

Pengaruh ukuran partikel terhadap karakteristik *exothermic sleeve* sekam padi

The effect of particle size on characteristic of exothermic sleeve from risk husk

D. Idamayanti¹, W. Purwadi¹, Hamim Al Gary²

¹Dosen Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung, Jl. Kanayakan No. 21, Kota Bandung, 40135.

²Mahasiswa Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung, Jl. Kanayakan No. 21, Kota Bandung, 40135.

*E-mail: hamimalgary07@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:
Received
Accepted
Available online

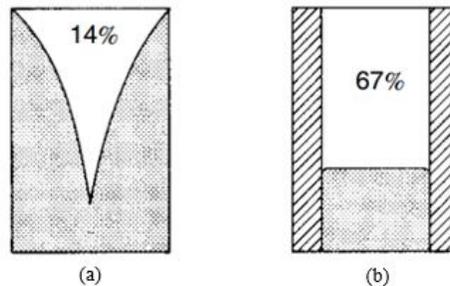
Keywords:
Exothermic Sleeve,
Sekam Padi
Modulus Extension Factor
Gas Evolution



Sleeve merupakan alat bantu yang digunakan pada sistem penambah untuk memperlambat laju pembekuan dari penambah sehingga meningkatkan efisiensi dari penambah itu sendiri. Saat ini *sleeve* yang digunakan dalam produksi pengecoran di lingkungan Polman Bandung masih menggunakan *sleeve* dengan impor. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian sekam padi sebagai pengganti bahan utama dari *sleeve*. *Sleeve* sekam padi mampu menahan waktu pembekuan pada material GX60Cr15 selama 496 s, sehingga nilai *Modulus Extension Factor* (MEF) dari *sleeve* sekam padi yaitu 1,69, menjadi salah satu landasan pemilihan bahan sekam padi menjadi *exothermic sleeve*. Ukuran partikel memiliki kaitan terhadap luas permukaan partikel dan persentase porositas pada *exothermic sleeve* yang akan diteliti pada kali ini. Sehingga ukuran partikel berpengaruh terhadap sifat termal dari *exothermic sleeve*. Pemilihan ukuran partikel sekam yaitu ukuran mesh 40 dan mesh 60. Selanjutnya dilakukan beberapa pengujian *sleeve properties* sesuai spesifikasi *Indian Standard* (IS 15865 : 2009) meliputi pengukuran besar *Modulus Extension Factor* (MEF) dengan pengukuran laju pembekuan, unsur *contaminant* pada sampel *cube test*, dan *gas evolution test*. Dari hasil beberapa pengujian *exothermic sleeve* sekam padi dengan komposisi 11% binder PVAc 89% sekam padi dapat diketahui nilai MEF pada mesh 60 sebesar 1,75 dan pada mesh 40 sebesar 1,90.

1. PENDAHULUAN

Ketika cairan logam membeku terdapat tiga tahap proses penyusutan yaitu penyusutan cair, penyusutan kristalisasi, dan penyusutan padat. Penyusutan cair terjadi ketika cairan logam kehilangan volume seiring dengan penurunan temperatur dari temperatur *superheat* menuju temperatur solidifikasi. Penyusutan kristalisasi terjadi ketika cairan logam membeku, terjadi transformasi dari fasa cair menuju fasa padat dengan masa jenis yang lebih besar sehingga terjadi penyusutan. Penyusutan padat terjadi ketika proses pendinginan ke temperatur kamar, penyusutan ini umumnya disebut susut pola.[1] Dari fenomena penyusutan ini untuk menghindari cacat pada benda ditambahkan sistem penambah pada benda sebagai penyuplai cairan ketika proses pembekuan terjadi. Penambah yang umum digunakan yaitu penambah jenis konvensional (*sand riser*). Penambah jenis ini memiliki efisiensi rendah yaitu hanya 10%.[2] Hal ini berdampak pada rendahnya *yield casting* pada benda cor. Peningkatan efisiensi penambah dapat dilakukan dengan menambah waktu dari laju pembekuan dari penambah. Peningkatan waktu pembekuan penambah dapat dilakukan dengan penggunaan *sleeve* [3] seperti yang terlihat pada gambar 1



Gambar 1 Efisiensi penambah (a) penambah silinder, (b) penambah silinder dengan exothermic sleeve.[4]

Exothermic sleeve yang mampu memperlambat laju pembekuan dari penambah, sehingga dapat meningkatkan efisiensi suplai dari penambah menuju benda cor.[4] Triadji [5] telah membuat *exothermic sleeve* dengan bahan sekam padi sebagai bahan utama dari *sleeve*. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa *sleeve* sekam padi mampu menahan waktu pembekuan pada material GX60Cr15 selama 496 s, sehingga nilai *modulus extension factor* (MEF) dari *sleeve* sekam padi yaitu 1,69. Dengan nilai MEF tersebut, maka *sleeve* sekam padi masuk kedalam kategori *exothermic sleeve* sesuai standar IS 15865 : 2009. Data tersebut merupakan landasan bahwa sekam padi dapat digunakan sebagai material eksotermik yang mampu mencapai atau mendekati sifat termal dari *sleeve* impor. Namun penelitian yang dilakukan sebelumnya hanya mencari variasi komposisi binder dengan nilai MEF tertinggi tanpa ada pengaruh lain sehingga pada penelitian ini fokus pada menganalisis pengaruh ukuran partikel sekam padi terhadap karakteristik *exothermic sleeve* sekam padi.

Nazari et al [6] mengamati pada briket sekam padi dengan fungsi yang analog dengan *sleeve* menunjukkan bahwa ukuran partikel berpengaruh terhadap densitas dan nilai kalor yang dihasilkan saat pembakaran. Semakin kecil ukuran partikel maka akan meningkatkan densitas dan nilai kalor, namun menurunkan porositas dari *exothermic sleeve* yang dibuat. Dalam penelitian ini akan diamati pengaruh ukuran partikel terhadap karakteristik *exothermic sleeve* sekam padi melalui pengujian yang mengacu pada *Indian Standard* (IS 15865 : 2009) meliputi pengujian laju pembekuan baja, MEF (*Modulus Extension Factor*), *gas evolution*, dan *contaminant element*. Hasil penelitian ini diharapkan menghasilkan informasi ukuran partikel sekam padi yang sesuai untuk pembuatan *exothermic sleeve* sekam padi yang memenuhi kriteria menurut IS 15865 : 2009.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

2.1 Sekam padi

Sebagai negara agraris, Indonesia memproduksi biomassa dalam jumlah besar. Salah satu limbah pertanian adalah sekam padi, berat sekam yang dihasilkan adalah 22% dari berat gabah kering giling.[7] Sekam padi merupakan kulit dari butiran beras. Pemisahan sekam padi dari butiran beras biasanya berlangsung pada proses penggilingan beras.[8] Provinsi Sulawesi Selatan merupakan salah satu produsen beras di Indonesia, dengan produksi mencapai 3,7 juta ton pada tahun 2007.[7] Dengan jumlah yang sangat melimpah, sehingga limbah biomassa yang dihasilkan sangat melimpah. Selama ini pemanfaatan limbah sekam padi kurang optimal, seperti digunakan sebagai pakan ternak, bahan pembakaran batu bata, dan sebagian kecil dimanfaatkan sebagai bahan baku briket.[6] Dengan

pengendalian limbah sekam dengan dibakar langsung di udara bebas akan menghasilkan masalah baru. Sekam yang dibakar langsung akan menghasilkan polutan seperti CO₂, CO, NO_x, SO₂, Polycyclic aromatic hydrocarbon n-alkane, Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), Polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), dan dioksin.[8] Sekam padi merupakan sumber karbon tinggi, volatile matter, dan mineral seperti terlihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 Komposisi kimia batang padi (*rice straw*) dan sekam padi (*rice husk*)[8]

Biomass	Rice straw (%)	Rice husk (%)
Hemicellulose	35.7	28.6
Cellulose	32.0	28.6
Lignin	22.3	24.4
Extractive matter	10.0	18.4

Nilai kalori sekam padi ditunjukkan oleh nilai HHV (*Higher Heating Value*) 15,84 MJ/kg lebih besar dari nilai kalor pada jerami yaitu 15,09 MJ/kg.[8] Selain nilai kalor yang cukup tinggi pada sekam padi, kandungan SiO₂ pada abu sekam padi sangat tinggi sebanyak 91,42%.[8]

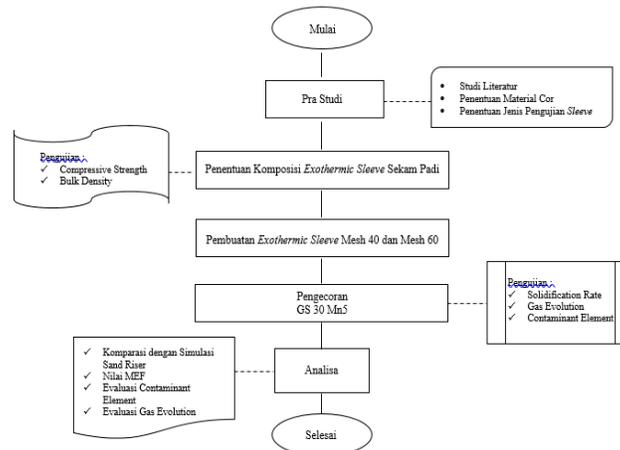
2.2 Material GS30Mn5

Pada proses pengujian *exothermic sleeve* material cor yang digunakan adalah baja GS30Mn5. Material ini sesuai dengan standar DIN 17205:1992 dengan jenis material *cast carbon steel*. [9] Simbol GS yang berarti baja tuang dengan paduan rendah, 30 menunjukkan kandungan karbon 0,3%, dan Mn5 menunjukkan material ini dipadukan dengan unsur Mangan. Berikut merupakan komposisi standar dari material GS30Mn5.

Tabel 2 Komposisi standar material GS30Mn5[9]

Grade	C	Mn	Si	P	S
GS30Mn5	0,27-0,34	1,20-1,50	0,60	0,02	0,015

2.3 Metoda penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pra studi, seperti studi literatur, penentuan material cor, dan penentuan jenis pengujian *sleeve* yang akan dilakukan pada penelitian ini. Penentuan komposisi *sleeve* dengan pengujian *compression strength* pada beberapa komposisi binder yaitu 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, 15%, dan 18% pada variasi ukuran partikel mesh 40 dan mesh 60.

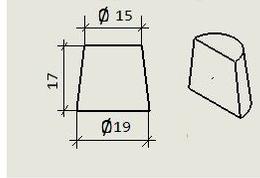
Proses pembuatan *exothermic sleeve* sekam padi menggunakan proses densifikasi/pemadatan menggunakan mesin *manual press*. Proses berikutnya yaitu pengecoran material GS30Mn5 untuk pengujian laju pembekuan, uji evolusi gas, dan uji kontaminan, Lalu, dilakukan analisa dari data yang sudah didapatkan sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji *Compression Strength*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi optimum dari *exothermic sleeve* sekam padi dengan variasi ukuran partikel mesh 40 dan mesh 60, dan variasi komposisi binder 10%, 11%, 12%,

13%, 14%, 15%, dan 18% masing-masing sampel dibuat pada cetakan *press cover*. Pada masing-masing variasi dibuat 5 sampel pengujian sehingga menghasilkan 5 data dalam satu variasi.



Gambar 3 Dimensi sampel *press cover*

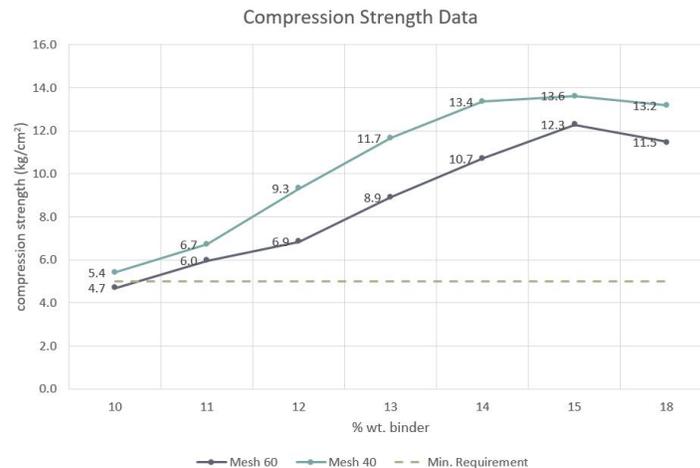
Dari 5 data *compression strength* pada masing-masing variasi diambil rata-rata data dari masing-masing variasi. Berikut merupakan data nilai *compression strength* pada masing-masing variasi.

Tabel 3 *Compression strength* pada masing-masing variasi

No	Komposisi*	<i>Compression Strength</i> (kg cm ⁻²)	
		Mesh 60	Mesh 40
1	10 : 90	4,7	5,4
2	11 : 89	6,0	6,7
3	12 : 88	6,9	9,3
4	13 : 87	8,9	11,7
5	14 : 86	10,7	13,4
6	15 : 85	12,3	13,6
7	18 : 82	11,5	13,2

* Rasio Persentase PVAc : Sekam Padi

Apabila disajikan dengan grafik maka dapat terlihat *trendline* dari hasil pengujian *compression test* seperti gambar 4.



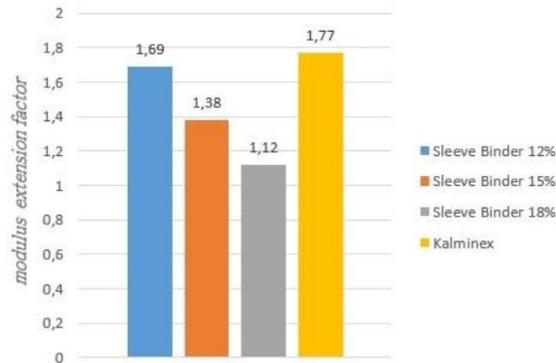
Gambar 4 Grafik Nilai *compression strength* exothermic sleeve sekam padi terhadap variasi binder

Pada IS 15685 : 2009 minimum *compression strength* yang dikehendaki yaitu 5 kg cm⁻². Dari data pengujian yang dihasilkan sampel dengan ukuran partikel mesh 40 memiliki nilai lebih tinggi dibanding dengan ukuran partikel mesh 60. Pada mesh 40 nilai *compression strength* paling rendah pada komposisi 10% PVAc : 90% sekam padi dengan nilai 5,4 kg cm⁻², dan nilai terbesar *compression strength* pada komposisi 15% PVAc : 85% sekam padi dengan nilai 13,6 kg cm⁻². Dengan komposisi diatas 15% binder nilai *compression strength* cenderung datar. Pada mesh 60 nilai *compression strength* paling rendah sama halnya seperti pada mesh 40 yaitu pada komposisi 10% PVAc : 90% sekam padi dengan nilai 4,7 kg cm⁻². Dan nilai *compression strength* terbesar pada komposisi 15% PVAc : 85% sekam padi dengan nilai 12,3 kg cm⁻². Dengan komposisi diatas 15% cenderung menurun namun landau, sama halnya pada ukuran partikel mesh 40. Ukuran partikel mesh 40 memiliki nilai *compression strength* lebih besar dibanding dengan mesh 60 disebabkan karena ukuran partikel berpengaruh terhadap luas permukaan.[6] Dengan ukuran partikel yang besar sehingga luas permukaan yang lebih kecil, dengan persentase binder yang sama pada mesh 40 dan mesh 60 jumlah luas permukaan yang

terlapis oleh binder akan lebih banyak pada ukuran partikel mesh 40 sehingga nilai *compression strength* lebih tinggi dibanding mesh 60.

1. Penentuan komposisi exothermic sleeve sekam padi

Nilai minimum *compression strength* yang ditentukan oleh IS 15685 : 2009 yaitu 5 kg cm^{-2} . Dengan nilai *compression strength* diatas 5 kg cm^{-2} komposisi *sleeve* dapat digunakan berikutnya. Namun Triadji [5] meneliti bahwa persentase binder berpengaruh terhadap *thermal properties* seperti nilai MEF. Dengan persentase binder yang semakin tinggi nilai MEF semakin turun, hal ini terjadi karena dengan persentase binder yang besar sehingga jumlah sekam semakin sedikit. Dalam hal ini, sekam berfungsi sebagai *fuel* dalam proses pembakaran dan efek insulasi pada *exothermic sleeve*. Dengan jumlah *fuel* yang semakin sedikit sehingga efek *exothermic* akan lebih kecil dibanding pada jumlah *fuel* yang banyak.

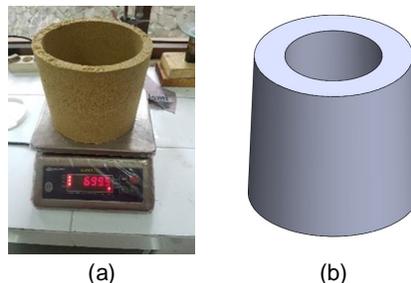


Gambar 5 Grafik Nilai MEF exothermic sleeve sekam padi terhadap variasi binder[5]

Pada *sleeve* sekam padi dengan persentase binder 12% memiliki nilai MEF 1,69, semakin menurun dengan penambahan persentase binder. Dengan fenomena seperti diatas dapat diketahui bahwa persentase binder berpengaruh terhadap performa kinerja *exothermic sleeve*. Dari hasil pengujian *compression strength* terhadap variasi binder, pada komposisi 11% PVAc : 89% sekam padi nilai *compressive strength* $6,7 \text{ kg cm}^{-2}$ pada mesh 40 dan $6,0 \text{ kg cm}^{-2}$ pada mesh 60. Kedua nilai *compressive strength* pada komposisi tersebut diatas ketentuan minimum dari IS 15685 : 2009 yaitu 5 kg cm^{-2} . Dengan korelasi pengaruh nilai MEF terhadap persentase binder dan nilai *compressive strength* pada masing-masing variasi komposisi, dipilih komposisi 11% PVAc : 89% sekam padi sebagai komposisi *exothermic sleeve* sekam padi. Karena pada komposisi ini nilai *compressive strength* sudah diatas ketentuan minimal dari standard dan nilai MEF bisa lebih tinggi dari komposisi 12% binder.

3.2 Uji Bulk Density

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kerapatan massa/*bulk density* dari *exothermic sleeve* sekam padi pada masing-masing variasi ukuran partikel, dengan komposisi *sleeve* yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu 11% PVAc : 89% sekam padi. *Sleeve* yang sudah dibuat lalu ditimbang berat aktualnya menggunakan timbangan digital dan kalkulasi volume *sleeve* dihitung menggunakan aplikasi *Solidworks 2017*.



Gambar 6 Proses perhitungan *bulk density* sleeve sekam padi (a) penimbangan *sleeve* aktual (b) volume pada *solidworks 2017*

Dari hasil penimbangan *sleeve* pada masing-masing variasi ukuran partikel mesh 40 dan mesh 60 didapatkan massa aktual dan volume *sleeve* sebagai berikut.

Tabel 4 Data massa dan volume *sleeve*

	Mesh 40	Mesh 60
Massa (gram)	131	142
Volume (cm ³)	235,9	235,9

Setelah mendapatkan data volume dan massa *sleeve* dapat dikalkulasi *bulk density* dari *sleeve* dengan ukuran partikel mesh 40 dan mesh 60. Rumus perhitungan *bulk density* sebagai berikut.

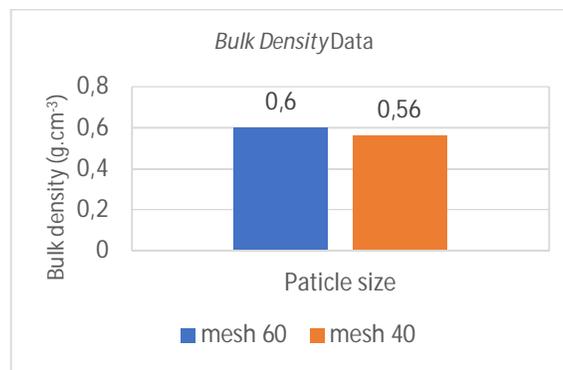
$$\rho = \frac{W}{V} \quad [6]$$

dengan ;

- W = berat (gram)
- V = volume (cm³)
- ρ = *bulk density* (g.cm⁻³)

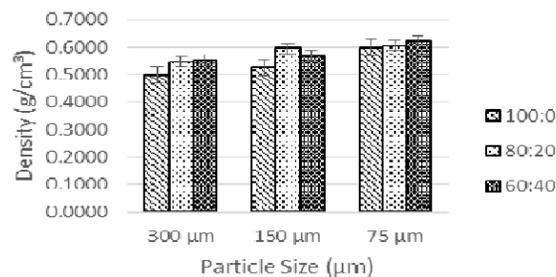
Dari kalkulasi *bulk density* didapatkan data sebagai berikut.

Pada gambar 7 nilai *bulk density sleeve* mesh 60 yaitu 0,6 g.cm⁻³, sedangkan untuk *bulk density sleeve* mesh 40 yaitu 0,56 g.cm⁻³. Dari data yang didapatkan bahwa nilai *bulk density sleeve* mesh 60 memiliki nilai lebih tinggi dibanding pada mesh 40.



Gambar 7 Perbandingan nilai *bulk density* pada *sleeve* mesh 40 dan mesh 60 pada komposisi 11% PVAc : 85% sekam padi

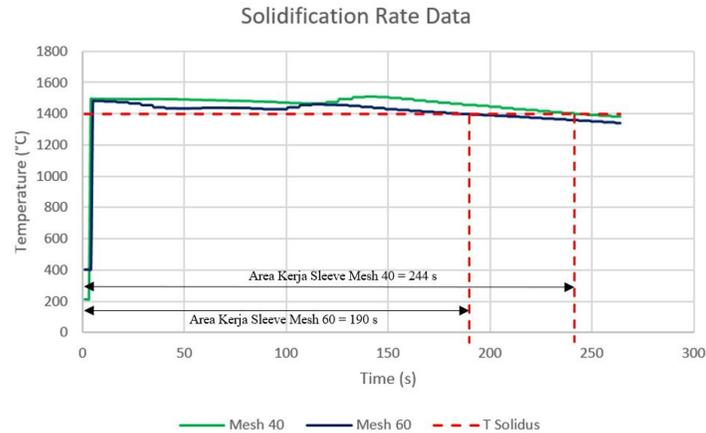
Nilai *bulk density* memiliki korelasi terhadap ukuran partikel. Dengan ukuran partikel yang lebih besar sehingga *void* yang terbentuk cenderung lebih banyak dan nilai *bulk density* lebih rendah dibanding pada ukuran partikel lebih kecil.[10] Selain itu, ukuran partikel yang kecil akan memiliki luas permukaan yang besar sehingga porositas yang terbentuk akan lebih rendah dibanding pada ukuran partikel yang lebih besar.[6]



Gambar 8 Pengaruh ukuran partikel terhadap nilai *bulk density* pada briket dengan komposisi 100% sekam padi, 20% binder, dan 40% binder[6]

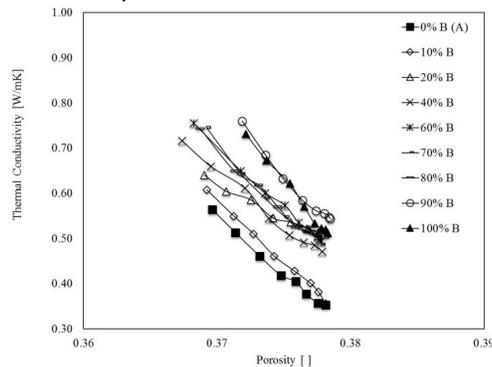
3.3 Uji laju pembekuan GS30Mn5

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari *exothermic sleeve* sekam padi dalam menahan temperatur solidus. Luaran dari pengujian ini berupa grafik *solidification rate exothermic sleeve* sekam padi pada material GS30Mn5. Pada gambar 4.7 dapat diketahui waktu penahanan *exothermic sleeve* sekam padi mesh 40 dan mesh 60.



Gambar 9 Solidification rate pada exothermic sleeve sekam padi mesh 40 dan mesh 60

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa exothermic sleeve sekam padi mesh 40 memiliki kemampuan penahanan hingga temperatur solidus lebih lama dibanding pada exothermic sleeve sekam padi mesh 60. Pada exothermic sleeve sekam padi mesh 40, dengan material cor GS30Mn5 dengan titik solidus 1400°C sleeve mesh 40 mampu menahan hingga temperatur solidus selama 244 detik. Pada exothermic sleeve sekam padi mesh 60 mampu menahan hingga temperatur solidus selama 190 detik. Dalam hal ini, ukuran partikel sleeve sekam padi berpengaruh terhadap performa sleeve dalam menahan temperatur solidus. Ukuran partikel berpengaruh terhadap persentase porositas pada sekam padi.[10] Semakin besar ukuran partikel maka void/trongga udara yang terbentuk semakin banyak sehingga porositas yang terbentuk akan lebih banyak dibanding pada ukuran partikel yang lebih kecil. Selain berpengaruh terhadap porositas, ukuran partikel berpengaruh pada nilai konduktivitas sebuah material.[11] Korelasi porositas terhadap konduktivitas sebuah material dapat dilihat pada gambar 10



Gambar 10 Pengaruh persentase porositas terhadap nilai thermal conductivity pada beberapa variasi pasir silika dengan binder[11]

Dalam gambar 10 semakin besar porositas pada material maka konduktivitas material akan semakin menurun. Sama halnya pada exothermic sleeve sekam padi semakin besar ukuran partikel maka porositas yang terbentuk akan semakin banyak dan konduktivitas akan semakin menurun.[11][10] Dalam hal ini sleeve sekam padi mesh 40 memiliki kemampuan penahanan hingga temperatur solidus lebih lama karena porositas yang terbentuk lebih banyak dibanding pada mesh 60, sehingga perpindahan panas yang banyak terjadi yaitu konveksi. Perpindahan panas konveksi ini memiliki peran sebagai insulasi pada exothermic sleeve sekam padi.

1. Modulus Extension Factor

Riser sleeve digunakan untuk meningkatkan waktu pembekuan pada penambah. Peningkatan waktu pembekuan ditunjukkan oleh apparent modulus lebih besar dibanding modulus geometri dari penambah itu sendiri. Hubungan antara apparent modulus terhadap modulus geometri dapat diketahui pada rumus berikut.[12]

$$M_A = fM_G \quad [12]$$

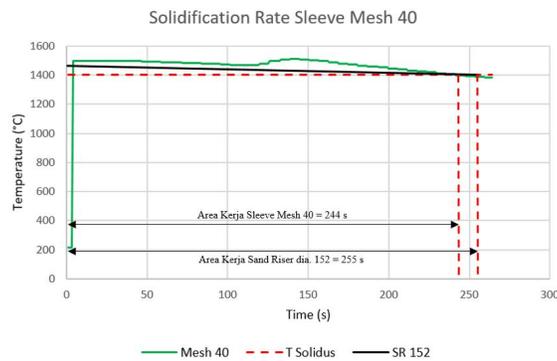
Dimana M_A adalah *apparent modulus*, M_G adalah modulus geometri, dan f merupakan *modulus extension factor* (MEF). Nilai f akan sangat beragam tergantung kualitas sleeve, sifat material sleeve, bentuk geometri sleeve, dan ketebalan dari sleeve.[12] Dengan mengukur laju pembekuan pada *exothermic sleeve* sekam padi sehingga dapat diketahui waktu pembekuan pada masing-masing ukuran partikel. Lalu dibandingkan dengan *sand riser* simulasi pada beberapa variasi ukuran diameter, dengan rasio diameter dan tinggi 1:1. Pada tabel 4.3 dapat diketahui laju pembekuan pada beberapa variasi diameter *sand riser*.

Tabel 5 Waktu pembekuan pada beberapa *sand riser* simulasi

No	Diameter (mm)	Modul Geometri (cm)	CFS	
			menit	detik
1	80	1.6	0.346	20.76
2	120	2.4	1.451	87.06
3	140	2.8	3.271	196.26
4	152	3.04	4.251	255.06

CFS : *Critical Fraction Solid Time*

Setelah didapatkan data laju pembekuan pada *sand riser* dicocokkan terhadap laju pembekuan pada sleeve aktual yang sudah didapatkan sebelumnya. Pada *exothermic sleeve* sekam padi mesh 40 dengan waktu penahanan 244 s mendekati waktu penahanan pada *sand riser* diameter 152 mm dengan waktu penahanan 255 s. Pada gambar 11 dapat dilihat grafik laju pembekuan pada *exothermic sleeve* sekam padi dan *sand riser* diameter 152 mm.



Gambar 11 Grafik *Solidification Rate Sleeve Mesh 40* dan *Sand Riser* Diameter 152 mm

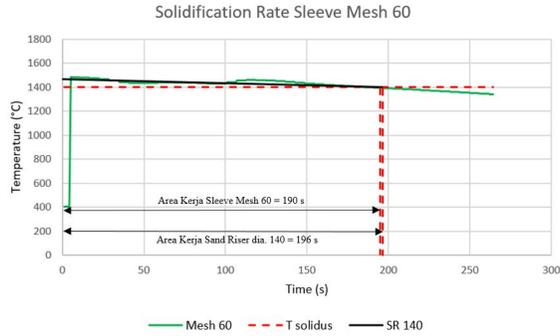
Pada *exothermic sleeve* sekam padi mesh 40 dengan waktu penahanan 244 s mendekati waktu penahanan *sand riser* diameter 152 selama 255 s. Dengan demikian dapat dikalkulasi nilai MEF dari *exothermic sleeve* sekam padi mesh 40 dengan membandingkan modul geometri dari *sand riser* dan *sleeve* dengan waktu penahanan yang hamper sama. Kalkulasi MEF diketahui pada tabel 6 berikut.

Tabel 6 Kalkulasi MEF pada *sleeve* sekam padi mesh 40

Diameter Sleeve (mm)	Modul Sleeve (cm)	Diameter Sand Riser (mm)	Modul Sand Riser (cm)	MEF
80	1.6	152	3.04	1.9

Kalkulasi modul geometri sesuai dengan IS 15865 : 2009 yaitu $D/5$

Pada *exothermic sleeve* sekam padi mesh 60 dengan waktu penahanan 190 s mendekati waktu penahanan *sand riser* diameter 140 mm selama 196 s. Dapat dilihat pada gambar 4.10 Grafik *solidification rate sleeve* mesh 60 dan *sand riser* diameter 140 sebagai berikut.



Gambar 11 Grafik solidification rate sleeve mesh 60 dan sand riser diameter 140 mm

Setelah diketahui sand riser dengan waktu penahanan yang hampir sama dengan exothermic sleeve sekam padi mesh 60, maka dapat dihitung nilai MEF pada exothermic sleeve sekam padi mesh 60. Kalkulasi MEF pada sleeve mesh 60 pada tabel 7 berikut.

Tabel 7 Kalkulasi MEF pada sleeve sekam padi mesh 60

Diameter Sleeve (mm)	Modul Sleeve (cm)	Diameter Sand Riser (mm)	Modul Sand Riser (cm)	MEF
80	1.6	140	2.8	1.75

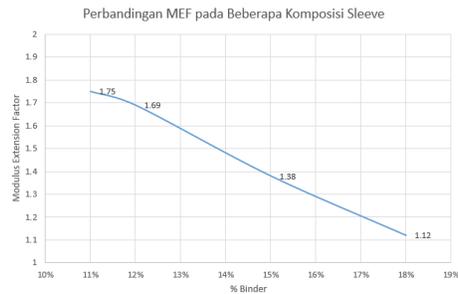
Kalkulasi modul geometri sesuai dengan IS 15865 : 2009 yaitu D/5

Dari hasil perhitungan MEF pada masing-masing sleeve mesh 40 dan mesh 60 didapatkan nilai MEF berturut-turut 1,9 dan 1,75. Apabila dibandingkan dengan acceptance criteria dari IS 15865 : 2009 mengenai nilai MEF pada sebuah sleeve, sleeve sekam padi yang sudah dibuat masuk kedalam kategori exothermic and insulating sleeve.[13]

	Minimum MEF	
	Exothermic and Insulating	Insulating
Up to 150 mm diameter	1.60	1.45
160 to 225 mm diameter	1.45	1.30
250 to 300 mm diameter	1.40	1.30
325 to 400 mm diameter	1.30	1.20
425 to 500 mm diameter	1.30	1.20
525 mm and above	1.30	1.20

Gambar 12 Rekomendasi MEF pada IS 15865 : 2009[13]

Apabila dibandingkan dengan riset yang sudah dilakukan oleh Triadji [5] dengan pengurangan persentase binder pada sleeve sekam padi maka akan meningkatkan nilai MEF pada sleeve.[5] Hal ini terbukti dengan komposisi sleeve yang digunakan pada penelitian ini yaitu 11% binder menghasilkan nilai MEF lebih tinggi dari penelitian yang sebelumnya dilakukan. Pada gambar 13 merupakan perbandingan MEF dari penelitian sebelumnya dan penelitian yang dilakukan saat ini.



Gambar 13 Perbandingan MEF pada komposisi 11% binder, 12% binder, 15% binder, dan 18% binder

3.4 Uji Kontaminan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efek kontaminasi pada benda cor yang dipengaruhi oleh *exothermic sleeve* sekam padi mesh 40. Dengan menguji komposisi awal cairan dan komposisi akhir pada benda cor, dapat diketahui selisih beberapa unsur sesuai spesifikasi *exothermic sleeve* IS 15865 : 2009. Berikut data perbandingan komposisi awal dan akhir dari sampel uji kontaminan pada tabel 8 berikut.

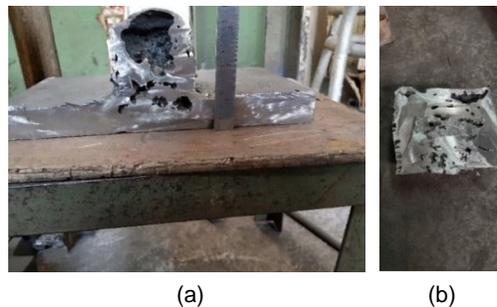
Tabel 8 Data pengujian komposisi awal dan akhir pada sampel *contaminant element test*

Komposisi Awal															
C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb	Zn
0,26	0,15	0,009	0,014	1,43	0,049	0,27	0,044	0,004	0,034	0,0056	0,0015	0,0011	0,0017	0	0,00211
Komposisi Akhir															
C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb	Zn
0,27	0,17	0,01	0,014	1,34	0,083	0,30	0,045	0,0045	0,034	0,0021	0,0014	0,001	0,0032	0	0,00184
Selisih Komposisi															
0,01	0,02	0,001	0	0,09	0,034	0,03	0,001	0,005	0	0,0035	0,0001	0,0001	0,03	0	0,0028
Ketentuan Standar IS 15865 : 2009															
0,01	0,30	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003	0,05	0,003	0,003

Apabila dibandingkan dengan ketentuan unsur kontaminan sesuai IS 15865 : 2009 pada unsur-unsur tertentu tidak ada penambahan yang signifikan dan masih didalam range standar. Sehingga, *exothermic sleeve* sekam padi tidak mempengaruhi komposisi dari cairan.

3.5 Evolusi Gas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon cairan ketika kontak dengan *exothermic sleeve* sekam padi. Dengan mengamati reaksi gejala cairan dan bentuk penampang penambah setelah dipotong melintang. Dari pengujian ini *output* yang dihasilkan berupa data kualitatif berupa gambar hasil potongan dari sampel uji. Dari reaksi gejala cairan ketika kontak dengan *exothermic sleeve* sekam padi cairan bergejolak hebat ketika kontak dengan *exothermic sleeve* sekam padi. Hal ini dipengaruhi oleh reaksi pembakaran sekam padi yang merupakan senyawa selulosa apabila terbakar pada temperatur 1500°C akan menghasilkan gas CO dan H₂ dengan sisa pembakaran karbon (C).[14]



Gambar 14 Hasil potongan penampang penambah ; (a) sampel *sleeve* mesh 40, (b) sampel *sleeve* mesh 60

Dari hasil potongan penambah, bentuk penyusutan yang terjadi bukan penyusutan normal melainkan susut gas atau porositas pada seluruh bagian penambah. Bahkan, pada sampel *plate test* porositas terjadi hingga benda cor.



Gambar 15 Hasil permukaan luar benda cor ; (a) sampel *sleeve* mesh 40, (b) sampel *sleeve* mesh 60

Selain potongan penampang penambah yang porositas, permukaan luar penambah yang kasar mengindikasikan bahwa gejala cairan akibat reaksi pembakaran *exothermic sleeve* sekam padi terjadi

hingga pembekuan terjadi. Pada sampel *sleeve* mesh 40 rongga gas yang dihasilkan lebih sedikit dibanding dengan sampel *sleeve* mesh 60. Dalam hal ini terdapat korelasi antara reaksi pembakaran sekam dan porositas yang terbentuk pada benda cor. Reaksi pembakaran yang terlalu signifikan akibat jumlah *fuel* yang terbakar terlalu banyak menyebabkan gejala cairan berlebih dan porositas yang terbentuk pada benda cor. Reaksi pembakaran yang terjadi pada *sleeve* sekam padi ini mirip dengan reaksi *pyrolysis* yang terjadi ketika pembentukan biomassa dari sekam padi. Reaksi *pyrolysis* terjadi pada temperatur 350-550°C dengan kondisi minim udara sehingga menghasilkan gas dan residu karbon.[8] Dengan demikian dibutuhkan bahan lain yang mampu meredam reaksi yang terjadi akibat pembakaran sekam padi baik berupa *filler* ataupun *carrier*.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut ;

1. *Sleeve* sekam padi mesh 40 dapat menahan temperatur solidus material GS30Mn5 selama 244 s sehingga menghasilkan nilai MEF 1,90 pada komposisi binder 11%.
2. *Sleeve* sekam padi mesh 60 dapat menahan temperatur solidus material GS30Mn5 selama 190 s sehingga menghasilkan nilai MEF 1,75 pada komposisi binder 11%.
3. Tidak ada unsur kontaminan pengaruh dari *sleeve* sekam padi baik pada mesh 40 dan mesh 60.
4. Terdapat reaksi gas berlebih pada *exothermic sleeve* sekam padi baik pada mesh 40 dan mesh 60, sehingga dibutuhkan rekompresi material *sleeve* sekam padi dengan menambahkan *filler* atau *carrier* pada *sleeve* sekam padi untuk meredam reaksi eksotermik dari pembakaran sekam padi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada pemerintah atas bantuan dana pendidikan melalui program bidikmisi. Yang ke tiga penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Pengecoran Logam di Politeknik Manufaktur Bandung atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. M. Stefanescu, *ASM Handbook Vol.15 Casting*. 1998.
- [2] J. R. Brown, *Foseco Ferrous Foundryman ' s Handbook*. 2000.
- [3] R. A. Hardin, T. J. Williams, and C. Beckermann, "Riser Sleeve Properties for Steel Castings and the Effect of Sleeve Type on Casting Yield," 2013.
- [4] P. Beeley, *Foundry Technology*, 2nd ed. Oxford, 2001.
- [5] R. Triadji, "Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Sebagai Bahan Baku Exothermic Sleeve Pada Aplikasi Pengecoran GX60Cr15," 2018.
- [6] M. M. Nazari, C. P. San, and N. A. Atan, "Combustion Performance of Biomass Composite Briquette from Rice Husk and Banana Residue," vol. 9, no. 2, pp. 455–460, 2019.
- [7] Suharto, "Kajian Awal Potensi Pemanfaatan Biomassa Sekam Padi Untuk Pembangkit Listrik Melalui Teknologi Gasifikasi di Provinsi Sulawesi Selatan," no. April, pp. 434–442, 2013.
- [8] J. S. Lim, Z. A. Manan, S. Rafidah, W. Alwi, and H. Hashim, "A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 5, 2012.
- [9] J. E. Bringas, *Handbook of Comparative World Steel Standards*, Third Edit. 2004.
- [10] Y. Zhang, A. E. Ghaly, and B. Li, "Physical Properties of Rice Residues as Affected by Variety and Climatic and Cultivation Onditions in Three Continents," vol. 9, no. 11, pp. 1757–1768, 2012.
- [11] J. Ahn and J. Jung, "applied sciences Effects of Fine Particles on Thermal Conductivity of Mixed Silica Sands," 2017.
- [12] T. J. Williams, "Determination of effective riser sleeve thermophysical properties for simulation and analysis of riser sleeve performance," University of Iowa, 2016.
- [13] Indian Standard, "Exothermic And Insulating Sleeves For Use In Foundries - Specification," 2009.
- [14] R. Wlodawer, "Directional Solidification of Steel Castings," 1966.