

# PEMBUATAN SINTER DARI BAHAN LIMBAH *MILL SCALE* HASIL *HOT ROLLING* SEBAGAI BAHAN BAKU TAMBAHAN PEMBUATAN BESI BAJA

Harry Anggoro R<sup>1</sup>, Soesaptri Oediyani<sup>2</sup>, Anistasia Milandia<sup>2</sup>

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

2. Dosen Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

E-mail: [harryanggoro3334110143@gmail.com](mailto:harryanggoro3334110143@gmail.com), [s\\_oediyani@untirta.ac.id](mailto:s_oediyani@untirta.ac.id), [anistasia.milandia@untirta.ac.id](mailto:anistasia.milandia@untirta.ac.id)

## Abstrak

Kegiatan industri besi baja merupakan salah satu kegiatan yang dapat menimbulkan limbah B3. Limbah B3 tidak dapat ditimbun, dibakar atau dibuang begitu saja, karena mengandung bahan yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan manusia serta makhluk hidup lain. *Mill scale* adalah limbah industri besi baja yang masih memiliki kandungan besi cukup tinggi, yaitu sekitar 72%. Umumnya, *mill scale* digunakan sebagai umpan reduksi langsung dalam blast furnace yang menggunakan batubara sebagai reduktor untuk menghasilkan pig iron<sup>[1]</sup>. Pada tahun 2010, produksi limbah *mill scale* di Indonesia sekitar 800 ribu ton per tahun<sup>[5]</sup>. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan limbah *mill scale* dengan kadar 79,42% Fe. Ukuran partikel *mill scale* yang digunakan adalah 125 mikron. Setelah itu, dilakukan *mixing* dengan *binder* (bentonit) sebanyak 0,5 ; 2,5 ; dan 5%. Selanjutnya, dilakukan kompaksi dengan pembebanan sebesar 15 ton, dilanjutkan dengan proses *sintering* pada temperatur 600, 700, dan 800°C, selama 30, 60, dan 90 menit. Untuk mengetahui kekuatan dan morfologinya maka dilakukan pengujian kuat tekan, *drop test*, dan *optical microscope*. *Optical microscope* (mikroskop optik) digunakan untuk mengetahui porositasnya. Semakin tinggi temperatur *sintering* maka nilai kuat tekan sampel akan semakin menurun. Menurunnya nilai kuat tekan dikarenakan semakin tinggi temperatur semakin banyak pori yang terbentuk akibat hilangnya *moisture* atau kadar air pada sinter. Semakin lama waktu tahan proses *sintering*, maka nilai kuat tekan sinter pun juga meningkat. Peningkatan waktu tahan sinter menyebabkan semakin besarnya pertumbuhan leher (neck growth) antar partikel yang saling berhubungan. Dengan demikian ikatan antar partikel menjadi tinggi sehingga kekuatannya pun meningkat. Sampel yang memiliki nilai kuat tekan dan *shatter index* paling tinggi adalah pada temperatur *sintering* 600°C, selama 90 menit, dengan penambahan bentonit sebanyak 0,5% yaitu dengan nilai kuat tekan sebesar 3385,46 Kgf dan memiliki nilai *shatter index* sebesar 95,04%. Semakin banyak *binder* yang digunakan mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan sinter karena hilangnya *moisture* pada sinter yang berasal dari *binder* selama proses *sintering* berlangsung. Sampel yang memiliki jumlah pori paling tinggi adalah pada temperatur 800°C, selama 30 menit dengan penambahan bentonit sebanyak 5% yaitu sebesar 68,35% dengan besar rata rata poros sebesar 306,737µm.

**Kata Kunci:** limbah, *mill scale*, *sintering*, *binder*, kuat tekan, pori, *shatter test*.

## PENDAHULUAN

*Mill scale* adalah limbah industri besi baja yang masih memiliki kandungan besi cukup tinggi, yaitu 72%. Umumnya, *mill scale* digunakan sebagai umpan reduksi langsung dalam *blast furnace* yang menggunakan batubara sebagai reduktor untuk menghasilkan *pig iron*<sup>[1]</sup>. HSM (*Hot Strip Mill*) adalah pabrik penghasil limbah *mill scale*. Dari hasil uji kimia yang dilakukan oleh BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) melalui Laboratorium Sucofindo, diketahui bahwa kandungan besi pada limbah *mill scale* cukup tinggi, yaitu 74,24% Fe total. Dalam pabrik yang terintegrasi, *mill scale* ini biasanya digunakan sebagai bahan baku di pabrik *sintering*<sup>[2]</sup>. *Sintering* adalah proses termal dimana partikel logam yang berdekatan untuk berikatan secara kimia hasil benefisi dengan tujuan aglomerasi<sup>[3]</sup>. Proses ini terjadi karena adanya fenomena difusi atom yang bergerak dengan kecepatan yang tinggi pada temperatur tinggi. Proses *sintering* dilakukan pada suhu berkisar 0,7 – 0,8 titik lelehnya dalam kondisi padat atau *solid*<sup>[4]</sup>. Parameter *sintering* diantaranya adalah temperatur *firing*, waktu penahanan, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan dan atmosfer pemanasan.<sup>[5]</sup> *Sintering* dapat menjadi dua yaitu *sintering* fasa padat dan *sintering* fasa cair<sup>[6]</sup>.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur *sintering* dan waktu tahan terhadap nilai kuat tekan sinter yang dihasilkan dari *mill scale*. Dan mengetahui pengaruh banyaknya *binder* (pengikat) yang digunakan terhadap porositas yang dihasilkan dan kekuatan sinter dari *mill scale*.

## PROSEDUR PENELITIAN

### A. Preparasi dan Karakterisasi Sampel

Dalam penelitian ini, digunakan *mill scale* sebagai bahan baku pembuatan sampel. Kemudian dilakukan karakterisasi untuk mengetahui kandungan Fe pada *mill scale*. Sampel *mill scale* dihaluskan dengan ball mill selama 3 jam. Selanjutnya screening dengan ukuran 40, 60, 80, 100, dan 120#. Sampel hasil *ball mill*, dilakukan peningkatan kadar Fe melalui magnetic separation dengan intensitas magnet yang digunakan sebesar 2000 gauss. Hasil *magnetic separation* yang berupa konsentrat dianalisa komposisi kimianya dengan menggunakan XRF.

### B. Pembuatan Sinter

Sampel *mill scale* yang telah dilakukan preparasi sebetulnya, dilakukan pencampuran dengan *binder* yang berupa bentonit dengan variasi banyaknya binder masing masing adalah 0,5 ; 2,5; dan 5%. Setelah sampel *mill scale* telah dilakukan pencampuran dengan *binder*, sampel *mill scale* dilakukan kompaksi dengan pembebanan sebesar 15 ton. Setelah sampel *mill scale* dilakukan kompaksi, *green compacted* dilakukan proses *sintering*. Proses *sintering* dilakukan pada variasi temperatur 600, 700, dan 800°C dengan waktu tahan selama 30, 60, dan 90 menit.

### C. Pengujian Sinter

Sampel hasil sintering dilakukan pengujian kuat tekan. Standar kuat tekan sinter yang menjadi acuan adalah standar ISO 4700 yaitu sebesar 2500 N atau 254,929 Kgf. Sampel hasil sintering dengan nilai kuat tekan terbaik dan terburuk untuk dilakukan uji jatuh (drop test) sesuai dengan standar IS : 9963-1981 yaitu sebesar 80%. Sampel hasil sintering dengan nilai kuat tekan terbaik dan terburuk dilakukan pengamatan untuk mengetahui porositas pada sampel dengan menggunakan optical microscope. Menurut Kurt Meyer 1980, porositas untuk sinter atau pellet harus memiliki porositas sekitar 25-30% atau lebih.

Tabel 1 Kandungan *mill scale*

Parameter	Fe	K	Mg	Cl	Al	Si	Mn	P	S	Cr
% berat	79,42	11,76	5,38	1,38	0,88	0,76	0,27	0,05	0,04	0,01

Tabel 2 Kandungan 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

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisa Ayak

Untuk mengetahui ukuran butir yang akan digunakan untuk pembuatan sampel, setelah dilakukan proses pengerusan (*grinding*) menggunakan *ball mill*, maka dilakukan analisa ayak untuk mengetahui fraksi yang tepat untuk digunakan dalam pembuatan sinter pada penelitian ini. Berikut merupakan data persen berat kumulatif lolos dan ukuran lubang ayakan yang diperoleh dari analisis ayak yang ditunjukkan pada Table 3.

Tabel 3. Data hasil *screening*

ukuran (#)	ukuran (mikron)	tertampung (gram)	tertampung (%)	lolos (gram)	lolos (%)
+ 40	420	8,30	8,65	87,70	91,35
- 40 + 60	250	10,40	10,83	85,60	89,17
- 60 + 80	177	13,63	14,20	82,37	85,80
- 80 +100	149	17,60	18,33	78,40	81,67
- 100 +120	125	24,57	25,59	71,43	74,41
-120	-125	21,5	22,40	74,5	77,60
Total		96	100		

Menurut data pada Tabel 3, ukuran partikel yang digunakan adalah fraksi yang tertampung pada *screen* 120mesh. Fraksi ukuran yang tertampung pada *screen* 120mesh mempunyai ukuran partikel 125mikron digunakan untuk pembuatan sampel sinter.

## B. Analisa Komposisi Kimia

Kandungan *mill scale* yang digunakan dianalisa dengan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*). Analisa ini dilakukan pada sampel *mill scale* sebelum dan sesudah di lakukan peningkatan kadar menggunakan magnet. Data hasil analisa XRF dapat di lihat pada Tabel 4.

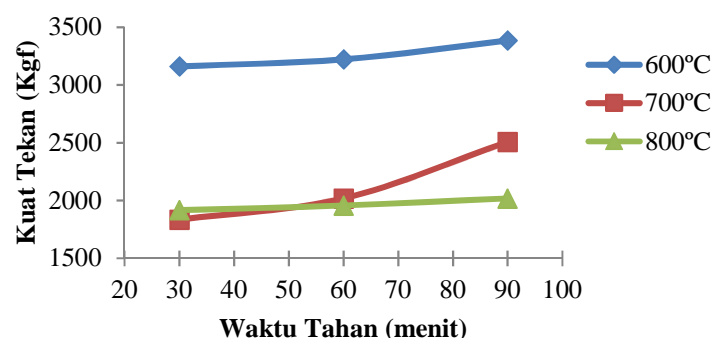
**Tabel 4.** Data hasil analisa komposisi kimia

komposisi kimia	sebelum <i>magnetic separation</i>	sesudah <i>magnetic separation</i>	perubahan kadar
Fe	80,661%	84,160%	4,34%
K	10,417%	6,597%	-36,67%
Cl	1,387%	1,351%	-2,63%
Al	0,860%	1,453%	69,05%
Si	0,717%	0,831%	15,90%
Mn	0,264%	0,347%	31,44%
P	0,048%	0,048%	-1,04%

Dari data pada Table 4 dapat diketahui peningkatan kadar Fe pada sampel *mill scale* sebesar 4,34%. Dari proses *magnetic separation* ini, terjadi peningkatan kadar Fe pada *mill scale* walaupun tidak signifikan.

## C. Pengaruh Temperatur dan Waktu *Sintering* Terhadap Terhadap Kuat Tekan

Semakin tinggi temperatur *sintering* maka kuat tekannya cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 800°C belum terbentuk *slag bound* atau ikatan kristalin antar partikel akan tetapi pori yang terbentuk sudah banyak, akibat hilangnya *moisture* atau kadar air pada *green sinter*. Peningkatan temperatur *sintering* hingga 800°C belum terbentuk ikatan yang mengakibatkan adanya pertumbuhan jembatan kristal antara partikel sinter yang disebabkan oleh pertumbuhan kristal hematit. Ikatan *slag bound* atau ikatan kristalin antar partikel itu mulai terjadi pada temperatur 1100°C<sup>[3]</sup>. Jenis ikatan ini dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi. Banyaknya pori yang terbentuk seiring dengan peningkatan temperatur yang mengakibatkan pada temperatur 600°C lebih tinggi. Peningkatan temperatur mengakibatkan *jumlah* pori yang terbentuk semakin tinggi<sup>[5]</sup>. Meningkatnya *jumlah* pori yang terbentuk dikarenakan hilangnya kadar air atau *moisture* selama proses pemanasan sinter<sup>[3]</sup>. Hubungan antara temperatur *sintering* dengan nilai kuat tekannya bisa dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Hubungan Temperatur dan Waktu Tahan Terhadap Kuat Tekan pada 0,5% Bentonit.

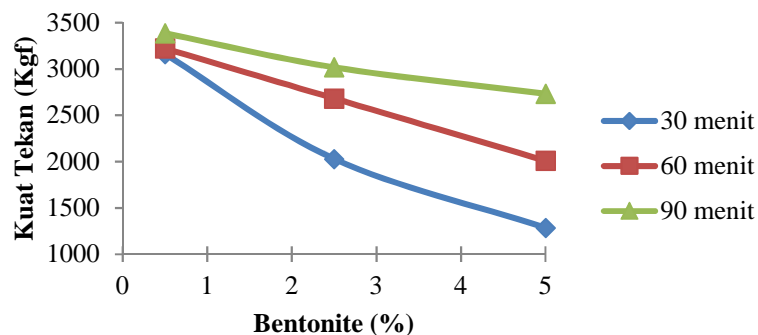
Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa sampel dengan temperatur *sintering* makin tinggi, maka nilai kuat tekannya cenderung menurun. Pada sampel dengan temperatur *sintering* 600°C memiliki kuat tekan paling tinggi dibandingkan sampel dengan temperatur *sintering* 700 dan 800°C. Pada Gambar 1 terlihat bahwa sampel dengan temperatur *sintering* 600°C memiliki nilai kuat tekan diatas 3000 Kgf, dibandingkan sampel yang memiliki nilai kuat tekan terbaik pada sampel dengan temperatur *sintering* 700°C dan waktu tahan 90 menit yang hanya mencapai nilai kuat tekan sebesar

2508,5 Kgf. Pada temperatur *sintering* 600°C mengalami kehilangan *moisture* lebih sedikit sehingga memiliki pori yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan pada temperatur 700°C dan 800°C yang mengalami kehilangan *moisture* lebih banyak sehingga membentuk pori yang lebih banyak.

Lama waktu tahan juga mempengaruhi nilai kuat tekan sinter. Pengaruh waktu tahan *sintering* dapat dilihat pada Gambar 1. Semakin lama waktu tahan proses *sintering*, maka nilai kuat tekan sinter pun juga meningkat. Dapat dilihat dari Gambar 4.1, bahwa nilai kuat tekan paling tinggi adalah pada sampel dengan temperatur *sintering* 600°C dan waktu tahan 90 menit yaitu dengan nilai kuat tekan sebesar 3385,46 Kgf. Kemudian sampel dengan temperatur *sintering* 600°C dan waktu tahan 60 menit dengan nilai kuat tekan sebesar 3222,30 Kgf dan sampel dengan temperatur *sintering* 600°C dan waktu tahan 30 menit yang memiliki nilai kuat tekan sebesar 3161,12 Kgf. Peningkatan waktu tahan sinter menyebabkan semakin besarnya pertumbuhan leher (*neck growth*) antar partikel yang saling berhubungan. Dengan demikian ikatan antar partikel menjadi tinggi sehingga kekuatannya pun meningkat. Meningkatnya ikatan setelah proses *sintering* ini disebabkan timbulnya *liquid bridge* (*necking*) sehingga ikatan antar partikel menjadi kuat [7]. Peningkatan nilai kuat tekan seiring kenaikan waktu tahan proses *sintering* ini juga dikarenakan waktu tahan yang lama akan membuat pengkasaran pori akan menyebabkan ukuran pori rata-rata meningkat, sedangkan jumlah pori akan berkurang [7]. Berkurangnya jumlah pori yang terbentuk mengakibatkan peningkatan kekuatan sinter.

#### D. Pengaruh Banyaknya *Binder* Terhadap Kuat Tekan Sinter

Selain dari temperatur dan waktu tahan proses *sintering*, nilai kuat tekan sinter juga dipengaruhi oleh banyaknya *binder* (pengikat) yang digunakan. Banyaknya *binder* yang digunakan dalam pencampuran akan mempengaruhi nilai kuat tekan sinter, dimana semakin banyak *binder* yang digunakan akan mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan sinter yang telah dibuat. Penurunan nilai kuat tekan seiring meningkatnya jumlah *binder* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.

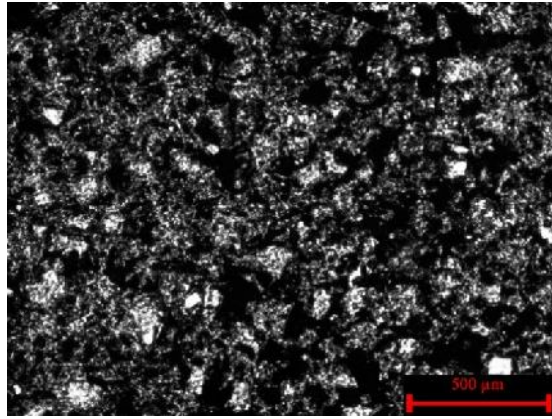


**Gambar 2** Hubungan Banyaknya Bentonit Terhadap Kuat Tekan pada Temperatur *Sintering* 600°C.

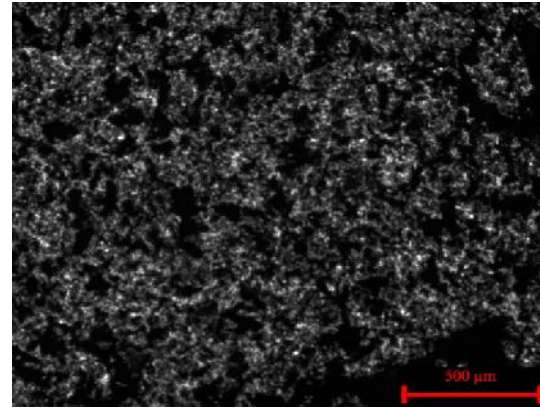
Semakin banyak *binder* yang digunakan dalam pembuat sinter, akan semakin banyak pula ruang kosong atau pori yang terbentuk pada sinter sehingga kepadatan dari sinter yang telah dibuat akan menurun. Meningkatnya jumlah pori yang terbentuk dikarenakan hilangnya kadar air atau *moisture* selama proses pemanasan sinter [3]. Banyaknya ruang kosong yang mengakibatkan menurunnya kepadatan sinter yang telah dibuat berdampak pada nilai kuat tekan yang menurun seiring meningkatnya *binder* yang digunakan dalam pencampuran sinter [8].

#### E. Analisis Pori dalam Sinter

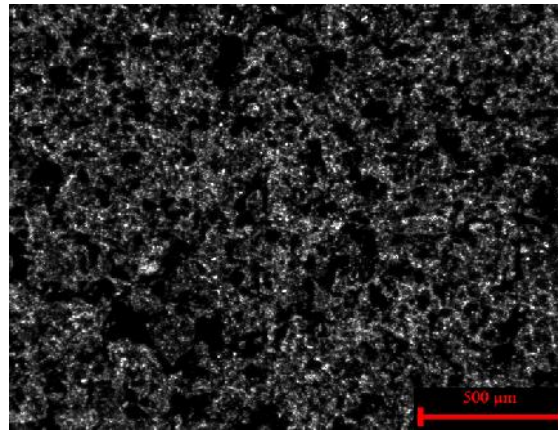
Analisis pori pada sinter yang dilakukan dengan menggunakan *optical microscope* (OM) dilakukan untuk membuktikan bahwa nilai kuat tekan di pengaruhi oleh pori yang terbentuk selama proses *sintering*. Analisis porositas dari sinter dilakukan dengan mengamati sampel yang dianggap mewakili yaitu sinter dengan nilai kuat tekan tertinggi, menengah, dan yang terendah. Sampel yang dipilih untuk analisis porositas adalah sampel dengan temperatur 600°C, selama 90 menit, dengan penambahan bentonit sebanyak 0,5%, sampel dengan temperatur 700°C, selama 60 menit dengan penambahan bentonit sebanyak 2,5%, dan sampel dengan temperatur 800°C, selama 30 menit dengan penambahan bentonit sebanyak 5%. Hasil analisis *optical microscope* dapat dilihat pada Gambar 3, 4 dan 5.



**Gambar 3** Hasil Metalografi Sampel A19 dengan Perbesaran 50 kali.



**Gambar 4** Hasil Metalografi Sampel B26 dengan Perbesaran 50 kali.



**Gambar 5** Hasil Metalografi Sampel C33 dengan Perbesaran 50 kali.

Dari Gambar 3 , 4 , dan 5 dapat dilihat bahwa sampel yang memiliki pori yang paling besar adalah sampel dengan temperatur 800°C, selama 30 menit dengan penambahan bentonit sebanyak 5%. Sedangkan sampel yang memiliki pori paling sedikit adalah sampel dengan temperatur 600°C, selama 90 menit, dengan penambahan bentonit sebanyak 0,5%. Hal ini membuktikan bahwa semakin tingginya temperatur *sintering*, menghasilkan pori yang banyak <sup>[5]</sup>. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5** Tabel Analisis Porositas Sampel

Sampel	Kondisi Sampel			Banyaknya pori (%)	Besarnya rata-rata pori (μm)
	T (°C)	t (menit)	Bentonit (%)		
1	600	90	0,5	62,47	211,203
2	700	60	2,5	66,86	349,339
3	800	30	5	68,35	306,737

#### F. *Shatter index* Sinter

Sampel pengujian *drop test* dipilih berdasarkan hasil dari pengujian kuat tekan yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk mewakili, dipilih 3 sampel yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi, terendah, dan diantaranya. Sampel yang dipilih untuk pengujian *drop test* adalah sampel dengan temperatur 600°C, selama 90 menit, dengan penambahan bentonit sebanyak 0,5%, sampel dengan temperatur 700°C, selama 60 menit dengan penambahan bentonit sebanyak 2,5%, dan sampel dengan temperatur 800°C, selama 30 menit dengan penambahan bentonit sebanyak 5%. Dari hasil pengujian *drop test* yang dilakukan didapatkan data yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Dari Tabel 6, dapat dilihat bahwa sampel yang memiliki *shatter index* paling tinggi adalah sampel dengan temperatur 600°C, selama 90 menit, dengan penambahan bentonit sebanyak 0,5% yaitu sebesar 95,04%. Sedangkan sampel yang memiliki nilai *shatter index* terendah adalah sampel dengan

temperatur 800°C, selama 30 menit dengan penambahan bentonit sebanyak 5% dengan nilai *shatter index* sebesar 91,33%.

**Tabel 6** Tabel Hasil Pengujian *Drop Test*

Sampel	Kondisi Sampel			Berat awal sampel (gr)	Berat+10 mm (gr)	SI+10 (%)
	T (°C)	t (menit)	Bentonit (%)			
1	600	90	0,5	184,878	175,701	95,04
2	700	60	2,5	176,371	164,323	93,17
3	800	30	5	171,693	156,803	91,33

## KESIMPULAN

Pembuatan sinter dari bahan limbah *mill scale* hasil *hot rolling* sebagai bahan baku tambahan pembuatan besi baja. Dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin tinggi temperatur *sintering* maka nilai kuat tekan sampel akan semakin menurun dikarenakan semakin tinggi temperatur semakin banyak pori yang terbentuk akibat hilangnya *moisture* atau kadar air pada sinter.
2. Semakin lama waktu tahan proses *sintering* menyebabkan semakin besarnya pertumbuhan leher (*neck growth*) antar partikel yang saling berhubungan. Dengan demikian ikatan antar partikel menjadi tinggi sehingga kekuatannya pun meningkat.
3. Sampel yang memiliki nilai kuat tekan dan *shatter index* paling tinggi adalah pada temperatur *sintering* 600°C, selama 90 menit, dengan 0,5% bentonit yaitu dengan nilai kuat tekan sebesar 3385,46 Kgf dan memiliki nilai *shatter index* sebesar 95,04%.
4. Semakin banyak *binder* yang digunakan mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan sinter karena hilangnya *moisture* pada sinter yang berasal dari *binder* selama proses *sintering* berlangsung. Sampel yang memiliki jumlah pori paling tinggi adalah pada temperatur 800°C, selama 30 menit dengan penambahan bentonit sebanyak 5% yaitu sebesar 68,35% dengan besar rata rata poros sebesar 306,737µm.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] N. M. Gaballah *et al.*, "Production of Iron from Mill scale Industrial Waste via Hydrogen," *Faculty of Science, Helwan University, Cairo, Egypt*, December 2012.
- [2] Nugroho Rudi., dkk. 2015 "LAPORAN TAHUNAN (ANNUAL REPORT ) 2014 PROGRAM PENGAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI LINGKUNGAN," Serpong, Tangerang Selatan, Pusat Teknologi Lingkungan, Kedeputusan Teknologi Pengembangan Sumberdaya Alam, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- [3] Meyer, Kurt.1980. "*Peletizing of Iron Ores*", Springer-Verlag Berlin Heidelberg and Verlag Stahleissen. Dusseldorf.
- [4] Sukarto W Agus, "PENGEMBANGAN DILATOMETER UNTUK ANALISA KARAKTERISTIK SINTERING MAGNET BERBASIS FERRITE," *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVII HFI Jateng & DIY, Solo*, 23 Maret 2013 ISSN : 0853-0823.
- [5] Gunawan *et al.* 2011. "Pemanfaatan Slag Baja untuk Teknologi Jalan yang Ramah Lingkungan". Bandung: Kementrian Pekerjaan Umum
- [6] Paulus Asyer, "Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Waktu Penahanan Temperatur *Sintering* Terhadap Sifat Magnetik dan Kekerasan pada Pembuatan *Iron Soft Magnetic* dari Serbuk Besi," *Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*, 2007.
- [7] Ekawati Dhian, Zulfia Anne. 2008. "Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium Grafit dengan *Wetting Agent* Tembaga".Depok. Universitas Indonesia.
- [8] Saputri Maya. 2012. "Pengaruh Jenis dan Komposisi *Binder* serta Temperatur *Firing* Terhadap Kuat Tekan, Porositas, dan *Reductibility* Pelet *Slurge Scale*" Cilegon. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [9] Dahlstedt Anna *et al.*, "*LKAB'S EXPERIMENTAL BLAST FURNACE FOR EVALUATION OF IRON ORE PRODUCTS*," *Proceedings of Scanmet 1*, 1999, p 235-245.
- [10] Bhagat , R P (2007) *Fundamentals of Iron Ore Sintering*. In: *Processing of Iron Ore* , Nov. 28-Dec. 01, 2007, NML.
- [11] M. C. Bagatini, V. Zymła, E. Osório and A. C. F. Vilela, "Characterization and Reduction Behavior of Mill Scale," *Isij International*, Vol. 51, No. 7, 2011, pp. 1072-1079.
- [12] M. Javier, *et al.* 2013. "Iron Ore Sintering part 2. Quality Indices and Productivity", *Medellin, Spain*, 2014.
- [13] D. Poirier, E.W. Grandmaison . "High Temperature Oxidation of Steel in an Oxygen-enriched Low NOX Furnace Environment", *IFRF Combustion Journal Article Number 200602* , September 2006 ISSN 1562-479X.