

### PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi laporan ini dalam bentuk apapun kecuali oleh peneliti dan pengelola administrasi penelitian

## LAPORAN AKHIR PENELITIAN TAHUN TUNGGAL

ID Proposal: d8377a5c-7c9c-4536-bafa-69102af6b0f5  
Laporan Akhir Penelitian: tahun ke-2 dari 2 tahun

### 1. IDENTITAS PENELITIAN

#### A. JUDUL PENELITIAN

SIMULASI PERPINDAHAN PANAS DAN KINETIKA REDUKSI LANGSUNG BIJIH BESI LOKAL SEBAGAI PENDUKUNG TEKNOLOGI PENGOLAHAN BESI BAJA NASIONAL

#### B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Teknologi dan Energi	-	Pengembangan Teknologi dan Sain Untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam, Energy, Lingkungan Hidup dan ICT	Teknik Material (Ilmu Bahan)

#### C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi/ Penugasan)	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar, Terapan, Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Desentralisasi	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	SBK Riset Dasar	SBK Riset Dasar	2	2

### 2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
ANISTASIA MILANDIA Ketua Pengusul	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Teknik Metalurgi		6022065	0
SURYANA S.T, M.T Anggota Pengusul 2	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Teknik Metalurgi	1. Instalasi peralatan (furnace aparatus) 2. Pemodelan dan simulasi reaksi	6066366	0

ANDINNIE JUNIARSIH S.T., M.T. Anggota Pengusul 1	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Teknik Metalurgi	1.Menghitung kinetika reaksi hasil verifikasi dan pemodelan 2. Pembelian bahan baku dan bahan habis pakai 3 Laporan Keuangan	0	0
--	------------------------------------	------------------	--	---	---

### 3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama, yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra
-------	------------

### 4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

#### Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian ( <i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i> )	Keterangan ( <i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i> )
2	Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional	sudah terbit/sudah dilaksanakan	The 16th Quality in Reaseach (QiR)
2	Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional	sudah terbit/sudah dilaksanakan	Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) 2019
2	Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional	sudah terbit/sudah dilaksanakan	The 1st Broad Exposure On Science and Technology 2019 (BEST)

#### Luaran Tambahan

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian ( <i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i> )	Keterangan ( <i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i> )
--------------	--------------	---	--

### 5. ANGGARAN

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Edisi 12.

**Total RAB 2 Tahun Rp. 106,750,000**

**Tahun 1 Total Rp. 0**

**Tahun 2 Total Rp. 106,750,000**

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	1	2,500,000	2,500,000
Analisis Data	HR Pengolah Data	P (penelitian)	1	5,000,000	5,000,000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Unit	2	2,500,000	5,000,000
Analisis Data	Tiket	OK (kali)	2	1,500,000	3,000,000

Jenis Pembelanjaan	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	Transport Lokal	OK (kali)	10	200,000	2,000,000
Bahan	Barang Persediaan	Unit	2	750,000	1,500,000
Bahan	ATK	Paket	6	575,000	3,450,000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Unit	10	560,000	5,600,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya penyusunan buku termasuk book chapter	Paket	1	2,500,000	2,500,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar nasional	Paket	2	1,500,000	3,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya seminar internasional	Paket	2	5,000,000	10,000,000
Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan	Biaya konsumsi rapat	OH	5	50,000	250,000
Pengumpulan Data	HR Sekretariat/Administrasi Peneliti	OB	1	2,500,000	2,500,000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Peneliti	OJ	2	1,250,000	2,500,000
Pengumpulan Data	Tiket	OK (kali)	2	1,500,000	3,000,000
Pengumpulan Data	Penginapan	OH	2	700,000	1,400,000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	OH	10	380,000	3,800,000
Pengumpulan Data	Transport	OK (kali)	40	167,500	6,700,000
Pengumpulan Data	Uang Harian	OH	40	83,750	3,350,000
Sewa Peralatan	Ruang penunjang penelitian	Unit	3	6,000,000	18,000,000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Unit	7	3,100,000	21,700,000

## 6. HASIL PENELITIAN

**A. RINGKASAN:** Tuliskan secara ringkas latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian.

Bijih besi di Indonesia tersebar merata dengan kandungan dan karakteristik besi yang sangat bervariasi. Sehingga untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan baja diperlukan kajian/penelitian mengenai sifat fisik, kimia maupun metalurgi yang pada akhirnya akan mendukung terciptanya teknologi pemanfaatan bijih besi lokal. Salah satu usaha untuk memanfaatkan sumber besi tersebut adalah dengan menjadikan bijih besi tersebut besi spons (sponge iron) melalui proses reduksi.

Dalam proses reduksi bijih besi, perubahan bijih besi harus melalui beberapa fasa antara sampai didapatkan logam Fe. Perubahan fasa antara yang terjadi dipengaruhi oleh perpindahan panas. Pada proses reduksi keberadaan fasa antara sangat sulit diamati, karena reaksi reduksi besi oksida bersifat simultan padahal keberadaan fasa antara ini sangat berpengaruh terhadap kecepatan laju reaksi, selain itu kecepatan laju reaksi juga sangat dipengaruhi oleh mekanis perpindahan panas yang terjadi.

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengamati dan menghitung laju

perpindahan panas ( $q$ ) dan besarnya panas ( $Q$ ) yang diperlukan untuk proses reduksi, menghitung ketebalan pembentukan tiap fasa antara serta menentukan pengendali reaksi total reduksi besi oksida. Dengan diketahuinya mekanisme perpindahan panas yang terjadi, diharapkan proses rekayasa teknologi reduksi berbasis bijih besi lokal secara kinetika dapat dipercepat dan meningkatkan keberhasilan proses reduksi. Pada tahun kedua setelah memahami mekanisme perpindahan panas yang terjadi, maka akan dilakukan pengamatan kinetika dari keseluruhan kendali reaksi yang terjadi pada tiap fasa antara. Diharapkan dengan diketahuinya pengendali reaksi pada fasa antara tersebut, proses reduksi bijih besi dapat dimodifikasi menjadi lebih efisien

**B. KATA KUNCI:** Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

Reduksi, Bijih, Besi, Heat Transfer, Kinetik

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan seringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

**C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

**C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

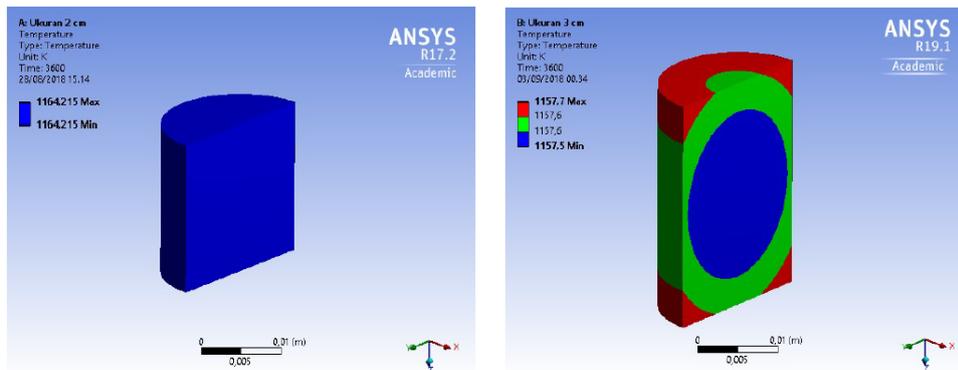
### C.1 Data Hasil Penelitian

Hasil simulasi reduksi briket silinder dengan menggunakan software ANSYS 17.2 dapat dilihat pada lampiran B. Selain simulasi dengan software ANSYS dilakukan juga percobaan validasi reduksi briket silinder menggunakan parameter temperatur sebesar 900oC dan waktu reduksi 60 menit serta ukuran briket silinder berdiameter 2 cm dengan tinggi 2 cm dan 3 cm. Berdasarkan hasil percobaan validasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil validasi reduksi bijih besi

Diameter (cm)	Tinggi (cm)	%Fe Metal	%Fe Total
2	2	56,73	70,86
	3	54,24	67,32

Pemilihan parameter tersebut berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 4.1, dari gambar menunjukkan bahwa briket silinder memiliki temperatur yang relatif tetap tanpa adanya perubahan pada bagian seluruhnya dan berdasarkan diagram Bauner Glassner dan Boudouard temperatur tersebut dapat terjadi reduksi hingga menjadi Fe.



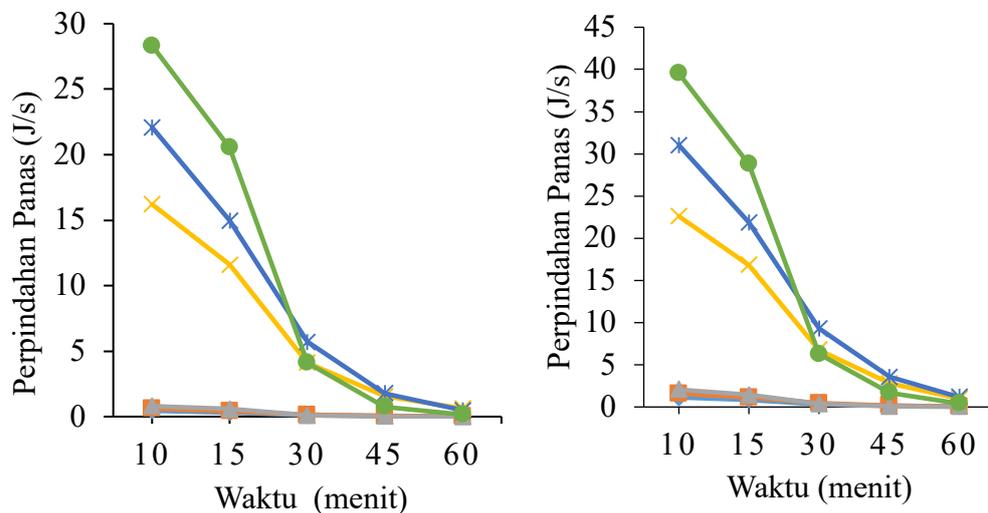
(b)

Gambar 1 Hasil simulasi perubahan temperatur pada temperatur reduksi 1173 K waktu 60 menit (a) briket silinder dengan tinggi 2 cm (b) briket silinder dengan tinggi 3 cm

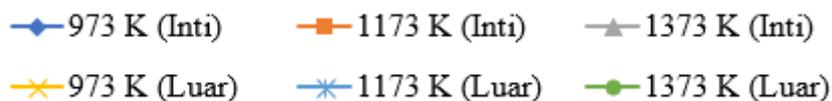
### C.2 Perubahan Laju perpindahan panas dan Besar Energi Panas pada Reduksi Briket Silinder dipengaruhi oleh Waktu dan Temperatur

Temperatur dan waktu merupakan faktor terjadinya perpindahan panas. Perbedaan temperatur yang terjadi pada saat proses reduksi briket silinder menyebabkan terjadinya perpindahan panas

sehingga menghasilkan laju perpindahan panas. Laju perpindahan panas berkaitan dengan waktu proses reduksi yang dilakukan. Untuk mengetahui nilai laju perpindahan panas dan energi panas selama proses reduksi maka dilakukan simulasi dengan variasi waktu 10, 15, 30, 45, 60 menit dan pada variasi temperatur 973K, 1173K dan 1373 K. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara waktu, temperatur dan laju perpindahan panas hasil perhitungan dengan menggunakan hasil simulasi yang dilakukan berdasarkan perbedaan tinggi silinder.



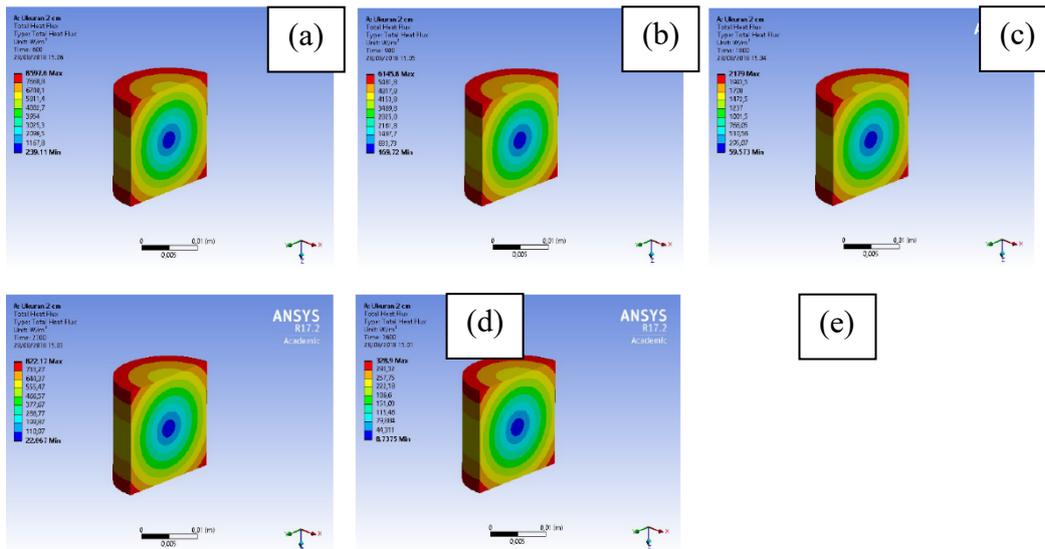
(b)



Gambar 2 Grafik Hubungan antar waktu, temperatur, dan laju perpindahan panas hasil simulasi pada briket silinder a) tinggi 2 cm b) tinggi 3 cm

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa semakin lamanya waktu reduksi maka nilai laju perpindahan panas mengalami penurunan pada bagian inti dan luar dari briket silinder. Penurunan laju perpindahan panas yang terjadi dengan bertambah besar waktu reduksi disebabkan temperatur pada briket silinder mulai menjadi seragam, sehingga perbedaan temperatur bagian luar dan bagian inti menjadi relatif kecil.

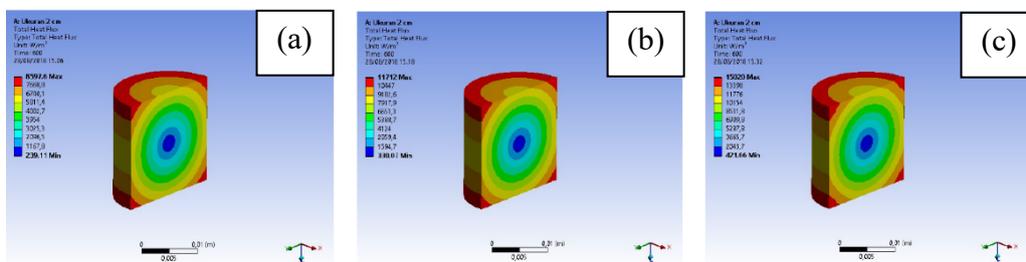
Laju perpindahan panas yang terjadi pada bagian terluar briket silinder dengan tinggi 2 cm pada temperatur 973K selama 10 menit diperoleh nilai laju perpindahan panas sebesar 16,2 J/s, kemudian pada waktu 30 menit terjadi penurunan nilai laju perpindahan panas sebesar 4,1 J/s dan terus terjadi penurunan hingga pada waktu 60 menit menjadi 0,6 J/s, begitupula dengan temperatur 1173 K dan 1273 K. Pada waktu 10 menit pada temperatur 1173 K dan 1273 K didapat nilai laju perpindahan panas sebesar 22,08 J/s dan 28,32 J/s, namun nilainya menjadi turun pada waktu 30 menit menjadi 5,6 J/s dan 4,1 J/s, bahkan pada waktu 60 menit terjadi penurunan kembali nilai laju perpindahan panas menjadi 0,48 J/s dan 0,7 J/s. Perubahan ini juga dapat dilihat dari nilai heat flux hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3 bahwa nilai dari heat flux dengan bertambahnya waktu akan menurun.



Gambar 3 Heat flux hasil simulasi briket silinder tinggi 2 cm pada temperatur 973 K dengan waktu (a) 10, (b) 15, (c) 30, (d) 45, dan (e) 60 menit

Briket silinder dengan tinggi 3 cm juga mengalami hal yang sama seperti briket silinder dengan tinggi 2 cm yaitu terjadi penurunan nilai laju perpindahan panas yang diakibatkan lamanya waktu reduksi briket silinder. Jika dilihat bagian luar briket silinder pada waktu 10 menit dengan temperatur 973 K, 1173 K dan 1373 K didapat nilai laju perpindahan panas sebesar 22 J/s, 31 J/s dan 39,5 J/s, lalu ketika waktu 30 menit ke waktu 60 menit waktu reduksi juga mengalami penurunan nilai laju perpindahan panas yang awalnya 6,7 J/s menjadi 0,9 J/s, 9,3 J/s menjadi 1,1 J/s dan 6,2 J/s menjadi 0,39 J/s. Penurunan nilai laju perpindahan panas ini dikarenakan temperatur briket silinder yang terus meningkat hingga mencapai temperatur yang sama dengan temperatur ruangan (furnace).

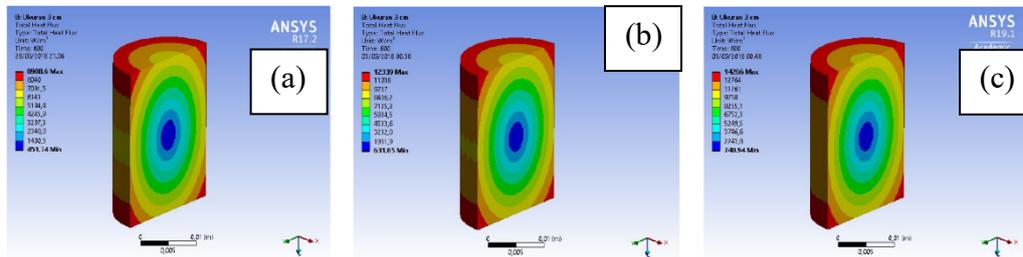
Berbeda dengan pengaruh waktu reduksi, temperatur berbanding lurus dengan nilai laju perpindahan panas. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2 dengan semakin tinggi temperatur maka nilai laju perpindahan panas juga semakin besar. Pada briket silinder dengan tinggi 2 cm dan 3 cm masing – masing dengan waktu yang sama yaitu 10 menit pada temperatur reduksi 973 K diperoleh nilai laju perpindahan panas sebesar 16,21 J/s dan sebesar 22,5 J/s. Pada temperatur reduksi 1173 K perpindahan panas bagian luar diperoleh sebesar 22 J/s dan nilai sebesar 31 J/s. Kemudian pada temperatur reduksi 1373 K terjadi peningkatan nilai laju perpindahan panas menjadi 28,3 J/s dan 39,5 J/s. Perubahan ini juga dapat terlihat dari nilai heat flux yang diperoleh dari simulasi dan dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4 Heat flux hasil simulasi briket silinder tinggi 2 cm pada waktu 10 menit dengan temperatur (a) 973 K, (b) 1173K, dan (c) 1373 K

Hasil ini sesuai dengan hukum Newton (konveksi) dan hukum Fourier (konduksi), karena berdasarkan persamaan 2.7 dan 2.8 yaitu pada variabel  $dT$  (selisih temperatur) berbanding lurus

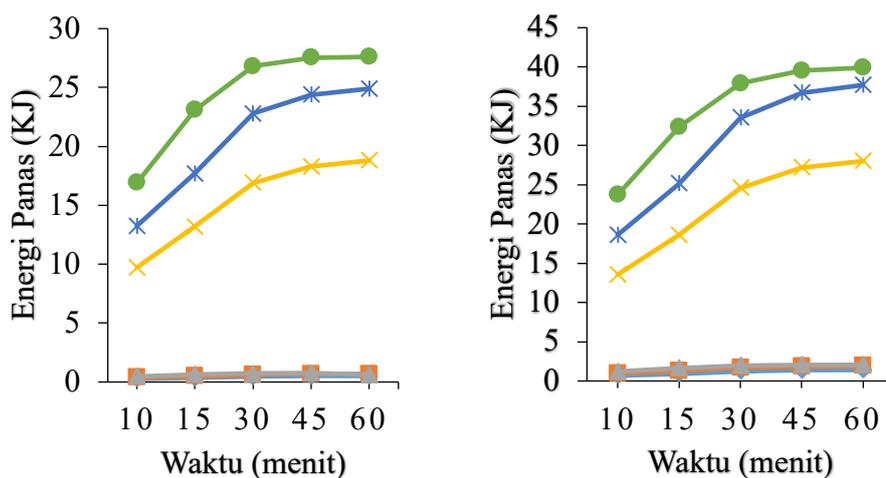
dengan nilai  $q$  (laju perpindahan panas). Hal ini menyebabkan fenomena peningkatan nilai laju perpindahan panas akibat temperatur reduksi yang semakin tinggi sesuai dengan rumus laju perpindahan panas, sehingga semakin kecil  $dT$  maka nilai  $q$  akan semakin kecil hingga tidak terjadi perpindahan panas saat  $dT$  bernilai 0.



Gambar 5 Heat flux hasil simulasi briket silinder tinggi 3 cm pada waktu 10 menit dengan temperatur (a) 973 K, (b) 1173K, dan (c) 1373 K

Selain nilai perpindahan panas didapat juga nilai energi panas yang diterima hasil perhitungan dari simulasi. Nilai energi panas dipengaruhi oleh temperatur dan waktu, sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara waktu, temperatur dan nilai energi panas. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui pengaruh perubahan waktu terhadap besar energi panas pada variasi temperatur reduksi 973 K, 1173 K dan 1373 K, nilai energi panas yang diterima oleh briket silinder dengan waktu 10 menit masing-masing sebesar 0,27 KJ, 0,37 KJ dan 0,47 KJ untuk bagian inti dan 9,7 KJ, 13,2 KJ dan 16,9 KJ untuk bagian luar pada briket silinder dengan tinggi 2 cm, sedangkan pada briket silinder dengan tinggi 3 cm sebesar 0,68 KJ, 0,95 KJ dan 1,2 KJ untuk bagian inti; 13,5 KJ, 18,6 KJ dan 23,7KJ untuk bagian luar. Energi panas yang diterima menjadi lebih besar hingga pada waktu 60 menit menjadi 0,51 KJ, 0,68 KJ dan 0,76 KJ untuk bagian inti dan 18,8 kJ, 24,9 KJ dan 27,6KJ untuk bagian luar pada briket silinder dengan tinggi 2 cm; sedangkan pada briket silinder dengan tinggi 3 cm sebesar 1,4 KJ, 1,87J dan 0,2 KJ untuk bagian inti; 2,8 KJ, 37,7KJ dan 39, 8 KJ untuk bagian luar.



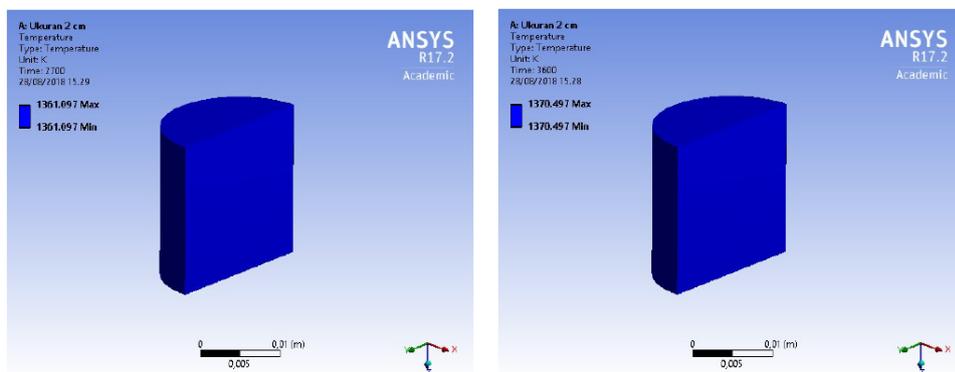
(b)

- ◆ 973 K (Inti)      ■ 1173 K (Inti)      ▲ 1373 K (Inti)
- ◇ 973 K (Luar)      \* 1173 K (Luar)      ● 1373 K (Luar)

Gambar 6 Grafik Hubungan antar waktu, teperatur, dan Energi Panas hasil simulasi pada briket silinder a) tinggi 2 cm b) tinggi 3 cm

Bertambahnya waktu menyebabkan energi panas mengalami peningkatan. Penambahan ini terjadi hingga mencapai energi maksimum yang ditandai dengan tidak adanya lagi fenomena perpindahan panas dan perubahan energi panas dikarenakan temperatur disetiap bagian briket silinder adalah sama.

Hal ini dapat dibuktikan dari temperatur 1373 K pada briket silinder dengan tinggi 2 cm, bahwa nilai energi panas selama waktu 45 menit ke 60 menit tidak berubah secara signifikan yaitu sebesar 27,53 KJ menjadi 27,6 KJ dan perubahan energi disebabkan perbedaan temperatur awal dan akhir sehingga waktu reduksi dapat mempengaruhi besarnya temperatur dan tempertur dari hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.7. Berdasarkan Gambar 7 menunjukan bahwa pada proses tersebut tidak mengalami perubahan besar pada temperatur hasil simulasi.



(b)

Gambar. 7 Temperatur hasil simulasi briket silinder tinggi 2 cm pada temperatur 1373 K dengan waktu (a) 45 menit dan (b) 60 menit

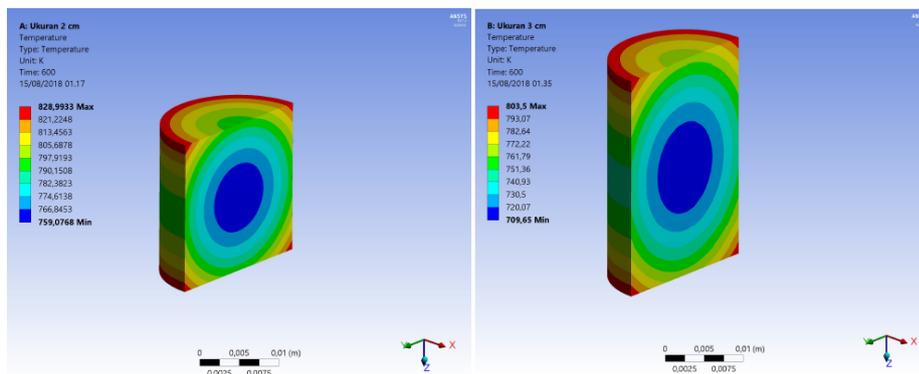
Tidak hanya besarnya nilai energi panas dipengaruhi oleh waktu, tetapi juga oleh temperatur. Berdasarkan Gambar 4.6 pada temperatur reduksi 973 K dengan waktu 60 menit diperoleh nilai energi bebas sebesar 0,51 KJ bagian inti dan 18,8 KJ bagian luar dari briket silinder dengan tinggi 2 cm, serta energi bebas untuk briket silinder dengan tinggi 3 cm sebesar 1,4 KJ bagian inti dan 28 KJ bagian luar. Kemudian pada temperatur reduksi 1173 dengan waktu 60 menit energi panas bertambah besar menjadi 0,68 KJ bagian inti dan 24,9 KJ bagian luar dari briket silinder dengan tinggi 2 cm, serta energi bebas untuk briket silinder dengan tinggi 3 cm menjadi 1,8 KJ bagian inti dan 37,7 KJ bagian luar. Energi panas semakin bertambah besar pada temperatur 1373 K dengan waktu 60 menit menjadi menjadi 0,76 KJ bagian inti dan 27,6 KJ bagian luar dari briket silinder dengan tinggi 2 cm, serta energi bebas untuk briket silinder dengan tinggi 3 cm menjadi 2 KJ bagian inti dan 39,8 KJ bagian luar. Nilai energi panas yang diperoleh ini semakin besar dikarenakan semakin tinggi temperatur reduksi yang digunakan maka perbedaan temperatur antara permukaan briket silinder dengan ruangan furnace atau perbedaan temperatur antara bagian terluar dari briket silinder.

### C. 3 Pengaruh Ukuran Geometri Silinder terhadap Reduksi Bijih Besi

Perubahan temperatur yang terjadi dalam reduksi pada briket silinder memiliki arah perpindahan panas, arah perpindahan panas yang terjadi dipengaruhi oleh ukuran geometri silinder sehingga mempengaruhi nilai temperatur. Pernyataan sesuai dengan teori yang diutarakan oleh Cengel (1998). Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat hasil simulasi perubahan temperatur pada Gambar

9. Berdasarkan Gambar 9 dapat diketahui bahwa semakin kecil ukuran maka temperatur yang dihasilkan dari proses dengan waktu sama mendapatkan daerah temperatur inti yang lebih kecil pada briket silinder dengan tinggi 2 cm jika dibandingkan dengan briket silinder dengan tinggi 3 cm.

Untuk memperkuat penjelasan sebelumnya maka digunakan software lain untuk membantu mengetahui ukuran daerah inti. Software yang digunakan adalah ImageJ. Hasil simulasi temperatur reduksi 1373 K waktu reduksi selama 10 menit pada bagian inti merupakan temperatur yang paling rendah diperoleh dari briket silinder dan ditunjukkan dengan warna biru tua pada hasil simulasi. Briket silinder tinggi 2 cm didapat temperatur sebesar 759 K dan tinggi 3 cm didapat sebesar 709 K. Ukuran daerah inti yang didapat pada briket silinder 2 cm adalah 0,893 cm berdasarkan diameternya dan tingginya 0,891 cm, sedangkan briket silinder 3 cm sebesar 1,024 diameternya dan tinggi sebesar 1,256 cm.



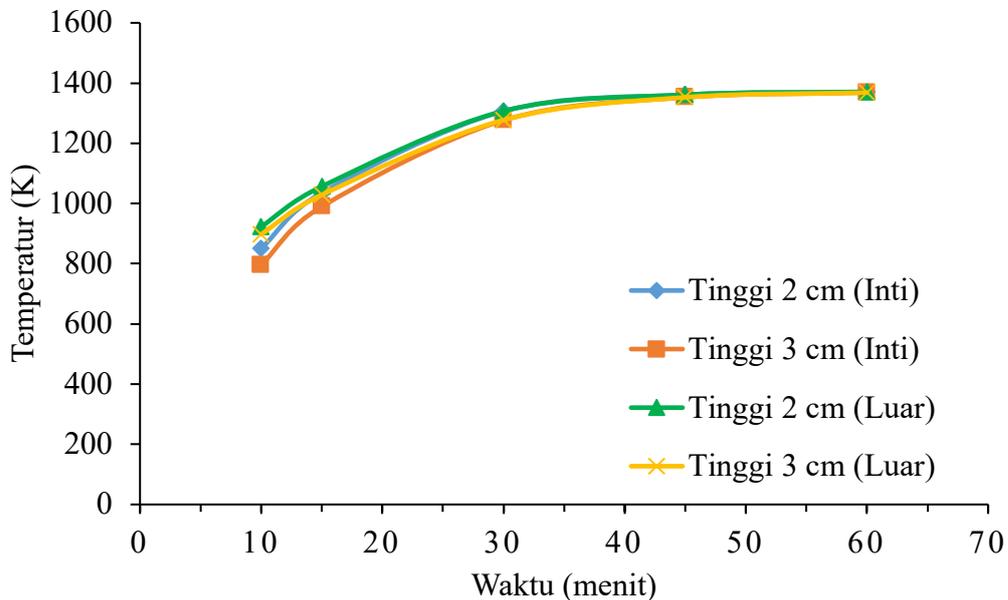
(b)

Gambar 4.4 Hasil simulasi perubahan temperatur pada temperatur reduksi 1373 K waktu 10 menit (a) briket silinder dengan tinggi 2 cm ((b) briket silinder dengan tinggi 3 cm.

Perpindahan panas juga memiliki faktor penentu lainnya selain waktu dan temperatur yaitu ukuran bentuk geometrinya. Pengaruh ukuran bentuk geometri ini dapat dilihat juga dari Gambar 4.2 dan Gambar 6 jika ditinjau dari laju perpindahan panas dan energi panasnya, adapun jika dilihat ditinjau dari perubahan temperaturnya dapat dilihat pada lampiran B.

Dari hasil simulasi briket silinder dengan tinggi 2 cm dan 3 cm, berdasarkan Gambar 4.2 dapat terlihat pengaruh dari ukuran geometri. Pada temperatur 1373 K dengan waktu 10 menit briket silinder dengan tinggi 2 cm diperoleh nilai laju perpindahan panas sebesar 0,79 J/s bagian inti dan 28,3 J/s bagian luar, sedangkan briket silinder dengan tinggi 3 cm diperoleh laju perpindahan panas sebesar 2 J/s bagian inti dan 39,5 J/s bagian luar. Kemudian berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat pengaruh ukuran terhadap nilai besarnya energi panas pada briket silinder dengan tinggi 2 cm dan 3 cm. Pada proses yang sama briket silinder tinggi 2 cm diperoleh nilai energi panas sebesar 0,47 KJ bagian inti dan 16,9 KJ bagian luar, sedangkan briket silinder tinggi 3 cm diperoleh energi panas sebesar 1,2 KJ bagian inti dan 23,7 KJ bagian luar. Jika ditinjau kembali nilai laju perpindahan panas dan energi panas semakin besar dengan bertambahnya tinggi dari briket silinder. Hal ini sesuai dengan rumus laju perpindahan panas, baik secara konduksi maupun konveksi dengan persamaan 2.7 dan persamaan 2.8 yaitu nilai laju perpindahan panas ( $q$ ) berbanding lurus dengan luas permukaan ( $A$ ) dan nilai laju perpindahan panas berbanding lurus dengan besar energi panas ( $Q$ ), sehingga nilai energi panas juga berbanding lurus dengan luas permukaan.

Dari hasil simulasi pada lampiran B dapat dilihat bahwa pengaruh ukuran briket silinder berbanding terbalik dengan besarnya temperatur yang diperoleh, semakin kecil ukuran briket silinder maka semakin cepat mendekati temperatur reduksi atau temperatur furnace. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik perubahan temperatur pada temperatur reduksi 1373 K dengan perbeda ukuran briiket silinder

Pada temperatur reduksi 1373 K dengan waktu 10, 15, 30, 45, dan 60 menit untuk briket silinder dengan tinggi 2 cm bagian inti perubahan temperatur masing-masing sebesar 850,54 K, 1035,34 K, 1306,42 K, 1361,24 K dan 1370,63 K, dan untuk bagian luar sebesar 922,79 K, 1056,48 K, 1306,97 K, 1361,24 K dan 1370,63 K. Sedangkan pada temperatur reduksi 1373 K dengan waktu 10, 15, 30, 45, dan 60 menit untuk briket silinder dengan tinggi 3 cm bagian inti perubahan temperatur masing-masing sebesar 795,99 K, 989,67 K, 1276,2 K, 1352,4 K, dan 1368,4 K, dan untuk bagian luar sebesar 897,57 K, 1028,4 K, 1277,2 k, 1352,6 K, 1368,4 K. Fenomena ini dapat dijelaskan pada persamaan 2.9 bahwa temperatur ( $\partial T$ ) berbanding terbalik dengan gradient luas permukaan ( $\partial x^2, \partial y^2, \partial z^2$ ) namun berbanding lurus dengan waktu ( $\partial t$ ), sehingga dapat di simpulkan bahwa lamanya temperatur meningkat disebabkan bertambahnya volume.

#### C.4 Hasil Uji Fe Metal dan Fe Total dipengaruhi oleh Besar Energi Panas dan Ukuran Briket Silinder

Proses reduksi  $Fe_2O_3$  menjadi Fe membutuhkan energi untuk dapat berlangsung. Energi tersebut disebut energi aktivasi. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang harus ada pada sistem kimia untuk melangsungkan reaksi kimia. Energi ini juga dapat didefinisikan sebagai energi minimum yang diperlukan untuk memulai reaksi kimia (Atkins and de Paula, 2006). Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai kinetika reduksi bijih besi yang dilakukan oleh Singh dan Krisnan (2008) disebutkan bahwa energi aktivasi yang perlu digunakan dalam reduksi sebesar 22,85 KJ/mol. Berdasarkan hasil perhitungan jumlah mol yang diperoleh pada briket silinder dengan tinggi 2 cm sebesar 0,09 mol dan briket silinder dengan tinggi 3 cm sebesar 0,14 mol, sedangkan energi yang

digunakan sebesar 2,19 KJ pada briket silinder dengan tinggi 2 cm dan pada briket silinder dengan tinggi 3 cm sebesar 3,28 KJ.

Dari hasil percobaan validasi yang telah dilakukan, diperoleh bahwa kadar Fe metal dan Fe total pada temperatur reduksi 1173 K dengan waktu 60 menit yaitu kadar Fe metal sebesar 56,73% dan Fe total sebesar 70,86% pada briket silinder dengan tinggi 2 cm, sedangkan pada briket silinder dengan tinggi 3 cm kadar Fe metal sebesar 54,24% dan kadar Fe total sebesar 67,32%.

Fe metal merupakan kadar Fe murni yang terbentuk dalam proses reduksi bijih besi. Pada reduksi bijih besi, kadar Fe metal menentukan bahwa reaksi yang terjadi dalam proses reduksi berlangsung secara sempurna atau tidak. Tinggi atau rendahnya kadar Fe metal bergantung pada proses reduksinya, salah satu faktor penting yang berpengaruh adalah waktu dan temperatur reduksi yang tepat selain itu juga terdapat yang mempengaruhi yaitu ukuran dari geometri tersebut.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa ukuran berpengaruh terhadap energi minimal yang dibutuhkan untuk mereduksi briket silinder. Kebutuhan energi ini akan mempengaruhi hasil dari reduksi sehingga dengan mereduksi briket silinder pada temperatur yang sama dan waktu yang sama namun hanya perbedaan ukuran menghasilkan nilai Fe metal dan Fe total berbeda sesuai dengan kebutuhan energi yang digunakan untuk reduksi.

D. **STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan pada tahun pelaksanaan penelitian. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian luaran

Luaran yang dihasilkan :

1. Jurnal MSF (Material Science Forum) Q3 - Accepted
2. Seminar Internasional BEST- Selesai
3. Prosiding IOP- Accepted
4. Jurnal Nasional Terakreditasi- Draft
5. Buku Ajar Pembuatan Baja - Draft

E. **PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (jika ada). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian mitra

.....

.....

.....

.....

.....

F. **KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian

tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Kendala :

Penelitian ini menemui beberapa kendala teknis berupa proses pemodelan yang menggunakan software Ansys memerlukan waktu yang lebih lama pada saat running. Selain itu secara teknik pengujian/ pengamatan temperatur yang direncanakan di dalam sample briquet juga sulit dilakukan karena luas area briquet yang terlalu kecil sehingga penempatan thermocouple mengalami kesulititan

**G. RENCANA TINDAK LANJUT PENELITIAN:** Tuliskan dan uraikan rencana tindak lanjut penelitian selanjutnya dengan melihat hasil penelitian yang telah diperoleh. Jika ada target yang belum diselesaikan pada akhir tahun pelaksanaan penelitian, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai tersebut.

Rencana Tindak lanjut :

Berdasarkan hasil penelitian tindak lanjut penelitian adalah :

1. Memasukan hasil penelitian kedalam silabus pengajaran mata kuliah fenomena transport dan reduksi bijih besi di jurusan teknik metalurgi Untirta
2. Melakukan penelitian lanjutan dengan memperbesar ukuran sampel dengan menggunakan parameter yang telah di dapat dari pemodelan ini
3. Melakukan penelitian dengan penyesuaian furnace dan sistem penghasil gas reduktor
4. Melakukan publish di jurnal nasional terakreditasi

**H. DAFTAR PUSTAKA:** Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Donskoi, E. and McElwain, D. L. S. (2003) 'Estimation and modeling of parameters for direct reduction in iron ore/coal composites: Part I. Physical parameters', *Metallurgical and Materials Transactions B*, 34(1), pp. 93–102. doi: 10.1007/s11663-003-0059-0.
2. Fortini, O. M. and Fruehan, R. J. (2005) 'Rate of reduction of ore-carbon composites: Part II. Modeling of reduction in extended composites', *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 36(6), pp. 709–717. doi: 10.1007/s11663-005-0074-4.
3. Geiger, G. . and Poirier, D. . (no date) *Transport Phenomena in Metallurgy*.
4. Habashi, F. (no date) *Handbook of Extractive Metallurgy*.
5. Kementerian ESDM (2015) 'Pemutakhiran Data Dan Neraca Sumber Daya Mineral Status 2015 Pusat Sumber Daya Geologi'.
6. Komatina, M. and Gudenau, H. (2004) 'The sticking problem during direct reduction of fine iron ore in the fluidized bed', *Metalurgija*, 10, pp. 310–328. Available at: <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0354-63060404309K>.
7. Li, Q. J. and Hong, X. (2009) 'Non-isothermal kinetic model for reduction of ferrous oxide with hydrogen and carbon monoxide', *Ironmaking & Steelmaking*, 36(1), pp. 24–28. doi: 10.1179/174328107X203787.
8. Milandia, A. and Oediyani, S. (2015) 'Reduction of Low Grade Iron Ore Using a Mixture of Polyethylene ( HDPE / LLDPE ) and Coal as an Alternate Reductant', *Advanced Materials Reseach and Productions*, 1112, pp. 515–518. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1112.515.
9. Murakami, T. and Kasai, E. (2011) 'Utilization of Ores with High Combined Water Content for Ore-carbon Composite and Iron Coke', *ISIJ International*, 51(8), pp. 1220–1226. doi: 10.2355/isijinternational.51.1220.
10. Murakami, T., Nishimura, T. and Kasai, E. (2009) 'Lowering Reduction Temperature of Iron Ore and Carbon Composite by Using Ores with High Combined Water Content', *ISIJ International*, 49(11), pp. 1686–1693. doi: 10.2355/isijinternational.49.1686.

11. Oediyani, S. and Milandia, A. (2006) 'Pemanfaatan Bijih Besi Lokal, Finnes Pellet, Dan Scale, Sebagai Bahan Baku Alternatif Pembuatan Besi Spons Dengan Variasai Reduktor', *KS Review*, 6(1), pp. 2–9.
12. Oediyani, S. and Milandia, A. (2013) 'Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Terhadap Proses Reduksi Pasir Besi Pandeglang', in Anne, Z. (ed.) *Seminar Nasional Metalurgi dan Material 2013*. Jakarta, p. A-1.
13. Peralta, J. M. and Schmalko, M. E. (2007) 'Modeling Heat and Mass Transfer in the Heat Treatment Step of Yerba Maté Processing', *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24(1), pp. 73–82.
14. Ross, H. U. (1980) 'Physical Chemistry', in Robert, S. and Smailer, R. (eds) *Direct Reduced Iron : Technology and Economics of Production and Use*. Warrendale: The Iron & Steel of AIME, pp. 1–25.
15. Shi, J. et al. (2005) 'Modelling the reduction of an iron ore-coal composite pellet with conduction and convection in an axisymmetric temperature field', *Mathematical and Computer Modelling*, 42(1–2), pp. 45–60. doi: 10.1016/j.mcm.2005.05.014.
16. Stanley, S. S. (1997) *A Study Of Kinetics And Mechanisms Of Iron Ore Reduction In Ore/Coal Composite*.
17. Sun, K. and Lu, W. K. (2009) 'Mathematical modeling of the kinetics of carbothermic reduction of iron oxides in ore-coal composite pellets', *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 40(1), pp. 91–103. doi: 10.1007/s11663-008-9199-6

Daftar capaian Luaran Wajib belum diisi:

1. Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional, target: sudah terbit/sudah dilaksanakan
2. Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional, target: sudah terbit/sudah dilaksanakan
3. Prosiding dalam pertemuan ilmiah Internasional, target: sudah terbit/sudah dilaksanakan