



## Upaya Nilai Tambah *Sludge Scale* Sebagai Bahan Baku Pelet Bijih Pelet

Soesaptri Oediyani<sup>a,1</sup>, Anistasia Milandia<sup>b,2</sup>, Maya Saputri<sup>c,3</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman Km 3, Kotabumi Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, 42435, Indonesia

<sup>1</sup>E-mail: [s\\_oediyani@untirta.ac.id](mailto:s_oediyani@untirta.ac.id)

### INFO ARTIKEL

#### Riwayat artikel:

Diajukan pada Agustus 21

Direvisi pada September 21

Disetujui pada Oktober 21

#### Kata kunci:

*Sludge*, *Binder*, *Kuat Tekan*, *Porositas*, *Reducibility*.

#### Keywords:

*Sludge*, *Binder*, *Compressive Strength*, *Porosity*, *Reducibility*.

### ABSTRAK

Limbah baja semula termasuk ke dalam limbah B3 tetapi berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Lampiran XIV limbah industri besi dan baja dikategorikan sebagai Limbah Non-B3. *Sludge scale* adalah salah satu limbah proses pembuatan baja yang belum dimanfaatkan sehingga perlu diberikan nilai tambah mengingat masih mengandung besi dalam jumlah besar sebagai contoh *sludge scale BOF* dalam keadaan kering mengandung 50 – 60% Fe. Salah satu upaya pemanfaatan *sludge scale* adalah pembuatan pelet besi menggunakan bahan baku *sludge scale*. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan nilai kuat tekan, porositas dan *reducibility* pelet dengan menggunakan variasi *binder* yaitu bentonit, molase dan dekstrin dengan komposisi masing-masing 0,5, 2,5 dan 5%. Temperatur *firing* yang digunakan yaitu 1200 dan 1300°C. Hasil penelitian menghasilkan kuat tekan tertinggi pada 5% bentonit sebesar 2000N/pelet, porositas dan *reducibility* tertinggi pada 0,5 % molase masing-masing sebesar 48,67% dan 8,82% reduksi per menit.

### ABSTRACT

Steel waste was originally included in B3 waste but based on Government Regulation no. 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management Attachment XIV of iron and steel industrial waste is categorized as Non-B3 Waste. *Sludge scale* is one of the wastes of the steel making process that has not been utilized so it needs to be added value considering that it still contains large amounts of iron, for example, BOF *sludge scale* in a dry state contains 50-60% Fe. One of the efforts to utilize *sludge scale* is the manufacture of iron pellets using *sludge scale* as raw material. In this study, observations were made of the compressive strength, porosity and *reducibility* of pellets using a variety of binders, namely bentonite, molasses and dextrin with compositions of 0.5, 2.5 and 5%, respectively. The firing temperatures used are 1200 and 1300°C. The results showed that the highest compressive strength at 5% bentonite was 2000N/pellet, the highest porosity and *reducibility* at 0.5% molasses were 48.67% and 8.82% reduction per minute.

## 1. Pendahuluan

Semakin *Sludge scale* dihasilkan dari proses *hot rolling slab* baja yang mengandung Fe total 64,86%. Industri baja di Indonesia diperkirakan memproduksi *sludge scale* sebanyak 800.000 ton per tahun mengingat produksi baja hulu Indonesia baru mencapai 4 juta ton per tahun. Dengan kapasitas limbah yang semakin bertambah tiap tahun, industri baja kesulitan menampung *sludge scale*. Salah satu konsep pemikiran dalam upaya pemanfaatan *sludge scale* yaitu pembuatan pelet besi dengan bahan baku *sludge scale*. Pelet merupakan bahan baku proses pembuatan besi baja. Dengan pemanfaatan *sludge scale* yaitu ditingkatkan nilai ekonomisnya, sehingga dapat mengurangi pembelian bahan baku dan secara langsung dapat mengurangi ongkos produksi. Hasil penelitian ini diharapkan menghasilkan pelet yang memiliki kekuatan yang tinggi, yaitu 980 N/pelet dan kemampuan reduksi yang baik. Pada penelitian sebelumnya, disimpulkan bahwa nilai kuat tekan semakin turun dengan bertambahnya komposisi campuran *sludge scale*. Kekuatan pelet cenderung meningkat dengan bertambahnya komposisi *binder* dan berkurangnya komposisi campuran *sludge scale* [1]. Penggunaan *binder* bentonit dengan jumlah banyak, akan meningkatkan jumlah *slag* pada saat proses peleburan sehingga diperlukan variasi lain untuk meningkatkan nilai sifat fisik pelet *sludge scale*. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi kuat tekan pelet, porositas dan *reducibility* pelet, yaitu ukuran partikel penyusun pelet, kandungan air, penambahan *binder* serta perlakuan panas yang diberikan pada tahap indurasi [2]. Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis *binder* yaitu bentonit, molase dan dekstrin dan variasi temperatur *firing*. Untuk mendapatkan kuat tekan, porositas dan *reducibility* yang optimum diperlukan pengaturan jenis dan komposisi *binder* serta temperatur *firing* pada pembuatan pelet *sludge scale*. Tujuan penelitian yang dilakukan adalah mempelajari dan menganalisa pengaruh jenis, komposisi *binder* serta temperatur *firing* terhadap kuat tekan, porositas, dan *reducibility* pelet *sludge scale*.

## 2. Metode Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan di dalam penelitian ini adalah *sludge scale* yang berasal dari pabrik rolling baja. Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia *sludge scale* yang digunakan di dalam penelitian ini. Tabel 2 menunjukkan komposisi kimia bentonit. Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar.

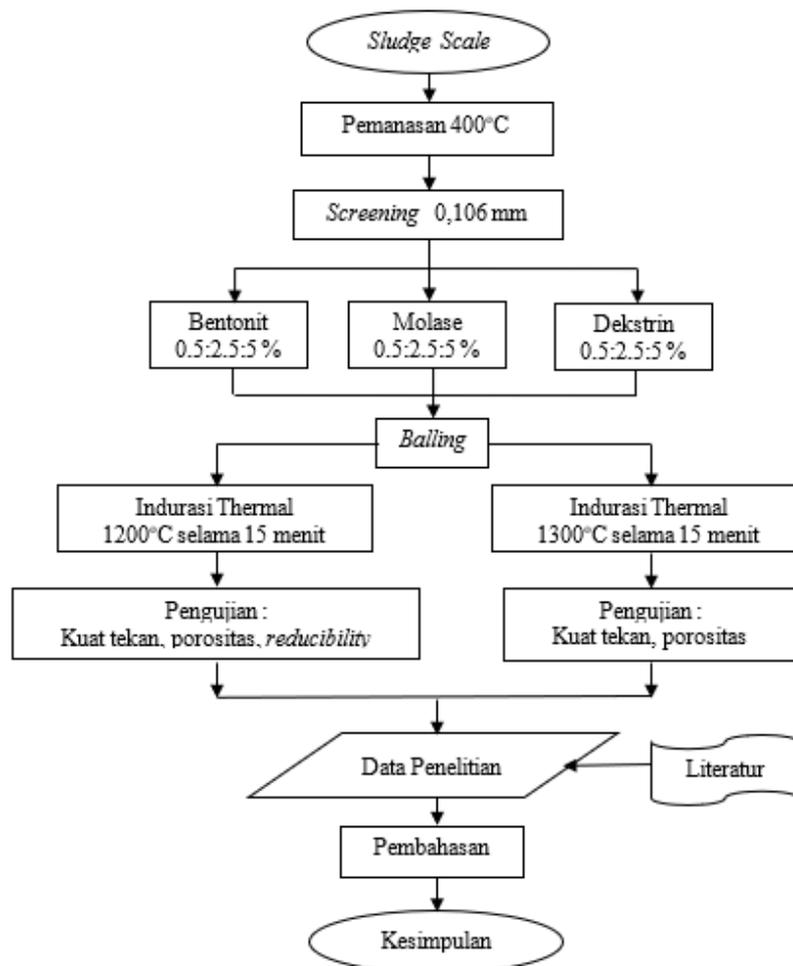
Tabel 1. Komposisi Kimia *Sludge Scale*

Parameter	Fe <sub>total</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Oli	H <sub>2</sub> O
(%berat)	64,86	52,86	35,56	0,67	0,70	0,91	4,51	0,55

Tabel 2. Komposisi Kimia Bentonit

Parameter	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
%berat	48 – 60	16 – 19	6 – 10	2,5 – 4	4 – 7

Secara skematik, penelitian ini digambarkan dalam bentuk diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.

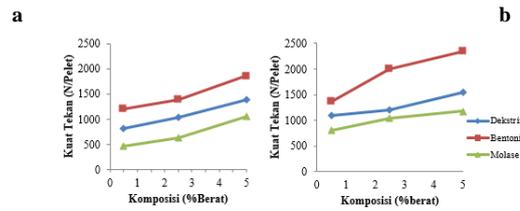


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

## 3. Hasil dan Pembahasan

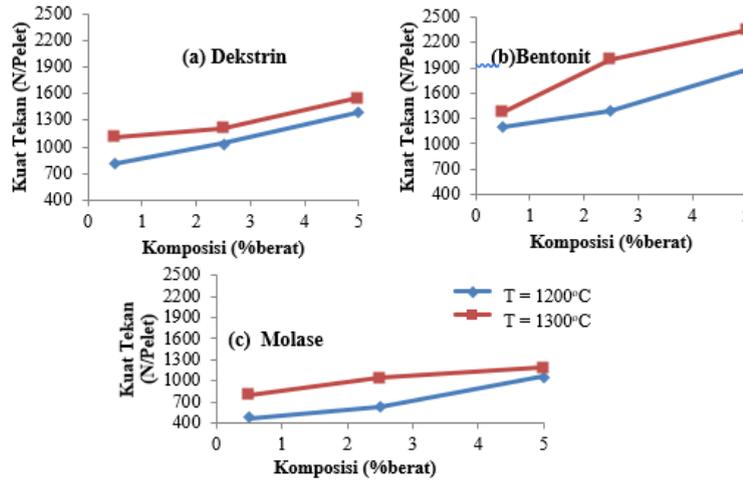
### 3.1. Pengaruh Jenis Komposisi Binder dan Temperatur terhadap Firing terhadap Kuat Tekan Pelet *Sludge*

Penggunaan jenis dan komposisi *binder* yang berbeda dapat mempengaruhi nilai kuat tekan pelet<sup>[2]</sup>. Hasil percobaan mengenai pengaruh jenis dan komposisi *binder* terhadap kuat tekan pelet pada temperatur 1200 dan 1300°C masing – masing dapat dilihat pada Gambar 2a dan 2b. Kuat tekan merupakan salah satu sifat penting yang harus dimiliki oleh pelet karena akan berpengaruh terhadap kekuatan pelet saat direduksi dan selama pemindahan. Gambar 2a dan 2b terlihat bahwa nilai kuat tekan pada *firing* 1200 dan 1300°C, *binder* bentonit lebih baik daripada *binder* dekstrin dan molase. Nilai kuat tekan pelet tiap jenis *binder* cenderung mengalami peningkatan dengan penambahan komposisi. *Binder* bentonit menghasilkan nilai kuat tekan yang paling tinggi pada temperatur *firing* 1300°C dengan komposisi 5 % yaitu sebesar 2350 N/pelet, sedangkan *binder* molase menghasilkan nilai kuat tekan yang paling rendah pada temperatur *firing* 1200°C dengan komposisi 0,5 % yaitu sebesar 473 N/pelet.



Gambar 2. Pengaruh Jenis dan Komposisi *Binder* terhadap Kuat Tekan Pelet - (a) Temperatur *Firing* 1200°C; (b) Temperatur *Firing* 1300°C.

Selain jenis dan komposisi *binder*, variasi temperatur *firing* dapat mempengaruhi nilai kuat tekan pelet. Peningkatan temperatur *firing* 1200°C menjadi 1300°C, menghasilkan nilai kuat tekan pelet cenderung meningkat pada setiap komposisi dan jenis *binder*, dapat dilihat pada Gambar 3 (a), (b), dan (c).

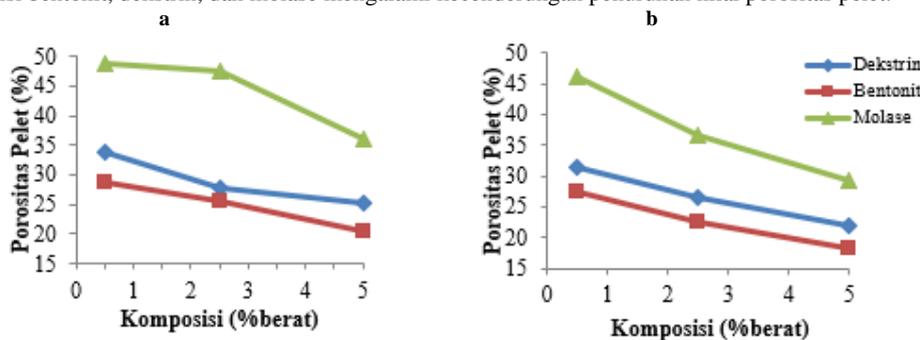


Gambar 3. Pengaruh Temperatur *Firing* dan Komposisi *Binder* terhadap Kuat Tekan - (a) Dekstrin; (b) Bentonit; (c) Molase.

Hal ini disebabkan, pada temperatur 1200°C mulai terbentuk *slag bond* [2]. Ikatan ini timbul dari senyawa oksida yang bereaksi, berupa oksida asam (SiO<sub>2</sub>) dan oksida basa (CaO) yang terkandung dalam pelet *sludge scale*, berasal dari *binder* ataupun dari *sludge scale* itu sendiri. Dalam pelet *sludge scale* menggunakan *binder* bentonit, senyawa oksida yang paling dominan adalah SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, maka senyawa *slag bond* yang terbentuk adalah 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub> (*mullite*). Peningkatan temperatur *firing* hingga 1300°C, terjadi ikatan yang berakibat adanya pertumbuhan jembatan kristal yang disebabkan oleh pertumbuhan kristal hematit. Jenis ikatan ini dapat menghasilkan kekuatan yang paling tinggi pada pelet [2]. Penggunaan dextrin dan molase sebagai *binder* organik memiliki kekuatan yang lebih rendah daripada menggunakan *binder* non-organik yaitu bentonit, seperti yang terlihat pada Gambar 3b. Penggunaan *binder* organik memiliki kelebihan yaitu tidak meninggalkan pengotor pada pelet, karena *binder* organik akan hilang saat proses indurasi thermal [5]. Peningkatan temperatur *firing* hingga 1300°C, hanya dapat meningkatkan kekuatan pelet sebesar 34,3% dan belum dapat digunakan dalam proses HYL yang mensyaratkan kekuatan tekan minimal yaitu 2000 N/pelet. Pada Gambar 3a kekuatan pelet menggunakan *binder* dekstrin cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya komposisi *binder* dan temperatur *firing*. Saat temperatur *firing* 1200°C, nilai kuat tekan pelet maksimum dihasilkan dengan komposisi 5% *binder* dekstrin sebesar 1383 N/pelet dan mengalami kenaikan nilai kuat tekan menjadi 1550 N/pelet pada temperatur *firing* 1300°C. Penggunaan *binder* molase menghasilkan nilai kuat tekan yang paling rendah dari dekstrin dan bentonit seperti yang terlihat pada Gambar 3c, walaupun komposisi maupun temperatur *firing* ditambahkan. Pada temperatur 1200°C, nilai kuat tekan maksimum yang dapat dicapai pelet dengan *binder* molase sebesar 1063 N/pelet dengan komposisi 5% dan kenaikan temperatur *firing* sebesar 1300°C nilai kuat tekan meningkat menjadi 1183 N/pelet. Hal ini disebabkan *binder* molase memiliki kandungan air yang tinggi (11%) [6], dan akan hilang saat terjadi indurasi thermal, sehingga membentuk pori – pori yang besar.

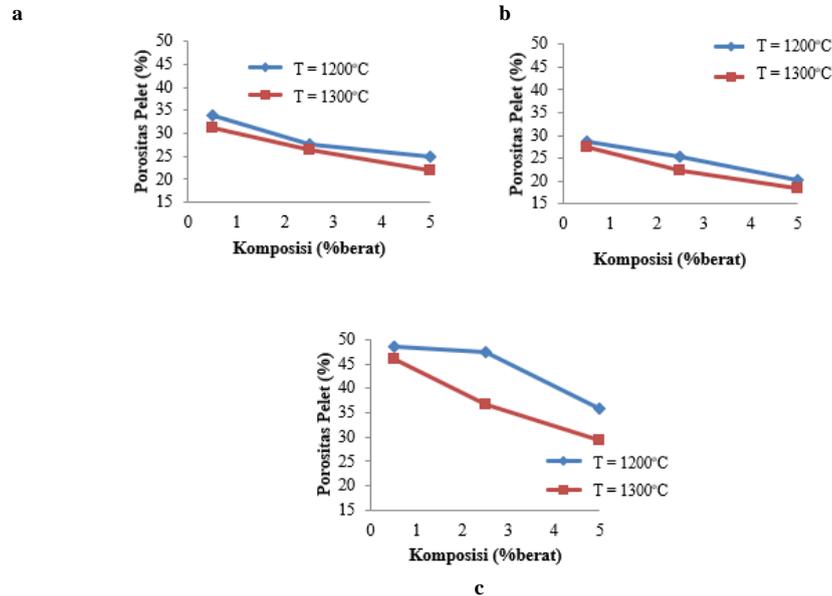
3.2. Pengaruh jenis dan Komposisi *Binder* serta Temperatur *Firing* terhadap Porositas *Sludge* Pelet

Selain nilai kuat tekan, pengujian sifat fisik pelet lain yang dilakukan adalah porositas. Nilai porositas dapat dilihat pada Gambar 4a dan 4b yang menunjukkan pengaruh jenis dan komposisi *binder* pada temperatur *firing* 1200 dan 1300°C. Penggunaan *binder* dan penambahan komposisi bentonit, dekstrin, dan molase mengalami kecenderungan penurunan nilai porositas pelet.



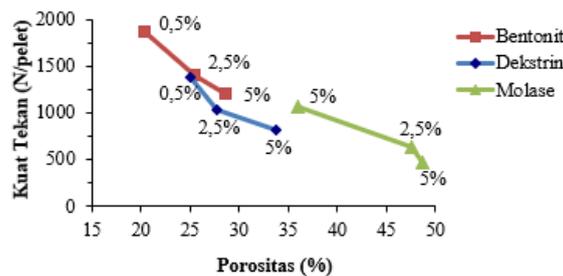
Gambar 4. Pengaruh Jenis dan Komposisi *Binder* terhadap Porositas Pelet *Sludge* - (a) Temperatur 1200°C; (b) Temperatur 1300°C.

Pada Gambar 4a dan 4b, pelet dengan menggunakan *binder* bentonit memiliki nilai porositas yang paling rendah diantara *binder* lain. Nilai porositas pelet mengalami kecenderungan menurun setiap penambahan komposisi *binder*. *Binder* bentonit menghasilkan nilai porositas maksimum pada komposisi 0,5 % yaitu sebesar 27,49 %, pada temperatur *firing* 1300°C, sedangkan *binder* molase menghasilkan nilai porositas yang paling tinggi pada temperatur *firing* 1200°C dengan komposisi 0,5% yaitu sebesar 48,67%. Hal ini disebabkan pada temperatur 1200°C mulai terbentuknya *slag bond* dari senyawa oksida yang dominan berasal dari *binder* bentonit. Dengan adanya pertumbuhan *slag bond* akan menutupi permukaan pelet sehingga mengurangi jumlah porositas yang dimiliki pelet. Variasi temperatur *firing* dapat mempengaruhi nilai porositas pelet *sludge scale*. Peningkatan temperatur *firing* dari 1200°C menjadi 1300°C menghasilkan nilai porositas cenderung mengalami penurunan pada setiap penambahan komposisi *binder*, seperti terlihat pada Gambar 5a, 5b, dan 5c.



Gambar 5. Pengaruh Temperatur *Firing* dan Komposisi *Binder* terhadap Porositas Pelet - (a) Dekstrin; (b) Bentonit; (c) Molase

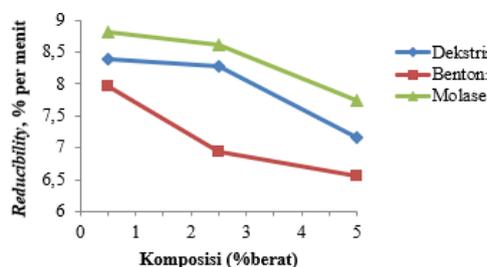
Pada Gambar 5a, nilai porositas menggunakan *binder* dekstrin cenderung mengalami penurunan dengan pertambahan komposisi dan temperatur *firing*. Nilai porositas maksimum dihasilkan pada temperatur *firing* 1200°C, dengan komposisi 0,5 % yaitu sebesar 33,78 % dan mengalami penurunan pada temperatur *firing* 1300°C yaitu menjadi 31,35 %. Penggunaan *binder* molase, menghasilkan nilai porositas yang paling tinggi diantara *binder* lain terlihat pada Gambar 5c, nilai porositas maksimum yang dihasilkan dengan komposisi 0,5 % sebesar 48,67 % pada temperatur *firing* 1200°C dan mengalami penurunan menjadi 45,94 % pada temperatur *firing* 1300°C. Penggunaan *binder* organik maupun *non organik* dengan komposisi yang banyak, maka nilai porositas cenderung semakin menurun. Penggunaan *binder* organik yaitu dekstrin dan molase memiliki persen porositas yang lebih baik daripada *binder* non organik yaitu bentonit, seperti yang terlihat pada gambar 5b. Penggunaan 5% bentonit pada temperatur *firing* 1300°C menghasilkan nilai porositas 18,29 % yang belum dapat digunakan pada proses HYL yaitu dengan mensyaratkan minimal 20 %. Tingginya nilai porositas pada *binder* organik dikarenakan proses indurasi termal pada temperatur 1200°C, *binder* akan hilang dan terbakar sehingga meninggalkan pori – pori yang besar [5]. Pada temperatur *firing* 1300°C, partikel butir yang kecil dan berikatan kuat karena terbentuk jembatan kristal. Hal ini menyebabkan ruang – ruang kosong pada pelet berkurang. Nilai porositas mempengaruhi kekuatan tekan pelet, semakin tinggi pori – pori pada pelet, maka nilai kuat tekan pelet akan semakin rendah. Dengan adanya ruang kosong pada pelet, menyebabkan pelet tidak dapat menahan beban yang besar dan akan terjadi *crack* jika beban melebihi kekuatan pelet [7].



Gambar 6. Hubungan Porositas terhadap Nilai Kuat Tekan Pelet pada Temperatur *Firing*

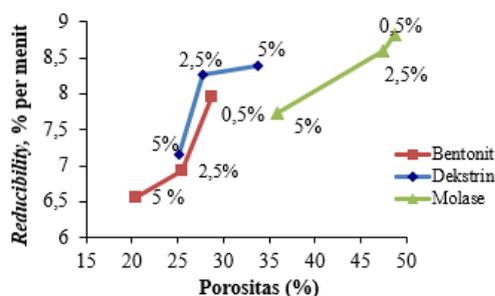
### 3.3. Pengaruh Jenis dan Komposisi *Binder* terhadap *Reducibility* Pelet *Sludge* pada Temperatur *Firing*

Pengujian sifat metalurgi pelet yang dilakukan adalah *reducibility*. Semakin tinggi nilai *reducibility* suatu pelet, maka semakin mudah pelet untuk direduksi. Gambar 7 menunjukkan pengaruh jenis dan komposisi *binder* terhadap *reducibility* pelet *sludge* pada temperatur *firing* 1200°C. Pelet menggunakan *binder* organik memiliki *reducibility* yang paling baik dan melebihi syarat batas proses HYL yaitu sebesar 5 % reduksi per menit. Nilai *reducibility* yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya komposisi *binder*.



Gambar 7. Pengaruh Jenis dan Komposisi *Binder* terhadap *Reducibility* Pelet *Sludge* pada Temperatur *Firing* 1200°C.

Penggunaan *binder* molase menghasilkan *reducibility* yang paling tinggi yaitu sebesar 8,82 % untuk komposisi 0,5 % dan menggunakan *binder* dekstrin dengan komposisi 0,5 % didapat nilai *reducibility* sebesar 8,39 % reduksi per menit. penggunaan *binder* bentonit menghasilkan *reducibility* yang kurang baik, walaupun masih sesuai standar proses HYL yaitu 5 % reduksi per menit. Pada komposisi 0,5 % didapat nilai *reducibility* sebesar 7,96 % reduksi per menit. Nilai *reducibility* dipengaruhi oleh nilai porositas, semakin tinggi nilai porositas maka pelet semakin mudah untuk direduksi. Dengan adanya porositas yang tinggi, gas reduksi akan mudah untuk berdifusi secara bertahap yang mengalami perubahan dari posisi terluar yaitu besi, menuju hematit yang berada di tengah<sup>[8]</sup>. Pelet menggunakan *binder* bentonit menghasilkan nilai *reducibility* yang paling rendah karena memiliki persen porositas yang paling rendah, dapat dilihat pada Gambar 8 menunjukkan hubungan porositas terhadap *reducibility* pelet *sludge*.



Gambar 8. Hubungan Porositas terhadap Reducibility

Pada komposisi 0,5 % *binder* bentonit memiliki persen porositas 28,69 % dan nilai *reducibility* yang didapat sebesar 7,98 % reduksi per menit. Sedangkan nilai *reducibility* cenderung menurun pada komposisi 2,5 dan 5 % bentonit memiliki porositas 25,50 dan 20,36 %, menghasilkan nilai *reducibility* sebesar 6,94 dan 6,57 % reduksi per menit. *Binder* molase memiliki persen porositas yang paling tinggi, sehingga semakin mudah untuk direduksi. Dengan komposisi 0,5 % memiliki porositas sebesar 48,67 % dan menghasilkan nilai *reducibility* yang diperoleh 8,82 % reduksi per menit. Pada persen porositas sebesar 35,93 % (komposisi 5%), diperoleh nilai *reducibility* 7,75 % reduksi per menit.

#### 4. Kesimpulan

1. Penggunaan *binder* bentonit menghasilkan kekuatan tekan yang paling tinggi yaitu sebesar 2350 N/pelet dengan komposisi 5 %, sedangkan nilai porositas dan *reducibility* paling tinggi dengan menggunakan *binder* molase pada komposisi 0,5 % sebesar 48,67 % dan 8,82 % reduksi per menit.
2. Peningkatan temperatur *firing* menghasilkan kecenderungan nilai kuat tekan meningkat dan nilai porositas menurun. Pada temperatur *firing* 1300°C menghasilkan nilai kuat tekan paling tinggi, sedangkan nilai porositas maksimum dicapai pada temperatur *firing* 1200°C.
3. Hubungan porositas dengan kuat tekan cenderung menurun, sedangkan dengan *reducibility* cenderung meningkat. Pada temperatur *firing* 1200°C, pelet *sludge scale* menggunakan *binder* dekstrin dengan komposisi 0,5 % memiliki porositas 33,78 % menghasilkan kekuatan tekan pelet sebesar 817 N/pelet dan *reducibility* 8,39 % reduksi per menit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alsaffar, Kiffaya Abood. 2008. "Recycling Of Alumium Beverage Cans". Iraq; Al-mustansiriya University
- [2] Apelian, D. 2009. "Aluminium Cast Alloys: Enabling Tools For Improved Performance". Illinois; NADCA
- [3] B. Suárez-Peña, J. Asensio-Lozano, J.I. Verdeja-Gonzalez, J.A. Pero-Sanz Elorz. 2007. "Microstructural effects of phosphorus on pressure die cast Al-12Si components" Asturias; University of Oviedo
- [4] Boin, U.M.J., Bertram, M. 2005 "Melting Standardized Aluminum Scrap: A Mass Balance Model for Europe" Netherland; European Alumunium Association
- [5] Di Sabatino, Marisa. 2005. "Fluidity of Aluminium Foundry Alloy". Trondheim; NTNU
- [6] Hengcheng Liaoy, Ke Ding, Juanjuan Bi, Min Zhang, Huipin Wang, Lei Zhao. 2009. "Eutectic Solidification in Al-13.0%Si Alloys with Combined Addition of Strontium and Boron". Nanjing; Southeast University
- [7] Obinata, Ichiji. Komatsu, Noburu. 1957. "Crystal Habits of Silicon Crytalized in Al-Si Alloys". Japan; Tohoku University
- [8] Rapoport, Edgar. Pleshivtseva, Yulia. 2007. "Optimal Control of Induction Heating processes". United States; CRC Press.
- [9] Sabatino, Marisa Di. 2005. "Fluidity of Aluminium Foundry Alloys". Norwegia; Norwegial Univerxity of Science and Technology
- [10] Shankar, S. Riddle, Y.W. Makhlof, Makhlof M. 2004. "Eutectic Solidification of Aluminium Silicon Alloys". Digitalcommons@WPI
- [11] Xigui Song, Xiufang Bian, Xiaogang Qi, Xiangfa Liu, Junyan Zhang, Baopei Wang, and Limin Zhu. 2004. "Effect of AIP Master Alloy on Grain Refinement Of Primarysilicon in Eutectic Al-Si Alloys". China; Shandong Bohai Piston Group.
- [12] ZUO Min, LIU Xiangfa, DAI Hongshang, and LIU Xiangjun. 2009. "Al-Si-P master alloy and its modification and refinement performance on Al-Si alloys". Jinan; Shandong University