 sampai dengan menit 30.



Gambar 6. Pengaruh Waktu Siklus terhadap Temperatur Generator

Dengan pendekatan siklus *Clausius Clapeyron* proses pre-cooling terjadi pada menit ke-30 sampai dengan menit ke-40 yang terjadi pada temperatur $47,6^{\circ}\text{C}$ - $33,7^{\circ}\text{C}$, $48,2^{\circ}\text{C}$ - $34,0^{\circ}\text{C}$ dan $59,2^{\circ}\text{C}$ - $35,1^{\circ}\text{C}$. Sedangkan proses adsorpsi terjadi pada menit ke-40 sampai dengan menit-60 yang terjadi pada temperatur generator antara $32,8^{\circ}\text{C}$ - $30,5^{\circ}\text{C}$, $33,0^{\circ}\text{C}$ - $31,5^{\circ}\text{C}$ dan $34,2^{\circ}\text{C}$ - $32,2^{\circ}\text{C}$. Pada akhir proses adsorpsi pada menit ke-60 pada temperatur dalam generator berkisar antara $30,5^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $32,2^{\circ}\text{C}$ dan perbedaannya dengan temperatur sumber panasnya berkisar antara $0,5^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $1,2^{\circ}\text{C}$ artinya bahwa temperatur generator pada akhir proses adsorpsi mengikuti siklus desorpsi-adsorpsi *Clausius Clapeyron*. Temperatur optimal proses adsorpsi pada temperatur 73°C - 78°C , dan karena selisih dengan fluida sumber panas relative kecil, sedangkan proses adsorpsi terjadi pada temperatur 33°C - 31°C .

Pengaruh Waktu Siklus terhadap Tekanan Generator



Gambar 7. Pengaruh Waktu Siklus terhadap Tekanan Generator

Gambar 7., menggambarkan pola dan perilaku tekanan dalam generator adsorber sebagai fungsi dari waktu siklus untuk sumber panas dengan temperatur fluida airnya masing-masing adalah 70°C , 80°C dan 85°C . Dari Gambar 7, terlihat bahwa untuk ketiga sumber panas, tekanan dalam generator adsorber tiba-tiba meningkat dari 10,1 bar menjadi 26,5 bar, 27,2 bar dan 28,4 bar dalam waktu 10 menit. Selanjutnya pada menit ke-10 sampai dengan menit ke-30 tekanan generator relatif konstan antara 26,7 bar-29 bar, 27,2 bar-29,1 bar, dan 28,6 bar-29,2 bar. Pada akhir proses desorpsi tekanan dalam generator sama yakni 29 bar, artinya bahwa generator absorber maksimum adalah 29,1 bar.

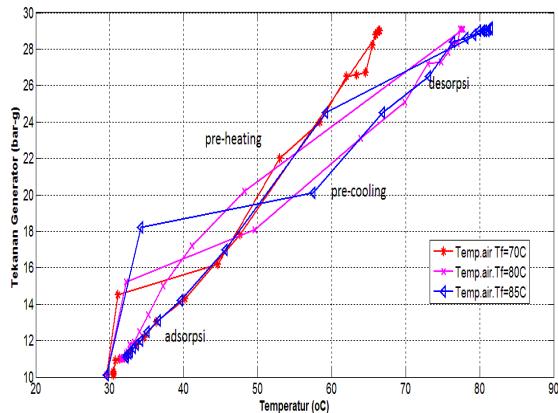
Dari Gambar 7, terlihat pula bahwa semakin besar temperatur sumber panas, maka proses pre-heating berlangsung dalam waktu cepat, sedangkan proses desorpsi berlangsung dalam waktu yang relative lebih lama. Dengan mempertimbangkan faktor keamanan, tekanan desorpsi relatif konstan pada tekanan 26,7 bar-29 bar, dan tekanan optimal pada 29 bar, temperatur sumber panas untuk desain generator ini, sebaiknya temperatur sumber panas yang dapat digunakan adalah 80°C .

Selanjutnya untuk proses pre-cooling dan adsorpsi, dari Gambar 7., terlihat bahwa proses pre-cooling terjadi pada menit ke-30 sampai dengan menit ke-40 yang terjadi pada tekanan 29,1 bar - 11,8 bar untuk temperatur fluida panas 70°C , dan untuk temperatur fluida panas 80°C terjadi pada tekanan 29 bar - 12,5 bar, sedangkan untuk temperatur fluida 85°C terjadi pada tekanan 29,2 bar - 12,5 bar. Dari ketiga sumber fluida tersebut, akhir dari proses pre-cooling terjadi pada tekanan 12 bar. Pada proses adsorpsi yang ditandai dengan diserapkan ammonia dalam karbon aktif terjadi pada tekanan 12 bar - 11,1 bar, dan dari ketiga jenis fluida sumber panas terjadi pada tekanan yang relatif sama, dan tekanannya tidak sama dengan tekanan awal proses pre-heating. Dengan demikian, dapat diambil kesimpulan bahwa tekanan optimal untuk proses desorpsi terjadi pada tekanan 27 bar-29 bar, sedangkan tekanan optimal untuk proses adsorpsi terjadi pada tekanan 12 bar – 11 bar.

Analisis Proses Desorpsi-Adsorpsi

Dari Gambar 8, terlihat bahwa proses pre-heating terjadi pada temperatur generator adsorber antara 30°C sampai dengan selisih temperatur maksimum dalam generator sekitar 5°C , dimana tekanan dalam generator terjadi antara 10,1 bar sampai dengan 27,0 bar. Sedangkan proses desorpsi dimulainya menguapnya ammonia dari

karbon aktif terjadi pada temperatur generator mendekati temperatur fluida panasnya dengan tekanan generator antara 27.5 bar-29 bar, dimana tekanan dalam generator relatif konstan pada tekanan 29 bar.



Gambar 8. Hubungan Temperatur dan Tekanan Pada Siklus *Clausius Clapeyron*

Dari Gambar 8, terlihat bahwa proses pre-heating terjadi pada temperatur generator adsorber antara 30°C sampai dengan selisih temperatur maksimum dalam generator sekitar 5°C, dimana tekanan dalam generator terjadi antara 10,1 bar sampai dengan 27,0 bar. Sedangkan proses desorpsi dimulainya menguapnya ammonia dari karbon aktif terjadi pada temperatur generator mendekati temperatur fluida panasnya dengan tekanan generator antara 27.5 bar-29 bar, dimana tekanan dalam generator relatif konstan pada tekanan 29 bar.

Pada proses pre-cooling terjadi pada temperatur pada saat temperatur optimal sampai dengan mendekati temperatur 34°C dengan tekanan generator antara 29 bar-12.5 bar. Pada proses adsorpsi diserapnya ammonia oleh karbon aktif terjadi pada temperatur generator adsorber antara 33°C-31°C dengan tekanan dalam generator 12,5 bar-10.5 bar. Artinya pada akhir proses pre-cooling dan adsorpsi kembali ke titik semula dimulainya proses pre-heating dan desorpsi di temperatur 30°C dengan tekanan 10,1 bar, walaupun temperatur dan tekanannya tidak sama persis atau terdapat perbedaan dengan temperatur dan tekanan semula. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan sumber panas yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa temperatur dan tekanan dalam bed generator adsorber sudah mengikuti proses desorpsi-adsorpsi siklus *Clausius Clapeyron*. Dengan demikian desain bed generator yang dikembangkan dalam penilitian sudah persyaratan siklus desorpsi-desorpsi *Clausius Clapeyron*

sehingga layak untuk diujicobakan dalam rancang bangun refrigerasi adsorpsi

KESIMPULAN

1. Dalam waktu siklus desorpsi-adsorpsi 60 menit, dari hasil simulasi dan eksperimental temperatur umpan panas yang optimal untuk proses desorpsi-adsorpsi yang optimal adalah 80°C.
2. Pada proses desorpsi dimulaiinya menguapnya ammonia dari karbon aktif dalam generator adsorber terjadi pada tekanan 27 bar sampai 29 bar dan temperatur generator adsorbernya antara 73°C sampai 78°C.
3. Pada proses adsorpsi dimulaiinya diserapnya ammonia oleh karbon aktif terjadi pada tekanan 12,5 bar sampai 10,5 bar, dan temperatur 33°C sampai 31°C.
4. Rancangan desain bed generator yang dikembangkan dalam penilitian sudah mengikuti siklus desorpsi-desorpsi *Clausius Clapeyron*, sehingga layak untuk diujicobakan dalam rancang bangun refrigerasi adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah, Komaruddin; Purwanto, Y, Aris; Rofiq, A, dan Saepuluyun, Aep, *Pendiginan adsorpsi sebagai pendinginan ambahan untuk penyimpanan sayuran tropis*, Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, PPLH-IPB, Juni 2003
- [2] Dawoud, Belal, A *Hybrid Solar-Assisted Adsorption Cooling Unit for Vaccine Storage*, International Sorption Heat Pump Conference, Denver CO USA, ISHPC-055-2005, June, 2005
- [3] Cengel, Yunus A; Boles, Michael A, *Thermodynamics An Engineering Approach*, Fourth Edition in SI Units, Mac Graw-Hill, 2002
- [4] Critoph, RE dan Z Tamainot-Telto, *Efficiency V Cooling Power in a Modular Carbon Ammonia Adsorption chiller : Simulation and Validation*, International Sorption Heat Pump Conference, Denver CO USA, ISHPC-054-2005, June 2005
- [5] Khan, MZI; Sultana, S; Akasiwa, A; Kashiwagi, T, *Numerical Simulation of Advanced Adsorption Refrigeration Chiller with Mass Recovery*, Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, Desember, 2006, <http://www.banglajd.info>
- [6] Mande, S.; P. Ghosh; Kishore, V.V.N; Oertel, K, and Sprengel U, *Development of an Advanced Solar-hybrid Adsorption Cooling System for Decentralised Storage*

- of Agricultural Products in India*, Tata Energy Research Institute, India
<http://www.inive.org>, Mei 2007
- [7] Metcalf, Stepen J, *Simulation of the Effect of Generation Heat Transfer Parameters on Power Density and Efficiency in Multiple-bed Regenerative Carbon-Ammonia Sorption Heat Pumps*, International Sorption Heat Pump Conference, Denver CO USA, ISHPC-061-2005, June, 2008
- [8] Mozous, S; Chouaieb, O.; Bellagi, A; *Thermodynamic Analysis of New Refrigeration Cycle*, International Sorption Heat Pump Conference, Denver CO USA, ISHPC-033-2005, June, 2005
- [9] Saha, BidyutBaran; Kuwahara, Ken; Koyama, Shigeru; and Oohara, Tadahiro, *Adsoption Characteristics of Active Carbon Fiber/Ethanol Pair and its Applicability to Adsoption Refrigeration System*, International Sorption Heat Pump Conference, Denver CO, USA, ISHPC-035-2005.
- [10] Tiansuwan, J; Hirunlabb, J.;Kiatsiriroat; *Mathematical Model of an Activated Carbon-Ethanol Refrigerator*, Thammasat International Journal Sceience Technology, Vol 3 No 1, January 1998
- [11] Tang, Chunfang; Luo, Qinghai; Li, Xiangmei; Zhu, Xiaojuan, *Comparasion of Several Eco-frendly Refrigeration Technologies*, University of Forestry and Tecnology, Cahngsha China, Enery Resources and Greener Future, Vol.VIII-4-6, 2006, <http://www.txspace.tamu.edu>