MODIFIKASI KOMPRESOR SCROLL HERMETIK ZR22KE-PFJ-522 SEBAGAI EXPANDER ORC: PENGARUH KETEBALAN PELAT POROS DAN INJEKSI UDARA

Angga Charismawan Dyaksa[1], Muhammad Arya Fathurusyi Kadir[1], Fadhil Maulana Zaki[1], Yohanes Gunawan[1,*]

[1]Teknik Mesin Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No. 38 Cepu, Blora, 58315

**E-mail*: yohanes.gunawan@esdm.go.id

ABSTRAK

Sistem *Organic Rankine Cycle* (ORC) skala kecil membutuhkan perangkat *expander* yang andal guna mengonversi energi tekanan fluida kerja menjadi daya mekanis. Namun, mahalnya harga *expander* komersial spesifik di pasaran masih menjadi hambatan utama. Penelitian ini mengkaji penerapan *reverse engineering* melalui modifikasi kompresor pendingin *scroll* hermetik ZR22KE-PFJ-522 agar dapat dioperasikan sebagai *expander*. Penyesuaian difokuskan pada rekonstruksi jalur masukan fluida melalui pencopotan *check valve* dan penambahan injektor pipa PVC serta penyetelan celah mekanis (*clearance*) *crankpin* dengan memanfaatkan pelat *spacer*. Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa pelepasan *check valve* berhasil mengeliminasi hambatan aliran *inlet*, sedangkan injektor mengarahkan suplai udara bertekanan secara presisi menuju ruang ekspansi. Pada bagian poros, penggunaan 3 lembar pelat *spacer* (ketebalan total 1,5 mm) terbukti menjadi konfigurasi paling optimum untuk mencegah kemacetan mekanis (*jamming*) akibat pemuaian termal. Saat diuji menggunakan suplai udara bertekanan (6–10 barg), unit *expander* beroperasi secara stabil dengan daya mekanis aktual yang meningkat dari 0,0333 kW pada 6 barg hingga 0,0719 kW pada 10 barg, serta sanggup menyalakan beban lampu pijar 100 W secara terang pada tekanan 7–10 barg. Proyeksi kalkulasi termodinamika berbasis fluida *n-pentane* memperlihatkan potensi daya mekanis sebesar 1,276 kW hingga 2,312 kW pada rentang tekanan 7–11 bar abs. Temuan ini mengonfirmasi kelayakan teknik alih fungsi kompresor *scroll* hermetik menjadi *expander* ORC skala kecil.

Kata kunci: *Scroll expander,* udara bertekanan, konversi energi, *organic rankine cycle (ORC).*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan kembali energi panas buangan (*waste heat recovery*) berbasis teknologi *organic rankine cycle* (ORC) skala kecil merupakan salah satu pendekatan strategis untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi di sektor industri [1, 2]. Dalam sistem ORC, unit *expander* memegang peranan kunci untuk mengekstraksi energi entalpi fluida kerja bertekanan menjadi daya mekanis berupa putaran poros penggerak generator listrik [1–3]. Namun demikian, penerapan dan komersialisasi sistem ORC skala mikro di lapangan masih menghadapi kendala utama berupa tingginya biaya investasi pengadaan unit *expander* komersial yang dirancang khusus (*purpose-built*) [3, 4]. Tingginya biaya tersebut mendorong dilakukannya pendekatan rekayasa balik (*reverse engineering*) melalui pemanfaatan dan modifikasi kompresor pendingin komersial agar dapat dioperasikan secara terbalik sebagai *expander* [4, 5]

Pengoperasian kompresor *scroll* secara terbalik (*reverse operating*) sebagai *expander* masih menghadapi berbagai tantangan teknis yang kompleks [4, 10]. Masalah teknis utama yang sering timbul meliputi hambatan aliran fluida pada katup *inlet*, kerugian gesekan mekanis

(*friction loss*), timbulnya kemacetan mekanis (*jamming*) akibat penyesuaian celah (*clearance*) poros yang tidak presisi, serta tingginya angka kebocoran fluida internal (*blow-by*) saat beroperasi pada tekanan tinggi [2, 10-13]. Sejumlah penelitian terdahulu telah membuktikan kelayakan dan potensi konversi kompresor *scroll* hermetik sebagai *expander* untuk aplikasi pemulihan energi sisa [1, 4–6].

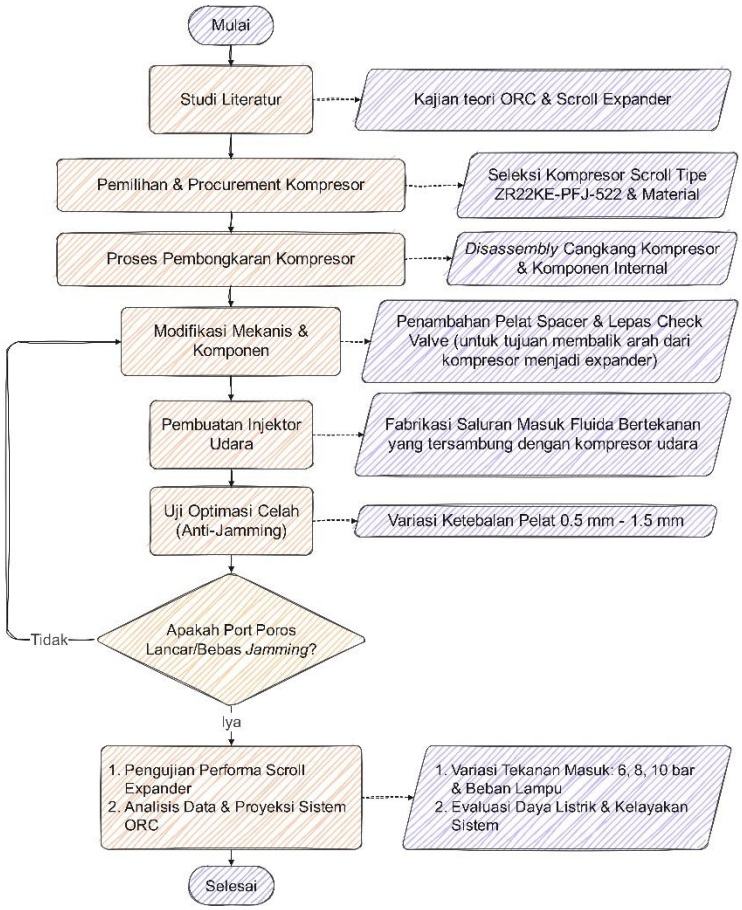
Berdasar dari hasil studi literatur tersebut, penelitian ini dikembangkan dengan fokus utama pada perancangan dan modifikasi kompresor *scroll* melalui pendekatan penyesuaian celah mekanis (*mechanical clearance*). Mengingat pentingnya adaptasi komponen internal dalam menentukan efisiensi kerja mesin *scroll*, modifikasi dalam studi ini secara spesifik dilakukan untuk mengoptimalkan celah mekanis (*clearance*) pada *crankpin* melalui variasi ketebalan pelat *spacer* guna mencegah timbulnya *jamming* akibat pemuaian termal, tekanan akibat dorongan udara/fluida yang masuk, serta merancang dan menguji sistem injeksi aliran masuk pasca-pencopotan *check valve*, mengevaluasi performa daya aktual dan proyeksi kinerjanya saat diintegrasikan pada sistem ORC berfluida *n-pentane* [1, 2, 5-7]. Selanjutnya, mengadopsi metode evaluasi performa dari penelitian terdahulu [1], sebuah sistem injeksi udara bertekanan dirancang sebagai media pengujian awal untuk menganalisis respons putaran dan kinerja mekanis *expander* pada berbagai variasi tekanan operasi. Hasil pengujian ini diharapkan dapat memperkaya literatur mengenai pengaruh penyesuaian konstruksi dan variasi tekanan terhadap karakteristik operasi *scroll expander* hasil modifikasi.

2. METODE PENELITIAN

A. Desain experiment dan alur pengujian

Metodologi penelitian diawali dengan kajian pustaka mengenai prinsip dasar *organic rankine cycle* (ORC) dan karakteristik operasional *scroll expander*. Tahap pengerjaan fisik dimulai dari pelepasan cangkang luar (*shell disassembly*) kompresor hermetik tipe Copeland ZR22KE-PFJ-522 menggunakan gerinda potong untuk mengakses komponen internal. Modifikasi mekanis dilakukan melalui pelepasan katup satu arah (*check valve*) pada *discharge port* untuk mengeliminasi hambatan aliran masukan fluida. Selanjutnya, injektor berbahan pipa PVC difabrikasi dan dipasang pada sisi *inlet* guna mengarahkan aliran udara bertekanan secara langsung menuju ruang ekspansi.

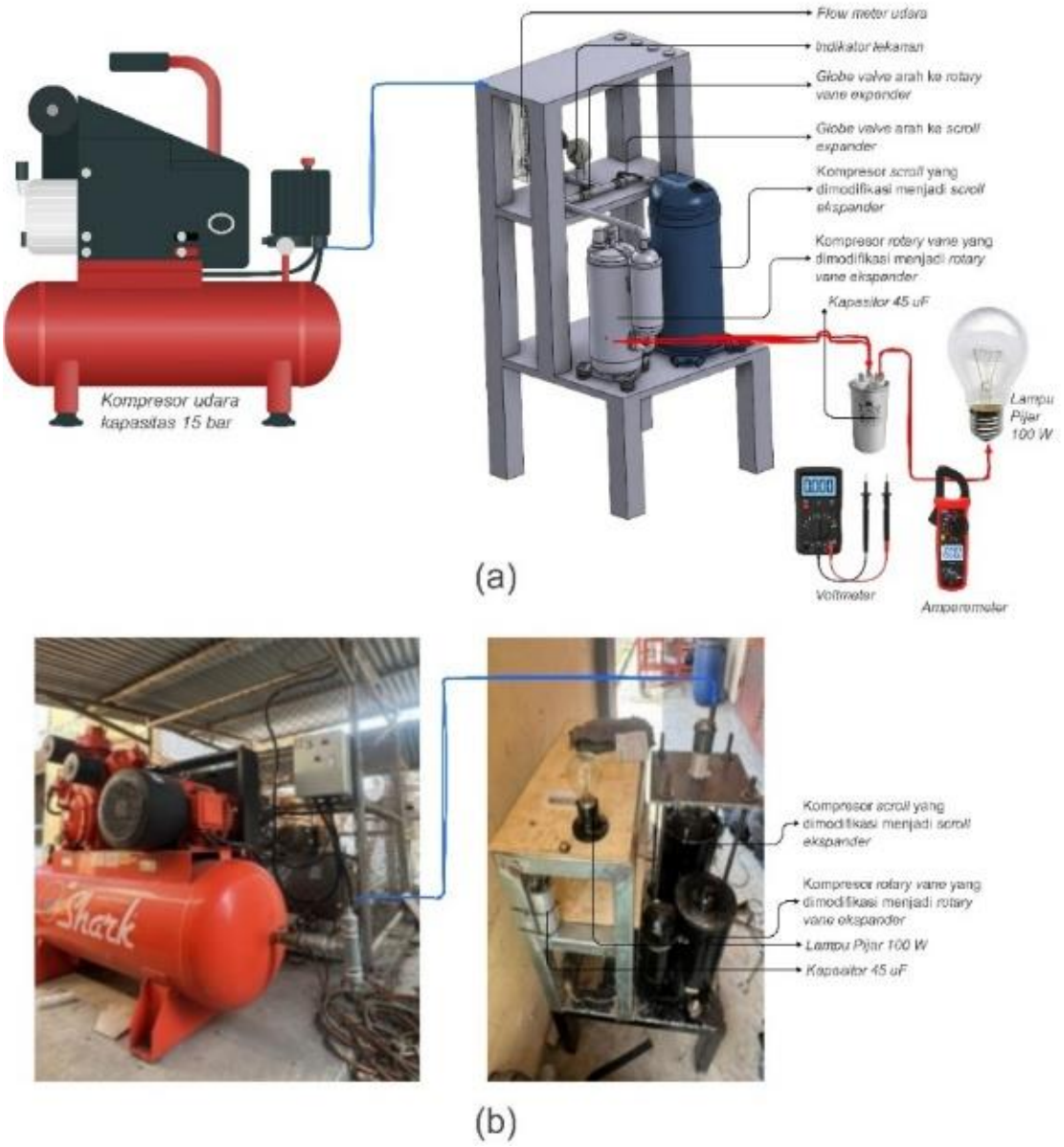
Sebelum pengujian performa, dilakukan pengujian optimasi celah (*anti-jamming*) menggunakan variasi ketebalan pelat *spacer* antara 0,5 mm hingga 2,5 mm pada bagian *crankpin*. Apabila poros belum berputar lancar atau mengalami kemacetan, proses akan kembali ke tahap penyetelan celah mekanis. Setelah poros dipastikan dapat berputar secara bebas dan lancar (bebas *jamming*), pengujian dilanjutkan ke tahap pembebanan listrik pada variasi tekanan masuk 6, 8, dan 10 barg. Tahapan penelitian ini dirangkum dalam diagram alir (*flowchart*) pada gambar 1.



Gambar 1. Alur pelaksanaan penelitian

B. Prosedur pengujian

Pengujian eksperimental memanfaatkan kompresor udara berkapasitas maksimum 15 bar sebagai sumber suplai fluida kerja. Udara bertekanan dialirkan melalui *globe valve*, *pressure gauge*, dan *flow meter* untuk mengatur serta mencatat tekanan maupun laju aliran volumetrik masukan, dimana skematik pengujiannya dapat dilihat pada gambar 2 (a). Ekspansi fluida di dalam *scroll expander* menghasilkan putaran poros yang mentransmisikan daya mekanis untuk memutar rotor motor induksi bawaan yang difungsikan sebagai generator. Untuk merangsang timbulnya tegangan induksi (*self-excitation*), generator dihubungkan paralel dengan kapasitor eksitasi berkapasitas 45 µF. Keluaran energi listrik dihubungkan ke beban nyata berupa lampu pijar 100 W (220–240 V), di mana tegangan listrik diukur menggunakan *multimeter* untuk mengevaluasi kestabilan operasional sistem. Instalasi fisik untuk pengujian eksperimental hasil modifikasi kompresor scroll menjadi ekspander, dapat dilihat pada gambar 2 (b).



Gambar 2. Rancang bangun purwarupa pengujian ekspander dari kompresor *scroll* termodifikasi untuk aplikasi *Organic Rankine Cycle* (ORC): (a) rancangan skematik 3D, dan (b) instalasi fisik eksperimental.

C. Analisis thermodinamika

Kinerja termodinamika *expander* dihitung berdasarkan prinsip konservasi energi, secara spesifik melalui selisih entalpi fluida udara saat masuk dan keluar dari sistem ekspansi. Selain itu, prediksi potensi energi yang bisa dikonversi jika expander dari kompresor modifikasi ini akan diaplikasikan pada sistem ORC menggunakan fluida kerja n-pentane, dianalisis menggunakan prinsip Termodinamika. Laju aliran massa dan kerja aktual *expander* dihitung menggunakan persamaan (1), (2), dan (3). Penentuan nilai densitas dan entalpi udara pada kondisi pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak REFPROP.

$$m = \rho \times Q \quad (1)$$

$$W_{exp,aktual} = m(h_1 - h_2) \quad (2)$$

$$W_{exp,ideal} = m(h_1 - h_{2s}) \quad (3)$$

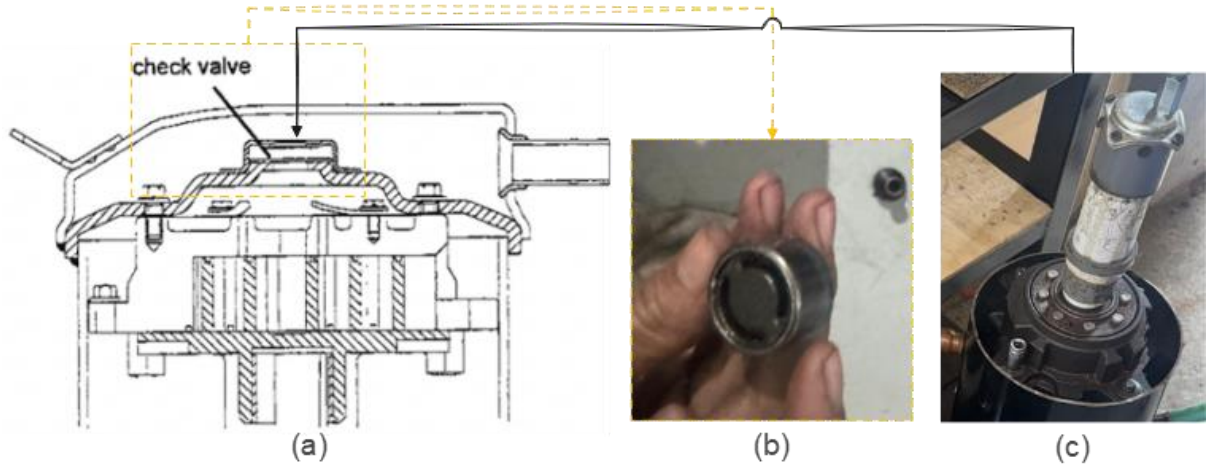
Dimana $\dot{m}$ adalah laju aliran massa (kg/s), ρ menyatakan densitas fluida (kg/m^3), Q adalah laju aliran volumetrik dari *flow meter* (m^3/s), h_1 dan h_2 secara berurutan merupakan entalpi spesifik fluida saat masukan dan keluaran *expander* (kJ/kg), serta h_{2s} adalah entalpi keluaran pada kondisi isentropik. Seluruh properti termodinamika fluida (densitas dan entalpi) pada variabel tekanan dan temperatur.

3. PEMBAHASAN

A. Modifikasi Saluran Masuk pada Scroll Expander dan Penembahan Injektor pada Scroll Expander

Dalam modifikasi kompresor menjadi *scroll expander* mengonversi fungsi kompresor *scroll* hermetik Copeland ZR22KE-PFJ-522 menjadi *expander*, dilakukan dua penyesuaian konstruksi utama pada sisi saluran masukan (*inlet*). Pertama, pencopotan/pelepasan katup satu arah (*check valve*) bawaan kompresor dimana lokasinya seperti dapat dilihat pada gambar 3 (a), dengan tujuan untuk mengeliminasi hambatan aliran (*pressure drop*) sehingga fluida bertekanan dapat mengekspansi ruang *scroll* tanpa terhalang katup. Pelepasan ini dilakukan secara hati-hati dengan menggerinda dudukan katup pada cangkang *discharge port*. Setelah ceck valve berhasil dilepas, seperti dapat dilihat pada gambar 3 (b), dilanjutkan dengan pemasangan/penambahan injektor, seperti yang di perlihatkan pada gambar 3 (c).

Kedua, dilakukan pembuatan dan pemasangan injektor berbahan pipa PVC pada sisi *inlet* untuk mengarahkan pasokan fluida kerja bertekanan secara terfokus langsung ke pusat ruang ekspansi. Penambahan injektor pipa PVC ini tidak dimaksudkan untuk menaikkan tekanan fluida, melainkan untuk menjaga kekontinuan arah aliran serta meminimalisir dispersi fluida sebelum memasuki mekanisme *scroll*. seperti yang di perlihatkan gambar 3.



Gambar 3. (a) Lokasi *check valve* di dalam *discharge port*, (b) *Check valve* yang di lepas (c) Penempatan dan penambahan letak injector

B. Modifikasi Penambahan Plat

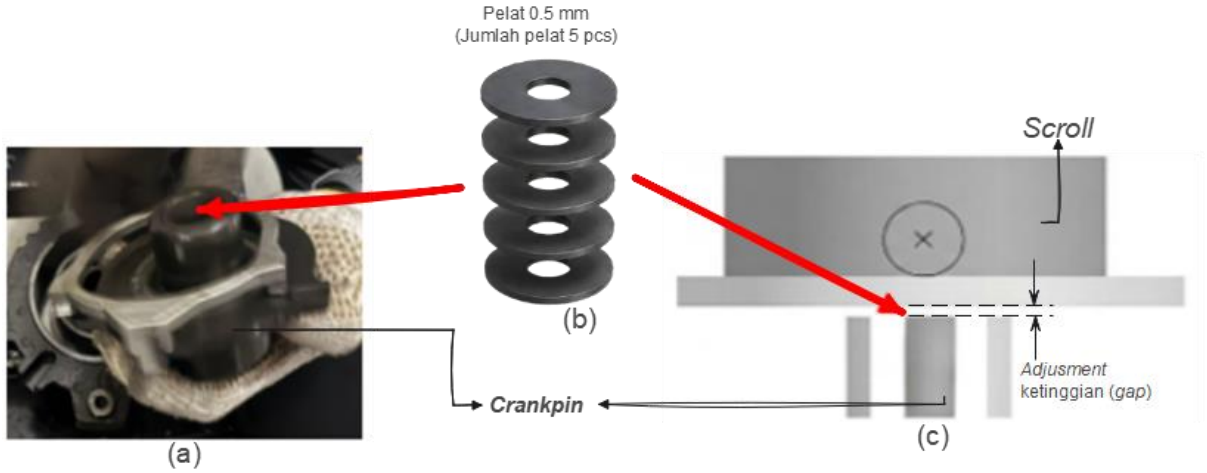
Clearance mekanis dilakukan melalui pengujian optimasi celah anti-*jamming* pada bagian *crankpin*. Berdasarkan tabel 1, pemasangan 1 lembar plat (0,5 mm) menyebabkan celah antar komponen terlalu sempit sehingga timbul kemacetan (*jamming*) akibat fenomena pemuaian termal (*thermal expansion*) saat komponen bergesekan. Sebaliknya, penggunaan 4–5 lembar

plat (2,0–2,5 mm) melonggarkan celah secara berlebihan dan mengganggu kestabilan orbit *scroll*. Susunan 3 lembar plat dengan ketebalan total 1,5 mm terbukti menjadi titik optimum yang memberikan ruang gerak ideal bagi *orbiting scroll*. Konfigurasi ini berhasil mencegah kemacetan mekanis dan meminimalisir kerugian akibat gesekan pada awal pengoperasian.

Tabel 1. Pengujian variasi ketebalan plat poros.

NO	BARANG	KETEBALAN	PENAMBAHAN PLAT	KETERANGAN
1	Plat	0.5mm	1	Macet
2	Plat	1 mm	2	Terhambat
3	Plat	1.5mm	3	Lancar
4	Plat	2 mm	4	Terhambat
5	Plat	2.5mm	5	Macet

Dalam pembuatan prototipe ini penulis menambahkan modifikasi pada kompresor *scroll* yaitu penambahan plat 0.5 mm pada bagian atas *crank pin*. Pada bagian plat tersebut bertujuan untuk mempermudah bagian lower *orbiting scroll* berputar dengan baik. Hal ini bisa di-pengaruhi karena lapisan oil film bisa terbentuk dengan mudah. Tabel 3 tersebut menunjukkan kondisi aktual mekanisme *scroll compressor* setelah dilakukan modifikasi menjadi *scroll ex-pander*. Penambahan plat dilakukan pada bagian mekanisme penggerak untuk menyesuaikan kembali posisi komponen setelah konstruksi kompresor diubah menjadi expander. Plat berfungsi sebagai spacer atau penambah jarak aksial, sehingga posisi komponen dapat disesuaikan dan *clearance* antara bagian yang bergerak dan bagian yang diam tetap berada pada kondisi yang memungkinkan mekanisme bekerja seperti yanng di tunjukan dan letak pada gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme pengaturan celah ruang bebas (*clearance gap*): (a) posisi fisik pemasangan pelat pengganjal pada rakitan komponen, (b) detail susunan pelat pengganjal dengan ketebalan 0,5 mm per keping, dan (c) skema teknis penyesuaian ketinggian celah.

C. Pengaruh Variasi Tekanan Masuk terhadap Kinerja Putaran (*Performance & Speed Characteristics*)

Hasil perhitungan laju aliran udara masuk untuk tipe *scroll expander* direkapitulasi pada tabel 2. Data memperlihatkan bahwa laju aliran udara menurun seiring dengan meningkatnya tekanan operasional. Fenomena ini diperkirakan terjadi akibat penyempitan celah katup

pengatur (*throttling*) guna mengompensasi kenaikan tekanan sistem. Temperatur keluar yang digunakan dalam perhitungan merupakan temperatur lingkungan yang diukur sebagai acuan kondisi keluaran *expander*.

Tabel 2. Data Tekanan, Temperatur, dan Flow Udara Masuk

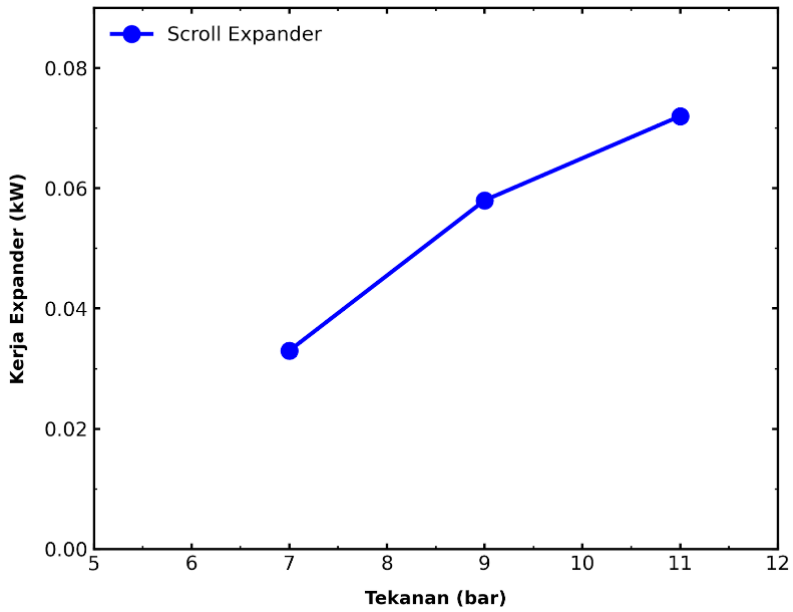
Tipe Expander	Tekanan (barg)	Tekanan (bar abs)	Temperatur Masuk(K)	Temperatur Keluar (K)	Flow (m^3/s)	Laju Aliran Massa
Scroll	6	7	307	303	0,001575	0,01251
Scroll	8	9	307,5	301	0,001181	0,01204
Scroll	10	11	300	300	0,000942	0,01203

Pengujian kinerja *scroll expander* dilakukan dengan mengalirkan udara bertekanan pada variasi tekanan masuk 6 barg (7 bar abs), 8 barg (9 bar abs), dan 10 barg (11 bar abs). Hubungan antara kenaikan tekanan suplai udara dengan energi mekanis yang dihasilkan disajikan pada tabel 3. Peningkatan tekanan masuk berdampak langsung pada peningkatan energi mekanis yang dihasilkan oleh *orbiting scroll*. Pada tekanan 6 barg (7 bar abs), kerja *expander* yang dihasilkan adalah sebesar 0,0333 kW. Ketika tekanan dinaikkan menjadi 8 barg (9 bar abs) dan 10 barg (11 bar abs), kerja mekanis meningkat secara signifikan masing-masing menjadi 0,0576 kW dan 0,0719 kW. Hal ini terjadi karena tekanan udara masuk yang lebih tinggi memicu penurunan entalpi fluida yang semakin besar di dalam ruang ekspansi, sehingga daya dorong fluida terhadap dinding spiral *orbiting scroll* meningkat dan menghasilkan torsi putaran poros yang lebih kuat.

Tabel 3. Perhitungan kerja Expander (Aktual)

Tipe Expander	Tekanan (bar)	Tekanan (bar abs)	h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	Kerja Expander (kW)
Scroll	6	7	432,06	429,32	0,0333
Scroll	8	9	432,14	427,31	0,0576
Scroll	10	11	432,23	426,3	0,0719

Grafik menunjukkan hubungan antara tekanan kerja dengan kerja yang dihasilkan oleh expander pada konfigurasi penambahan 3 plat dengan ketebalan total 1,5 mm berdasarkan data hasil pengujian aktual di Visualisasi kerja aktual *expander* disajikan secara grafik pada gambar 5. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat jelas bahwa peningkatan tekanan udara berbanding lurus dengan kenaikan kerja aktual pada *scroll expander.*



Gambar 5. Pengaruh Tekanan Masuk terhadap Kerja Scroll Expander (Aktual)

D. Analisis Keluaran Listrik dan Kemampuan Beban Lampu

Putaran poros *scroll expander* dimanfaatkan untuk menggerakkan rotor motor bawaan yang difungsikan sebagai generator guna memvalidasi hasil perancangan dalam menghasilkan energi listrik. Pengujian dilakukan pada variasi tekanan masukan 6, 8, dan 10 barg dengan tiga kali pengulangan untuk setiap variasi tekanan, menggunakan beban nyata berupa lampu pijar 100 W (220–240 V). Pengukuran tegangan listrik keluaran dilakukan menggunakan *multimeter*, namun pengukuran arus belum direkam pada tahap pengujian ini sehingga besaran daya listrik keluaran secara pasti belum dapat ditentukan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada tekanan masukan 6 barg, kerja mekanis sebesar 0,0333 kW baru mampu menyalakan lampu pijar dalam kondisi redup. Ketika tekanan udara dinaikkan pada rentang 7–10 barg (dengan puncak kerja mekanis 0,0719 kW pada 10 barg), putaran poros beroperasi secara stabil tanpa mengalami kemacetan mekanis (*jamming*) dan mampu menyalakan lampu pijar 100 W secara terang, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. kondisi lampu nyala pada beban lampu pijar 100 W

E. Proyeksi dan Evaluasi Penerapan pada Sistem ORC

Proyeksi kinerja *scroll expander* pada sistem ORC dengan fluida kerja *n-pentane* berdasarkan kondisi aliran aktual disajikan pada Tabel 3.4. Perhitungan kerja *expander* dilakukan berdasarkan selisih entalpi antara kondisi masuk (h_1) dan kondisi keluar (h_2),

dengan laju aliran massa diperoleh dari hasil perkalian densitas dan laju aliran volumetrik. Pada tekanan masuk 7 bar abs, densitas *n-pentane* sebesar 19,23 kg/m³ dengan laju aliran volumetrik 0,001575 m³/s, sehingga diperoleh kerja *expander* sebesar 1,276 kW. Ketika tekanan masuk meningkat menjadi 9 bar abs, densitas meningkat menjadi 24,979 kg/m³, sedangkan laju aliran volumetrik menurun menjadi 0,001181 m³/s dan kerja *expander* meningkat menjadi 1,851 kW. Pada tekanan 11 bar abs, densitas mencapai 31,002 kg/m³ dengan laju aliran volumetrik sebesar 0,000942 m³/s, sehingga kerja *expander* meningkat menjadi 2,312 kW. Peningkatan kerja *expander* tersebut dipengaruhi oleh semakin besar selisih entalpi antara kondisi masuk dan keluar, yaitu dari 42,14 kJ/kg pada 7 bar abs menjadi 79,19 kJ/kg pada 11 bar abs. Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4, peningkatan tekanan masuk *n-pentane* menghasilkan peningkatan kerja yang dapat dikonversikan menjadi daya mekanis oleh *scroll expander*.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kerja Expander Fluida *n-pentane*

Tipe Expander	Tekanan (bar abs)	Density (kg/m^3)	Flow (m^3/s)	h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	Kerja Expander (kW)
Scroll	7	19,23	0,001575	471,46	429,32	1,276
Scroll	9	24,979	0,001181	490,07	427,31	1,851
Scroll	11	31,002	0,000942	505,49	426,3	2,312

4. SIMPULAN

Kinerja *scroll expander* dalam Penyesuaian celah mekanis (*clearance*) poros menggunakan 3 lembar pelat *spacer* dengan ketebalan total 1,5 mm pada bagian *crankpin* merupakan konfigurasi paling optimum yang terbukti efektif memberikan ruang gerak ideal bagi *orbiting scroll* sekaligus mencegah kemacetan mekanis (*jamming*) akibat pemuaian termal. Pengujian daya mekanis aktual menggunakan suplai udara bertekanan menghasilkan kenaikan daya secara konsisten dari 0,0333 kW pada tekanan 6 barg hingga 0,0719 kW pada 10 barg, serta terbukti mampu memutar generator dan menyalakan beban lampu pijar 100 W secara terang dan stabil pada rentang tekanan operasi 7–10 barg. Berdasarkan analisis termodinamika, konversi kompresor *scroll* hermetik menjadi *expander* dinyatakan sangat layak untuk diaplikasikan pada sistem *organic rankine cycle* (ORC), di mana proyeksi kalkulasi berbasis fluida kerja *n-pentane* menunjukkan potensi daya mekanis sebesar 1,276 kW hingga 2,312 kW pada rentang tekanan 7–11 bar abs. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengukuran instrumen secara lebih presisi terhadap torsi poros, kecepatan putar (*revolutions per minute*/RPM), serta efisiensi isentropik *expander*.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] N. Yamada, M. Watanabe, and A. Hoshi, "Experiment on pumpless Rankine-type cycle with scroll expander," Energy, vol. 49, pp. 137-145, 2013..

[2] D. Manolakos, G. Kosmadakis, S. Kyritsis, and G. Papadakis, "Identification of behaviour and evaluation of performance of small scale, low-temperature organic Rankine cycle system coupled with a RO desalination unit," Energy, vol. 34, pp. 767-774, 2009

[3] H. Leibowitz, I. K. Smith, and N. Stosic, "Cost effective small scale ORC systems for power recovery from low grade heat sources," in Proc. ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo., 2006, IMECE2006

[4] Quoilin, S., Declaye, S., Tchanche, B. F., & Lemort, V. (2011). Thermo-economic optimization of waste heat recovery Organic Rankine Cycles. *Applied Thermal Engineering*, *31*(14–15), 2885–2893.

[5] C. Campana, L. Cioccolanti, M. Renzi, and F. Caresana, "Experimental analysis of a small-scale scroll expander for low-temperature waste heat recovery in Organic Rankine Cycle," *Energy*, vol. 187, p. 115929, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.115929.

[6] N. Yamada, Y. Tominaga, and T. Yoshida, "Demonstration of 10-Wp micro organic Rankine cycle generator for low-grade heat recovery," *Energy*, vol. 78, pp. 806–813, 2014. doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.075.

[7] J. Sun and B. Peng, "Experimental study on steady-state operation of organic Rankine cycle system under different operating conditions," *Scientific Reports*, vol. 15, pp. 1–18, 2025, doi: 10.1038/s41598-024-84813-2.

[8] C. Mateu-Royo, A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, and B. Peris**,** "Multi-objective optimization of a novel reversible High-Temperature Heat Pump-Organic Rankine Cycle (HTHP-ORC) for industrial low-grade waste heat recovery," *Energy Conversion and Management*, vol. 197, Art. no. 111908, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.111908.

[9] R. A. Sinaga, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "Pengaruh Kapasitor Terhadap Faktor Daya Motor Induksi Tiga Phasa di PT. Malindo Karya Lestari," *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 2, pp. 85–93, 2021, doi: 10.31849/teknik.v13i1.2360.

[10] O. Dumont, *Investigation of a Heat Pump Reversible into an Organic Rankine Cycle and Its Application in the Building Sector*, Ph.D. dissertation, University of Liège, Liège, Belgium, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.19499.13604.

[11] E. Galloni, G. Fontana, and S. Staccone, "Design and experimental analysis of a mini ORC (organic Rankine cycle) power plant based on R245fa working fluid," *Energy*, vol. 90, pp. 768–775, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.07.104.

[12] G. B. Muntoha, "Analisis perbandingan pengukuran nilai daya pada lampu light emitting diode (LED) DC 12 volt berbeda merek," Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia, 2018

[13] Lee, S.-J., Lee, D.-S., & Lee, B.-C. (1998). The Development of New Check Valve for Scroll Compressor. *International Compressor Engineering Conference*.

Daftar Simbol

m	=	Laju aliran massa, kg/s
Wexp	=	Kerja *expander*, kW
Q	=	Kapasitas, m^3/s
h	=	Entalphy, kJ/kg
h_2s	=	Entalphy isentropic, kJ/kg
ρ	=	Massa jenis, Kg/m^3
V	=	Tegangan, Volt