
STUDI APLIKASI DAN PEMASYARAKATAN SISTEM REFRIGERASI ABSORPSI PADA SEKTOR INDUSTRI PROSES

Hariyotejo Pujowidodo dan Bambang Teguh Prasetyo
Balai Termodinamika Motor dan Propulsi (BTMP)
Puspiptek Serpong Tangerang Selatan Banten 15314
e-mail : h_pujowidodo@yahoo.co.id

Abstrak

Hampir sebagian besar gedung perkantoran maupun di industri proses petrokimia/consumer goods, beban konsumsi energi listrik terbesar berasal dari pemakaian untuk pendinginan/pengkondisi udara (AC). Teknologi sistem refrigerasi absorpsi memberikan peluang penghematan energi listrik dan konservasi lingkungan melalui penggunaan energi sumber panas (termal) yang berasal dari energi panas buang (waste heat energy) dan medium refrigeran air. Studi ini bertujuan untuk mengetahui peluang pemanfaatan energi limbah panas di industri proses sebagai rekomendasi untuk mendukung langkah pengembangan program kegiatan Rancang Bangun Sistem Refrigerasi Absorpsi. Kegiatan dilaksanakan menurut metode pengumpulan data kuesioner tentang informasi potensi panas buang, kebutuhan pendingin dan prospek implementasi/kerjasama serta kegiatan survei observasi di industri proses calon mitra dengan melakukan presentasi/sosialisasi dan diskusi teknis dengan narasumber. Hasil studi memberikan data dan informasi bahwa sumber energi limbah panas pada industri proses terdiri dari fluida gas pembakaran, steam dan air sisa proses; yang memiliki potensi pemanfaatan untuk refrigerasi Absorpsi lebih dari 60 kW pada industri petrokimia dengan potensi kapasitas limbah panas lebih dari 2 TPH dan temperatur 200 °C.

Kata kunci: limbah termal, konservasi lingkungan, penghematan energi, refrigerasi, absorpsi

I. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi beban konsumsi energi listrik yang besar dan juga dampak kerusakan lingkungan, telah dikembangkan teknologi pendingin sistem absorpsi. Teknologi refrigerasi absorpsi menghasilkan pendinginan melalui refrigeran air yang dihasilkan oleh sebuah komponen kompresor termal. Kompresor tersebut memanfaatkan sumber energi penggerak fluida refrigeran yang berasal dari energi panas (*thermal energy*).

Aplikasi teknologi refrigerasi ini telah diaplikasikan melalui chiller absorpsi untuk memberikan kenyamanan termal pada gedung dan pabrik. Walaupun COP chiller kompresi uap lebih tinggi dibanding chiller absorpsi, namun seluruh energi listrik yang digunakan relatif mahal. Pada chiller absorpsi, sumber energi yang digunakan adalah sedikit energi listrik dan sejumlah besar energi panas yang lebih murah dibanding listrik. Keunggulan sistem absorpsi akan lebih signifikan jika energi panas yang digunakan merupakan panas buang dari suatu proses produksi. Namun demikian, sampai saat ini penggunaannya belum memasyarakat, masih sangat terbatas hanya sebagian kecil industri pengelola gedung perkantoran, mall, dan hotel yang mengoperasikan genset sebagai penghasil listrik untuk keperluannya sendiri. Pada sektor industri, salah satu yang memiliki potensi besar panas buang dan mempunyai kebutuhan *chilled water* adalah industri proses.

Tujuan dari studi ini adalah menyediakan dan memasyarakatkan teknologi sistem refrigerasi absorpsi di Indonesia untuk penghematan energi listrik dan pelestarian lingkungan serta membina industri manufaktur lokal dalam upaya penguasaan teknologi refrigerasi absorpsi. Sejalan dengan *road map* program pengembangan refrigerasi absorpsi di Balai Termodinamika Motor dan Propulsi (BTMP), kegiatan “Studi aplikasi dan Pemasyarakatan System Refrigerasi Absorpsi pada Sektor Industri Proses” bertujuan untuk mendukung pelaksanaan rencana pengembangan prototip sistem chiller absorpsi melalui observasi dan pengumpulan data lapangan yang terkait dengan kebutuhan perancangan dan kelayakan sistem.

II. TINJAUAN PUSTAKA

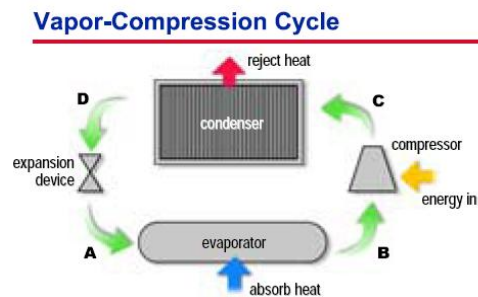
2.1. Siklus Refrigerasi Chiller

Water Chiller yang banyak digunakan, sering menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap dan absorpsi. Kedua siklus refrigerasi kompresi uap dan absorpsi menghasilkan pendinginan dengan menyerap panas dari fluida kerja *chilled water* oleh refrigeran di evaporator. Selanjutnya

refrigeran membuang panasnya ke *cooling water* atau udara ambient di kondensor. Pada kedua siklus dilengkapi alat untuk menaikkan tekanan refrigeran (kompresor mekanik/termal) dan alat ekspansi untuk menjaga beda tekanan internal, yang merupakan hal kritical untuk seluruh proses perpindahan panas.

2.1.1. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

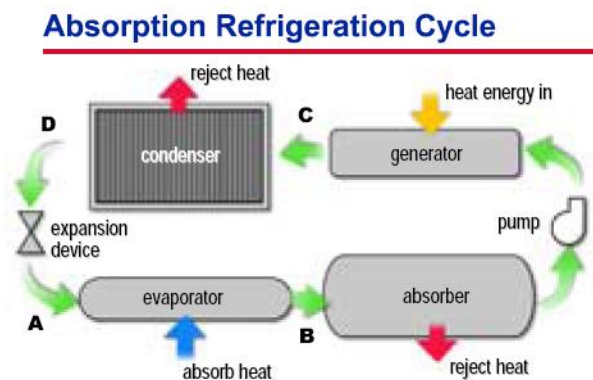
Dalam siklus ini refrigeran yang menerima panas lingkungan di evaporator berubah dari cair menjadi uap untuk dinaikkan melalui proses kompresi dan didinginkan kembali di kondensor dengan pendingin udara lingkungan yang selanjutnya diturunkan kembali tekanannya. Hal ini ditunjukkan dalam proses A-B-C-D dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Siklus Kompresi uap [5]

2.1.2. Siklus Refrigerasi Absorpsi

Terdapat dua perbedaan utama dengan siklus kompresi uap yaitu: (1) kompresor digantikan oleh unit absorber, pompa dan generator, (2) di dalam refrigeran ada tambahan fluida sekunder yang dinamakan *absorbent*. Pada Gambar 2.3, refrigeran masuk evaporator dalam keadaan dingin, tekanan rendah campuran cair dan uap (A). Panas dipindahkan dari air relatif hangat ke refrigeran, menimbulkan pendidihan pada refrigeran cair. Oleh absorber refrigeran uap (B) dihisap dan bercampur dengan absorbent. Pompa kemudian mendorong campuran refrigerant uap dan cair dengan tekanan tinggi menuju generator yang akan menguapkan refrigerant cair (C). Selanjutnya proses didinginkan oleh kondenser (D) dan diturunkan tekanannya oleh katup ekspansi (A).



Gambar 2.3.. Siklus Absorpsi [5]

2.2. Jenis Chiller Absorpsi

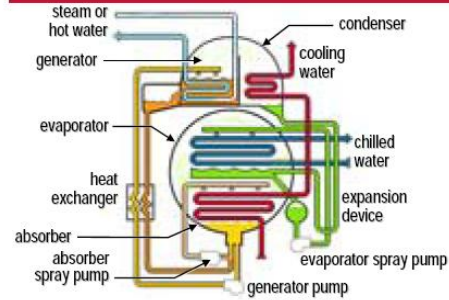
2.2.1. Chiller Efek Tunggal

Secara skematis, chiller ini ditunjukkan pada Gambar 2.4. Chiller ini secara tipikal dioperasikan pada uap tekanan rendah sekitar 15 psig (204,8 kPa) atau cairan temperatur medium 270 °F (132,2 °C) Tipikal koefisien performansi (COP) untuk chiller efek tunggal adalah 0,6 – 0,8. COP adalah ratio tak berdimensi untuk menggambarkan efisiensi mesin refrigerasi, yaitu perbandingan kapasitas pendinginan evaporator dengan energi panas yang diperlukan generator. Semakin tinggi COP mesin semakin efisien. COP tidak memperhitungkan besarnya energi listrik yang diperlukan pompa, purge dan kontrol.

Single-Effect Chiller



Single-Effect Chiller



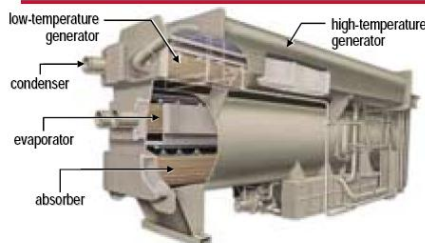
Gambar 2.4. Chiller Sistem Efek Tunggal [5]

Larutan encer (*dilute solution*) dalam generator, yang dialirkan oleh pompa generator dari absorber, menyerap panas dari uap atau air panas hingga refrigeran mendidih dan terpisah dari larutan. Ketika refrigeran menguap larutan absorbent menjadi pekat dan kembali ke absorber melalui pompa sprai, setelah sebelumnya dicairkan kembali di sebuah pemanas. Uap refrigerant didinginkan di kondenser oleh air pendingin. Oleh katup ekspansi terjadi pressure drop refrigerant cair yang kemudian di evaporator melalui pompa sprai digunakan untuk mendinginkan air dingin dan uap refrigeran diserap kembali oleh larutan lithium bromide di absorber.

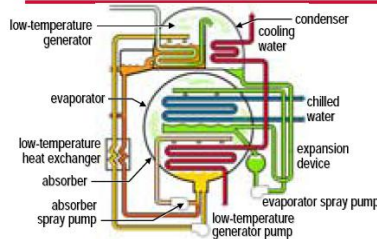
2.2.2. Chiller Efek Ganda

Gambar 2.5 secara skematis menunjukkan chiller tersebut. Generator temperatur tinggi dapat menggunakan uap air atau air panas (*indirect fired*) sebagai sumber energinya, atau menggunakan pembakaran dari natural gas atau minyak (*direct fired*). *Indirect fired* secara tipikal dioperasikan pada uap tekanan medium 115 psig (894,3 kPa) atau cairan temperatur tinggi 370 °F (187,8 °C). COP tipikal untuk chiller ini adalah 0,9 – 1,2.

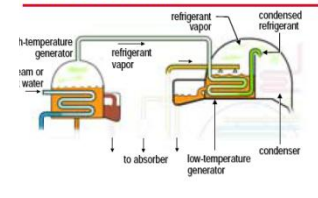
Double-Effect Chiller



Double-Effect Chiller



Double-Effect Chiller



Gambar 2.5. Chiller sistem Efek Ganda [5]

Dalam generator temperatur tinggi, uap atau air panas temperatur sangat tinggi mengalir melalui tube yang terendam dalam larutan absorben pada konsentrasi menengah. Uap refrigeran tersebut mengalir menuju generator temperatur rendah yang kemudian didinginkan di kondenser dan mengalami jatuh tekanan di katup ekspansi. Refrigeran cair dingin yang terbentuk digunakan untuk mendinginkan *chilled water* di evaporator.

III. METODE KEGIATAN

Kegiatan studi aplikasi dan pasyarakatan sistem refrigerasi absorpsi terdiri atas beberapa langkah sebagai berikut :

3.1. Penyusunan Hipotesa

Sebagai argumen awal dalam pelaksanaan studi ini adalah adanya pemikiran bahwa industri proses mempunyai potensi panas buang yang cukup besar untuk dimanfaatkan dalam sistem pendingin absorpsi, sehingga dapat meningkatkan optimasi energi dan membantu program kelestarian lingkungan. Untuk itu diperlukan pengkajian potensi panas buang dan kebutuhan pendingin agar diperoleh hasil berupa peluang pemanfaatan dan pengembangan sistem absorpsi di industri proses.

3.2. Melakukan survei

Survei pada sektor industri proses dilaksanakan berdasarkan kriteria pemilihan atas aspek utilisasi energi dan kebutuhan pendinginan yaitu pada industri kertas (*pulp & paper*), industri *consumer goods (personal/home care)*, industri pupuk dan industri petrokimia yang terletak di daerah Surabaya, Palembang dan Cilegon.

3.3. Analisa dan Pembahasan

Hasil survei berupa data dan informasi melalui pengisian kusioner dan diskusi teknis dengan narasumber terkait dikaji untuk memperoleh peta potensi panas buang dan kebutuhan pendingin sehingga diperoleh gambaran peluang/potensi pemanfaatan melalui analisa energi limbah termal yang tersedia dengan peluang kapasitas pendingin yang dapat diperoleh.

3.4. Penetapan kesimpulan

Langkah ini adalah penetapan intisari atau rangkuman utama dari hasil studi yang diperoleh dari hasil pembahasan. Sebagai pokok hasil adalah gambaran peta potensi panas buang dan peluang pemanfaatan terbesar pada industri proses.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Potensi Panas Buang

Seluruh hasil survei observasi dan data isian yang telah diisi, dianalisa guna mengetahui peta potensi panas buang pada industri proses yang terdapat pada industri kertas (*pulp & paper*), industri *consumer goods (home/personal care)*, industri pupuk dan industri petrokimia. Potensi panas buang dievaluasi berdasarkan data laju aliran massa fluida, jenis fluida, sumber limbah dan temperatur panas buang. Hasil informasi ini menjadi pedoman dalam memberikan potensi pemanfaatan dalam sistem refrigerasi absorpsi khususnya dan peningkatan efisiensi sistem/optimasi energi umumnya (lihat Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Data Hasil Potensi Panas Buang Industri Proses

No	Jenis Fluida	Tekanan kerja	Temperatur Kerja	Flow	Komposisi Campuran	Sumber limbah	Industri Proses
1	Gas	1 atm	165 °C	311 TPH	70% N ₂ ; 9,29% CO ₂ ; 0,1896 % H ₂ ; 1,65% O ₂ ; 0% SO ₂ /SO ₃	Flue gas Furnace	Pupuk
2	Water	3,5 kg/cm ² G	148 °C	1-25 TPH	Condensate TDS= 86 mg/L; Phosphat= 16 mg/L; PH=9-10	Blow Down	Pupuk
3	Water	0 kg/cm ² G	100 °C	3 TPH	Condensate	Jacket Water	Pupuk
4	Gas	12,6 mmH ₂ O	162 °C	3,428 TPH	CO ₂ = 9,5-11%; O ₂ = 3-5,5%	Flue gas packed boiler	Pupuk
5	Gas		127 °C	8,383 TPH 2,696 TPH	CO ₂ =3,8-4,2%; CO=0; O ₂ =12,5-14,5%	Flue gas	Pupuk
6	Air	11 bar	100 °C	0,4 TPH	H ₂ O	Blow down boiler	Pupuk
7	Condensate	0,5 bar	90 °C	3 TPH	H ₂ O	Steam trap	Pupuk
8	Condensate	0,2 bar	80 °C	2 TPH	H ₂ O	Steam trap	Pupuk
9	Air	0,2 bar	50 °C	5 TPH	H ₂ O	Buangan	Pupuk
10	Gas	Atm	195 °C	273 TPH	CO ₂ , H ₂ O, N ₂ , NO ₂	Flue gas	Petrokimia
11	Liquid	15,5 kg/cm ² G	150 °C	2 TPH	Water	Blowdown boiler	Petrokimia
12	Gas	Atm	170 °C	668 TPH	CO ₂ , H ₂ O, N ₂ , O ₂ , NO ₂	Flue gas	Petrokimia
13	Liquid	3,5 kg/cm ² G	202 °C	4,5 TPH	Water	Blowdown furnace	Petrokimia
14	Liquid	73 kg/cm ² G	172 °C	7 TPH	Water	blowdown	Petrokimia
15	Steam	0,8 kg/cm ² G	66 °C	170 TPH	Steam (recovered condensate)	Turbine exhaust	Petrokimia
16	Exhaust	atm	350-450 °C	20 TPH	CO ₂ , H ₂ O, N ₂	Exhaust gas turbine	Petrokimia
19	Air	11 bar	100 °C	0,4 TPH	H ₂ O	Bowdown boiler	Consumer Goods
20	Air Condensate	0,5 bar	90 °C	3 TPH	H ₂ O	Buangan Steam trap & Crude PS	Consumer Goods
21	Air Condensate	0,2 bar	80 °C	2 TPH	H ₂ O	Buangan bekas cuci-cuci	Consumer Goods
22	Air	0,2 bar	50	5 TPH	H ₂ O	Buangan CIP	Consumer Goods

4.2 Data Kebutuhan Sistem Pendingin

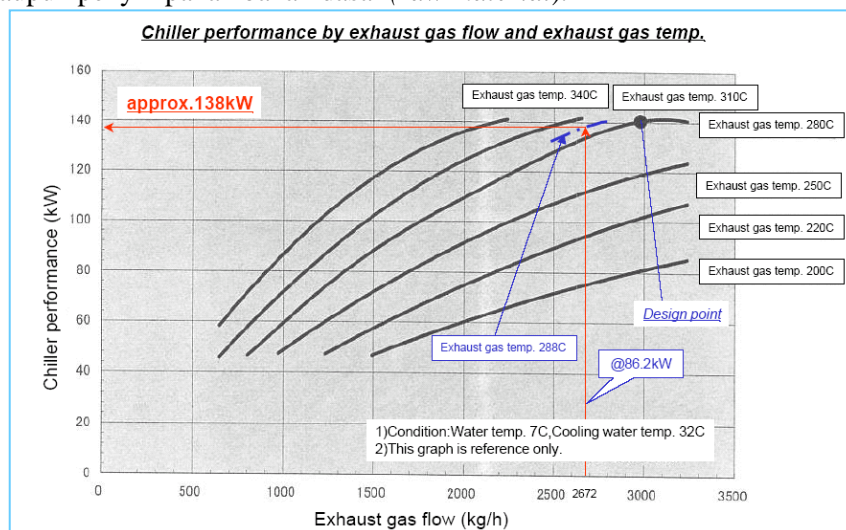
Data kebutuhan sistem pendingin meliputi informasi tentang penerapan sistem pendingin pada industri proses baik yang diperuntukkan kebutuhan proses maupun untuk kebutuhan operasional pabrik (lihat Tabel 4.2)

Tabel 4.2. Data Hasil Aplikasi Sistem Refrigerasi

No	Aplikasi	Temperatur (°C)	Lokasi	Kebutuhan Energi		Industri Proses
				Kapasitas Pendinginan (kW)	Electrical Power (%)	
1	Water Chiller	6 s/d 8	Drier, Crude, Packing Line	290	3,4	Consumer Goods
2	Super Chiller	-10 s/d -13	Packing line	354	6,5	
3	HVAC	7 s/d 9	Chiller house	270	1,8	
4	Cool room	15 s/d 20	Raw material store	10	0,7	
5	AC	24 s/d 26	Office block	80	28	
6	HDPE Plant Refr	-20	HDPE Plant	110	0,3	Petrokimia
7	Catatlyst Unit Refr	-5	HDPE Plant	185	0,1	
8	LLDPE Plant Refr	-20	LLDPE Plant	110	0,3	
9	Methane Refr	-135	Ethylene Plant	3421	10,7	
10	Ethylene Refr	-101	Ethylene Plant	3320 (StTurb)		
11	Propylene Refr	-40	Ethylene Plant	15577 (StTurb)		
12	Adm Bld AC	20 - 25	admin	1187	3,7	
13	Ethylene Plant AC	20 - 25	CCR Ethylene, MCC	80	0,3	
14	Offsite Marine	20 - 25	OM Office, MCC	32	0,1	
15	PE Plant AC	20 - 25	CCR PE, MCC	169	0,5	
16	Utility Plant AC	20 - 25	CCR Utility, MCC	157	0,5	
17	Warehouse AC	20 - 25	Warehouse building	43	0,1	
18	Lab building AC	20 - 25	Laboratory building	313	1,0	

4.3 Peluang Pemanfaatan Sistem Refrigerasi Absorpsi

Berdasarkan data potensi temperatur panas buang yang telah diperoleh dari hasil data panas buang di industri proses terdapat potensi sumber panas dari temperatur 50 °C hingga 450 °C dan kapasitas 0,4 TPH hingga 668 TPH, maka dengan menggunakan kurva karakteristik kinerja chiller yang terdapat di dalam Gambar 4.1. , memiliki potensi pemanfaatan chiller sebesar minimal 50 kW. Peluang tersebut cukup untuk menyediakan kapasitas pendinginan bagi ruang gedung perkantoran ataupun penyimpanan bahan dasar (*raw material*).



Gambar 4.1. Kurva karakteristik Chiller vs Flowrate [2]

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

- a. Sumber potensi panas buang pada sector industry proses umumnya berasal dari limbah termal fluida *gas panas buang* dan *cair blowdown boiler*; fluida *buang turbin uap dan gas*; dan fluida *cair sisa proses*. Fluida panas buang yang berasal dari *gas pembakaran* memiliki potensi *temperature lebih tinggi* namun *kapasitas lebih rendah* dibandingkan fluida yang berasal dari limbah termal lainnya.
- b. Industri proses *petrokimia* mempunyai potensi panas buang yang besar dan peluang pemanfaatan untuk kebutuhan system pendingin yang lebih besar daripada industry proses pembuatan kertas dan consumer goods.
- c. Panas buang pada sector industry proses dengan minimum temperature 200 °C dan kapasitas 2 TPH memiliki potensi pemanfaatan untuk chiller absorpsi sebesar 60 kW. Sehingga untuk kapasitas panas buang gas buang hingga 450 °C dan 668 TPH berpotensi memiliki kapasitas chiller absorpsi yang lebih besar dari 60 kW.

5.2. SARAN

Peta potensi panas buang dan data kebutuhan system pendingin telah memberikan gambaran potensi pemanfaatan kapasitas chiller absorpsi yang dapat diperoleh, namun diperlukan studi lebih lanjut terhadap karakteristik sumber panas buang agar dapat dikaji lebih mendalam peluang implementasi dari sisi teknis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Althouse, Andrew D.et. al, Laboratory Manual Modern Refrigeration and Air Conditioning, The Goodheart-Willcox Company, Inc., 18th edition, Tinley Park Illinois, 2004.
2. Dewis, D., Elliot Microturbines Absorption Chiller Integrated System Development, Elliot Microturbine Group, 2004
3. Dossat, Roy J., Horan, Thomas J., Principles of Refrigeration, Pearson Education, Inc., New Jersey 2002.
4. TD 01/WBS-2/RBSRA, Laporan Dokumen Teknis WBS-2 Kerjasama Pengembangan dan Diseminasi Teknologi Program Rancang Bangun Sistem refrigerasi Absorpsi 2010, BTMP, Puspiptek Serpong, Nopember, 2010.
5. , Program Manual Rancang Bangun Sistem Refrigerasi Absorpsi 2010, Puspiptek Serpong, Januari, 2010.
6. TRANE, Air Conditioning Clinic- Absorption Water Chillers One of the Equipment Series