

PENGARUH KEBISINGAN TERHADAP PERFORMANSI SISTEM REFRIGERASI

I MADE SUGINA

Politeknik Negeri Bali

Komplek Bukit Jimbaran - Badung Bali

ABSTRACT

Noise is a longitudinal wave which is known as pressure wave. Therefore, noise is expected to disturb the stability of fluid flow. The disturbance is expected to increase the heat transfer of fluid flow. In this research, noise was applied to condenser cooling of air in a refrigeration system. Effect generated is directly measured by amount of heat capable to be released into the air passing condenser, and indirectly by the compressor energy required and coefficient of performance (COP) of refrigeration system. Experimental results indicate that noise with intensity level of 115 dB with frequency around 100–500 Hz at air velocity of 5,3 m / s increases the amount of heat capable to be released into the air which is 10,1%, reduces compressor energy to 12,8% and increases coefficient of performance (COP) by 11,4% compared to flow without noise.

Key words: noise, intensity level, frequency, condenser, refrigeration system

PENDAHULUAN

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) mempunyai penggunaan yang luas dalam industri seperti industri pengolahan makanan, industri kimia, industri otomotif dan terutama dalam dua puluh tahun terakhir banyak diaplikasikan dalam sistem refrigerasi sebagai evaporator dan kondensor. Kondensor dan evaporator memiliki peranan yang sangat penting dalam meningkatkan performansi dari sistem refrigerasi. Improvisasi dalam desain *heat exchanger* banyak menarik perhatian peneliti dalam waktu yang lama untuk mendapatkan suatu *heat exchanger* yang kompak dan tidak terlalu mahal dengan performansi energi yang tinggi. Untuk mendapatkan sistem thermal dengan performansi yang tinggi para peneliti menggunakan beberapa metode untuk meningkatkan perpindahan panas. Beberapa di antaranya seperti menggunakan gelombang listrik atau suara, vibrasi permukaan, *fluida additive*, bentuk geometri permukaan yang khusus. Secara umum, pengurangan tebal lapisan batas aliran, meningkatkan intensitas turbulensi, pencampuran (*mixing*) pada aliran utama, menciptakan putaran dan aliran sekunder dapat meningkatkan perpindahan panas (Webb, 1994).

Dari sudut pandang ilmu fisika, kebisingan adalah gelombang longitudinal yang dikenal

sebagai gelombang tekanan. Jika ia dikenakan ke aliran fluida maka kestabilan aliran fluida menjadi terganggu (Wardana, 1998). Kebisingan dapat diartikan sebagai suara yang tidak kita inginkan, yang bila terjadi terus-menerus akan menyebabkan ketidaknyamanan. Kebisingan merupakan problem lingkungan yang timbul akibat pertumbuhan pesat komunikasi, industrialisasi, transportasi, dan populasi penduduk. Pemanfaatan kebisingan untuk meningkatkan performansi alat penukar kalor, secara aplikatif lebih sederhana dibandingkan dengan cara vibrasi permukaan, misalnya yang memerlukan disain yang lebih rumit. Di samping itu, untuk memanfaatkan kebisingan yang yang tidak bisa dihindari pada lingkungan-lingkungan tertentu.

Penelitian ini dilakukan pada suatu Instalasi aparat uji sistem refrigerasi yang terdiri atas komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Perlakuan terhadap sistem refrigerasi dilakukan pada bagian kondensor dan evaporator.

Kebisingan dengan variasi intensitas dan frekuensi ditambahkan pada aliran udara masuk kondensor pada berbagai tingkat kecepatan udara.

Beban kalor udara di evaporator dijaga agar bisa relatif konstan untuk setiap perlakuan pada

kondensor. Hal ini dimaksudkan agar perubahan kinerja sistem refrigerasi hanya dipengaruhi oleh perlakuan pada kondensor.

Pengaruh dari perlakuan-perlakuan tersebut diamati terhadap: jumlah panas yang mampu dilepas ke udara oleh kondensor, daya yang dibutuhkan kompresor dan koefisien performansi (COP) dari sistem refrigerasi.

Performansi sebelum dan setelah efek kebisingan kemudian dibandingkan dan dianalisis untuk mencari tingkat Intensitas (dB) dan frekuensi kebisingan yang memberikan pengaruh yang paling besar.

Pengkajian pengaruh gelombang suara (kebisingan) terhadap aliran fluida dapat ditemukan dalam beberapa hasil-hasil penelitian. Parker dan Welsh (1983), mengkaji pengaruh kebisingan terhadap sparasi aliran pada ujung plat (sirip). Hasilnya menunjukkan bahwa apabila tekanan suara dalam aliran ditingkatkan sampai sekitar 120 dB, maka terbentuk *large scale motion* berupa vortex. Terbentuknya vortex menyebabkan timbulnya suatu peristiwa di mana aliran luar menyusup ke dalam lapisan batas. Pada saat yang sama gerakan tersebut diikuti oleh ejeksi fluida berkecepatan relatif rendah dari permukaan sirip. Mekanisme ini merupakan intensifikasi fenomena *bursting*.

Fenomena yang sama juga dijumpai dalam aliran lapisan batas yang diganggu kebisingan (Wardana, 1997,1998). Dari temuan-temuan tersebut dipastikan bahwa kestabilan aliran dipengaruhi oleh perubahan tekanan, tegangan geser, dan gaya badan (*body force*). Peristiwa seperti ini juga dikemukakan di dalam hasil penelitian Barlow dan Jonston (1988). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa *large scale coherent motion* diperkuat oleh peningkatan gaya sentrifugal. Seperti terlihat pada persamaan berikut bahwa kenaikan sembarang gaya badan akan disertai oleh pergeseran kestabilan aliran (Incropera dan DeWitt, 1996). Ketidakstabilan ini memperkuat *large scale coherent motion*.

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho V) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho V) = 0$$

Persamaan momentum:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho U) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho U U) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho V U) = \\ - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (\mu \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu \frac{\partial U}{\partial y}) + F_x \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho V) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho U V) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho V V) = \\ - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (\mu \frac{\partial V}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu \frac{\partial V}{\partial y}) + F_y \end{aligned}$$

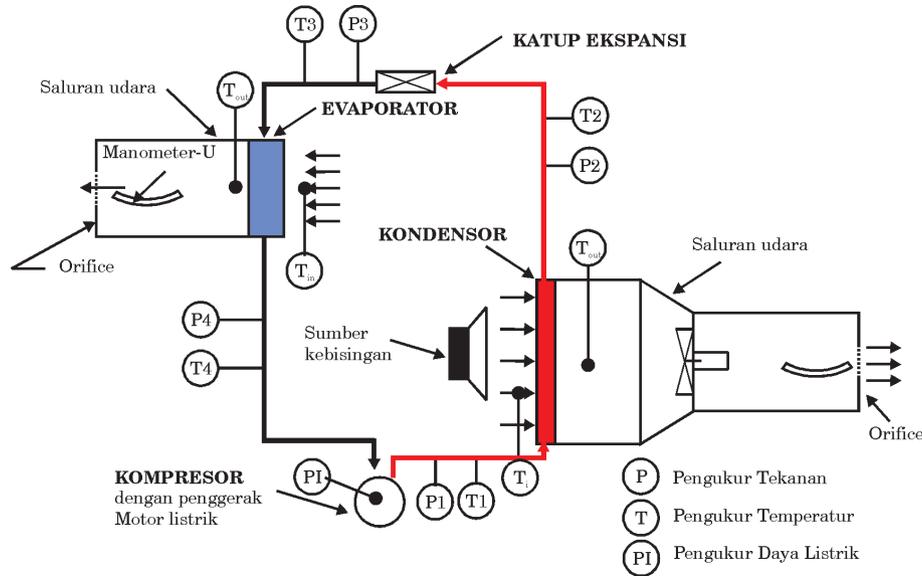
Dari sudut pandang ilmu fisika, kebisingan adalah gelombang longitudinal yang dikenal sebagai gelombang tekanan. Oleh karena itu, dengan memperhatikan persamaan momentum di atas kebisingan dapat memodifikasi distribusi tekanan aliran ($\partial P / \partial x, \partial P / \partial y$). Akibatnya kestabilan aliran akan berubah. Dengan terganggunya kestabilan aliran fluida maka kemampuan perpindahan panas dari fluida tersebut menjadi meningkat.

Efek yang ditimbulkannya dilihat pengaruhnya terhadap performansi sistem refrigerasi, meliputi kemampuan melepaskan kalor ke udara yang melewati kondensor, daya yang diperlukan kompresor dan koefisien performansi (COP). Pada penelitian ini diteliti pengaruh kebisingan pada aliran udara yang digunakan sebagai fluida pendingin dari kondensor.

METODE

Instalasi aparat uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti terlihat dalam Gambar 1. Skema alat uji ini terdiri atas komponen utama sistem refrigerasi, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, evaporator dan dilengkapi seperangkat alat penghasil kebisingan; generator fungsi (*function generator*), *amplifier audio*, *woofer* dan seperangkat alat ukur: temperatur, tekanan dan tingkat intensitas kebisingan.

Perlakuan terhadap sistem refrigerasi dilakukan pada bagian kondensor dan evaporator. Pada kedua bagian ini masing-masing dibuatkan saluran udara yang dilengkapi dengan orifice, beberapa alat ukur temperatur, pipa pitot dan manometer-U.



Gambar 1. Skema instalasi pengujian

Kebisingan dari alat pembangkit ditambahkan pada aliran udara masuk kondensator pada berbagai tingkat kecepatan. Kecepatan udara diatur dengan mengontrol putaran fan pada saluran udara di kondensator. Beban kalor evaporator dijaga agar bisa relatif konstan untuk setiap perlakuan pada kondensator. Hal ini dimaksudkan agar perubahan kinerja sistem refrigerasi hanya dipengaruhi oleh perlakuan pada kondensator. Besarnya beban kalor udara yang melewati evaporator dapat dikontrol dengan menyesuaikan massa aliran dengan perubahan temperatur udara untuk mencapai $Q = m.C.\Delta T$ yang tetap. Massa aliran m diubah-ubah dengan mengatur kecepatan udara masuk melalui pengatur kecepatan pada blower.

Variabel yang diamati adalah pengaruh dari perlakuan yang diberikan pada kondensator terhadap jumlah kalor yang mampu dilepas ke udara yang melewati kondensator, daya yang dibutuhkan kompresor dan COP dari sistem refrigerasi. Perlakuan yang diberikan pada kondensator adalah kombinasi dari tingkat intensitas dan frekuensi kebisingan dengan tingkat kecepatan udara melewati kondensator. Dalam penelitian ini, tingkat kecepatan udara yang dipakai adalah 4,3; 5,3; 6,1; 6,8 m/s sedangkan tingkat intensitas kebisingan adalah 90, 100, 115 dB dan frekuensi kebisingan adalah 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 Hz.

Prosedur pengambilan data sebagai berikut:

Setelah tahap persiapan dilaksanakan yakni sistem dan semua instrumentasi yang terpasang bekerja dengan baik maka sistem kemudian dikenai perlakuan-perlakuan. Pembebanan pada evaporator dijaga relatif konstan untuk semua perlakuan. Pengambilan data dilakukan setelah sistem menjadi stabil. Cara pengambilan data dilakukan dengan dua cara yaitu: 1) Dengan pengamatan langsung pada alat ukur dan dicatat secara manual. Data-data yang diambil dengan cara ini adalah temperatur udara luar, tekanan refrigeran, posisi kolom air pada manometer-U, arus dan tegangan listrik pada motor listrik; dan 2) pengambilan data secara otomatis dengan menggunakan ADC yang dihubungkan dengan komputer dan dikendalikan oleh sebuah perangkat lunak. Data-data yang diambil dengan cara ini adalah temperatur udara setelah melewati kondensator (3 posisi), temperatur udara setelah melewati evaporator (1 posisi), temperatur refrigeran (4 posisi). Pada pengambilan data secara otomatis, kecepatan perekaman adalah 1 Hz, yaitu satu data setiap satu detik selama 2 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah kalor yang mampu dilepaskan ke udara oleh kondensator akibat perubahan kecepatan udara pada berbagai intensitas dan frekuensi

ternyata menunjukkan nilai yang variatif. Tanpa kebisingan, dari Gambar 2 dan Tabel 1 terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya kecepatan udara, jumlah kalor yang mampu dilepas ke udara oleh kondensor semakin meningkat, yaitu dari 2,627 kW pada kecepatan udara 4,3 m/s menjadi 2,647 kW pada kecepatan 5,3 m/s, 2,896 kW pada kecepatan 6,1 m/s dan 3,470 kW pada kecepatan 6,8 m/s.

Dengan kebisingan jumlah kalor yang mampu dilepas ke udara meningkat untuk semua kecepatan udara. Pada Gambar 2 dan Tabel 1 terlihat bahwa pada kecepatan udara 4,3 m/s peningkatan intensitas kebisingan pada semua frekuensi menurunkan jumlah kalor rata-rata yang mampu dilepas ke udara, yaitu dari 3,6% pada 90 dB menjadi 2,8% pada 100 dB, kemudian menjadi 2,4% pada 115 dB. Sedangkan pada kecepatan udara 5,3 m/s sampai 6,8 m/s terjadi kenaikan jumlah kalor yang mampu dilepas ke udara akibat kenaikan tingkat intensitas kebisingan. Pada kecepatan udara 5,3 m/s kebisingan memberikan pengaruh yang paling besar yaitu dari 3,8% pada 90 dB, 7,9% pada 100 dB dan 9,7% pada 115 dB. Hal ini menunjukkan bahwa kebisingan memberikan pengaruh yang optimal pada kecepatan udara 5,3 m/s karena di atas kecepatan tersebut justru pengaruhnya berkurang. Dari berbagai perlakuan didapatkan bahwa tingkat intensitas kebisingan 115 dB pada kecepatan udara 5,3 m/s memberikan pengaruh yang paling besar terhadap pelepasan kalor ke udara untuk seluruh frekuensi kebisingan, yaitu rata-rata 9,7%.

Kenaikan maksimum jumlah kalor yang mampu dilepas ke udara akibat perubahan kecepatan udara, tingkat intensitas dan frekuensi kebisingan ditampilkan pada Tabel 1. Pada kecepatan udara 4,3 m/s, kenaikan maksimum dihasilkan oleh kebisingan dengan tingkat intensitas 90 dB dengan frekuensi 3500 Hz, yaitu sebesar 3,8%. Sedangkan pada kebisingan 100 dB dengan frekuensi 2000 Hz sebesar 3,1% dan pada kebisingan 115 dB dengan frekuensi 600 Hz kenaikan maksimumnya sebesar 2,7%.

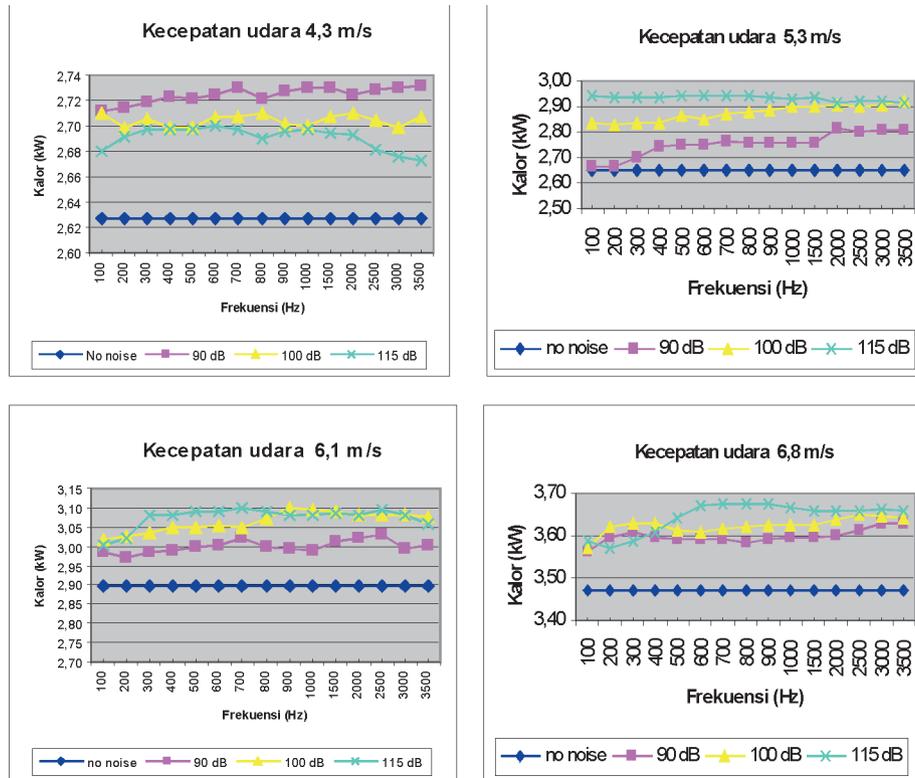
Pada kecepatan yang lebih tinggi, mulai 5,3 m/s sampai 6,8 m/s terlihat bahwa dengan kenaikan tingkat intensitas kebisingan maka persentase kenaikan maksimum kalor udara yang dapat dicapai juga meningkat pada masing-

masing tingkat kecepatan udara, sedangkan besarnya frekuensi kebisingan menunjukkan kecenderungan yang menurun. Persentase kenaikan maksimum pada masing-masing tingkat intensitas kebisingan terjadi pada kecepatan udara 5,3 m/s yang dihasilkan oleh: kebisingan dengan tingkat intensitas 90 dB dengan frekuensi 2000 Hz sebesar 5,9%, kebisingan 100 dB dengan frekuensi 3500 Hz sebesar 9,3% dan kebisingan 115 dB dengan frekuensi 500 Hz sebesar 10,1%. Maka dari variasi kecepatan udara, tingkat intensitas dan frekuensi kebisingan dihasilkan kenaikan pelepasan kalor ke udara maksimum sebesar 10,1% oleh kebisingan berintensitas 115 dB dan frekuensi 500 Hz pada kecepatan udara 5,3 m/s.

Dengan kebisingan maka rata-rata terjadi peningkatan jumlah kalor yang mampu dilepas ke udara. Hal ini sesuai dengan hipotesis, yaitu kebisingan dapat meningkatkan kalor yang mampu dilepas ke udara yang melewati kondensor. Ini juga sesuai dengan kajian pada penelitian-penelitian Parker dan Welsh (1983) dan Wardana (1998).

Fenomena yang didapat dari perubahan kecepatan udara, tingkat intensitas dan frekuensi kebisingan terhadap kalor yang mampu dilepas ke udara yang melewati kondensor adalah: pada kecepatan udara yang rendah maka untuk mendapatkan kenaikan jumlah kalor udara yang tinggi diperlukan kebisingan dengan tingkat intensitas relatif rendah (90 dB) dan frekuensi yang relatif tinggi (3500 Hz), sedangkan pada kecepatan udara yang lebih tinggi diperlukan kebisingan dengan tingkat intensitas relatif besar (115 dB) dan frekuensi yang relatif rendah (500 Hz).

Fenomena di atas dapat dijelaskan sebagai berikut: pada aliran udara dengan kecepatan rendah aliran cenderung laminar, tidak terjadi olakan, ikatan antara atom udara masih kuat. Maka untuk meningkatkan kemampuan perpindahan panas dari aliran diperlukan kebisingan dengan frekuensi yang tinggi tetapi tingkat intensitasnya (energinya) rendah. Jadi yang lebih berperan dalam hal ini adalah frekuensinya. Karena dengan frekuensi kebisingan tinggi akan mampu memperlemah ikatan antar molekul udara, yakni memperkecil kekentalan kinematik udara sehingga akan mempermudah terjadinya olakan (*vortex*). Sedangkan pada aliran udara dengan kecepatan tinggi, umumnya sudah terjadi olakan, maka



Gambar 2. Grafik jumlah kalor yang mampu dilepas ke udara oleh kondensator pada berbagai variasi perlakuan di kondensator

untuk dapat lebih meningkatkan gerakan dari olakan tersebut diperlukan energi atau intensitas kebisingan yang tinggi, yakni fluktuasi tekanan tinggi yang lebih mampu mengacak aliran.

Pada sistem refrigerasi kompresor berfungsi mengkompresi uap refrigeran agar kalor refrigeran dapat dibuang lebih cepat dikondensator. Besarnya beban kompresi uap refrigeran sangat dipengaruhi oleh kondisi kerja dari kondensator. Pengaruh kebisingan pada kondensator secara tidak langsung diamati pada daya yang dibutuhkan kompresor dari luar.

Tanpa kebisingan, peningkatan kecepatan udara yang melewati kondensator menurunkan beban kompresi uap refrigeran dari 0,796 kW pada kecepatan 4,3 m/s menjadi 0,734 kW pada kecepatan 5,3 m/s, 0,678 kW pada kecepatan 6,1 m/s dan 0,665 kW pada kecepatan 6,8 m/s.

Dengan kebisingan juga terjadi penurunan beban kompresi uap refrigeran pada setiap tingkat kecepatan udara. Penurunan terbesar terjadi pada kecepatan udara 5,3 m/s, yaitu sebesar 3,7%,

dihasilkan oleh intensitas kebisingan 115 dB dengan frekuensi 100 Hz, seperti terlihat Tabel 2.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa secara umum terjadi penurunan daya yang dibutuhkan kompresor akibat perlakuan di kondensator. Hal ini menunjukkan bahwa kebisingan secara tidak langsung mampu mempengaruhi kondisi kerja dari seluruh sistem pada sistem refrigerasi.

Semua ini terjadi karena dengan semakin banyak jumlah panas yang mampu diserap udara yang melewati kondensator maka tekanan dan temperatur uap refrigeran yang masuk kondensator menjadi menurun sehingga beban kompresi uap refrigeran pada kompresor juga menurun dan akibatnya daya yang dibutuhkan kompresor juga menurun.

Berdasarkan variasi perlakuan di kondensator didapat bahwa pengaruh kebisingan terhadap presentase penurunan daya kompresor terbesar terjadi pada kecepatan udara 5,3 m/s, yaitu sebesar 12,4% pada tingkat intensitas kebisingan 115 dB untuk seluruh frekuensi. Hal ini menunjukkan

Tabel 1. Kenaikan Rata-rata dan Maksimum Kalor yang Mampu Dilepas ke Udara oleh Kondensor pada Berbagai Variasi Perlakuan di Kondensor

Variasi Kecepatan udara	kebisingan Intensitas kebisingan	Qu _{kond.} Tanpa kebisingan	Qu _{kond.} rata-rata kenaikan		dengan	kebisingan Qu _{kond.} mak	
			(kW)	(%)		kenaikan	Frekuensi
(m/s)	(dB)	(kW)	(kW)	(%)	(kW)	(%)	(Hz)
4,3	90	2,627	2,724	3,6	2,732	3,8	3500
4,3	100	2,627	2,704	2,8	2,711	3,1	2000
4,3	115	2,627	2,691	2,4	2,699	2,7	600
5,3	90	2,647	2,752	3,8	2,812	5,9	2000
5,3	100	2,647	2,875	7,9	2,919	9,3	3500
5,3	115	2,647	2,933	9,7	2,946	10,1	500
6,1	90	2,896	2,999	3,4	3,029	4,4	2500
6,1	100	2,896	3,079	5,5	3,097	6,5	900
6,1	115	2,896	3,128	5,8	3,099	6,6	700
6,8	90	3,470	3,598	3,5	3,631	4,4	3000
6,8	100	3,470	3,624	4,2	3,652	5,0	2500
6,8	115	3,470	3,644	4,8	3,677	5,6	700

adanya keterkaitan antara jumlah kalor yang mampu diserap udara pada kondensor dengan besar penurunan daya pada kompresor, karena pada kecepatan udara 5,3 m/s juga dicapai jumlah kalor udara yang terbesar.

Sedangkan untuk nilai maksimum dari penurunan daya kompresor dikaitkan dengan jumlah kalor maksimum yang mampu diserap udara juga sama-sama dicapai pada kecepatan udara 5,3 m/s dengan kebisingan yang mempunyai intensitas 115 dB dan frekuensi 100 Hz dan 600 Hz.

Koefisien performansi dari sistem refrigerasi adalah kemampuan menyerap kalor dari refrigeran pada evaporator dibandingkan dengan daya yang diperlukan pada kompresor. Karena pengaruh kebisingan di kondensor diamati terhadap besarnya beban kompresi uap refrigeran dan daya yang dibutuhkan kompresor dari luar, maka besarnya pengaruh kebisingan secara tidak langsung pada koefisien performansi juga akan dihitung berdasarkan kedua besaran tersebut.

Tanpa kebisingan, peningkatan kecepatan udara yang melewati kondensor meningkatkan COP_a dari 2,92 pada kecepatan 4,3 m/s menjadi 3,10 pada kecepatan 5,3 m/s, 3,48 pada kecepatan 6,1 m/s dan 3,63 pada kecepatan 6,8 m/s.

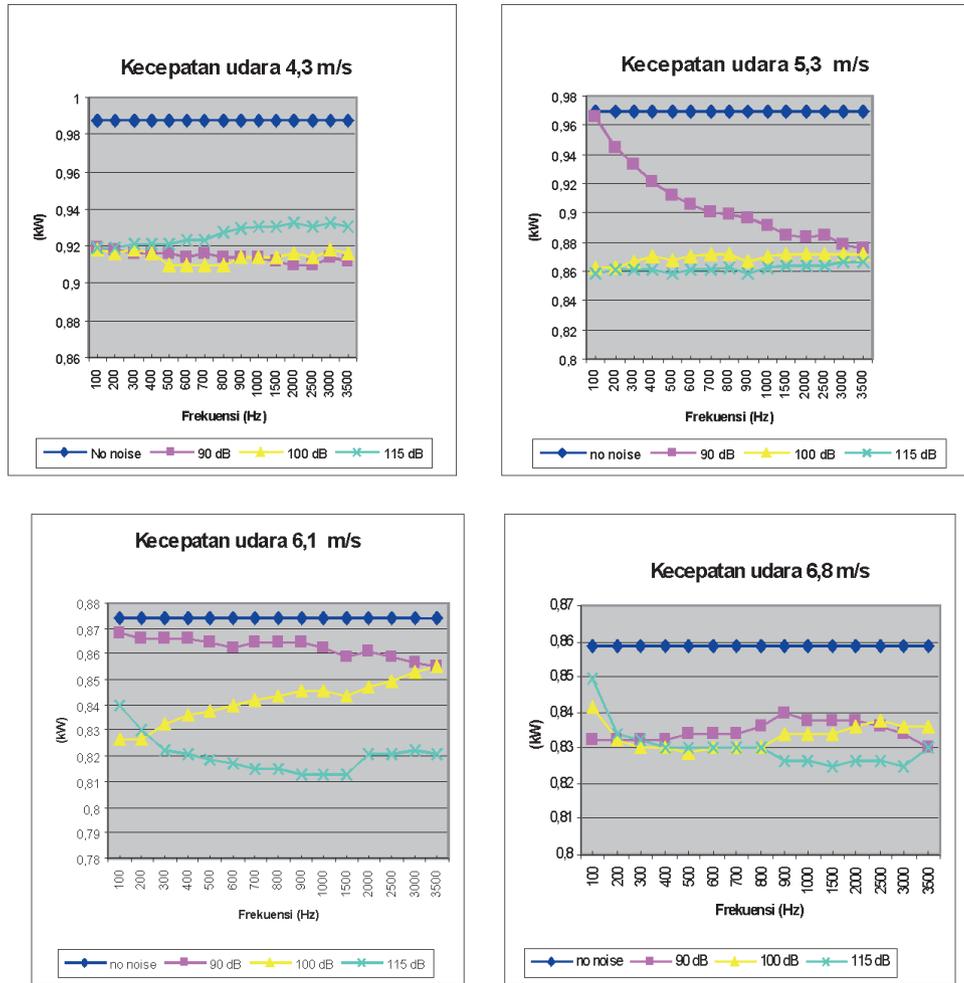
Dengan kebisingan juga terjadi peningkatan COP_a pada setiap tingkat kecepatan udara. Peningkatan terbesar terjadi pada kecepatan udara 5,3 m/s, yaitu sebesar 7,9%, dihasilkan oleh intensitas kebisingan

115 dB dengan frekuensi 100 Hz, seperti terlihat pada Gambar 4 dan Tabel 3.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa terjadi peningkatan COP sistem refrigerasi setelah adanya penambahan kebisingan pada udara yang mengalir melewati kondensor pada berbagai tingkat kecepatan. Dari pendekatan secara teoretis dengan menggunakan data-data refrigeran ternyata koefisien performansi teoretis juga mengalami kenaikan akibat perlakuan pada kondensor. Hal ini sesuai dengan hipotesis yang diambil bahwa kebisingan dapat meningkatkan koefisien performansi sistem refrigerasi.

Berdasarkan variasi perlakuan dikondensor didapat bahwa pengaruh kebisingan terhadap persentase kenaikan COP terbesar terjadi pada kecepatan udara 5,3 m/s, yaitu sebesar 11% pada intensitas kebisingan 115 dB untuk seluruh frekuensi kebisingan. Hal ini menunjukkan adanya kesesuaian atau keterkaitan antara jumlah kalor yang mampu diserap udara pada kondensor dan besar penurunan daya pada kompresor dengan kenaikan COP mesin refrigerasi, karena pada kecepatan udara 5,3 m/s juga dicapai jumlah kalor udara dan penurunan daya kompresor yang terbesar.

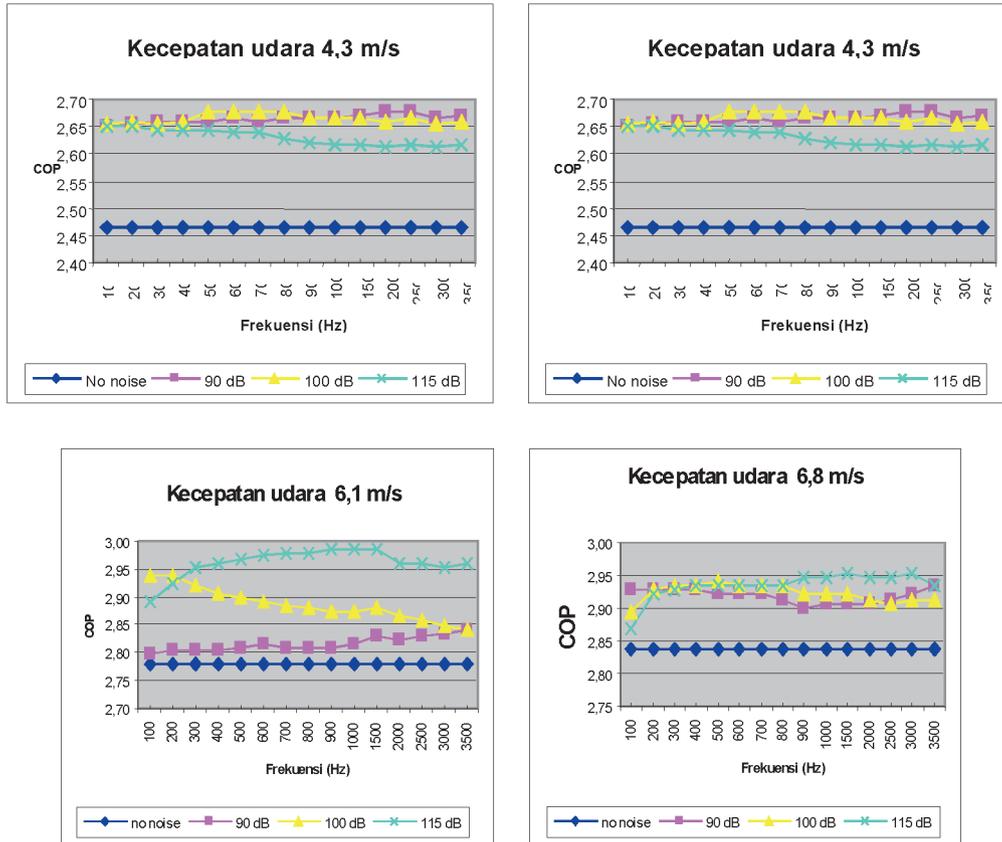
Sedangkan untuk nilai maksimum dari kenaikan COP sistem refrigerasi dikaitkan dengan jumlah kalor maksimum yang mampu diserap udara dan penurunan daya kompresor maksimum juga sama-sama dicapai pada kecepatan udara 5,3



Gambar 3. Grafik daya kompresor pada berbagai variasi perlakuan di kondensor

Tabel 2. Penurunan Rata-rata dan Maksimum Daya Kompresor pada Berbagai Perlakuan di Kondensor

Variasi Kecepatan udara (m/s)	kebisingan Intensitas kebisingan (dB)	W_k Tanpa kebisingan (kW)	WK		dengan (kW)	kebisingan	
			W_k rata-rata (kW)	Penurunan (%)		W_k mak Penurunan (%)	Frekuensi (Hz)
4,3	90	0,988	0,914	-8,1	0,912	-8,3	3500
4,3	100	0,988	0,914	-8,1	0,910	-8,6	500 - 800
4,3	115	0,988	0,926	-6,6	0,920	-7,4	100
5,3	90	0,969	0,905	-7,1	0,876	-10,6	3500
5,3	100	0,969	0,869	-11,5	0,863	-12,3	100, 200
5,3	115	0,969	0,862	-12,4	0,859	-12,8	100, 500
6,1	90	0,874	0,863	-1,3	0,855	-2,2	3500
6,1	100	0,874	0,842	-3,9	0,827	-5,7	100, 200
6,1	115	0,874	0,820	-6,5	0,813	-7,5	900, 1000
6,8	90	0,859	0,835	-2,9	0,830	-3,4	3500
6,8	100	0,859	0,833	-3,0	0,828	-3,7	500
6,8	115	0,859	0,830	-3,4	0,825	-4,1	1500



Gambar 4. Grafik koefisien performansi (COP) sistem refrigerasi pada berbagai perlakuan di kondensor

Tabel 3. Kenaikan Rata-rata dan Maksimum Koefisien Performansi (COP) Sistem Refrigerasi pada Berbagai Perlakuan di Kondensor

Variasi Kecepatan Udara (m/s)	kebisingan T. Intensitas kebisingan (dB)	COP _a Tanpa kebisingan	COP _a rata-rata		dengan	kebisingan COP _a mak	
			COP _a rata-rata	kenaikan (%)		kenaikan (%)	Frekuensi (Hz)
4,3	90	2,47	2,66	7,5	2,68	7,9	2000, 2500
4,3	100	2,47	2,66	7,5	2,68	7,9	500-800
4,3	115	2,47	2,63	6,2	2,65	6,9	100, 200
5,3	90	2,51	2,69	6,7	2,77	9,6	3500
5,3	100	2,51	2,79	10,3	2,82	11,0	100, 200
5,3	115	2,51	2,82	11,0	2,83	11,4	100
6,1	90	2,78	2,82	1,3	2,84	2,2	3500
6,1	100	2,78	2,89	3,7	2,94	5,4	100, 200
6,1	115	2,78	2,96	6,2	2,99	7,0	900, 1000
6,8	90	2,84	2,92	2,8	2,93	3,3	3500
6,8	100	2,84	2,92	3,0	2,94	3,5	500
6,8	115	2,84	2,93	3,3	2,95	4,0	1500, 3000

m/s dengan kebisingan yang mempunyai intensitas 115 dB dan frekuensi 100 Hz, 600 Hz dan 1000 Hz

atau masih sama-sama dalam frekuensi yang relatif rendah.

SIMPULAN

Secara umum intensitas kebisingan lebih berperan dalam meningkatkan COP sistem refrigerasi daripada frekuensinya. Frekuensi hanya berperan meningkatkan COP pada kecepatan udara rendah. Intensitas kebisingan berperan meningkatkan COP pada kecepatan udara tinggi.

Kebisingan intensitas 115 dB dengan frekuensi 500 Hz memberikan peningkatan maksimum kalor yang dilepas kondensor ke udara, yakni sebesar 10,1% pada kecepatan udara 5,3 m/s.

Kebisingan intensitas 115 dB dengan frekuensi 100 Hz memberikan penurunan daya kompresor maksimum sebesar 12,8% pada kecepatan udara 5,3 m/s.

Peningkatan koefisien performansi (COP) sistem refrigerasi maksimum sebesar 11,4% dihasilkan oleh kebisingan dengan tingkat intensitas 115 Db dengan frekuensi 100 Hz pada kecepatan udara 5,3 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- Barlow, R.S., Johnston, J.P., 1988. Structure of a Turbulent Boundary Layer on a Concave Surface, *J. Fluid Mech.*, 191 pp. 137 – 176.
- Incropera, FP. dan DeWitt, D. P., 1996. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 4th Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Parker, R., Welsh, M.C. 1983. *Effects of Sound on Flow Separation from Blunt Flat Plate*, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 4 No. 2, pp. 113 – 127.
- Webb, R.L., 1994. 4(2): 113–27. *Principles of Enhanced Heat Transfer*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Wardana I.N.G., 1997. Pengaruh kebisingan berintensitas rendah terhadap *Large scale coherent structure* dalam aliran lapisan batas turbulen. *Jurnal teknik*, 4(9).
- Wardana I.N.G. 1998. Pengaruh kebisingan terhadap struktur turbulensi dalam aliran lapisan batas turbulen. *Jurnal teknik*, 10(2).
- Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, 2002. *Penyegaran Udara*, Cetakan Keenam. Pradnya Paramita.