

**KAJIAN PENGEMBANGAN INDUSTRI PENGOLAHAN PASIR BESI
DI KABUPATEN TRENGGALEK DENGAN PEMANFAATAN
BENDUNGAN BAGONG DAN TUGU SEBAGAI PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) GUNA MENDUKUNG
PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN**

Muhammad Fatih A. R.¹, Rizqi Dharma H.² dan Achmad Zanuar R.³

¹Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

²Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

³Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

¹muhammadfatih20@gmail.com, ²rizqid80@gmail.com,

³zanuarrezaofficial@gmail.com

Abstract

This research is aimed to provide a study about the development of iron sand industry in Trenggalek by employing Bagong and Tugu dams as Micro Hydro Power (MHP) plant in term of achieving the Sustainable Development Goals (SDGs). This research is conducting through literature studies to resume the information and data about iron sand resources in Trenggalek, including the suitable technology of iron sand processing. It also points out the potential of Bagong and Tugu dams as MHP plant to provide renewable and cleaner energy. This study proposes a concept of iron sand processing through a pyrometallurgical route by using Sintering - Blast Furnace technology. This Sintering – Blast Furnace technology processes iron sand through a carbothermic reaction to produce ferrous metal. This research uses a simulating method by utilizing the Factsage software to predict the conditions of carbothermic reactions during the process. This simulation provides an analysis to determine the appliances requirements and the consumption of electrical energy required in iron sand processing through Sintering - Blast Furnace technology. Based on the research, the result shows that iron sand in Trenggalek can be processed through Sintering - Blast Furnace technology to produce ferrous metal by recovering 86,98% of the iron with the supply of electrical energy from Bagong and Tugu dams to run the processing appliances in iron sand industry.

Keyword: iron sand, MHP plant, blast furnace

Pendahuluan

Kabupaten Trenggalek yang terletak di pesisir selatan Pulau Jawa menyimpan potensi pasir besi sebesar 705.200.000 ton yang tersebar di area seluas 350 hektar (Kementerian ESDM, 2016). Pasir besi dengan kandungan mineral, seperti magnetit, ilmenit, piroksen, hornblenda, zirkon, apatit, dan felspar memiliki potensi ekonomi yang sangat besar jika diolah dengan baik. Selain itu, UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara juga menyebutkan tentang adanya larangan ekspor bijih mentah sebagai upaya untuk menjaga ketersediaan sumber daya alam di Indonesia, serta langkah awal dalam mendukung program hilirisasi. Namun, pengolahan pasir besi ini belum dapat dilakukan secara optimal, salah satunya karena terkendala penyediaan energi listrik yang murah dalam jumlah besar untuk mendukung operasional industri pengolahan pasir besi.

Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE, 2018) menyebutkan bahwa sektor industri merupakan konsumen energi listrik terbesar kedua di Indonesia dengan konsumsi mencapai 33% dari total energi listrik tersalurkan. Di lain sisi, sampai saat ini penyediaan energi listrik di Indonesia masih sangat bergantung pada sumber energi konvensional, seperti batubara, minyak bumi, dan BBM. Padahal, ketersediaan energi konvensional sebagai sumber daya tak terbarukan semakin terbatas. Oleh karena itu, saat ini diperlukan energi baru terbarukan (EBT) untuk mendukung kehidupan yang berkelanjutan di masa mendatang. Pemerintah melalui Peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 terus mendorong pemanfaatan EBT sebagai substitusi energi konvensional untuk menghasilkan energi listrik dengan harga yang wajar dan terjangkau.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi energi baru terbarukan (EBT) yang sangat besar yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Salah satu potensi terbesar EBT yang dimiliki Indonesia adalah energi air. Kendati demikian, pemanfaatan energi air sebagai pembangkit listrik tenaga air (PLTA) sampai saat ini hanya berkisar 8% dari total pembangkit listrik

terpasang (EBTKE, 2018).

Dalam rangka meningkatkan pemanfaatan energi air, pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) gencar melakukan pembangunan bendungan yang salah satunya dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air. Salah satu proyek pembangunan bendungan yang termasuk dalam Proyek Strategis Nasional (PSN) adalah Bendungan Bagong dan Tugu yang terletak di Kabupaten Trenggalek (Peraturan Presiden No. 3 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Proyek Strategis Nasional). Pembangunan kedua bendungan tersebut secara umum ditujukan sebagai sarana penyediaan kebutuhan air baku, air irigasi, sarana pariwisata, termasuk sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) untuk menyediakan kebutuhan listrik bagi kawasan sekitar bendungan (BBWS Brantas, 2020).

Berlandaskan latar belakang tersebut, maka penting untuk dilakukan kajian mengenai pengembangan industri pengolahan pasir besi di Kabupaten Trenggalek dengan pemanfaatan Bendungan Bagong dan Tugu sebagai PLTMH guna mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan mekanisme pengolahan pasir besi di Kabupaten Trenggalek, kebutuhan listrik yang diperlukan dalam proses pengolahan pasir besi di Kabupaten Trenggalek, serta potensi pemanfaatan Bendungan Bagong dan Tugu sebagai PLTMH untuk mendukung industri pengolahan pasir besi di Kabupaten Trenggalek.

Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai pasir besi di Kabupaten Trenggalek telah dilakukan oleh Utoyo dan Sarmili (2008) dengan mengambil sampel percontohan dari wilayah muara Kali Konang dan Pantai Panggul, Kabupaten Trenggalek untuk kemudian dilakukan pengujian kimia dengan alat X-Ray Fluorescence (XRF). Ringkasan hasil pengujian sampel pasir besi secara lengkap disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Analisis Kandungan Pasir Besi di Muara Kali Konang dan Pantai Panggul, Kabupaten Trenggalek

Komponen	Sampel (%)	
	05 HR 29	05 HR 33
Magnetit (Fe_3O_4)	71,959	79,303
Ilmenit (FeTiO_3)	6,237	9,235
Piroksen	3,909	3,627
Limonit ($\text{FeO}(\text{OH})$)	3,011	2,622
Horenblenda	3,531	2,346
Felspar	5,977	1,714
Kuarsa	3,791	0,971
Fragmen Batuan	0,013	0,179
Zirkon	0,793	0,002
Apatit	0,779	0,001
Jumlah	100	100

Sumber: Petrogenesis Endapan Pasir Besi di Pantai Panggul, Trenggalek
(Utoyo dan Sarmili, 2008)

Lakshmanan (2005) menjelaskan bahwa salah satu jalur dalam pengolahan pasir besi adalah pirometalurgi. Jalur pirometalurgi merupakan metode pembakaran pasir besi dengan bantuan reduktor, misalnya karbon pada temperatur yang mencapai lebih dari 1000 °C untuk mereduksi senyawa oksida logam menjadi logam. Proses pirometalurgi juga akan menghasilkan produk berupa terak (*slag*) yang mengandung mineral-mineral yang tidak tereduksi, seperti SiO_2 dan mineral lainnya yang sulit tereduksi menjadi logam. Salah satu keuntungan pengolahan pasir besi dengan jalur pirometalurgi adalah proses berlangsung dengan cepat karena pada temperatur di atas 1000 °C kinetika reaksi akan berlangsung lebih cepat. Jalur pirometalurgi juga memungkinkan pengolahan pasir besi dengan kapasitas produksi yang besar, serta efisiensi

energi yang baik. Namun demikian, jalur pirometalurgi juga memiliki kelemahan bahwa tidak semua besi dapat terpisah dengan TiO_2 sehingga proses peleburan membutuhkan kondisi pemanasan yang lebih tinggi untuk melelehkan besi agar terpisah dari TiO_2 .

Bendungan, sebagaimana dijelaskan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 37 Tahun 2010 tentang Bendungan, yaitu bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Secara umum, terdapat dua jenis bendungan, yaitu *single purpose dam* dan *multi-purpose dam*. *Single purpose dam* merupakan bendungan yang dibuat hanya untuk satu tujuan khusus, seperti penyediaan air irigasi. Sementara *multi-purpose dam* merupakan bendungan yang dibangun dengan desain untuk berbagai tujuan seperti irigasi, penyedia air baku dan juga sebagai pembangkit listrik, maupun pengembangan lokasi kawasan wisata.

Pembagian bendungan sebagai pembangkit listrik sering dikaitkan dengan kapasitas daya listrik yang dihasilkan oleh bendungan tersebut. Mengacu pada penjelasan Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral (Litbang ESDM), pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang dihasilkan dari aliran air dengan kapasitas keluaran (*output*) antara 5 kW sampai 1 MW per unit.

Basuki (2007) menyebutkan setidaknya terdapat lima alasan yang menjadikan pembangkit listrik mikrohidro sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia, yaitu

1. Energi yang tersedia tidak akan habis selama siklus hidrologi terjaga baik, seperti daerah tangkapan dan vegetasi sekitar sumber air;
2. Proses yang dilakukan mudah dan murah jika dibandingkan pembangkit listrik tenaga konvensional, seperti BBM;
3. Tidak menimbulkan polutan yang berbahaya;
4. Penerapan pembangkit listrik mikrohidro secara tidak langsung akan

mengarahkan pada upaya pengelolaan dan penataan lingkungan agar tetap seimbang;

5. Mengurangi tingkat konsumsi dan ketergantungan terhadap energi konvensional.

The 2030 Agenda for Sustainable Development (SDGs) atau yang diartikan sebagai Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan adalah kesepakatan pembangunan baru yang mendorong perubahan-perubahan yang bergeser ke arah pembangunan berkelanjutan dengan berlandaskan hak asasi manusia dan kesetaraan untuk mendorong pembangunan sosial, ekonomi dan lingkungan hidup. SDGs berisi 17 Tujuan dengan 169 target yang dirancang dalam rangka melanjutkan upaya dan pencapaian *Millennium Development Goals* (MDGs) yang berakhir pada tahun 2015 lalu (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional). Mengenai penerapan SDGs di Indonesia, Badan Perencanaan dan Pembangunan Nasional (Bappenas) menjelaskan lebih lanjut tujuan dari pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang menjaga peningkatan kesejahteraan ekonomi masyarakat secara berkesinambungan, pembangunan yang menjaga keberlanjutan kehidupan sosial masyarakat, pembangunan yang menjaga kualitas lingkungan hidup serta pembangunan yang menjamin keadilan dan terlaksananya tata kelola yang mampu menjaga kualitas kehidupan (Ari M. Ginting, dkk., 2019).

Lebih jauh lagi, pengembangan industri pengolahan pasir besi di Kabupaten Trenggalek dengan pemanfaatan Bendungan Bagong dan Tugu sebagai PLTMH juga merupakan salah satu langkah dalam mendukung tercapainya tujuan pembangunan yang berkelanjutan (SDGs), khususnya Tujuan ke-7: Energi Bersih dan Terjangkau; Tujuan ke-9: Industri, Inovasi, dan Infrastruktur; serta Tujuan ke-13: Penanganan Perubahan Iklim. Pengembangan industri pengolahan pasir besi dapat mendorong daya saing suatu daerah guna mencapai kemandirian ekonomi yang berdampak pada peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan perangkat lunak *Factsage*. Menurut Bale (2009), *Factsage* merupakan suatu program komputer yang terdiri dari informasi, kalkulasi, dan manipulasi yang dapat digunakan untuk melakukan suatu perhitungan termokimia dengan memanipulasi basis data yang tersedia untuk memprediksi neraca massa dan neraca panas reaksi yang akan terjadi dalam proses pengolahan pasir besi. Pengumpulan data yang akan digunakan dalam penelitian ini dilakukan melalui studi literatur. Menurut Nazir (1988), studi literatur adalah teknik pengumpulan data dengan mengadakan studi pengkajian terhadap buku, literatur, catatan, dan laporan yang terkait dengan masalah yang ingin dipecahkan. Pengumpulan data dilakukan dengan mempelajari literatur terkait potensi pasir besi di Kabupaten Trenggalek, mekanisme pengolahan pasir besi, beserta kebutuhan peralatan yang diperlukan dalam pengolahan tersebut, serta potensi Bendungan Bagong dan Tugu sebagai PLTMH untuk mendukung industri pengolahan pasir besi di Kabupaten Trenggalek.

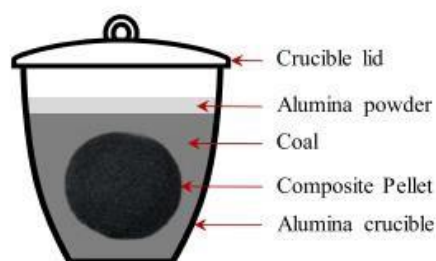
Hasil dan Pembahasan

A. Mekanisme Pengolahan Pasir Besi

a. Teknologi Pengolahan Pasir Besi

Zulfiadi Zulhan (2020) melakukan penelitian untuk mengolah pasir besi dengan teknologi reduksi langsung (*direct reduction*) untuk menghasilkan pelet besi yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja. Dalam penelitian tersebut, konsentrat pasir besi yang berasal dari PT. Sumber Baja Prima dicampur dengan 30% batubara dan 2% bentonit untuk menghasilkan pelet komposit. Pelet komposit kemudian dikeringkan selama 24 jam pada suhu 135°C untuk menghilangkan kandungan air (*moisture*). Pelet komposit yang telah kering selanjutnya diproses di dalam *aluminium crucible* dengan disertai penambahan batubara untuk menjaga agar reaksi berlangsung

dalam kondisi yang reduktif. Percobaan ini bertujuan untuk menganalisis profil gradien suhu isothermal selama proses berlangsung. Percobaan ini dilakukan dengan menjaga suhu awal dalam tungku pada 1000 °C kemudian dilanjutkan dengan meningkatkan suhu tanur pada kecepatan 6,33 °C/menit untuk mencapai suhu akhir 1380 °C.



Gambar 1. Posisi Pelet Komposit di Dalam *Aluminium Crucible* Sumber:

Iron nugget formation from iron sand/coal composite pellets under isothermal temperature gradient profiles (Zulfiadi Zulhan, 2020)

Pelet komposit yang dipanaskan selama sekitar 60 menit akan menghasilkan *iron nugget* dan terak yang keduanya berwujud padat. *Iron nugget* kemudian dipisahkan secara manual dari terak untuk proses analisis lebih lanjut. Hasil dari penelitian ini menyebutkan bahwa jumlah terak kurang lebih sama dengan jumlah *iron nugget* yang terbentuk selama proses reduksi langsung. Dengan demikian, proses menunjukkan bahwa tidak semua besi akan tereduksi menjadi *iron nugget* karena sebagian dari besi tersebut masih berwujud besi oksida yang masuk ke dalam terak.

Iron nugget sebagai bahan baku pembuatan baja selanjutnya dilakukan proses peleburan di dalam tanur listrik (*electric arc furnace*). Menurut Fruehan (2016), energi total yang diperlukan dalam proses peleburan material dengan komposisi 50% *iron nugget* dan 50% *scrap* di dalam *electric arc furnace* adalah 6533 MJ/ton material

atau sekitar 1814,72 kWh. Sementara itu, pembuatan baja di dalam EAF dengan komposisi material berupa 50% *pig iron* cair dan 50% *scrap* memerlukan total energi sebesar 5875 MJ/ton material atau setara 1631,94 kWh.

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsumsi energi yang diperlukan dalam proses peleburan di dalam *electric arc furnace* untuk material dalam bentuk cair (lelehan) lebih rendah daripada material padatan. Kendati demikian, proses peleburan di dalam *electric arc furnace* dengan material cair akan berbahaya bagi lapisan refraktori pada *electric arc furnace*.

Nuryadi Saleh, dkk (2017) menjelaskan metode untuk pengolahan pasir besi yang dilakukan melalui dua tahapan utama, meliputi oksidasi dan reduksi yang keduanya dilakukan di dalam *rotary kiln*. Tahapan oksidasi dilakukan sebelum reduksi dengan tujuan untuk meningkatkan perolehan (*yield*) seiring adanya perubahan komposisi mineral selama proses berlangsung. Sementara tahapan reduksi bertujuan untuk mereduksi senyawa oksida menjadi logam. Tahapan ini akan menghasilkan produk akhir berupa *iron nugget* dan terak. *Iron nugget* selanjutnya dilakukan proses peleburan dengan *electric arc furnace* untuk menghasilkan lelehan baja. Baik teknologi *direct reduction* maupun *rotary kiln* akan menghasilkan produk berupa padatan *iron nugget* dan terak.

Selain itu, teknologi lain yang juga dikembangkan untuk proses produksi baja dari bahan baku pasir besi dengan konsumsi listrik yang lebih rendah telah digunakan oleh perusahaan Panzhihua Steel, Cina. Menurut Bai (2019), Perusahaan Panzhihua Steel mengolah pasir besi menjadi lelehan besi dengan teknologi *Blast-Furnace Ironmaking*. Lelehan besi yang dihasilkan selanjutnya dapat diolah menjadi baja di dalam tanur BOF (*basic oxygen furnace*). Operasi peralatan, seperti *blast furnace* dan *basic oxygen furnace* tidak membutuhkan energi

listrik sebagai sumber energi untuk proses peleburan material. Hal ini menjadikan konsumsi energi listrik teknologi *blast furnace* lebih rendah daripada teknologi *electric arc furnace* dengan material umpan berupa padatan *iron nugget*.

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis mengajukan konsep pengolahan pasir besi melalui jalur pirometalurgi dengan teknologi *Sintering – Blast Furnace*. Apabila dibandingkan dengan teknologi pirometalurgi lainnya, seperti *Rotary Kiln – Electric Furnace* (RK – EF), maka teknologi *Sintering – Blast Furnace* membutuhkan konsumsi energi listrik yang lebih sedikit sehingga hal ini juga akan berpengaruh terhadap penurunan biaya operasional. Perbandingan antara teknologi *Sintering – Blast Furnace* dan RK – EF disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 2. Perbandingan Teknologi *Rotary Kiln – Electric Furnace* dan *Sintering – Blast Furnace*

Aspek	RK – EF	<i>Sintering – Blast Furnace</i>
Peralatan	<i>Rotary Dryer – Rotary Kiln – Electric Furnace</i>	<i>Sintering Machine – Blast Furnace – Coke Oven</i>
Konsumsi kokas	Tidak membutuhkan kokas	Tinggi, kokas diperlukan sebagai reduktor dan sumber energi peleburan
Konsumsi energi listrik	Tinggi, listrik diperlukan untuk peleburan dan operasi peralatan	Rendah, listrik diperlukan untuk operasi peralatan
Temperatur proses	Sekitar 1600 – 1650 °C	Sekitar 1500 °C
OPEX	Biaya OPEX tergantung harga listrik	Biaya OPEX tergantung harga kokas

Sumber: Diolah kembali dari Aspek Teknologi dan Ekonomi Pembangunan Pabrik Pengolahan Bijih Besi menjadi Produk Baja di Indonesia (Zulfiadi Zulhan, 2013)

Tabel 2. Perbandingan Teknologi *Rotary Kiln – Electric Furnace* dan *Sintering – Blast Furnace* menunjukkan bahwa apabila dalam pengolahan pasir besi mempertimbangkan efisiensi proses dan produk yang diperoleh, maka teknologi yang dipilih adalah teknologi *Sintering – Blast Furnace*. Selain konsumsi energi yang lebih sedikit, proses pengolahan pasir besi dengan teknologi *Sintering – Blast Furnace* akan menghasilkan produk berupa *pig iron* dengan produk samping berupa terak yang mengandung mineral berharga, seperti TiO_2 . Lelehan *pig iron* tersebut dapat langsung diproses ke dalam tanur BOF untuk diolah menjadi baja.

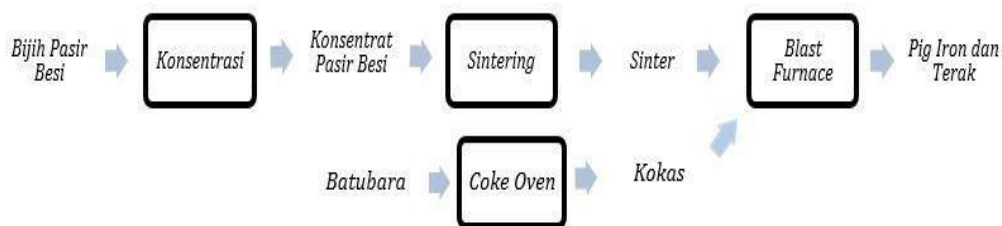
b. Tahapan Pengolahan Pasir Besi

Tahapan pengolahan pasir besi dengan teknologi *Sintering – Blast Furnace* adalah sebagai berikut:

1. Pasir besi dilakukan proses konsentrasi dengan *magnetic separator* untuk meningkatkan kadar besi dalam pasir besi. Produk dari proses konsentrasi adalah konsentrat pasir besi.
2. Selanjutnya, konsentrat pasir besi dicampur dengan air, antrasit, dan batu kapur. Air berfungsi sebagai perekat, sementara antrasit berfungsi sebagai bahan bakar pada material campuran.
3. Material campuran kemudian dilakukan proses *sintering* dengan *sintering machine* untuk membentuk *sinter*.
4. *Sinter* bersama dengan kokas dan batu kapur kemudian diumpankan ke dalam *blast furnace* untuk dilakukan proses peleburan. Kokas yang digunakan berasal dari batubara yang telah mengalami proses pemanggangan (*roasting*) di dalam *coke oven*.
5. Tahap terakhir pengolahan pasir besi adalah proses peleburan di dalam *blast furnace*. proses peleburan

dilakukan dengan menghembuskan udara panas (*hot blast*) ke *blast furnace* yang kemudian akan bereaksi dengan kokas menghasilkan panas yang dapat melelehkan material padatan, serta gas reduktif yang dapat mereduksi mineral oksida menjadi logam.

6. Setelah proses peleburan selesai, maka akan terbentuk beberapa produk yang terdiri dari *pig iron*, terak (*slag*), serta gas buang dengan komposisi utama gas CO.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Pengolahan Pasi Besi dengan Teknologi
Sintering – Blast Furnace

Sumber: Data Pribadi

c. Produk dari Pengolahan Pasir Besi

Produk dari pengolahan pasir besi dapat diprediksikan dengan memasukkan parameter operasi ke dalam perangkat lunak *Factsage* berdasarkan data referensi maupun target produk yang diinginkan.

Parameter operasi yang harus ditentukan untuk simulasi *Factsage*, antara lain massa bijih, beserta komposisi mineral yang terkandung dalam bijih tersebut, massa kokas dan bahan imbu, massa udara (atau bisa juga dengan volume udara), temperatur awal masuk material (bijih, kokas, bahan imbu, dan udara), serta temperatur akhir proses. Parameter operasi tersebut merupakan gambaran material yang masuk ke dalam *blast furnace*.

Tabel 3. Parameter Operasi

Komponen		Massa (kg)	kmol	Temperatur (°C)
Bijih		1000		100
	Fe ₃ O ₄	793,00	3,42	
	FeTiO ₃	92,35	0,61	
	SiO ₂	82,53	1,38	
	Fe ₂ O ₃	26,22	0,16	
	Al ₂ O ₃	3,00	0,03	
	K ₂ O	2,90	0,03	
Kokas / Karbon		800	66,66	25
Bahan imbuh (CaCO ₃)		280	2,8	
				1300
Udara (oxygen enrichment)				
	O ₂ (80 % volume)	922,88	28,84	
	N ₂ (20 % volume)	201,88	7,21	
Temperatur akhir: 1556 °C				

Sumber: Diolah dari berbagai sumber

Tabel 4. ^aKomposisi gas buang; ^bKomposisi terak; ^cKomposisi lelehan logam (*pig iron*)

No	Gas Ideal	Jumlah (kmol)
1	CO	62.229
2	N ₂	7.2038
3	CO ₂	7.1697
4	NO	8.7976E-06
5	O ₂	7.4279E-08
6	Gas-gas lain	0,05249
Total gas (kmol)		76.655
Total gas (liter)		1.1506E+07

(a)

No	Senyawa	Persen Berat (%)
1	Fe	99.859
2	Al	2.9747E-08
3	C	1.3360E-02
4	Ca	2.2068E-11
5	N	1.3905E-02
6	O	0.11371
7	Si	4.3615E-06
8	Ti	9.8154E-08
9	CaO	6.5555E-05
10	AlO	2.3820E-07
11	TiO	2.6912E-07
12	SiO	2.7357E-08
13	Al ₂ O	2.5951E-14
14	Ti ₂ O	1.0377E-14
Berat Total		544.68 kg

(b)

No	Senyawa	Persen Berat (%)
1	K ₂ O	0.14467
2	Al ₂ O ₃	0.74816
3	SiO ₂	20.757
4	KAlO ₂	1.2290E-02
5	CaO	39.458
6	FeO	25.507
7	Fe ₂ O ₃	1.1523
8	Ti ₂ O ₃	6.6375E-02
9	TiO ₂	12.154
10	KFeO ₂	2.7091E-04
Berat Total		397.59 kg

(c)

Sumber: *Factsage*

Pada proses pengolahan 1 ton pasir besi akan diperoleh produk berupa *pig iron* sebesar 544,68 kg yang mengandung besi sebesar 543,91 kg dengan nilai perolehan (*recovey*) sebesar 86,98%. Perolehan besi dengan teknologi *Sintering – Blast Furnace* jauh lebih besar daripada dengan teknologi *Direct Reduction* RK - EF yang disimulasikan oleh peneliti sebelumnya karena hanya menghasilkan besi sekitar 300 kg/ton pasir besi. Selain besi sebagai komponen utama, *pig iron* juga mengandung beberapa pengotor, seperti Al, C, Ca, N, O, Si, dan Ti. Terak sebagai produk samping dalam pengolahan pasir besi mengandung beberapa senyawa oksida, seperti CaO, FeO, SiO₂, dan TiO₂.

B. Kebutuhan Listrik dalam Proses Pengolahan Pasir Besi

Pengolahan pasir besi menggunakan teknologi *Sintering – Blast Furnace* memerlukan peralatan pendukung, seperti *magnetic separator*, *sintering machine* pada *sintering plant*, dan *coke oven* yang membutuhkan energi listrik untuk beroperasi

Tabel 5. Konsumsi Listrik untuk Operasi Peralatan pada Industri
Pengolahan Pasir Besi

Komponen Utama Pabrik	Konsumsi Listrik
<i>Blast Furnace</i>	32 KWh/ton <i>pig iron</i>
<i>Coke Oven</i>	20 KWh/ton <i>pig iron</i>
<i>Sintering Plant</i>	42 KWh/ ton <i>pig iron</i>
<i>Magnetic Separator</i>	52 KWh/ton <i>pig iron</i>
Total	146 KWh/ton <i>pig iron</i>

Sumber : Diolah kembali dari *Blast Furnace Ironmaking Process Using Pre-reduced Iron Ore* (Kunitomo, dkk.,2006)

Magnetic separator membutuhkan energi listrik untuk mengatur kekuatan magnet yang dihasilkan saat proses konsentrasi. *Sintering plant* membutuhkan energi listrik untuk menggerakkan *conveyor* pada *sintering machine*. Energi listrik juga dibutuhkan oleh *coke oven* saat proses pemanggangan batubara untuk menghasilkan kokas. Selain itu, *blast furnace* juga membutuhkan energi listrik untuk menggerakkan *conveyor*. *Conveyor* pada *blast furnace* merupakan fasilitas pendukung yang berfungsi untuk mengumpankan *sinter* dan kokas ke dalam *blast furnace*.

C. Potensi Bendungan Bagong dan Tugu sebagai PLTA

Bendungan Bagong terletak di daerah aliran sungai (DAS) Sungai Bagong, tepatnya berada di wilayah Desa Sumurup dan Desa Sengon, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek. Bendungan Bagong dibangun berdasarkan konstruksi urugan batu dengan zonal inti tegak dengan tinggi tubuh bendungan mencapai 82 meter. Bendungan Bagong memiliki kapasitas sebesar 15,5 juta m³ dan mampu menyediakan pasokan air baku sebesar 0,3 m³/detik. Bendungan Bagong juga diproyeksikan sebagai jaringan irigasi untuk mengairi lahan pertanian seluas 977 Ha, pengendali banjir, serta pengembangan sektor pariwisata. Selain itu, bendungan tersebut juga memiliki potensi sebagai pembangkit listrik dengan kapasitas sebesar 0,52 MW (Sistem Informasi Infrastruktur Terintegrasi (Sifrater) Jawa Timur, 2019).

Berbeda dengan Bendungan Bagong, pembangunan Bendungan Tugu merupakan rangkaian dari Kegiatan Pengembangan Wilayah Kali Brantas yang memanfaatkan aliran sungai Kali Keser. Lokasi bendungan Tugu berada di Desa Nglinggis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek. Bendungan Tugu dibangun pada area seluas 104 Ha dengan rincian luas area genangan mencapai 34,10 Ha (BBWS Brantas). Bendungan Tugu dibangun berdasarkan konstruksi urugan batu dengan inti tegak dengan kedalaman pondasi sebesar 27,85 m dan tinggi

bendungan dari dasar sungai mencapai 81 m (dpmptsp.trenggalekkab.go.id dan Sifrater Jawa Timur). Sebagaimana dilansir dari laman Sifrater Jawa Timur, bendungan Tugu memiliki kapasitas sebesar 9,3 juta m³ dan mampu menyediakan pasokan air baku sebesar 12 L/detik. Bendungan Tugu direncanakan dapat digunakan sebagai jaringan irigasi bagi lahan pertanian seluas 1200 Ha, serta pengembangan sektor pariwisata. Bendungan Tugu juga berpotensi sebagai pembangkit listrik dengan kapasitas sebesar 0,4 MW.

Tabel 6. Potensi Bendungan Bagong dan Tugu sebagai PLTMH

Bendungan	Potensi Daya Listrik
Bagong	0,52 MW
Tugu	0,4 MW

Sumber: Diolah kembali dari Sistem Informasi Infrastruktur Terintegrasi (Sifrater), Jawa Timur (2019)

Total potensi daya listrik yang dimiliki Bendungan Bagong dan Tugu adalah 0,92 MW. Apabila daya listrik sebesar 0,92 MW dikonversi menjadi energi per hari, maka akan diperoleh energi listrik yang setara dengan 22,08 MWh. Ketersediaan energi listrik yang dihasilkan dari kedua bendungan tersebut lebih besar dari kebutuhan energi listrik yang diperlukan untuk mengoperasikan peralatan dalam industri pengolahan pasir besi, yaitu sebesar 146 kWh/ton *pig iron*.

D. Analisis Mengenai Dampak Lingkungan

Proses produksi *pig iron* melalui teknologi *Sintering – Blast Furnace* menghasilkan limbah berupa terak dan gas buang yang dapat mencemari lingkungan. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun, sampai saat ini terak yang dihasilkan dari

industri besi dan baja termasuk dalam limbah Bahan Berbahaya, dan Beracun (B3) yang masih membutuhkan proses pengkajian lebih lanjut terkait hal tersebut. Di lain sisi, terak yang dihasilkan proses pengolahan ini juga menyimpan potensi ekonomi jika dapat diolah lebih lanjut. Terak dapat diolah untuk menghasilkan *blast furnace cement* (BFC). Proses pengolahan ini diawali proses granulasi yang dilanjutkan dengan pencampuran granular terak dengan *clinker* dan material tambahan lain untuk menghasilkan *blast furnace cement* yang memiliki kualitas setara atau sedikit lebih baik dibandingkan semen *Portland* yang tidak diproduksi dengan campuran terak dari *blast furnace*. Proses produksi BFC juga tidak menghasilkan emisi gas CO dari pembakaran batu kapur (CaCO_3) karena BFC tidak memerlukan CaCO_3 , melainkan *clinker* sebagai campuran dari semen BFC.

Upaya dalam pengolahan limbah terak dari industri besi dan baja di Indonesia dilakukan oleh PT Krakatau Steel yang telah melakukan proses granulasi terak *blast furnace*. hanya saja proses pengolahan terak ini tidak berlanjut sampai menghasilkan BFC akibat terkendala kebijakan terkait limbah B3.

Gas buang yang dihasilkan pada proses produksi *pig iron* melalui teknologi *Sintering – Blast Furnace* berupa gas CO, CO_2 , N_2 , NO, serta beberapa gas lain, seperti SO_2 merupakan gas-gas yang berbahaya jika dilepaskan ke lingkungan. Gas CO mendominasi gas buang yang dihasilkan dengan jumlah sebesar 62,23 kmol/ton *pig iron*. Sampai saat ini, proses pengolahan gas buang dari proses pirometalurgi masih sebatas digunakan untuk memanaskan *refractory* pada *hot stove*. *Hot stove* merupakan fasilitas yang digunakan untuk memanaskan gas O_2 dan N_2 yang akan diinjeksikan ke dalam *blast furnace* melalui bagian *tuyere*. Kandungan gas buang yang akan dibuang ke lingkungan harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup terkait nilai ambang batas faktor fisika dan faktor kimia di tempat

kerja sebagai contoh gas CO memiliki batas maksimum 25 ppm dan SO₂ sebesar 260 ppm. Oleh karena itu, gas buang perlu dilakukan proses pengolahan untuk mengurangi debu dan partikulat terlarut, serta kandungan gas berbahaya dengan mengalirkan gas buang melalui *electrostatic precipitator*, cerobong, dan beberapa peralatan lainnya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka penulis mengajukan kesimpulan sebagai berikut:

1. Mekanisme pengolahan pasir besi dilakukan dengan teknologi *Sintering – Blast Furnace* yang terdiri dari proses konsentrasi, *sintering*, *cooking coke*, dan peleburan. Teknologi *Sintering – Blast Furnace* dipilih karena konsumsi energi listrik yang lebih sedikit, serta efisiensi proses yang baik.
2. Konsumsi energi listrik yang diperlukan dalam pengolahan pasir besi untuk mengoperasikan peralatan, seperti *magnetic separator*, *sintering machine*, *coke oven*, dan *blast furnace* adalah 148 kWh/ton pig iron.
3. Bendungan Bagong dan Tugu memiliki total ketersediaan potensi daya listrik sebesar 0,92 MW (22,08 MWh per hari). Potensi ini dapat digunakan untuk mencukupi kebutuhan konsumsi energi listrik yang diperlukan dalam proses pengolahan pasir besi dengan teknologi *Sintering – Blast Furnace*

Daftar Pustaka

- Bai, S., and Lv, C., 2019. Upgrading of raw vanadium titanomagnetite concentrate. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.
- Bale, C.W., dkk., 2009. Recent Developments In Factsage Thermochemical Software And Databases. 33, p. 295-311.
- Fachrurrozi, M., 2017. Studi Optimasi Pemanfaatan Waduk Bagong di Kabupaten Trenggalek untuk Jaringan Irigasi, Kebutuhan Air Baku, dan Potensi PLTA. Skripsi. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut

- Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Febriana, R., 2020. Pembagian Sistem Penyaluran Tenaga Listrik. [online].
<https://www.warriornux.com/pembagian-sistem-penyaluran-tenaga-listrik/> [diakses 5 Januari 2021]
- Fruehan, R. J., et al., 2016. Theoretical Minimum Energies to Produce Steel. Energetics, Inc.
- Ginting, Ari Mulianta., dkk., 2019. Pengembangan Kebijakan Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Hidayat, Wahyu, 2019. Prinsip Kerja dan Komponen - Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). [Online]
<https://osf.io/preprints/inarxiv/drv58/> [diakses 23 Maret 2021]
- KANETEC, (n.d.). KANETEC CO.,LTD Catalog Product. [online].
<http://www.kanetec.co.jp/en/download/index.html> [diakses 4 Januari 2021]
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2020. Hingga Juni 2020, Kapasitas Pembangkit di Indonesia 71 GW. [online].
<https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-juni-2020-kapasitas-pembangkit-di-indonesia-71-gw> [diakses 4 Januari 2021]
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Pemerintah Provinsi Jawa Timur, 2016. [Online]
<http://esdm.jatimprov.go.id/esdm/attachments/article/46/PERTAMBANGAN%20-%20Potensi%20Mineral%20Logam.pdf> [diakses 14 Mei 2021]
- Kementrian PPN/Bappenas, (n.d.). Apa itu SDGs? [Online]
<http://sdgs.bappenas.go.id/> [diakses 26 April 2021]
- Kementrian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional (RISTEK-BRIN), 2015. Turbin Helical, Efisienkan PLTA Indonesia. [Online]
<https://www.ristekbrin.go.id/open-143/> [diakses 23 Maret 2021]
- Kunitomo, K., Fujiwara, Y., Takamoto, Y. and Onuma, T., 2006. Blast Furnace Ironmaking Process Using Pre-reduced Iron Ore. Japan: Nippon Steel

Corporation.

- Lukas, dkk., 2017. Studi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas. *Jurnal Teknik Elektro*, 10 (1), hal.17.
- Martelaro, N., 2016. Energy Use in US Steel Manufacturing.
- Nazir, M., 1988. *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Pardiarto, B., 2009. Tinjauan Rencana Pembangunan Industri Besi Baja di Kalimantan Selatan. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 4 (2), pp.1-3.
- Saleh, N., dkk, 2017. Making of Iron Nugget from Concentrated Iron Sand Using Mini-Sized Rotary Kiln. *Indonesian Mining Journal*, 20 (1), pp.59-68.
- Sifrater Jawa Timur, 2019. Bendungan Bagong. [online].
http://www.sifrater.jatimprov.go.id/index.php/bendunganBagong_user
[diakses 5 Januari 2021]
- Sifrater Jawa Timur, 2019. Bendungan Tugu. [online].
http://www.sifrater.jatimprov.go.id/index.php/bendunganTugu_user
[diakses 5 Januari 2021]
- SISDA BBWS Brantas (n.d.). PEMBANGUNAN BENDUNGAN TUGU. [online]. https://bbwsbrantas.org/?/p/70/pembangunan_bendungan_tugu
[diakses 4 Januari 2021]
- Suharyati, Hesti Pambudi, S., Lastiko Wibowo, J., & Indah Pratiwi, N., 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Utoyo, H., & Sarmili, L., 2008. Petrogenesis Endapan Pasir Besi di Pantai Panggul, Trenggalek. *Jurnal Geologi Kelautan*, 6 (2), hal.116.
- Zulhan, Z., 2013. Aspek Teknologi dan Ekonomi Pembangunan Pabrik Pengolahan Bijih Besi Menjadi Produk Baja di Indonesia. *Majalah Metalurgi*, hal. 105–120.