

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Peneliti mengumpulkan berbagai informasi yang terkait dengan penelitian dari berbagai jurnal ilmiah terdahulu, sebagai bahan pembanding guna meninjau kekurangan dan kelebihan yang telah ditemukan oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Di sisi lain, peneliti juga turut memanfaatkan data dari proyek terdahulu untuk menggali informasi teoritis yang relevan dengan judul penelitian, sehingga dapat terbentuk dasar teori ilmiah yang mendukung studi ini. Berikut ini adalah beberapa literatur akademik yang mengeksplorasi berbagai aspek pengelolaan limbah dan pemulihan panas dalam industri manufaktur.

Kelompok 1: Daur Ulang dan Pemulihan Panas dari Proses Industri Logam

1. Stefano Capuzzi et al. [11]—Fokus Pada Proses Daur Ulang Aluminium, Termasuk Inovasi Dan Tantangan Dalam Meningkatkan Kualitas Paduan Aluminium Daur Ulang.
2. Daniel Brough et al [4]—Kajian Mengenai Keseluruhan Proses Produksi Aluminium, Termasuk Teknologi Daur Ulang Dan Pemulihan Panas Terbuang.
3. Fan Yang et al [12]—Penelitian Tentang Pemulihan Panas Dari Aluminium Dross Dan Residu Karbon, Menggunakan Metode Penggabungan Fisik Dan Kimia.

Kelompok 2: Sistem Pemulihan Panas (WHR) dan Efisiensi Energi

1. Inigo Bonilla et al [13]—Pemodelan Energi Baru Dalam Industri Aluminium Untuk Meningkatkan Efisiensi Dengan Sistem Pemulihan Panas Buangan (WHRS).
2. Iñigo Ortega et al [14]—Teknologi Pemulihan Panas Dari Gas Buangan Bersuhu Tinggi Di Pabrik Baja Menggunakan Sistem Penyimpanan Energi Termal.
3. Jingyi Wang et al [15]—Optimasi Desain Sistem Pemulihan Panas Menggunakan Pompa Panas Dan Analisis Eksergi.

Kelompok 3: Efisiensi Energi dan Kontrol di Industri Manufaktur

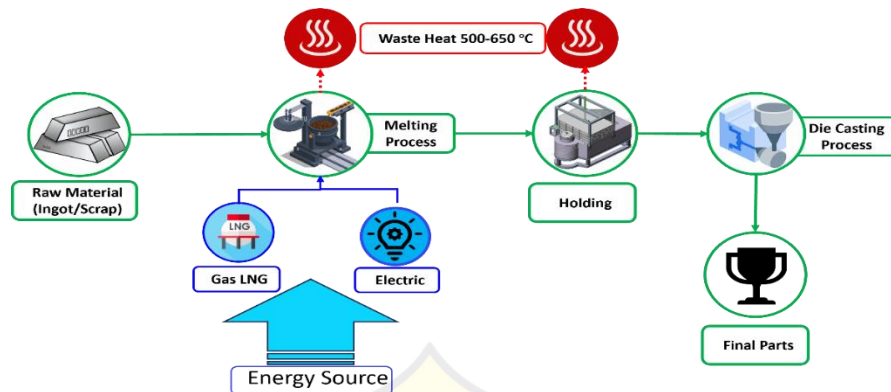
1. Yandri et al [16] (Metode Pengukuran)—Penelitian Tentang Pengukuran Penghematan Energi Di Industri Manufaktur Menggunakan Sistem Kontrol Manajemen Energi (EMCS).
2. Yandri et al [17] (Skrup Aluminium)—Desain Mesin Pengolah Skrap Aluminium Menggunakan Sistem Pengeringan Konveyor.
3. Diana M. Carabalía et al [18]—Peningkatan Efisiensi Energi Di Industri Pengecoran Logam (Ferrous Dan Non-Ferrous) Melalui Teknologi Inovatif.
4. Elliot Woolleya et al [19]—Pengembangan Kerangka Kerja Untuk Pemulihan Energi Panas Terbuang Di Sektor Industri.

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa pemulihan panas limbah (WHR) di industri pengecoran logam memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi dampak lingkungan [4], dan menekan biaya operasional [2,7]. Meskipun banyak penelitian telah membahas metode peningkatan efisiensi energi melalui teknologi WHR, masih ada kekurangan terkait penerapan komprehensif WHR di berbagai jenis industri pengecoran. Penelitian sebelumnya kurang mengeksplorasi efisiensi termal dan potensi penghematan energi dari teknologi WHR tertentu. Penelitian ini menawarkan pendekatan baru dengan menggabungkan evaluasi WHR dari aspek termal, produksi, dan ekonomi secara menyeluruh, bertujuan menemukan konfigurasi terbaik untuk efisiensi energi. Tujuan utamanya adalah memodelkan pemulihan panas limbah, mengevaluasi potensi penghematan energi, dan memberikan solusi untuk meningkatkan keberlanjutan di sektor pengecoran logam[10].

2.1 Panas Buangan Dalam Proses Industri dan Teknologi pemanfaatannya.

Seperti yang terlihat pada gambar 2.1[10], pada proses melting, dibutuhkan dua jenis sumber energi utama, yaitu gas (LNG) dan listrik [20]. Proses melting ini merupakan salah satu pengguna gas terbesar, dengan konsumsi mencapai 34.000 M3 bulan, yang mencerminkan tingginya kebutuhan energi untuk mencapai suhu yang diperlukan guna mencairkan aluminium atau material lainnya [21]. Di sisi lain, konsumsi listrik terbesar tercatat pada proses die casting, di mana penggunaan listrik

mencapai 13.500 KW.



Gambar 2. 1 Alur Proses Dari Raw Material [10]

Tabel 2.1, ini membantu mengidentifikasi titik-titik kritis dalam aliran proses produksi di mana konsumsi energi paling besar terjadi, sehingga memungkinkan perusahaan untuk mengevaluasi potensi penghematan energi dan efisiensi dalam operasionalnya

Proses	Melting	Die Casting	Deburring	Heat Treatment	Short Blast
Sumber Energy	LNG/Electric	Electric	Electric	Electric	Electric
Konsumsi	LNG 34.000 M ³ /Month	13.500	7.000	12.000	3.000
Energy	Electric 3.340 kWh/month	(kW/Month)	(kW/Month)	(kW/Month)	(kW/Month)
Temperature Proses	Melting 600 - 750°C Holding 600 - 750°C	600 - 750 (°C)	50 - 100 (°C)	700 - 1000 (°C)	50 - 100 (°C)

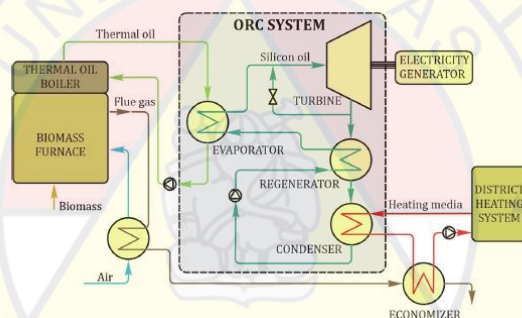
Tabel 2. 1 Identifikasi Sumber Energi

Panas ini terutama dihasilkan selama proses peleburan[10]. Menurut IEA, panas berlebih industri yang terbuang ini adalah panas yang terkandung dalam semua aliran yang keluar dari proses industri pada saat tertentu panas buangan ini sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal dan hanya dibuang ke lingkungan, yang tidak hanya membuang energi potensial tetapi juga dapat berkontribusi pada pemanasan global [3,20].

Integrasi Sistem Pemulihan Panas Buang (WHRS) dalam pengecoran logam dapat secara signifikan mengurangi konsumsi energi, melalui teknik pemanasan awal

yang inovatif selain itu rencananya, panas buangan tersebut akan digunakan untuk pemanasan awal bahan baku sebelum memasuki tahap peleburan. Dengan menerapkan metode ini, suhu awal bahan baku yang sebelumnya sekitar 50 °C akan meningkat secara signifikan hingga sekitar 350 °C setelah menjalani proses pemanasan awal. Pemanasan awal ini menggunakan udara panas (Gas buang) hasil dari proses peleburan logam Aluminium yang di salurkan melalui pipa. Strategi ini tidak hanya menghemat sumber daya tetapi juga mengurangi dampak lingkungan.

Dalam studi ini, WHR digunakan langsung dari satu proses ke proses lainnya, bukan untuk pembangkit listrik seperti *Organic Rankine Cycle*[21]. Gambar 2.2 memberikan penjelasan mengenai pemanfaatan panas terbuang dan teknologi yang digunakannya.



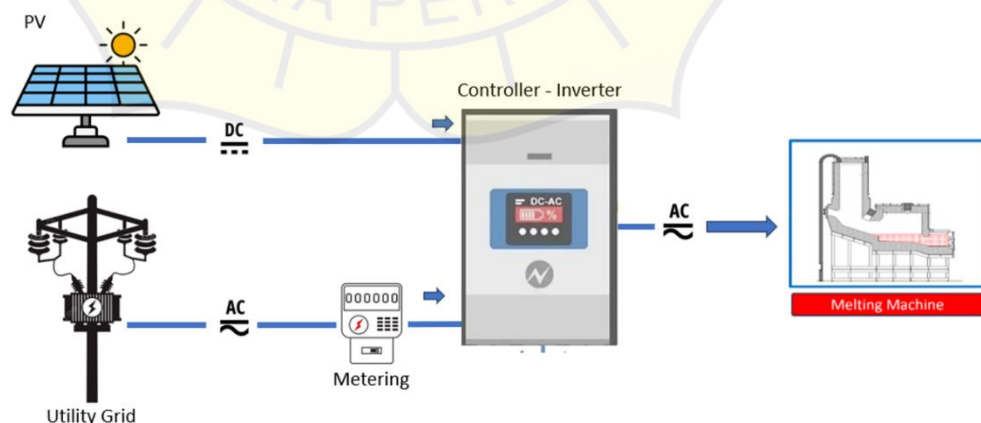
Gambar 2. 2 Skema Pemulihan Panas ORC [24]

2.2 Integrasi Energi Terbarukan dan Panas Terbuang

Integrasi panas terbuang dan energi terbarukan adalah pendekatan inovatif dalam meningkatkan efisiensi energi di industri. Melalui pemanfaatan panas terbuang, seperti dari proses peleburan logam, energi yang seharusnya hilang ke lingkungan dapat digunakan kembali, misalnya untuk memanaskan bahan baku atau menghasilkan listrik.

Ditambah dengan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, sistem *hybrid* ini mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengoptimalkan penggunaan energi yang tersedia. Keuntungan ekonomi dan lingkungan dari pendekatan ini signifikan, termasuk penurunan biaya operasional dan pengurangan emisi karbon [22]. Penerapan integrasi ini pada sektor industri memungkinkan penghematan energi yang substansial, meningkatkan keberlanjutan, dan mendukung inisiatif ramah lingkungan melalui pengurangan emisi dan efisiensi operasional.

Penulis mencoba untuk membuat konsep *design* dengan menggunakan energi terbarukan dalam hal ini energi yang berasal dari solar panel untuk menjadi sumber energi listrik pada proses melting dengan simulasi 30 % menggantikan energi listrik dari PLN. Untuk mengembangkan konsep desain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 diperlukan pemilihan material dan komponen utama yang akan digunakan dalam sistem. Material yang dibutuhkan mencakup panel surya (*PV*), dan inverter yang berfungsi sebagai penghubung antara sistem energi terbarukan dan beban listrik yang akan dioperasikan. Panel surya akan berperan dalam menangkap energi matahari dan mengonversinya menjadi listrik[23,24], Inverter akan mengubah arus searah (*DC*) dari *PV* menjadi arus bolak-balik (*AC*)[25] yang dapat digunakan oleh mesin melting. Rincian konfigurasi dari *PV*, dan inverter dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini:



Gambar 2. 3 Konsep Rangkaian Solar Panel [20]

2.3 Efisiensi Energi dan Pengurangan Emisi

Untuk menghitung panas terbuang yang dapat dimanfaatkan, kita perlu mengetahui kapasitas sistem WHR yang digunakan dan seberapa efisien sistem tersebut dalam menangkap serta mengonversi panas buang menjadi energi.

Kapasitas menentukan jumlah panas yang bisa diolah, sementara efisiensi menunjukkan seberapa efektif sistem dalam memanfaatkan energi tersebut, sehingga dapat mengurangi konsumsi energi utama dan emisi.

Tabel 2. 2 Implementasi Penggunaan Panas Terbuang

Parameter	Implementation		Improvement (%)
	Before WHR	After WHR	
Total Energy Consumption (kWh)	-	-	-
Gas (LNG) Consumption (kWh)	-	-	-
Waste Heat Utilized (kWh)	-	-	-
CO ₂ Emission (tons/to of product)	-	-	-
Energy cost savings (IDR/Years)	-	-	-

Tabel 2.2 akan memberikan gambaran komprehensif mengenai penerapan *Waste Heat Recovery (WHR)* dari berbagai sudut pandang yang berbeda yaitu penggunaan langsung untuk pemanasan bukan untuk *ORC*. Dalam tabel tersebut, beberapa aspek kunci yang akan dibahas meliputi potensi penghematan energi, dampak terhadap efisiensi operasional, serta kontribusi terhadap pengurangan emisi karbon. Selain itu, tabel ini juga menyajikan data mengenai biaya implementasi teknologi WHR, potensi pengurangan biaya operasional jangka panjang, dan evaluasi dampak lingkungan dari penerapan teknologi tersebut. Dengan menganalisis dari sudut pandang teknis, ekonomi, dan lingkungan, tabel ini bertujuan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang manfaat dan tantangan yang dihadapi dalam penerapan sistem WHR di industri pengecoran logam