



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Penerapan sistem CHP dan sistem refrigerasi refrigeran natural: sebuah kajian literatur konservasi energi dan keselamatan lingkungan pada gedung supermarket

I Nyoman Suamir^{1*}, Ketut Bangse¹, I Wayan Adi Subagia², Achmad Wibolo¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung Bali 80364 Indonesia

²Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung Bali 80364 Indonesia

*Email: nyomansuamir@pnb.ac.id

Abstrak

Paper ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi penerapan sistem CHP (*Combined Heat and Power*) dan sistem refrigerasi refrigeran natural untuk konservasi energi dan keselamatan lingkungan pada aplikasi gedung supermarket berbasis kajian literatur. Berbagai informasi terkini dari sistem CHP dan sistem refrigerasi dengan teknologi refrigeran natural dikumpulkan dan dianalisis dari berbagai hasil-hasil penelitian yang sudah dipublikasikan. Kajian juga membandingkan hasil analisis berbagai teknologi CHP dan refrigerasi ramah lingkungan berbasis refrigeran natural. Ditemukan bahwa CHP adalah salah satu alternatif yang sangat potensial untuk meningkatkan secara optimal pemanfaatan energi di supermarket. Sistem CHP ditemukan dapat mencapai efisiensi keseluruhan hingga 85%. Salah satu cara untuk memastikan efisiensi konversi energi yang tinggi dari sistem CHP sepanjang tahun dapat dilakukan dengan menggunakan panas berlebih yang tersedia pada periode permintaan panas rendah untuk menjalankan sistem refrigerasi absorpsi yang dapat memberikan efek pendinginan. Sistem ini juga mampu mengurangi dampak lingkungan tak langsung dengan penggunaan energi yang lebih efisien. Solusi alternatif yang ditemukan dalam kajian ini untuk mengurangi emisi langsung dari kebocoran refrigeran sistem refrigerasi adalah dengan menggunakan refrigeran ramah lingkungan, seperti refrigeran HC, CO₂ dan ammonia. Juga ditemukan sistem refrigerasi CO₂ bertingkat dengan sistem refrigeran HC atau ammonia atau sistem absorpsi pada sistem tekanan tinggi merupakan solusi yang sangat menguntungkan dari aspek keselamatan lingkungan. Potensi keunggulan semakin meningkat ketika sistem refrigerasi absorpsi digerakkan menggunakan panas buang dari sebuah sistem CHP.

Kata kunci: Sistem CHP, refrigeran natural, sistem refrigerasi dan supermarket

Abstract: *This paper aims to evaluate the potential application of CHP (Combined Heat and Power) system and natural refrigeration system for energy conservation and environmental safety in supermarket building applications based on literature studies. The latest information from CHP system and refrigeration system with natural refrigerant technology is collected and analyzed from various research results that have been published. The study also compared the results of analysis of various CHP technologies and environmentally friendly refrigeration based on natural refrigerants. It was found that CHP is one of the very potential alternatives to optimally increase energy utilization in supermarkets. The CHP system was found to achieve overall efficiency of up to 85%. One way to ensure the high energy conversion efficiency of CHP systems throughout the year can be obtained by using the excess heat available in periods of low heat demand to run absorption refrigeration systems that can provide a cooling effect. The system is also able to reduce indirect environmental impacts with more efficient energy use. An alternative solution found in this study to reduce direct emissions from refrigerant leakage refrigeration systems is to use environmentally friendly refrigerants, such as HC refrigerants, CO₂ and ammonia. It is also found that a cascade CO₂ refrigeration system with HC or ammonia systems or absorption system in the high stage system is a very beneficial solution from the aspect of environmental safety. The potential advantage is increased when the absorption refrigeration system is driven by the exhaust heat of a CHP system.*

Keywords: *CHP system, natural refrigerant, refrigeration system and supermarket*

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Industri retail mengkonsumsi sejumlah besar energi dengan supermarket skala besar berkontribusi antara 3% dan 5% dari total konsumsi energi listrik [1]. Konsumsi listrik retail makanan bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya

tergantung pada ukuran dan format retail, peralatan yang digunakan, selubung bangunan, aktivitas penjualan, lingkungan internal, energi dan sistem kontrol yang diterapkan. Variasi konsumsi listrik per area penjualan bersih (juga dikenal sebagai intensitas listrik) dari berbagai

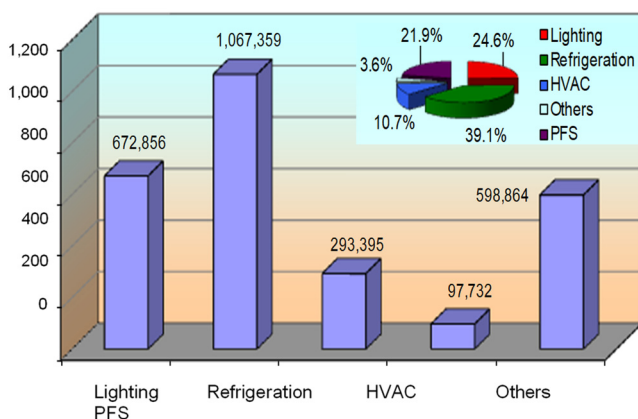
jenis retail ditunjukkan dalam Tabel 1. Dapat dilihat bahwa intensitas listrik supermarket dapat sangat bervariasi dari sekitar 500 kWh/m² di hypermarket hingga lebih dari 2900 kWh/m² di retail serba ada [2]. Intensitas listrik supermarket secara umum adalah sebesar 915 kWh/m² [3].

Segmentasi penggunaan listrik di supermarket juga bervariasi. Investigasi beberapa supermarket ukuran sedang ditemukan bahwa sistem refrigerasi mengkonsumsi sebagian besar listrik dalam kisaran antara 30% sampai dengan 60%. Pencahayaan berkontribusi antara 15% dan 30% dan peralatan ventilasi pemanas dan pendingin ruangan (HVAC) mengkonsumsi sekitar 10%. Persiapan makanan dan layanan (PFS) dan sisanya dikonsumsi oleh utilitas retail lainnya. Investigasi didasarkan pada data meter energi [4]. Rincian serupa tentang konsumsi listrik untuk supermarket juga dapat ditemukan di referensi [2] dan [5]. Rincian konsumsi listrik retail ukuran sedang secara tipikal ditunjukkan pada Gambar 1. Dapat diamati bahwa intensitas energi listrik menurun dengan meningkatnya luas lantai penjualan.

Tabel 1. Intensitas konsumsi listrik berbagai retail makanan [4]

Tipe retail	Jumlah retail	Luas lantai penjualan (m ²)	Intensitas energi listrik (kWh/m ²)	
			Rentang	Rata-rata
Retail kecil	640	80-280	2900-700	1540
Retail sedang	1360	280-1400	2600-500	1000
Supermarket	420	1400-5000	1500-500	920
Hypermarket	150	5000-10000	1180-500	770

Listrik untuk sistem refrigerasi di retail makanan biasanya didistribusikan melalui dua sirkuit distribusi terpisah. Satu sirkuit digunakan untuk menjalankan sistem refrigerasi yang mencakup kompresor, pompa, dan kondensor. Sirkuit kedua memasok display cabinet untuk lampu, kipas angin, kontrol, dan lain-lain di area penjualan. Jumlah konsumsi listrik oleh sistem refrigerasi di beberapa retail tipe F-50 ditunjukkan pada Gambar 2.

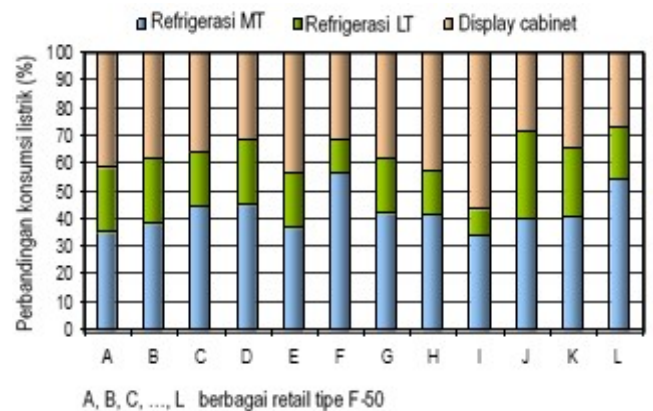


Gambar 1. Konsumsi listrik tahunan dari retail tipe F-50

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa listrik yang dipasok ke sistem temperatur sedang (MT), sistem temperatur rendah (LT) dan display cabinet dapat bervariasi dari satu retail ke retail lainnya dengan nilai rata-rata sekitar 42% untuk MT, 20% untuk LT dan 38% untuk display cabinet. Angka ini sedikit berbeda dari Lawrence dan

Gibson [6] di mana display cabinet dilaporkan mengkonsumsi 42%, sistem MT 35% dan sistem LT 23% dari total energi sistem refrigerasi. Jumlah konsumsi listrik yang digunakan oleh sistem refrigerasi tergantung pada jenis sistem yang digunakan, beban pendinginan, strategi kontrol yang digunakan dan temperatur sekitar. Konsumsi energi listrik display cabinet mencakup semua komponen listrik di kabinet seperti kipas angin, lampu, pemanas anti kondensasi dan pemanas defrost.

Supermarket juga membutuhkan pemanas ruang dan air panas domestik. Kebutuhan pemanasan ini biasanya dipenuhi dengan boiler berbahan bakar gas. Konsumsi gas bervariasi sepanjang tahun; tinggi di musim dingin dan sangat rendah di musim panas. Konsumsi gas tahunan retail F-50 dengan luas penjualan 4.700 m² sekitar 880 MWh, setara dengan 187 kWh/m² [4]. Berbagai konsumsi gas di berbagai jenis retail makanan dilaporkan oleh Tassou et al. [2]. Angka konsumsi dasar dilaporkan oleh CIBSE Guide F [3] adalah 200 kWh/m².



Gambar 2. Konsumsi listrik sistem refrigerasi dan display cabinet pada berbagai supermarket tipe F-50 [4]

Seperti yang dijelaskan di bagian sebelumnya retail makanan adalah salah satu sektor yang paling intensif energi dari rantai dingin untuk pangan. Supermarket, khususnya, memiliki dampak lingkungan yang signifikan karena emisi gas rumah kaca (GRK) tak langsung dari pembangkitan listrik [7]. Emisi CO₂ tidak langsung dari penggunaan energi bisa mencapai 4,01 MtCO_{2e} di mana 88% adalah emisi dari konsumsi energi listrik dan sisanya berasal dari emisi bersumber dari konsumsi gas alam [2].

Supermarket juga bertanggung jawab atas emisi gas rumah kaca langsung dari kebocoran refrigeran dengan potensi pemanasan global (*global warming potential/GWP*) yang tinggi [7]. Walravens et al. [8] melaporkan bahwa supermarket adalah sumber emisi HFC (hydro-fluoro carbon) terbesar di Inggris dengan sistem refrigerasi dan sistem AC bertanggung jawab atas emisi 2 MtCO_{2e} per tahun.

Evans [5] melaporkan kebocoran refrigeran dari supermarket berada di kisaran antara 18% dan 35% dari jumlah massa pengisian refrigeran per tahun. Dilaporkan juga bahwa kebocoran pendingin HFC dan HCFC dari supermarket Kanada berada di kisaran antara 10% dan 30% dari total massa pengisian per tahun [10]. *United Nations Environment Programme* (UNEP) melaporkan tingkat emisi tahunan supermarket dalam kisaran 15 hingga 30% dari total pengisian [11]. Selain emisi langsung, kebocoran pendingin juga dapat berdampak signifikan pada konsumsi

energi sistem pendingin, karena sistem refrigerasi yang beroperasi dalam kondisi kekurangan refrigeran dapat mengurangi sub-cooling kondensor dan meningkatkan superheat evaporator, yang menghasilkan kinerja sistem yang lebih rendah seperti yang dilaporkan oleh [9] dan [12].

2. Metode dan Bahan

Metode kajian literatur diterapkan dalam kajian ini. Berbagai informasi terkini dari sistem CHP dan sistem refrigerasi dengan teknologi refrigeran berbasis refrigeran natural diinvestigasi dari berbagai hasil-hasil penelitian yang sudah dipublikasikan. Kajian dari berbagai literatur juga dibandingkan untuk mendapatkan hasil analisis komparasi berbagai teknologi CHP dan refrigerasi ramah lingkungan berbasis refrigeran natural. Hasil-hasil kajian disajikan dalam bentuk grafik sehingga dapat mempermudah untuk melihat trend keunggulan teknologi CHP dan refrigerasi ramah lingkungan dengan sistem konvensional yang diaplikasikan untuk supermarket.

Dampak lingkungan dari kebocoran refrigeran dapat ditentukan melalui estimasi kebocoran berbagai sistem refrigerasi dan aplikasinya yang sudah dipublikasikan. Dampak lingkungan secara langsung dilaporkan tergantung pada jenis sistem refrigerasi, jumlah pengisian refrigeran dan jenis sambungan sistem pemipaan sistem refrigerasi. Angka umum yang digunakan untuk jumlah pengisian refrigeran yang sering disebut dengan nilai SRC (*specific refrigerant charge*) pada sistem refrigerasi disediakan dalam MTP [9]. Adapun jumlah massa pengisian refrigeran dan tingkat kebocoran refrigeran dari empat studi yang berbeda untuk berbagai jenis refrigeran dan sistem refrigerasi dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Jumlah massa pengisian refrigeran spesifik untuk berbagai aplikasi sistem refrigerasi [9]

Sektor/Jenis peralatan	Jumlah massa pengisian refrigeran spesifik (kg/kW)			
	HC	HFC/HCFC	R-717	R-744
Refrigerasi domestik	0,20 – 0,45	0,70 – 1,2	-	-
<i>Refrigerasi retail:</i>				
Sistem integral	0,25 – 0,60	0,60 – 1,5	-	0,30 – 0,75
Sistem split	-	0,40 – 0,70	-	0,20 – 0,35
Sistem sentral	0,15 – 0,35	2,0 – 5,0	0,09 – 0,21	1,0 – 2,5
<i>Sistem AC:</i>				
Sistem split	0,10 – 0,15	0,25 – 0,70	-	0,15 – 0,35
Chiller	0,13 – 0,15	0,27 – 0,35	0,04 – 0,25	-
Pompa kalor	0,08 – 0,11	0,19 – 0,53	-	0,10 – 0,25

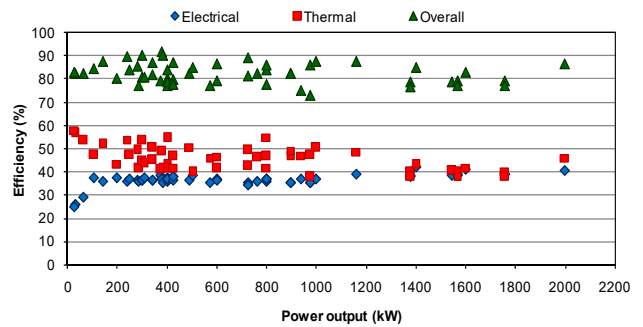
Tabel 3. Perkiraan tingkat kebocoran refrigeran tahunan dari hasil empat studi untuk berbagai aplikasi sistem refrigerasi [9]

Sektor/Jenis peralatan	Tingkat kebocoran tahunan (% massa pengisian)			
	Johnson (1998)	March (1999)	Haydock (2003)	ETSU (1997)
Refrigerasi domestik	1%	1%	0,3 - 0,7%	2,5%
<i>Refrigerasi retail:</i>				
Sistem integral	9 – 23%		3 – 5%	2,5%
Sistem split	10 – 20%		8 – 15%	15%
Sistem sentral	10 – 25%		10 – 20%	8%
<i>Sistem AC:</i>				
Sistem split	12 – 20%		8 – 12%	
Chiller	15 -22%	3 – 10%	3 – 5%	4%
Pompa kalor	3 – 10%		3 – 5%	4%

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem energi di sebuah supermarket umumnya terdiri dari sistem refrigerasi, sistem pemanas dan sistem AC dan pasokan listrik yang berasal dari suplai listrik nasional. Efisiensi sistem energi secara keseluruhan relatif rendah di bawah 55%, karena variasi musiman dalam permintaan dan efisiensi pembangkitan listrik yang relatif rendah di pembangkit listrik serta karena adanya kerugian distribusi di jaringan listrik [13].

Salah satu alternatif untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi di supermarket adalah melalui penerapan pembangkitan listrik lokal terintegrasi dengan pemanfaatan panas buang yang disebut *Combined Heat and Power* (CHP) yang juga dikenal sebagai *co-generation*. CHP adalah metode yang sangat efisien untuk secara bersamaan menghasilkan listrik dan panas pada atau dekat dengan pemakaian. Sehingga mengurangi rugi-rugi distribusi. Sistem CHP dapat mencapai efisiensi keseluruhan hingga 85% [14], yang secara signifikan lebih tinggi daripada produksi listrik dan panas yang terpisah. CHP dapat menawarkan pengurangan biaya energi dan dapat menggunakan berbagai bahan bakar, termasuk gas, minyak, biogas, bio-fuel, biomassa dan limbah.



Gambar 3. Efisiensi tipikal CHP dengan mesin berbahan bakar gas [15]

Efisiensi CHP bervariasi tergantung pada jenis sistem, bahan bakar, output daya listrik dan yang paling penting ketersediaan permintaan yang cukup untuk listrik yang dihasilkan dan energi termal. Gambar 3 menunjukkan variasi efisiensi pemanfaatan bahan bakar CHP berbasis bahan bakar gas untuk ukuran output daya yang berbeda dan pemanfaatan beban penuh 100%. Dapat dilihat bahwa efisiensi keseluruhan CHP dapat melebihi 70% dan kadang-kadang dapat mencapai 90%, hampir 50% lebih tinggi daripada efisiensi listrik yang dihasilkan dari jaringan listrik nasional.

Dalam aplikasi supermarket, permintaan listrik yang stabil dan energi termal tidak tersedia sepanjang tahun. Permintaan panas sangat bervariasi antara musim panas dan musim dingin. Efisiensi CHP, oleh karena itu, turun secara signifikan di musim panas yang juga mengurangi efisiensi musiman secara keseluruhan. Selama musim panas, pertimbangan dapat dilakukan untuk mengeksplor energi termal ke fasilitas tetangga, tetapi pendekatan ini menimbulkan kompleksitas dan biaya. Di mana tidak layak untuk mengeksplor panas, strategi mengikuti panas dapat diadopsi di mana output panas dimodulasi untuk mengikuti permintaan panas setempat. Strategi ini, bagaimanapun, menghasilkan fluktuasi pada pembangkit listrik yang mengakibatkan impor listrik dari Jaringan Nasional.

Strategi ini mengarah pada efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan pengoperasian beban penuh [16].

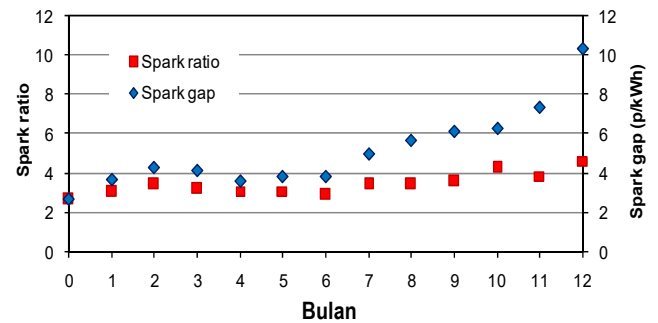
Untuk mencapai efisiensi tinggi, sistem CHP harus beroperasi pada beban maksimum untuk sebagian besar waktu dan membuat pemanfaatan maksimum dari daya listrik dan panas yang dihasilkan. Salah satu cara untuk memastikan efisiensi konversi energi yang tinggi dari sistem CHP dipertahankan sepanjang tahun adalah dengan menggunakan beberapa panas berlebih yang tersedia dalam periode permintaan panas rendah untuk menjalankan sistem refrigerasi absorpsi yang dapat memberikan efek pendinginan. Integrasi CHP dan sistem refrigerasi absorpsi atau teknologi lain untuk menyediakan daya listrik, pemanasan dan refrigerasi atau pendinginan udara secara bersamaan disebut trigenerasi [1]. Trigenerasi juga dikenal sebagai CCHP (Combined Cooling, Heating and Power) atau CHRP (Combined Heating, Refrigeration and Power) seperti pada Bassols et al. [17] dan Maidment and Prosser [18]. Istilah poligenerasi juga kadang-kadang digunakan untuk produksi gabungan dan simultan listrik, panas, dingin dan bentuk energi bermanfaat lainnya [19].

Sistem trigenerasi telah digunakan di sejumlah aplikasi termasuk bangunan komersial dan fasilitas industri. Sebagian besar dari sistem ini untuk aplikasi pendingin ruang, dan sebagian kecil untuk aplikasi pendinginan di industri pengolahan makanan yang membutuhkan temperatur di bawah 0 °C. Sejumlah penyelidikan terhadap penerapan trigenerasi di industri makanan telah dilaporkan dalam 10 tahun terakhir. Bassols et al. [17], menggambarkan contoh sistem amonia-air dalam industri makanan. Evaluasi teoritis trigenerasi untuk aplikasi supermarket telah menunjukkan bahwa sistem dapat menyediakan penghematan energi 20% dengan periode pengembalian yang menarik [20-22]. Tassou et al. [1] dan Sugiarta et al. [23] menunjukkan bahwa teknologi trigenerasi berbasis turbin gas mikro yang terintegrasi dengan sistem pendingin refrigerasi absorpsi air-amonia dapat memberikan manfaat ekonomi dan aspek lingkungan yang menjanjikan ketika digunakan dalam aplikasi supermarket. Para penulis menunjukkan bahwa periode pengembalian antara 3 dan 5 tahun dapat dicapai. Arteconi et al. [24] melaporkan bahwa sistem trigenerasi dalam aplikasi supermarket dapat menghasilkan penghematan energi primer sebesar 56% dengan periode pengembalian kurang dari 5 tahun.

Usia ekonomis suatu sistem trigenerasi untuk aplikasi supermarket sangat sensitif terhadap rasio harga listrik relatif terhadap harga gas yang juga dikenal sebagai spark ratio. Sistem trigenerasi berbahan bakar gas akan menarik secara ekonomi ketika spark ratio lebih besar dari 3,3 [1,16,23]. Kenaikan harga listrik dan bahan bakar dapat meningkatkan spark ratio dan spark gap antara listrik dan gas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Tren spark ratio yang baik dan spark gap bersama dengan meningkatnya kepedulian terhadap dampak lingkungan dari industri retail pangan telah meningkatkan minat dalam penerapan teknologi trigenerasi ke supermarket di berbagai negara di Eropa.

Seperti yang ditunjukkan sebelumnya dampak lingkungan utama dari sistem refrigerasi adalah dari penggunaan energi dan dari kebocoran refrigeran. Solusi alternatif untuk mengurangi emisi dari kebocoran refrigeran adalah dengan menggunakan refrigeran ramah lingkungan,

seperti refrigeran natural atau dengan refrigeran sekunder. Melinder dan Granryd [25] menunjukkan bahwa sistem refrigerasi tidak langsung dapat mengurangi jumlah pengisian refrigeran secara drastis hingga 5-15% dari sistem refrigerasi DX (*direct expansion*).



Gambar 4. Tipikal perbandingan harga listrik dan gas yang menjadi pertimbangan dalam penerapan CHP [26]

CO₂ adalah salah satu refrigeran alami yang telah mendapat perhatian cukup besar sejak 20 tahun terakhir. Penelitian dan pengembangan khususnya di Skandinavia, AS dan Jepang ditujukan untuk mengembangkan sistem refrigerasi CO₂ untuk berbagai aplikasi mulai dari pendingin komersial kecil dan sistem AC gedung hingga AC mobil dan sistem komersial dan industri yang lebih besar, termasuk supermarket. Sebagian besar pekerjaan pengembangan pada sistem CO₂ untuk supermarket telah berlangsung di Skandinavia dan Jerman. Namun minat yang signifikan dalam pendinginan CO₂ juga telah ditunjukkan di beberapa supermarket di Inggris, Australia, Kanada dan Amerika Latin.

Peningkatan minat aplikasi pada rantai supermarket untuk bergerak menuju teknologi refrigerasi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan termasuk refrigerasi CO₂. Pada tahun 2009 ada 46 retail di seluruh Inggris menggunakan teknologi berbasis CO₂, meningkat dari hanya 14 retail pada tahun 2008 [8]. Sebagian besar sistem awal beroperasi pada siklus sub-kritikal di mana CO₂ digunakan dalam sistem bertingkat dengan sistem refrigerasi konvensional yang beroperasi dengan refrigeran amonia, HC atau HFC. Sistem seperti ini mampu menjaga tekanan dalam sistem CO₂ relatif rendah, tetapi masih ada kelemahannya karena menggunakan refrigeran lain seperti HFC dengan implikasi dampak pemanasan global.

Cara lain untuk meningkatkan kinerja sistem refrigerasi CO₂ serta benar-benar menghindari penggunaan refrigeran HFC adalah dengan menggunakan sistem refrigerasi CO₂ bertingkat dengan sistem dengan refrigeran HC atau amonia pada sistem tekanan tingginya. Bellstedt [27] mengindikasikan bahwa sistem CO₂/NH₃ dapat mencapai penghematan energi tahunan hingga 35% dibandingkan sistem R-404A konvensional. Namun, sebagian besar retail di Eropa telah enggan menggunakan HC dan amonia di supermarket karena mudah terbakar dan toksisitasnya. Pilihan lain adalah menggunakan sistem refrigerasi CO₂ cascade dengan sistem absorpsi. Solusi ini sangat menguntungkan ketika sistem pendinginan absorpsi menggunakan panas buang atau terintegrasi dengan sistem CHP.

4. Kesimpulan

Kajian literatur potensi penerapan sistem CHP dan sistem refrigerasi refrigeran natural untuk konservasi energi dan keselamatan lingkungan pada aplikasi gedung supermarket sudah dilakukan. Ditemukan bahwa CHP adalah salah satu alternatif untuk meningkatkan secara optimal potensi pemanfaatan energi di supermarket. Sistem CHP ditemukan dapat mencapai efisiensi keseluruhan hingga 85%. Salah satu cara untuk memastikan efisiensi konversi energi yang tinggi dari sistem CHP sepanjang tahun dapat dilakukan dengan menggunakan panas berlebih yang tersedia pada periode permintaan panas rendah untuk menjalankan sistem refrigerasi absorpsi yang dapat memberikan efek pendinginan. Integrasi CHP dan sistem refrigerasi absorpsi untuk menyediakan daya listrik, pemanasan dan refrigerasi atau pendinginan udara secara bersamaan disebut sistem trigenerasi. Sistem ini juga mampu mengurangi dampak lingkungan tak langsung dengan penggunaan energi yang lebih efisien.

Adapun solusi alternatif yang ditemukan dalam kajian ini untuk mengurangi emisi langsung dari kebocoran refrigeran sistem refrigerasi adalah dengan menggunakan refrigeran ramah lingkungan, seperti refrigeran HC, CO₂ dan ammonia. Juga ditemukan sistem refrigerasi CO₂ bertingkat dengan sistem dengan refrigeran HC atau amonia atau sistem absorpsi pada sistem tekanan tinggi merupakan solusi yang sangat menguntungkan dari aspek keselamatan lingkungan. Potensi keunggulan semakin meningkat ketika sistem refrigerasi absorpsi menggunakan panas buang dari sebuah sistem CHP.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim publikasi Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) dan Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali atas bantuan dan dukungan administrasi dalam penyelesaian penelitian yang terkait dengan paper ini.

Daftar Pustaka

- [1] S.A. Tassou, I. Chaer, N. Sugiarta, Y.T. Ge, D. Marriott, "Application of trigeneration systems to the food retail industry", *Energy Conversion & Management* 48, 2007, pp. 2988-95.
- [2] S.A. Tassou, J.S. Lewis, Y.T. Ge, A. Hadawey, I. Chaer, "A review of emerging technologies for food refrigeration applications", *Appl. Therm. Eng.* 30, 2010, pp. 263-76.
- [3] CIBSE Guide F, "Energy efficiency in buildings", 2nd edition, London, The Chartered Institution of Building Services Engineers Publications, London, 2004, 261 pgs.
- [4] Tesco, 2009, tersedia di: http://tesco_energyict.com/tesco_webclient/.
- [5] J.A. Evans, "Frozen food science and technology", FRPERC University of Bristol, UK, Blackwell Publishing Ltd, 2008, 355 pgs.
- [6] J.M.W. Lawrence, and D. Gibson, "Energy use across supermarket refrigeration", Proc. 1st IIR International cold chain conference, Sustainability and the Cold Chain, Cambridge, 2010, paper no. 242, 12 pgs.
- [7] S.A. Tassou, Y.T. Ge, A. Hadawey, D. Marriott, "Energy consumption and conservation in food retailing", *Appl. Therm. Eng.* 31, 2011, pp. 147-56.
- [8] F. Walravens, J. Hailes, N. Cox, "ChillingFacts: The big supermarket refrigeration scandal", EIA, London, 2009, 8 pgs.
- [9] MTP, "BNCR36: Direct emission of refrigerant gases. Market Transformation Programme", 2008, tersedia di: <http://efficient-products.defra.gov.uk/cms/product-strategies/subsector/commercial-refrigeration>.
- [10] CanmetENERGY, "CO₂ as a refrigerant in a Sobeys Supermarket, a case study. Natural Resources Canada", 2009, 8 pgs, available from: <http://canmetenergy.nrcan.gc.ca>.
- [11] TOC, "Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps", UNEP, Nairobi, 2006, 223 pgs
- [12] D. Cowan, I. Chaer, G. Maidment, "Reducing refrigerant emissions and leakage – An overview and feedback from two EU projects", Proc. Sustainable Refrigeration and Heat Pump Conference, Stockholm, Sweden, 2010, 16 pgs.
- [13] S.A. Tassou, I.N. Suamir, "Trigeneration – a way to improve food industry sustainability", Proc. SEEP 2010 Conference, Bari, ITALY, 2010, 14 pgs.
- [14] CIBSE CHP Group, "Spark ignition gas engine CHP", 2005, tersedia di: www.cibse.org/chp.
- [15] Cogenco, "Cogenco cogeneration units 50 Hz range on natural gas", 2008, tersedia online di: <http://www.cogenco.com>
- [16] N. Sugiarta, I. Chaer, S.A. Tassou, D. Marriott, "Assessment of a micro-gas turbine based trigeneration system in a supermarket", Proc. The International Conference of Fluid and Thermal Energy Conversion, Jakarta, Indonesia, 2006, 12 pgs.
- [17] J. Bassols, B. Kuckelkorn, J. Langreck, R. Schneider, H. Veelken, "Trigeneration in the food industry", *Appl. Therm. Eng.* 22, 2002, pp. 595–602.
- [18] G.G. Maidment, G., Prosser, "The use of CHP and absorption cooling in cold storage", *Appl. Therm. Eng.* 20, 2000, pp. 1059–73.
- [19] PolySMART, "Polygeneration in Europe – a technical report", 2008, 200 pgs, tersedia di: <http://www.poly-generation.org/>.
- [20] G.G. Maidment, X. Zhao, S.B. Riffat, G. Prosser, "Application of combined heat and power and absorption cooling in a supermarket", *Applied Energy* 63, 1999, pp. 169-190.
- [21] G.G. Maidment, X. Zhao, S.B. Riffat, "Combined cooling and heating using a gas engine in a supermarket", *Applied Energy* 68, 2001, pp. 321–35.
- [22] G.G. Maidment, and R.M. Tozer, "Combined cooling heat and power in supermarkets", *Appl. Therm. Eng.* 22, 2002, pp. 653-65.
- [23] N. Sugiarta, S.A. Tassou, I. Chaer, D. Marriott, "Trigeneration in food retail: An energetic, economic and environmental evaluation for a supermarket application", *Appl. Therm. Eng.* 29, 2008, pp. 2624–32.
- [24] A. Arteconi, C. Brandoni, F. Polonara, "Distributed generation and trigeneration: Energy saving

- opportunities in Italian supermarket sector”, *Appl. Therm. Eng.* 29, 2009, pp. 1735-43.
- [25] A. Melinder, and E. Granryd, “What to consider when using secondary fluids in indirect systems”, *Proc. Sustainable Refrigeration and Heat Pump Conference*, Stockholm, Sweden, 2010, 12 pgs.
- [26] M. Moorjani, “CHP in industrial and commercial sectors, a case study”, 2009, tersedia di: <http://chp.decc.gov.uk/cms/presentations-archive/>.
- [27] M. Bellstedt, “Carbon dioxide systems for supermarkets review”, *Green Cooling Council (GCC)*, 2008, 5 pgs, tersedia di: <http://www.r744.com>.