



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 1755-1763

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Paper Review: Pembuatan Gas Injection Condensor (GIC)

Karunia Natali Tarigan¹, Saudil Arabia², Andi Azril Arya Benanda³, Aldillah Herlambang⁴, Ir. Oki Alfernando⁵, Rizka Shafira⁶

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Kimia, Universitas Jambi

karunianatali06@gmail.com

Abstrak

Review jurnal ini membahas proses produksi kondensor tipe Gas Injection Condenser (GIC) pada industri otomotif dengan fokus pada pemilihan material, tahapan produksi, efisiensi proses, serta pengendalian kualitas produk. Jurnal yang direview menjelaskan bahwa material utama yang digunakan adalah aluminium alloy 3003, 3102, dan 6061 karena memiliki konduktivitas termal tinggi, ringan, dan tahan terhadap korosi. Selain material utama, digunakan pula material pendukung seperti brazing alloy Al-Si, flux, hydrophilic coating, bracket aluminium, O-ring, seal, dan sensor tekanan untuk meningkatkan performa serta daya tahan kondensor. Proses produksi terdiri dari enam tahapan utama, yaitu core assembling, small part, part assembling, bracket assembling, brazing, dan final assembling. Data pada jurnal menunjukkan bahwa total lead time produksi mencapai 108 menit atau 1,8 jam per unit dengan efisiensi produksi sebesar 63,44 pcs/jam dan waktu siklus rata-rata 57,14 detik per unit. Pengendalian kualitas dilakukan melalui inspeksi Quality Assurance dan Quality Control serta pengujian Helium Leak Test dengan tekanan 0,4–0,6 MPa di dalam vacuum chamber untuk mendeteksi kebocoran kecil secara akurat. Hasil review menunjukkan bahwa penerapan sistem produksi yang terstruktur, penggunaan material yang sesuai, serta inspeksi kualitas yang ketat mampu meningkatkan kualitas, keamanan, dan kuantitas produksi kondensor GIC. Tujuan review ini adalah untuk memahami efektivitas proses produksi, mengevaluasi spesifikasi material yang digunakan, serta meninjau peran metode pengujian dalam menjaga kualitas dan keandalan produk kondensor pada industri otomotif modern.

Kata kunci: Kondensor; Gas Injection Condensor; Paper Review; Brazing

1. Latar Belakang

Sistem pendingin (refrigeration system) merupakan sistem yang banyak digunakan dalam berbagai sektor industri untuk mengontrol temperatur melalui mekanisme perpindahan panas. Teknologi pendingin memiliki peran penting dalam berbagai bidang, seperti industri otomotif, makanan dan minuman, farmasi, elektronik, hingga sistem pendingin bangunan. Dalam operasinya, sistem pendingin bekerja dengan cara menyerap panas dari suatu ruang atau media kemudian melepaskannya ke lingkungan melalui siklus refrigerasi. Salah satu komponen utama dalam sistem ini adalah kondensor, yang berfungsi mengubah uap refrigeran atau fluida ke bentuk cair. Proses perubahan fase tersebut terjadi melalui pelepasan panas sehingga refrigeran dapat kembali digunakan dalam siklus pendinginan berikutnya. Oleh karena itu, performa kondensor sangat menentukan efisiensi keseluruhan sistem pendingin.

Sistem pendingin udara (air conditioning) merupakan salah satu komponen penting dalam kendaraan yang berfungsi untuk menjaga kenyamanan termal dengan mengatur suhu di dalam kabin. Seiring meningkatnya penggunaan kendaraan bermotor, kebutuhan terhadap sistem pendingin yang efisien juga semakin tinggi. Pengguna kendaraan modern tidak hanya menuntut kenyamanan, tetapi juga efisiensi energi, daya tahan komponen, serta sistem yang ramah lingkungan. Dalam sistem ini, kondensor memiliki peran krusial sebagai alat penukar panas yang bertugas mengubah refrigeran dari fase gas menjadi cair melalui proses pelepasan panas ke

lingkungan (Liu et al., 2018; Wijaya & Santoso, 2019). Proses perpindahan panas yang terjadi di dalam kondensor harus berlangsung secara optimal agar sistem pendingin mampu bekerja secara efisien dan menjaga stabilitas temperatur sesuai kebutuhan operasional kendaraan.

Kinerja kondensor sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah pemilihan material yang digunakan. Material yang digunakan pada kondensor harus mampu mendukung proses perpindahan panas secara maksimal sekaligus memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan kerja yang beragam. Material yang tepat harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta kekuatan mekanik yang baik agar mampu bekerja secara optimal dalam kondisi operasi yang beragam (Lee & Kim, 2019; Kumar & Prasad, 2018). Selain itu, material pada kondensor juga harus memiliki bobot yang ringan agar tidak menambah beban kendaraan secara signifikan. Dalam industri otomotif modern, pengurangan berat komponen menjadi salah satu fokus utama karena berkaitan langsung dengan efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi kendaraan.

Penggunaan material yang tepat juga berpengaruh terhadap umur pakai kondensor. Kondensor bekerja pada kondisi temperatur dan tekanan yang cukup tinggi sehingga material yang digunakan harus memiliki stabilitas termal dan ketahanan yang baik terhadap deformasi. Selain itu, lingkungan operasional kendaraan yang rentan terhadap kelembapan, debu, getaran, serta paparan zat kimia menyebabkan komponen kondensor berisiko mengalami korosi maupun kerusakan mekanik. Oleh karena itu, pemilihan material menjadi aspek penting dalam proses desain dan produksi kondensor karena berkaitan langsung dengan performa, keamanan, dan keandalan sistem pendingin secara keseluruhan.

Dalam perkembangannya, teknologi kondensor terus mengalami inovasi untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan mengurangi konsumsi energi. Salah satu inovasi yang berkembang adalah penggunaan desain microchannel heat exchanger dan teknologi Gas Injection Condenser (GIC). Teknologi ini dikembangkan untuk meningkatkan efektivitas perpindahan panas dengan desain yang lebih kompak dan efisien dibandingkan kondensor konvensional. Dengan perkembangan teknologi, desain kondensor juga mengalami inovasi, salah satunya adalah Gas Injection Condenser (GIC) yang menawarkan efisiensi perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan dengan kondensor konvensional (Zhang et al., 2021; Wang & Zhao, 2021). Penggunaan teknologi GIC memungkinkan distribusi refrigeran yang lebih optimal sehingga proses pelepasan panas dapat berlangsung lebih cepat dan merata. Selain itu, desain ini juga mampu meningkatkan efisiensi sistem pendingin tanpa harus meningkatkan ukuran komponen secara signifikan.

Pengembangan teknologi kondensor modern tidak hanya berfokus pada peningkatan performa, tetapi juga pada efisiensi proses produksi dan keberlanjutan lingkungan. Industri otomotif saat ini menghadapi tantangan untuk menghasilkan produk yang memiliki performa tinggi dengan konsumsi energi yang lebih rendah serta dampak lingkungan yang minimal. Oleh karena itu, pemilihan material dalam proses produksi kondensor menjadi aspek yang sangat penting. Penggunaan teknologi ini menuntut pemilihan material yang tidak hanya unggul secara teknis, tetapi juga mampu mendukung proses produksi yang efisien dan berkelanjutan. Dalam jurnal yang direview, dijelaskan bahwa material utama yang digunakan adalah aluminium alloy, yang dipilih karena sifatnya

yang ringan, tahan korosi, dan memiliki konduktivitas termal yang baik, serta didukung oleh material tambahan seperti brazing alloy, flux, dan coating untuk menunjang kinerja dan keandalan kondensor (Jayadiansyah, 2026; Siregar & Putra, 2021).

Aluminium alloy menjadi salah satu material yang paling banyak digunakan pada industri heat exchanger karena memiliki berbagai keunggulan dibandingkan material lainnya. Material ini memiliki kemampuan menghantarkan panas yang baik sehingga sangat efektif digunakan dalam proses perpindahan panas pada kondensor. Selain itu, aluminium memiliki massa jenis yang relatif rendah sehingga dapat mengurangi berat total sistem pendingin. Keunggulan lain dari aluminium adalah ketahanannya terhadap korosi, terutama apabila dilengkapi dengan lapisan pelindung tambahan seperti hydrophilic coating. Penggunaan material tambahan seperti brazing alloy berbasis aluminium-silikon juga memungkinkan proses penyambungan komponen berlangsung lebih baik dengan kekuatan sambungan yang tinggi. Sementara itu, penggunaan flux dalam proses brazing membantu menghilangkan oksidasi pada permukaan material sehingga kualitas sambungan menjadi lebih optimal.

Meskipun demikian, penggunaan aluminium dan material pendukung lainnya tetap memiliki beberapa keterbatasan. Produksi aluminium membutuhkan energi yang cukup besar sehingga berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dalam bentuk emisi karbon. Selain itu, penggunaan flux berbasis bahan kimia tertentu juga dapat menghasilkan limbah yang berisiko terhadap lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Proses brazing yang digunakan dalam produksi kondensor juga memerlukan temperatur tinggi sehingga membutuhkan konsumsi energi yang besar. Oleh karena itu, aspek keberlanjutan menjadi salah satu isu penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan material dan proses produksi kondensor di masa mendatang.

Meskipun material yang digunakan dalam penelitian tersebut telah memenuhi kebutuhan teknis dan industri, kajian lebih lanjut masih diperlukan untuk mengevaluasi aspek lain seperti keberlanjutan, efisiensi energi dalam proses produksi, serta potensi penggunaan material alternatif yang lebih ramah lingkungan (Singh & Gupta, 2022; Hidayat & Saputra, 2022). Pengembangan material yang lebih ramah lingkungan menjadi salah satu fokus penelitian dalam industri manufaktur modern. Penggunaan material daur ulang, pengurangan penggunaan bahan kimia berbahaya, serta optimasi konsumsi energi dalam proses produksi merupakan beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mendukung konsep industri berkelanjutan.

Evaluasi ini penting mengingat tuntutan industri modern yang tidak hanya berfokus pada performa, tetapi juga pada dampak lingkungan dan efisiensi sumber daya. Saat ini, industri otomotif global mulai menerapkan konsep green manufacturing dan sustainable production sebagai bagian dari strategi pengembangan industri. Oleh karena itu, pengembangan teknologi kondensor di masa mendatang tidak hanya dituntut mampu meningkatkan performa sistem pendingin, tetapi juga harus mampu mendukung efisiensi energi, pengurangan limbah, serta penggunaan material yang lebih berkelanjutan. Dengan demikian, kajian mengenai pemilihan material dan proses produksi kondensor tipe Gas Injection Condenser (GIC) menjadi penting untuk dilakukan sebagai upaya mendukung pengembangan teknologi pendingin yang efisien, andal, dan ramah lingkungan.

2. Metode Penelitian

Penulisan ini menggunakan metode *literature review* dengan pendekatan kualitatif, yang bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi secara kritis pemilihan material pada kondensor tipe *Gas Injection Condenser* (GIC) berdasarkan jurnal yang menjadi objek kajian utama. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada pemaparan isi jurnal, tetapi juga pada interpretasi dan penilaian terhadap aspek teknis, efisiensi, serta keberlanjutan material yang digunakan.

a. Sumber Data

Sumber data dalam review ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari:

1. Jurnal utama yang membahas proses produksi kondensor tipe Gas Injection Condenser (GIC), khususnya terkait material, proses manufaktur, dan metode pengujian.

2. Literatur pendukung berupa buku teks dan jurnal ilmiah yang relevan dengan topik kondensor,

Penggunaan sumber pendukung bertujuan untuk memperkuat analisis dan memberikan perspektif yang lebih luas dalam mengevaluasi isi jurnal.

b. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi, yaitu dengan membaca, memahami, dan mengidentifikasi informasi penting dari jurnal utama serta referensi pendukung. Data yang dikaji meliputi jenis material yang digunakan, tahapan proses produksi, serta metode pengujian yang diterapkan pada kondensor tipe GIC.

c. Teknik Analisis Review

Analisis dalam review ini dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu analisis deskriptif dan analisis kritis. Analisis deskriptif digunakan untuk menyajikan ringkasan isi jurnal secara sistematis, sedangkan analisis kritis digunakan untuk mengevaluasi kelebihan dan keterbatasan material serta proses yang digunakan dalam jurnal.

Selain itu, dilakukan pendekatan komparatif secara terbatas dengan membandingkan informasi dalam jurnal terhadap teori dan referensi lain yang relevan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi pengembangan material yang lebih efisien, aman, dan lingkungan. Dengan demikian, hasil review tidak hanya bersifat informatif, tetapi juga memberikan evaluasi dan rekomendasi yang konstruktif.

3. Hasil dan Diskusi

a. Ringkasan Jurnal

Jurnal yang direview membahas proses produksi kondensor tipe Gas Injection Condenser (GIC) yang terdiri dari enam tahapan utama, yaitu core assembling, small part, part assembling, bracket assembling, brazing, dan final assembling (Jayadiansyah, 2026). Material utama yang digunakan adalah aluminium alloy (3003, 3102, dan 6061) karena memiliki konduktivitas termal tinggi, bobot ringan, dan ketahanan terhadap korosi (Lee & Kim, 2019;

Kumar & Prasad, 2018). Material pendukung meliputi brazing alloy berbasis aluminium-silikon (Al-Si), flux, serta lapisan anti-korosi seperti hydrophilic coating (Zhao et al., 2020; Park & Lee, 2017).

Proses penyambungan komponen dilakukan menggunakan metode brazing dalam furnace dengan suhu tinggi, sedangkan pengujian kualitas dilakukan menggunakan metode helium leak test untuk memastikan tidak adanya kebocoran. Proses produksi memiliki total lead time sebesar 108 menit per unit dengan efisiensi produksi sebesar 63,44 pcs/jam.

b. Evaluasi Pemilihan Material

Penggunaan aluminium alloy sebagai material utama kondensor merupakan pilihan yang tepat dari segi teknis. Aluminium memiliki konduktivitas termal yang tinggi sehingga mampu mendukung proses perpindahan panas secara efektif. Selain itu, bobot yang ringan dan ketahanan terhadap korosi menjadikan material ini sesuai untuk aplikasi kondensor yang bekerja dalam kondisi lingkungan yang beragam (Lee & Kim, 2019; Kumar & Prasad, 2018).

Namun demikian, penggunaan aluminium memiliki keterbatasan dari sisi keberlanjutan. Proses produksi aluminium dikenal membutuhkan energi yang besar, sehingga berkontribusi terhadap emisi karbon (Rahman & Islam, 2019). Jurnal tidak membahas apakah material yang digunakan berasal dari aluminium daur ulang, padahal penggunaan material daur ulang dapat mengurangi dampak lingkungan secara signifikan (Singh & Gupta, 2022). Dengan demikian, meskipun material sudah optimal secara teknis, aspek keberlanjutan belum menjadi fokus dalam pemilihan material tersebut.

Pada material brazing alloy berbasis aluminium-silikon, keunggulan utamanya adalah kemampuan untuk meleleh pada suhu lebih rendah dibandingkan material utama sehingga tidak merusak struktur komponen. Hal ini sesuai dengan kebutuhan proses penyambungan pada kondensor (Zhao et al., 2020; Chen et al., 2020). Namun, proses brazing tetap memerlukan suhu tinggi, sehingga berdampak pada konsumsi energi yang besar (Pratama & Nugroho, 2020). Jurnal tidak memberikan pembahasan terkait efisiensi energi atau alternatif metode penyambungan yang lebih hemat energi.

Penggunaan flux dalam proses brazing berfungsi untuk menghilangkan oksidasi dan meningkatkan kualitas sambungan (Zhao et al., 2020). Meskipun secara teknis diperlukan, flux berbasis senyawa kimia seperti fluoride dan chloride berpotensi menimbulkan limbah berbahaya. Jurnal tidak membahas pengelolaan limbah atau alternatif flux yang lebih ramah lingkungan, sehingga aspek ini menjadi kelemahan dalam kajian material.

Pada bagian coating, penggunaan hydrophilic coating berbasis epoxy atau material sejenis bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan menjaga performa kondensor (Park & Lee, 2017). Namun, coating berbasis sintetis umumnya sulit terurai dan dapat menimbulkan dampak lingkungan dalam jangka panjang. Jurnal tidak mengevaluasi jenis coating yang digunakan dari sisi keberlanjutan, sehingga masih terdapat peluang pengembangan pada material pelapis yang lebih ramah lingkungan.

Material elastomer seperti O-ring dan seal berbasis NBR atau HNBR digunakan untuk mencegah kebocoran pada sambungan. Material ini umum digunakan dalam industri karena memiliki elastisitas dan ketahanan terhadap

tekanan yang baik. Namun, material berbasis petroleum memiliki keterbatasan dalam hal degradasi lingkungan. Jurnal tidak membahas alternatif material elastomer yang lebih tahan terhadap lingkungan atau memiliki umur pakai lebih panjang.

Tabel Perbandingan Material Gas Injection Condenssor (GIC)

Sumber: Olahan Pribadi

No	Komponen	Material Pada Jurnal	Material Usulan
1	Fin/Tube	Aluminium Alloy (3003/3102)	Recycled Aluminium Alloy
2	Struktur	Aluminium Alloy (6061)	Aluminium Matrix Composite
3	Flux	Fluoride/Chloride flux	Non-corrosive flux
4	Brazing	Al-Si (AlSi12)	Low-temp brazing alloy
5	Coating	Epoxy / hydrophilic coating	Water-based coating
6	Seal	NBR/HNBR	EPDM / bio-elastomer

Tabel Keterangan Pemilihan Material

Sumber: Olahan Pribadi

Aspek Perbandingan	Alasan Penggantian (berdasarkan analisis jurnal)	Kelebihan Material Usulan	Kekurangan Material Usulan	Implikasi terhadap Sistem
Konduktivitas, energi produksi, lingkungan	Jurnal menekankan performa termal tinggi, namun tidak membahas konsumsi energi produksi aluminium primer yang tinggi.	Menurunkan energi produksi hingga signifikan, tetap konduktivitas tinggi.	Kualitas tergantung kemurnian scrap, perlu kontrol komposisi	Efisiensi termal tetap, dampak lingkungan menurun
Kekuatan mekanik, berat, durability	Jurnal fokus pada kekuatan dan ringan, belum mengeksplor material dengan rasio kekuatan/berat lebih tinggi	Kekuatan lebih tinggi, tahan deformasi	Biaya tinggi, manufaktur kompleks	Meningkatkan umur pakai namun biaya naik
Energi proses, kekuatan sambungan	Jurnal menggunakan furnace suhu tinggi tanpa evaluasi efisiensi energi	Mengurangi suhu brazing dan konsumsi energi	Kekuatan sambungan bisa menurun jika tidak optimal	Efisiensi energi meningkat, perlu validasi kekuatan

Keamanan, limbah, lingkungan	Jurnal tidak membahas dampak limbah kimia dari flux	Lebih aman bagi operator dan lingkungan	Efektivitas pembersihan bisa lebih rendah	Menurunkan risiko limbah berbahaya
Korosi, lingkungan, durability	Jurnal hanya fokus proteksi korosi tanpa evaluasi dampak kimia coating	Lebih ramah lingkungan, rendah VOC	Ketahanan jangka panjang bisa lebih rendah	Perlu optimasi agar umur pakai tetap tinggi
Ketahanan lingkungan, umur pakai	Jurnal tidak membahas degradasi material elastomer	Lebih tahan ozon dan cuaca	Tidak kompatibel semua refrigeran	Potensi umur pakai lebih panjang

c. Evaluasi Proses Produksi

Proses produksi kondensor GIC dalam jurnal telah terstruktur dengan baik dan mencakup tahapan yang sistematis (Jayadiansyah, 2026). Pembagian proses menjadi beberapa tahap menunjukkan adanya kontrol kualitas pada setiap bagian produksi.

Nilai lead time sebesar 108 menit per unit menunjukkan bahwa proses produksi telah dirancang untuk efisiensi tertentu. Selain itu, meskipun terdapat indikasi penggunaan otomatisasi dalam proses produksi, jurnal tidak memberikan analisis mendalam terkait tingkat otomasi atau dampaknya terhadap efisiensi dan konsistensi kualitas (Wang & Zhao, 2021). Evaluasi terhadap potensi peningkatan otomatisasi juga tidak dibahas.

d. Evaluasi Metode Pengujian

Metode helium leak test yang digunakan dalam jurnal memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dalam mendeteksi kebocoran. Penggunaan metode ini merupakan keunggulan karena mampu menjamin kualitas produk secara lebih akurat dibandingkan metode konvensional (Jayadiansyah, 2026; Wijaya & Santoso, 2019). Namun, metode ini memiliki keterbatasan dari segi biaya dan kompleksitas peralatan. Jurnal tidak membahas aspek biaya operasional atau perbandingan dengan metode pengujian lain yang mungkin lebih ekonomis. Selain itu, tidak dijelaskan apakah seluruh produk diuji atau hanya dilakukan sampling, yang dapat mempengaruhi efisiensi produksi.

e. Analisis Keberlanjutan

Dari sisi keberlanjutan, jurnal masih berfokus pada aspek teknis dan kualitas produk, tanpa membahas dampak lingkungan dari material dan proses yang digunakan. Penggunaan aluminium, flux berbasis kimia, serta proses brazing bersuhu tinggi menunjukkan adanya potensi dampak lingkungan yang cukup signifikan (Rahman & Islam, 2019; Singh & Gupta, 2022).

Tidak adanya pembahasan terkait penggunaan material daur ulang, efisiensi energi, maupun pengelolaan limbah menunjukkan bahwa aspek keberlanjutan belum menjadi prioritas dalam kajian tersebut. Padahal, dalam perkembangan industri saat ini, integrasi antara kinerja teknis dan keberlanjutan menjadi hal yang penting (Hidayat & Saputra, 2022). Dengan demikian, terdapat peluang untuk mengembangkan material dan proses yang lebih

ramah lingkungan, seperti penggunaan aluminium daur ulang, pengurangan penggunaan bahan kimia berbahaya, serta optimasi konsumsi energi dalam proses produksi.

f. Pembahasan Umum

Secara keseluruhan, jurnal telah menunjukkan bahwa pemilihan material dan proses produksi yang digunakan mampu menghasilkan kondensor dengan kualitas dan keandalan yang baik (Jayadiansyah, 2026). Namun, pembahasan dalam jurnal masih terbatas pada aspek teknis dan belum mencakup evaluasi yang lebih luas terkait efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan (Singh & Gupta, 2022; Rahman & Islam, 2019).

Evaluasi yang dilakukan dalam review ini menunjukkan bahwa meskipun tidak terdapat kesalahan signifikan dalam pemilihan material, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan, terutama dalam hal penggunaan material yang lebih ramah lingkungan dan optimasi proses produksi. Dengan demikian, pengembangan di masa mendatang sebaiknya tidak hanya berfokus pada peningkatan performa, tetapi juga pada pengurangan dampak lingkungan dan peningkatan efisiensi sumber daya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil review dan evaluasi terhadap jurnal, dapat disimpulkan bahwa pemilihan material pada kondensor tipe Gas Injection Condenser (GIC) secara umum telah memenuhi kebutuhan teknis industri. Penggunaan aluminium alloy sebagai material utama dinilai tepat karena memiliki konduktivitas termal tinggi, bobot ringan, serta ketahanan terhadap korosi yang baik. Material pendukung seperti brazing alloy berbasis aluminium-silikon, flux, coating, serta elastomer juga mampu menunjang kinerja dan keandalan produk secara keseluruhan. Namun, evaluasi menunjukkan bahwa pembahasan dalam jurnal masih berfokus pada aspek teknis dan kualitas produk, tanpa mempertimbangkan secara mendalam aspek keberlanjutan dan dampak lingkungan. Proses produksi seperti brazing dengan suhu tinggi serta penggunaan material berbasis kimia menunjukkan adanya potensi konsumsi energi besar dan limbah yang belum dioptimalkan. Selain itu, tidak terdapat pembahasan mengenai alternatif material yang lebih ramah lingkungan atau penggunaan material daur ulang. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun material yang digunakan telah optimal dari sisi performa dan aplikasi industri, masih terdapat peluang pengembangan, khususnya dalam meningkatkan efisiensi energi dan keberlanjutan material.

Referensi

1. Jayadiansyah, T. (2026). *Proses produksi kondensor tipe gas injection condenser (GIC) di PT XYZ*. Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH), 6(1), 352–372.
2. Lee, S. H., & Kim, Y. J. (2019). Thermal performance analysis of aluminum heat exchangers for air conditioning systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 134, 1085–1095.
3. Zhao, C., Wang, T., & Liu, X. (2020). Brazing technology and performance of aluminum alloy heat exchangers: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 276, 116–125.
4. Kumar, A., & Prasad, R. (2018). Evaluation of corrosion resistance of aluminum alloys in heat exchanger applications. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 5678–5684.
5. Zhang, H., Li, J., & Chen, G. (2021). Advances in microchannel heat exchanger technology for HVAC systems. *Applied Thermal Engineering*, 189, 116–132.
6. Park, J. W., & Lee, D. Y. (2017). Performance enhancement of condensers using hydrophilic coatings. *Energy Conversion and Management*, 145, 244–252.

-
7. Singh, V., & Gupta, R. (2022). Sustainable materials in heat exchanger manufacturing: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112–130.
 8. Chen, L., Xu, Y., & Huang, Z. (2020). Effects of brazing parameters on mechanical properties of aluminum heat exchangers. *Journal of Manufacturing Processes*, 54, 56–63.
 9. Rahman, M. M., & Islam, M. A. (2019). Environmental impact assessment of aluminum production and recycling. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117–125.
 10. Wang, Y., & Zhao, H. (2021). Optimization of heat exchanger design for improved thermal efficiency. *Applied Energy*, 285, 116–140.
 11. Liu, Q., Sun, D., & Zhang, X. (2018). Comparative study of different refrigerant systems and condenser performance. *Energy Procedia*, 152, 1020–1025.
 12. Siregar, H., & Putra, D. (2021). Analisis pemilihan material pada heat exchanger industri berbasis aluminium. *Jurnal Rekayasa Material Indonesia*, 5(1), 45–53.
 13. Pratama, R., & Nugroho, A. (2020). Studi pengaruh proses brazing terhadap kekuatan sambungan aluminium pada kondensor. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 12(2), 89–97.
 14. Wijaya, B., & Santoso, E. (2019). Evaluasi performa kondensor pada sistem pendingin industri. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 13(1), 23–30.
 15. Hidayat, T., & Saputra, F. (2022). Pengembangan material ramah lingkungan untuk aplikasi heat exchanger. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 14(2), 101–110.