

PEMANFAATAN LIMBAH KALOR KONDENSOR AC VRV UNTUK PENYEDIAAN AIR PANAS DI RSUD AL-IHSAN

Raden I. Saputra, Bambang Ariantara, Muki S. Permana
Program Studi Magister Teknik Mesin, Pasca Sarjana Unpas
radenipan92@gmail.com

ABSTRACT

The most significant energy consumption in Hospitals is air conditioning. The use of air conditioning is always accompanied by a large release of waste heat into the environment. Regarding the need for hot water in hospitals, currently many use water heaters in the form of electric water heaters and heat pumps. The purpose of this study was to analyze the potential utilization of waste heat condenser AC VRV which can be utilized for hot water supply at Al-Ihsan Hospital, conduct an energy demand analysis, conduct a feasibility study on technical, economic and risk aspects, as well as design a system and create a decision matrix. The result to be achieved is to help reduce the consumption of electrical energy and meet the needs for hot water resulting from the utilization of waste heat from the AC VRV condenser using VRV IV Hot Recovery Hot Water (HRHW) model. The results of the analysis show that the potential for waste heat that can be utilized from the AC VRV condenser with a capacity of 22 HP is 17.8 kW, so that the utilization of waste heat through the AC VRV IV HRHW system is feasible to be implemented in hospitals as a means of fulfilling hot water supply. Utilization of waste heat with VRV IV HRHW technology which is integrated between the air conditioner and water heater, it can reach a water temperature of 60°C in 40 – 98 minutes for single HE and 30 – 66 minutes for double HE, and increase system performance with an increase in COP of 4,4. Utilization of waste heat can save operational costs per year of Rp. 184,121,349 when compared to a separate system. Economic feasibility which includes payback period, ROI, and NPV in VRV IV HRHW with 1 HE is better than investment using 2 HE.

Keywords: Air conditioning, energy, waste heat, condenser, VRV, hot water, feasibility.

ABSTRAK

Konsumsi energi paling signifikan di Rumah Sakit adalah pengkondisi udara. Penggunaan pengkondisi udara selalu disertai pelepasan limbah kalor yang besar ke lingkungan. Dilain pihak, kebutuhan air panas di Rumah Sakit saat ini banyak menggunakan alat pemanas air berupa electric water heater dan heat pump. Tujuan dalam penelitian ini adalah melakukan analisis potensi pemanfaatan limbah kalor kondensor AC VRV yang dapat dimanfaatkan untuk penyediaan air panas di RSUD Al-Ihsan, melakukan analisis kebutuhan energi untuk penyediaan air panas, melakukan studi kelayakan aspek teknis, ekonomi, dan resiko mengenai pemanfaatan limbah kalor kondensor, serta merancang sistem dan membuat matriks

keputusan. Hasil yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah membantu mengurangi konsumsi energi listrik dan memenuhi kebutuhan air panas di Rumah Sakit hasil dari pemanfaatan limbah kalor kondensor AC VRV dengan menggunakan model VRV IV *Hot Recovery Hot Water* (HRHW). Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi limbah kalor yang dapat dimanfaatkan dari kondensor AC VRV dengan kapasitas 22 HP adalah sebesar 17,8 kW, sehingga pemanfaatan limbah kalor melalui sistem AC VRV IV HRHW layak diterapkan di Rumah Sakit sebagai alat pemenuhan penyediaan air panas. Pemanfaatan limbah kalor dengan teknologi VRV IV HRHW yang terintegrasi antara AC dan pemanas air, maka dapat mencapai temperatur air 60°C dalam waktu 40 – 98 menit untuk *single* HE dan 30 – 66 menit untuk *double* HE, serta meningkatkan kinerja sistem dengan peningkatan COP sebesar 4,4. Pemanfaatan limbah kalor dapat menghemat biaya operasional per tahun sebesar Rp. 184.121.349 jika dibandingkan dengan sistem terpisah. Kelayakan ekonomi yang meliputi *payback period*, ROI, dan NPV pada VRV IV HRHW dengan 1 HE lebih baik jika dibandingkan dengan investasi menggunakan 2 HE.

Kata kunci: Pengkondisi udara, energi, limbah kalor, kondensor, VRV, air panas, kelayakan.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi bangunan gedung menyumbang 20-40% dari konsumsi energi total dan telah melampaui sektor industri dan transportasi. Peningkatan layanan, tingkat kenyamanan, dan waktu yang dihabiskan di dalam gedung akan meningkatkan konsumsi energi, salah satunya sektor jasa kesehatan, yaitu Rumah Sakit. [1] Konsumsi energi di Rumah Sakit didominasi oleh konsumsi energi untuk kebutuhan HVAC (*Heating Ventilation and Air Conditioning*). Hasil survei Balai Besar Teknologi Konversi Energi menunjukkan bahwa peralatan

pengguna energi paling signifikan adalah pengkondisi udara dengan rata-rata penggunaan energi lebih dari 63,9%, kemudian diikuti oleh penerangan, lift, eskalator, dan peralatan listrik lainnya. [2]

Selain kebutuhan energi untuk pengkondisian udara, Rumah Sakit juga memerlukan energi untuk penyediaan air panas. Penyediaan air panas di Rumah Sakit berkaitan dengan pelayanan di Ruang Rawat Inap, sehingga temperatur dan kapasitasnya harus sesuai dengan kebutuhan.

Di lain pihak, operasi pengkondisian udara di gedung besar

seperti Rumah Sakit selalu disertai dengan pelepasan limbah kalor yang tidak dimanfaatkan ke lingkungan. Besaran limbah kalor yang dilepas oleh sistem AC Split menunjukkan angka 26% lebih besar dari kapasitas penyerapan kalor di dalam ruangan. [3] Lain hal jika menggunakan sistem sentral *Water Chiller* maka pelepasan kalor tersebut sebesar 17% lebih besar dari kapasitas penyerapan kalor di dalam ruangan. [4]

Banyak penelitian mengenai pemanfaatan limbah kalor kondensor AC yang telah dilakukan hanya terbatas pada bangunan Rumah Tinggal. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan limbah kalor kondensor AC dengan sistem yang berbeda dan berskala besar, yaitu *Variable Refrigerant Volume* (VRV) yang terpasang di RSUD Al-Ihsan. Dengan memperhatikan kondisi di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pemanfaatan potensi limbah kalor AC VRV untuk penyediaan air panas yang sehingga dapat mengurangi konsumsi energi di Rumah Sakit dan berapa temperatur, kapasitas, serta lama waktu

pemanasan air. Selanjutnya perlu diketahui juga berapa besar biaya yang harus diinvestasikan untuk memanfaatkan limbah kalor kondensor AC VRV dan bagaimana kelayakan dalam aspek teknis, ekonomi, dan resikonya.

Tujuan dalam penelitian ini adalah melakukan analisis potensi pemanfaatan limbah kalor kondensor, analisis kebutuhan energi untuk penyediaan air panas, studi kelayakan aspek teknis, ekonomi, dan resiko, serta merancang sistem dan membuat matriks keputusan akhir.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode gabungan kualitatif dan kuantitatif, dimana proses survei, pengumpulan data, analisis dan studi kelayakan dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan data primer yang didapat dari RSUD Al-Ihsan dan data sekunder dari pihak lain. Pihak lain yang dimaksud dalam penelitian ini antara lain, Penta Rekayasa selaku konsultan perencana RSUD. Al-Ihsan, Tim Profesi Ahli (TPA) Kota Bandung dan konsultan ahli Rumah Sakit.

Data yang diharapkan terkumpul meliputi data sistem dan kapasitas AC, data kebutuhan air panas, data konsumsi listrik AC dan pemanas air, data pengecekan *service checker* (Tekanan & Temp. Refrigerant, Kapasitas Pendinginan), dan data pendukung dari laman internet.

Kemudian setelah data terkumpul dilanjut kepada analisis potensi pemanfaatan limbah kalor AC yang dapat diketahui dengan menghitung kalor yang terbuang di kondensor. Lalu analisis kebutuhan energi untuk penyediaan air panas dihitung berdasarkan volume air panas yang dibutuhkan² dan temperatur yang ingin dicapai.

Setelah itu, dilakukan studi kelayakan yang meliputi kelayakan dari aspek teknis, ekonomi, dan resiko. Penilaian aspek teknis ini mengevaluasi apakah pemanfaatan limbah kalor kondensor tersebut dapat memenuhi kebutuhan air panas Rumah Sakit, baik dari segi temperatur ataupun kapasitasnya. Selanjutnya penilaian aspek ekonomi menghitung rencana anggaran biaya yang harus diinvestasikan, biaya

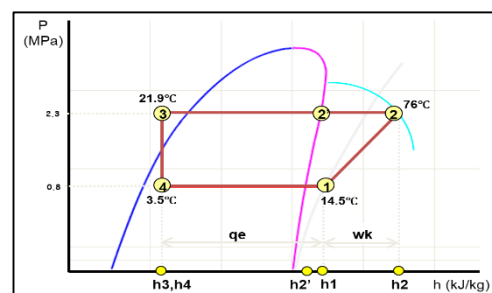
operasional, serta *net present value* (NPV), *payback period* (PP), dan *return on investment* (ROI). Selain itu, dilakukan kajian kelayakan aspek resiko mengenai adanya kemungkinan resiko yang terjadi ketika adanya pemakaian air panas secara serempak.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran pada dua sistem AC VRV di RSUD Al-Ihsan menunjukkan temperatur *discharge* kondensor sebesar 63,2°C dan 76°C. Temperatur *hot gas* ini yang nantinya akan dimanfaatkan untuk memanaskan air.

Tabel 1. Data *service checker outdoor unit* lantai 6 dan lantai 7

Lantai 6	Data	Lantai 7	Data
Tekanan Evaporasi	0.8 Mpa	Tekanan Evaporasi	0.8 Mpa
Temperatur Evaporasi	3.5°C	Temperatur Evaporasi	3.5°C
Temperatur Suction gas	8.9°C	Temperatur Suction gas	14.5°C
Temperatur Discharge	63.2°C	Temperatur Discharge	76.0°C
Tekanan Kondensasi	2.1 Mpa	Tekanan Kondensasi	2.3 Mpa
Temperatur Kondensasi/masuk katup ekspansi	36°C	Temperatur Kondensasi/masuk katup ekspansi	39.7°C
Temperatur subcooling	26.4°C	Temperatur subcooling	22°C



Gambar 1. Siklus kerja OU.7 pada *Ph* diagram

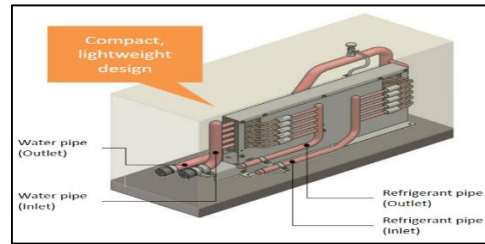
Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan potensi limbah kalor yang dapat dimanfaatkan dalam satu sistem VRV kapasitas 22 HP adalah sebesar 17,8 kW. Sehingga untuk total 8 sistem menjadi 142,4 kW.

Kebutuhan energi untuk penyediaan air panas dihitung berdasarkan volume air panas yang dibutuhkan dan temperatur yang ingin dicapai. Perhitungan berdasarkan jumlah orang sebesar 130L/orang/jam. Tabel 3 menunjukkan total kebutuhan pemakaian air panas dalam 1 hari.

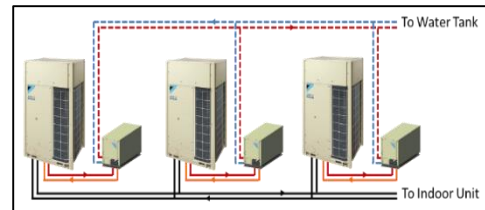
Tabel 2. Kebutuhan & Kapasitas Pemanas Air

Perhitungan berdasarkan jumlah orang	
Qd (Jumlah air panas per hari)	21840 L/hari
Qh (Laju aliran air panas max)	2184 L/jam
V (Volume tangki penyimpanan)	2184 L
th (Temp. air panas)	60 C
tc (Temp. air dingin)	26 C
H (Kapasitas pemanas)	74256 kkal/jam
	86.3 Kw

Guna *transfer* kalor dari pipa refrigerant sisi *hot gas* ke air maka dibutuhkan *heat exchanger* dengan metode koneksi 1 HE atau 2 HE. Penerapan metode koneksi 1 HE terhadap 8 sistem VRV dengan total 22 CU membutuhkan 22 HE. Jika memakai metode 2 HE maka membutuhkan 44 HE.



Gambar 2. Serpentine Heat Exchanger



Gambar 3. Koneksi CU ke 1 HE

Tabel 3. Kapasitas Heat Exchanger

SINGLE HE				
RWHQ6		Inlet Water Temp (C)		
Water Flow (10L/min)		20	30	26
Cooling Load (%)	30	2.06	1.66	1.82
	40	2.58	2.1	2.292
	50	3.03	2.48	2.7
	60	3.44	2.84	3.08
	70	3.81	3.16	3.42
	80	4.15	3.48	3.75
	90	4.51	3.77	4.07
	100	4.8	4.05	4.35

SINGLE HE				
RWHQ8		Inlet Water Temp (C)		
Water Flow (10L/min)		20	30	26
Cooling Load (%)	30	2.12	1.72	1.88
	40	2.63	2.16	2.35
	50	3.08	2.54	2.76
	60	3.49	2.89	3.13
	70	3.86	3.22	3.48
	80	4.2	3.54	3.80
	90	4.56	3.83	4.12
	100	4.85	4.11	4.41

DOUBLE HE				
RWHQ6		Inlet Water Temp (C)		
Water Flow (10L/min)		20	30	26
Cooling Load (%)	30	3.51	2.82	3.10
	40	4.39	3.57	3.90
	50	5.15	4.22	4.59
	60	5.85	4.83	5.24
	70	6.48	5.37	5.81
	80	7.06	5.92	6.38
	90	7.67	6.41	6.91
	100	8.16	6.89	7.40

DOUBLE HE				
RWHQ8		Inlet Water Temp (C)		
Water Flow (10L/min)		20	30	26
Cooling Load (%)	30	3.61	2.91	3.19
	40	4.47	3.67	3.99
	50	5.24	4.32	4.69
	60	5.93	4.91	5.32
	70	6.56	5.47	5.91
	80	7.14	6.02	6.47
	90	7.75	6.51	7.01
	100	8.25	6.99	7.49

Selanjutnya melakukan studi kelayakan yang bertujuan untuk mengetahui kelayakan aspek teknis, ekonomi, dan resiko dari pemanfaatan limbah kalor kondensor AC yang terpasang pada Ruang Rawat Inap yang diharapkan dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air.

Tabel di bawah merupakan hasil perhitungan lama waktu pemanasan air dengan total 2.200 L dan kebutuhan kalor 87 kW. Perhitungan memberikan gambaran ketika *cooling load* di ruangan bervariasi dengan catatan ada tambahan *electric heater* di tanki air sebesar 2,5 kW dan ada faktor koreksi *water flow*, jarak HE dengan *outdoor unit*, dan panjang pipa antara OU dengan IU.

Tabel 4. Pemanfaatan melalui 1 HE

OU.6/7.A/B - RWHQ22THY1

Water Flow (10L/min)	Kapasitas Tanki Air (L)	Total Kebutuhan Kalor (Kw/hr)	Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air 300L 26°C ke 60°C		
			(jam)	(menit)	
Cooling Load (%)	30	300	11.90	1.64	98.2
	40		11.90	1.39	83.6
	50		11.90	1.23	74.1
	60		11.90	1.12	67.0
	70		11.90	1.03	61.6
	80		11.90	0.95	57.3
	90		11.90	0.89	53.6
	100		11.90	0.84	50.7

OU.6/7.C - RWHQ20THY1

Water Flow (10L/min)	Kapasitas Tanki Air (L)	Total Kebutuhan Kalor (Kw/hr)	Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air 300L 26°C ke 60°C		
			(jam)	(menit)	
Cooling Load (%)	30	300	11.90	1.65	98.9
	40		11.90	1.40	84.1
	50		11.90	1.24	74.4
	60		11.90	1.12	67.3
	70		11.90	1.03	61.9
	80		11.90	0.96	57.5
	90		11.90	0.90	53.8
	100		11.90	0.85	50.8

OU.6/7.D - RWHQ14THY1

Water Flow (10L/min)	Kapasitas Tanki Air (L)	Total Kebutuhan Kalor (Kw/hr)	Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air 200L 26°C ke 60°C		
			(jam)	(menit)	
Cooling Load (%)	30	200	7.90	1.42	84.9
	40		7.90	1.23	73.8
	50		7.90	1.10	66.2
	60		7.90	1.01	60.5
	70		7.90	0.93	56.1
	80		7.90	0.87	52.4
	90		7.90	0.82	49.3
	100		7.90	0.78	46.8

Tabel 5. Pemanfaatan melalui 2 HE

OU.6/7.A/B - RWHQ22THY1

Water Flow (10L/min)	Kapasitas Tanki Air (L)	Total Kebutuhan Kalor (Kw/hr)	Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air 200L 26°C ke 60°C		
			(jam)	(menit)	
Cooling Load (%)	30	300	11.90	1.10	66.2
	40		11.90	0.92	55.2
	50		11.90	0.80	48.2
	60		11.90	0.72	43.2
	70		11.90	0.66	39.4
	80		11.90	0.61	36.4
	90		11.90	0.56	33.9
	100		11.90	0.53	31.9

OU.6/7.C - RWHQ20THY1

Water Flow (10L/min)	Kapasitas Tanki Air (L)	Total Kebutuhan Kalor (Kw/hr)	Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air 300L 26°C ke 60°C		
			(jam)	(menit)	
Cooling Load (%)	30	300	11.90	1.11	66.8
	40		11.90	0.93	55.5
	50		11.90	0.81	48.5
	60		11.90	0.72	43.4
	70		11.90	0.66	39.6
	80		11.90	0.61	36.5
	90		11.90	0.57	34.0
	100		11.90	0.53	32.0

OU.6/7.D - RWHQ14THY1

Water Flow (10L/min)	Kapasitas Tanki Air (L)	Total Kebutuhan Kalor (Kw/hr)	Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air 200L 26°C ke 60°C		
			(jam)	(menit)	
Cooling Load (%)	30	200	7.90	1.00	59.9
	40		7.90	0.84	50.7
	50		7.90	0.75	44.7
	60		7.90	0.67	40.3
	70		7.90	0.62	37.0
	80		7.90	0.57	34.3
	90		7.90	0.53	32.1
	100		7.90	0.50	30.3

Selanjutnya melakukan penilaian aspek ekonomi yang dihitung adalah rencana anggaran biaya yang harus diinvestasikan, biaya operasional, serta *Net Present Value* (NPV), *Payback Period* (PP), dan *Return on Investment* (ROI).

Perhitungan biaya investasi unit VRV IV HRHW dan VRV A didapatkan dari *principal* AC Daikin, sedangkan untuk alat pemanas air

Heat Pump didapatkan dari distributor pemanas air merk HiCOP. Biaya investasi pemanfaatan limbah kalor dengan membeli VRV IV HRHW *single* HE adalah sebesar Rp. 585.438.000, lebih murah 46% dibandingkan dengan *double* HE.

Perhitungan biaya operasional antara Sistem VRV IV HRHW dengan sistem VRV standar ditambah pemanas air terpisah didapatkan selisih biaya operasional Rp. 15,343,446 dalam setiap bulan dan Rp. 184,121,349 dalam satu tahun atau 27% lebih hemat VRV IV HRHW dibandingkan sistem terpisah.

Analisis *net present value* (NPV) dilakukan dengan membandingkan perkiraan laba yang akan diperoleh dari investasi unit pemanfaatan limbah kalor VRV IV HRHW dengan *single* HE dan *double* HE terhadap deposito ke Bank. Dalam perhitungan NPV ini menggunakan suku bunga sebesar 3% dan melakukan simulasi selama 10 tahun yang mana merupakan umur ekonomis dari unit VRV IV HRHW.

Tabel 6. Pemanfaatan melalui 1 HE

Investasi	Tahun ke-		NPV
	0	1~10	
VRV HRHW	-585,438,000	184,121,349	985,154,454
Deposito ke Bank	585,438,000	17,563,140	735,255,147

Tabel 7. Pemanfaatan melalui 2 HE

Investasi	Tahun ke-		NPV
	0	1~10	
VRV HRHW	-1,092,208,000	184,121,349	478,384,454
Deposito ke Bank	1,092,208,000	32,766,240	1,371,710,673

Tabel di atas menunjukkan bahwa investasi unit pemanfaatan limbah kalor VRV IV HRHW dengan *single* HE lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan deposito ke Bank. Lain hal dengan investasi *double* HE, dimana investasi deposito ke Bank lebih baik jika dibandingkan investasi VRV IV HRHW dengan *double* HE.

Analisis *payback period* dilakukan dengan pendekatan pengeluaran dan pendapatan. Jangka waktu yang didapatkan dalam perhitungan *payback period* untuk 1 HE adalah 3.18 tahun sedangkan untuk 2 HE adalah 5.93 tahun.

Analisis ROI ini digunakan untuk menilai laba bersih yang kita dapatkan dari nominal uang investasi yang sudah dikeluarkan. Nilai persentase ROI untuk *single* HE menunjukkan rasio 31% yang jauh lebih baik jika dibandingkan dengan ROI 2 HE yang mendapatkan rasio 17%. Berikut perhitungan ROI:

$$\text{Return on Investment (ROI)} = \frac{\text{Annual Cash Flow}}{\text{Total Cash Invested}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp184,121,349}}{\text{Rp585,438,000}} \times 100\%$$

31% tahun

$$\text{Return on Investment (ROI)} = \frac{\text{Rp184,121,349}}{\text{Rp1,092,208,000}} \times 100\%$$

17% tahun

Pada penelitian ini dilakukan kajian kelayakan aspek resiko mengenai pemanfaatan limbah kalor kondensor AC VRV untuk penyediaan air panas di RSUD Al-Ihsan. Penilaian aspek resiko yang dihitung adalah kemungkinan resiko yang terjadi ketika adanya pemakaian air panas secara serempak sebesar 30%, yaitu 22 shower dari 22 kamar rawat inap.

Tabel 8. Penurunan temperatur saat pemakaian serempak

Deskripsi	Single HE	Double HE	Satuan
Total Kapasitas Tanki	2000	2000	L
Limbah Kalor HE	105	165.5	kW
Debit Air Masuk/Keluar Tanki	220	220	L/m
Temperatur Air Masuk	26	26	°C
Temperatur Air di Tanki	60	60	°C
Temperatur Air Campuran	42.7	52.4	°C

Berdasarkan perhitungan, penurunan temperatur air panas jika menggunakan *single* HE adalah sebesar 42,7°C. Penurunan tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan *double* HE yaitu sebesar 52,4°C. Penggunaan *double* HE terhadap resiko ini lebih baik jika dibandingkan menggunakan *single* HE.

Selain aspek resiko yang telah dijelaskan, maka dibutuhkan matriks keputusan agar dapat menimbang resiko dan memutuskan desain mana yang baik untuk digunakan. Bobot dalam matriks keputusan *concept scoring* didapat dari hasil kuesioner terhadap 11 rumah sakit di area Jawa Barat.

Tabel 9. Matriks keputusan

Kriteria Seleksi	Bobot	Matriks Keputusan			
		I		B	
		VRV IV HRHW	Single HE	VRV IV HRHW	Double HE
		Poin	Skor	Poin	Skor
Aspek Teknis					
Pemanfaatan Limbah Kalor	8%	4	0.32	5	0.4
Kapasitas Pemanas Air	8%	4	0.32	5	0.4
Pemrosesan Temperatur Air	9%	5	0.45	5	0.45
Waktu Pemanasan Air	9%	4	0.36	5	0.45
CO2P AC VRV	9%	5	0.45	5	0.45
Aspek Ekonomi					
Biaya Investasi	8%	5	0.4	2	0.16
Biaya Operasional	8%	5	0.4	5	0.4
Penghematan Operasional	9%	5	0.45	5	0.45
Payback period (PP)	8%	5	0.4	3	0.24
Return on investment (ROI)	9%	5	0.45	3	0.27
Net present value (NPV)	9%	5	0.45	2	0.18
Aspek Resiko					
Penurunan temperatur saat pemakaian serempak	8%	3	0.24	5	0.4
Skor Akhir		4.68		4.25	
Peringkat		1		2	
Rekomendasi		Ya		Tidak	

Skor : 5 Sangat Baik, 4 Baik, 3 Cukup, 2 Kurang Baik, 1 Buruk

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian mengenai pemanfaatan limbah kalor kondensor AC VRV di RSUD Al-Ihsan bahwa potensi limbah kalor yang dapat dimanfaatkan dari kondensor AC VRV dengan kapasitas 22 HP adalah sebesar 17,8 kW, sehingga pemanfaatan limbah kalor melalui sistem AC VRV IV HRHW layak diterapkan di Rumah Sakit sebagai alat pemenuhan penyediaan air panas. Pemanfaatan limbah kalor dengan teknologi VRV IV HRHW yang terintegrasi antara AC dan pemanas air,

maka dapat mencapai temperatur air 60°C dalam waktu 40 – 98 menit untuk *single* HE dan 30 – 66 menit untuk *double* HE, serta meningkatkan kinerja sistem dengan peningkatan COP sebesar 4,4. Pemanfaatan limbah kalor menggunakan VRV IV HRHW dapat menghemat biaya operasional per tahun sebesar Rp. 184.121.349 jika dibandingkan dengan sistem terpisah. Kelayakan ekonomi yang meliputi *payback period*, ROI, dan NPV pada VRV IV HRHW dengan 1 HE lebih baik jika dibandingkan dengan investasi menggunakan 2 HE.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Perez-Lombard, J. Ortiz dan C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy and Building*, vol. 40, pp. 394-398, 2007.
- [2] Balai Besar Teknologi Konversi Energi, “Benchmarking Specific Energy Consumption di Bangunan Komersial,” Balai Besar Teknologi Konversi Energi., Tangerang Selatan, 2020.
- [3] I. Husin, M. Ali dan S. Anto, Kaji Ulang Kebutuhan Daya *Water Heater Air Conditioner* Split dengan *Water Heater* Listrik, Palembang: Universitas Tridinanti Palembang, 2018.
- [4] A. Aziz, J. Harianto dan A. K. Mainil, “Potensi Pemanfaatan Energi Panas Terbuang pada Kondensor AC Sentral untuk Pemanas Air Hemat Energi,” *Jurnal Mekanikal*, vol. 6, no. 2, pp. 569-576, Juli 2015.
- [5] Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, Pedoman Rumah Sakit Ramah Lingkungan (Green Hospital) di Indonesia, Jakarta: Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, 2018.
- [6] A. F. Aminanta dan D. Ichsani, “Rancang Bangun dan Studi Eksperimen Alat Penukar Panas untuk Memanfaatkan energi Refrigerant Keluar Kompresor AC sebagai Pemanas Air pada ST/D=6 dengan Variasi Volume Air, 5 (2), 647-652.,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 2301-9271, 2016.
- [7] PT Daikin Airconditioning Indonesia, Service Manual Peralatan Refrigerasi dan Pendingin Udara, Jakarta: PT Daikin Airconditioning Indonesia, 2013.
- [8] H. Basri, E. Diniardi dan A. I. Ramadhan, “Design of Water Heating By Utilizing Waste Heat of Air Conditioner,” *Journal of Applied Science and*

- Advanced Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 89-96, April 2021.
- [9] PT Daikin Airconditioning Indonesia, Pengenalan Diagram P-h, Jakarta: PT Daikin Airconditioning Indonesia, 2021.
- [10] Daikin Training, Empat Komponen dari Siklus Refrigerasi dan Cara Kerjanya, Jakarta: PT Daikin Airconditioning Indonesia, 2021.
- [11] D. Santoso dan F. D. Setiaji, "Pemanfaatan Panas Buang Pengkondisi Udara Sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Penukar Panas Helikal," *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 12, no. 2, pp. 129-140, 2013.
- [12] H. Sonawan, P. Saputro dan I. M. Kurniawan, "Utilization of air conditioner condensor as water heater in an effort to energy conservation," *Renew. Energy Environ. Sustain*, vol. 3, no. 1, 2018.
- [13] L. Imilun, Analisa Pengaruh Penambahan Panjang Aliran Air pada Pipa Discharge Kompresor Terhadap Kinerja Mesin Pendingin 1PK, Surabaya: Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2018.
- [14] PT Daikin Airconditioning Indonesia, VRV Heat Recovery Hot Water Design Manual, Jakarta: PT Daikin Airconditioning Indonesia, 2016.
- [15] A. Aziz, H. H. Ginting, N. Hatorangan dan W. Rahman, "Analisis Kinerja Air Conditioning Sekaligus sebagai Water Heater (ACWH)," *SNTI*, vol. IV, 2014.
- [16] M. S. Noerbambang dan M. , Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1993.
- [17] Badan Standarisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing," dalam *SNI 03-7065-2005*, Jakarta, Badan Standarisasi Nasional, 2015.
- [18] F. Liu, H. Huang, Y. Ma dan R. Zhuang, "Research on the Air Conditioning Water Heater System. , Paper 893," *International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue*, pp. 1-7, 14-17 July 2008.
- [19] N. I. Fadhillah, Pembuatan Dan Pengujian Air-Conditioner Water Heater Dengan Tipe Direct Heating, Bandung: Politeknik Negeri Bandung, 2019.
- [20] S. Hadi, Rancang Bangun ACWH (Air Conditioner Water Heater) dengan Alat Penukar Kalor Shell and Helical-Coil, Medan: Universitas

- Muhammdiyah Sumatera Utara, 2020.
- [21] P. R. S S, Rancang Bangun Water Heater Tipe Serpentine dengan Memanfaatkan Panas Buang Kondensor AC Split 1 PK dengan Kapasitas 120L, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [22] A. Aziz, A. B. Satria dan R. I. Mainil, “Experimental study of split air conditioner with and without trombone coil condenser as air conditioning water heater,” *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)*, vol. 12, pp. 3043-3057, 2015.
- [23] A. Amleh dan S. Melhem, Design of VRV Air Conditioning & Mechanical Systems For a Villa in Halhul Town, Palestine: Palestine Polytechnic University, 2013.
- [24] PT Daikin Airconditioning Indonesia, VRV Hot Recovery Hot Water System, Jakarta: PT Daikin Airconditioning Indonesia, 2017.
- [25] PT Daikin Airconditioning Indonesia, Engineering Data VRV IV Heat Recovery Hot Water System, Jakarta: PT Daikin Airconditioning Indonesia, 2016.
- [26] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik yang disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero),” dalam *Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, Jakarta, 2016.