
PENGARUH PADUAN ABU BATUBARA DENGAN PASIR INTI COR BEKAS TERHADAP KONDUKTIVITAS TERMAL, TAHANAN TERMAL, DAN KUAT TEKAN SEBAGAI BAHAN REFRACTORY

Mehdi Maulana, Benni, dan Yurianto
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UNDIP
Jln. Prof. Sudarto S.H. Tembalang, Semarang 50275
e-mail: mehdi_maulana@gmail.com

Abstrak

Permasalahan limbah yang sulit terpecahkan seiring dengan pesatnya kemajuan industri sekarang ini menjadi salah satu alasan dilakukannya studi pemanfaatan limbah menjadi barang berdaya guna tinggi. Dalam penelitian ini, abu batubara dan pasir inti cor bekas merupakan dua obyek pemanfaatan limbah yang berdasarkan sifat mekanis dan karakteristiknya berpotensi menjadi bahan alternatif pembuatan refraktori/bata tahan api berbahan dasar tanah liat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh paduan terhadap konduktivitas termal, tahanan termal, dan kekuatan tekan sebagai bahan refraktori. Proses preparasi paduan dimulai dari proses penjemuran bahan baku (abu batubara dan pasir inti cor bekas) hingga kering, kemudian ditumbuk atau digerus dan diayak sampai ke tahap screening hingga memperoleh ukuran serbuk mesh 50, 100, & 200. Semua bahan kemudian dicampur secara manual dengan variasi komposisi abu-silika (%) 5:45, 10:40, 15:35, 20:30, 25:25, dan tanah liat 50%. Selanjutnya sebelum paduan dibakar dilakukan proses pembentukan dengan metode cetak tekan menggunakan hidroulik press sebesar 80 kg/cm^3 (silinder $\varnothing 2,5 \times 3 \text{ cm}$ dan balok $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$). Suhu sintering atau pembakaran dari paduan adalah $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Analisa dan pengukuran benda uji yang dilakukan antara lain: analisa fasa dengan XRD, konduktivitas termal, tahanan termal, kekuatan tekan, dan mikro struktur dengan SEM. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dalam ketiga bahan tersebut terdapat kandungan mineral dominan yang sama yakni SiO_2 dengan fasa Quartz, low. Hasil pengukuran sifat-sifatnya menunjukkan harga konduktivitas termal minimum (terbaik) dan tahanan termal maximum (terbaik) ada pada variabel mesh 50, komposisi AB 25%, Si 25%, TL 50% dengan masing-masing sebesar $22,36 \text{ W/mK}$ dan $125 \text{ }^\circ\text{C/W}$, sedangkan nilai kuat tekan (σ) maksimum (terbaik) ada pada variabel mesh 100, komposisi AB 15%, Si 35%, TL 50% sebesar $8,81 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$. Pengaruh ukuran serbuk dan komposisi abu batubara dengan pasir inti cor bekas memberikan nilai konduktivitas termal cenderung menurun, sedangkan nilai tahanan termal dan kuat tekan cenderung meningkat. Berdasarkan analisa dan hasil-hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa refraktori yang dibuat cukup memberi nilai guna lebih terhadap limbah (abu batubara dan pasir inti cor bekas) sebagai bahan alternatif pembuatan refraktori.

Kata kunci: limbah, abu batubara, pasir inti cor bekas, refraktori, konduktivitas termal, tahanan termal, kuat tekan.

PENDAHULUAN

Perusahaan yang memanfaatkan batubara sebagai bahan bakar biasanya menghasilkan limbah padat dalam bentuk abu. Jumlah abu batubara yang dihasilkan per hari dapat mencapai $500 \div 1000 \text{ ton}$, biasanya berupa *flying ash* dan *bottom ash*. Abu tersebut selanjutnya dipindahkan ke lokasi penimbunan dan terakumulasi di lokasi tersebut dalam jumlah yang sangat banyak.

Flying ash dan *bottom ash* pada masa kini dipandang sebagai limbah yang termasuk dalam golongan B3 atau Bahan Berbahaya dan Beracun (PP No. 85 tahun 1999) yang penanganannya masih terbatas pada penimbunan di lahan kosong. Sifat-sifat kimia yang ada di dalamnya berpotensi bahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar, maka sudut pandang terhadap abu batubara harus dirubah, abu batubara adalah bahan baku potensial yang dapat dimanfaatkan menjadi barang berdaya guna tinggi. Sama halnya dengan limbah lainnya seperti pasir silika yang digunakan sebagai bahan inti cetakan dalam pengecoran logam, dimana menurut nara sumber limbah tersebut tidak dapat difungsikan kembali setelah digunakan, dan akan terbuang begitu saja.

Oleh karena itu, akan alangkah baiknya apabila kedua jenis limbah tersebut dapat disatukan menjadi paduan bernilai guna tinggi. Berdasarkan karakteristik bahan dan sifat mekanisnya, besar kemungkinan paduan dari kedua limbah tersebut (tidak terkecuali dapat

dikombinasikan dengan material lain) dapat dijadikan sebagai bahan alternatif pembuatan refraktori/bata tahan api yang mempunyai sifat termal dan sifat mekanis yang baik dengan berbagai penggunaan yang aplikatif.

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah:

1. Menganalisa dan mengetahui komposisi atau kandungan mineral dari abu batubara, pasir inti cor bekas pakai dan tanah liat sebagai bahan paduan (sifat fisik).
2. Mencari nilai konduktivitas dan tahanan termal hasil paduan (sifat termal).
3. Mencari nilai kuat tekan hasil paduan (sifat mekanis).

Adapun manfaat yang dapat diperoleh adalah:

1. Memberi nilai guna lebih terhadap limbah (abu batubara dan pasir inti cor bekas) sebagai bahan alternatif pembuatan refraktori.
2. Dapat mengetahui pengaruh paduan terhadap konduktivitas termal, tahanan termal, dan kuat tekan sebagai refraktori ditinjau dari ukuran serbuk dan komposisi.

BATASAN MASALAH

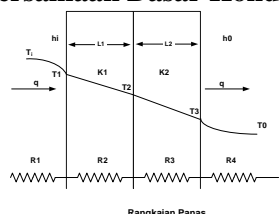
1. Bahan yang digunakan adalah abu batubara (*flying ash* dan *bottom ash* yang tercampur), pasir inti cor bekas (silika), dan tanah liat.
2. Variasi ukuran serbuk/butiran dari bahan adalah *mesh* 50, 100, dan 200. Variasi komposisi abu batubara terhadap silika (%) adalah 5:45, 10:40, 15:35, 20:30, 25:25, dan tanah liat 50%
3. Pengujian spesimen hanya terbatas pada analisa pengaruh *mesh* dan komposisi paduan terhadap konduktivitas termal, tahanan termal, dan kuat tekan sebagai bahan refraktori.

DASAR TEORI

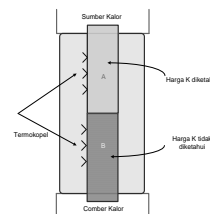
➤ **Refraktori**

Bahan apapun dapat digambarkan sebagai ‘refraktori’ jika bahan ini tahan terhadap abrasi atau korosi bahan padat, cair, atau gas pada suhu tinggi. Salah satu sifat penting refraktori^[5] adalah *Cold crushing strength*, merupakan resistansi refraktori terhadap kehancuran yang secara tidak langsung berkaitan terhadap kinerja refraktori, dan digunakan sebagai satu indikator resistansi terhadap abrasi.

➤ **Persamaan Dasar Konduktivitas Termal Satu Dimensi**



$$q = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_o A}}$$



$$q = -k_A A \left(\frac{dT}{dx} \right)_A = -k_B A \left(\frac{dT}{dx} \right)_B$$

Gambar 1. Struktur komposit dinding datar

Gambar 2. Struktur komposit silinder

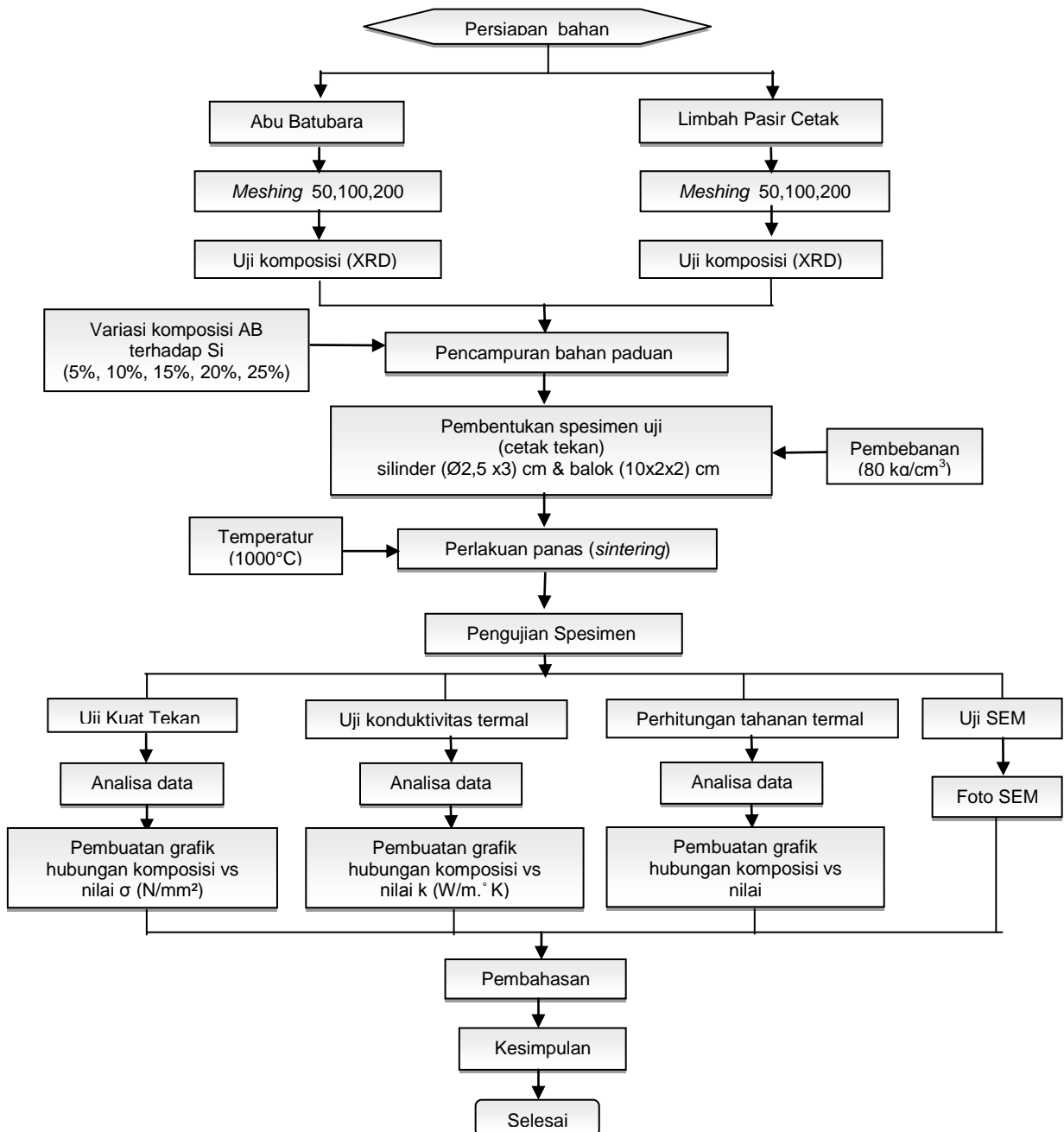
➤ **Tahanan Termal**

$$R = \frac{l}{K.A}$$

Dimana :

- R = Tahanan Termal (°C/W)
- K = Konduktivitas Termal.....(W/m.°C)
- L = Lebar.....(m)
- A = Luas Penampang.....(m²)

METODE PENELITIAN



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Hasil Identifikasi Komposisi Mineral abu batubara: $Al_6Si_2O_{13}$ pada fasa *Mullite syn*, SiO_2 pada fasa *Quartz low* SiO_2 pada fasa *Cristobalite high*
- Hasil Identifikasi Komposisi pasir inti cor bekas: dominan SiO_2 dan terbentuk pada fasa *Quartz, low*.
- Hasil identifikasi komposisi Mineral tanah liat: SiO_2 pada fasa *Quartz low*, $(K,Na)(Si_3 Al)O_8$ pada fasa *Sanidine*, $H_2KAl_3(SiO_4)_3$ pada fasa *Muscovite*, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ pada fasa *Kaolinite*

➤ **Perhitungan nilai konduktivitas termal**

Data Spesimen uji :

$L = 0.02 \text{ m}$

$K = 0.12 \text{ (W/m.}^{\circ}\text{C)}$

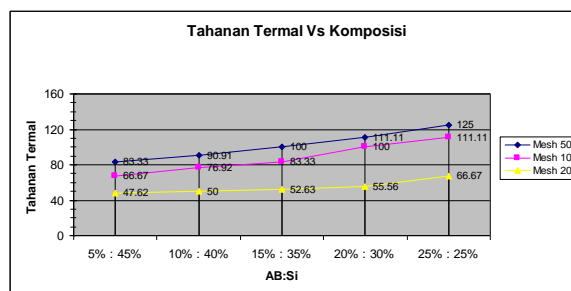
$P = 0.1 \text{ (m)}$

$A = 0.1 \times 0.02 = 0.002 \text{ (m}^2\text{)}$

$R = \frac{0.02}{(0.12 \times 0.002)} = 83.33 \text{ (}^{\circ}\text{C/W)}$

MESH 200

k (W/m°C)	L (m)	A (m ²)	R(°C/W)
0.21	0.02	0.002	47.62
0.2	0.02	0.002	50
0.19	0.02	0.002	52.63
0.18	0.02	0.002	55.56
0.15	0.02	0.002	66.67



Tabel 1. Hasil Perhitungan Nilai R

Gambar 4. Grafik R vs Komposisi

➤ **Perhitungan nilai konduktivitas termal**

Spesimen uji yang digunakan adalah spesimen deng bentuk silinder berukuran Ø2,5x3 cm. Sebagai contoh, perhitungan nilai konduktivitas termal (k_{uji}) diambil pada sampel percobaan 5, yaitu untuk variasi:

* **Mesh 50; T pembakaran = 1000 °C; AB = 25 %; Si = 25 %; TL = 50 %**

Dari hasil pengamatan, temperatur dalam kondisi tunak (*steady state*) teridentifikasi pada data 20 detik yang ke 118, 119, 120.

Tabel 2. Temperatur *steady state* untuk sampel 5

No.	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)
118	82.96	78.35	54.85	36.36	29.98	28.00
119	82.95	78.36	54.84	36.36	30.05	28.00
120	82.96	78.35	54.86	36.36	30.05	28.01
Rata-rata	82.96	78.35	54.85	36.36	30.02	28.00

Diketahui : $T_1 = 82,96 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 54.85 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 $T_2 = 78.35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 36.36 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $k_s \text{ (kuningan)} = 89,7 \text{ W/mK}$

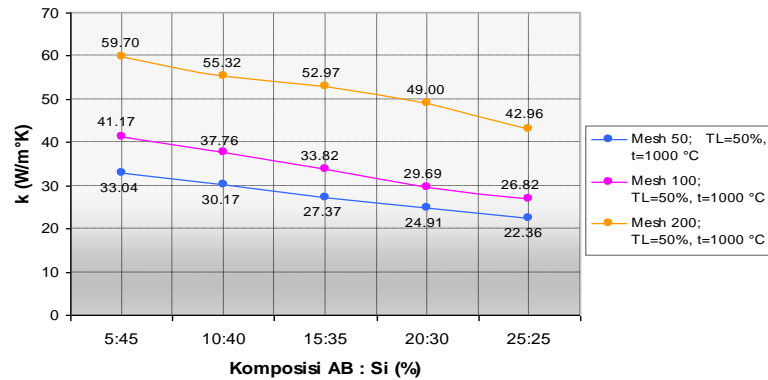
Melalui persamaan Fourier, didapat: $q = -k_A A \left(\frac{dT}{dx} \right)_A = -k_B A \left(\frac{dT}{dx} \right)_B$

maka; $-k_s A \left(\frac{dT}{dx} \right)_s = -k_{uji} A \left(\frac{dT}{dx} \right)_{uji}$ $413,52 = 18,49 \cdot k_{uji}$
 $-k_s (T_2 - T_1) = -k_{uji} (T_4 - T_3)$ $k_{uji} = \frac{413,52}{18,49} = 22,36 \text{ W/mK}$

$-89,7(78,35 - 82,96) = -k_{uji}(36,36 - 54,85)$

Secara keseluruhan perhitungan nilai (k) tiap spesimen tertuang dalam grafik berikut:

- **Grafik nilai konduktivitas termal**



Gambar 5. Hubungan nilai "k" dengan komposisi

Analisa Grafik:

- Berdasarkan variasi komposisi, tiap variasi mesh menunjukkan suatu garis lurus atau linear menurun pada nilai "k" nya, dimana pada paduan; komposisi abu batubara semakin besar dan komposisi limbah silika semakin kecil. Nilai "k" tertinggi ada pada variasi mesh 200, komposisi AB 5%, Si 45%, TL 50% sebesar 59,70 W/mK dan terendah pada variasi mesh 50, komposisi AB 25%, Si 25%, TL 50% sebesar 22,36 W/mK.
- Ditinjau dari variasi mesh, grafik di atas menunjukkan semakin besar mesh (semakin kecil ukuran serbuk/butiran), nilai "k" paduan semakin menurun. Sesuai fungsinya sebagai refraktori, nilai "k" yang semakin kecil justru semakin baik. Hal tersebut disebabkan karena besarnya ukuran serbuk/butiran dalam paduan mempengaruhi tingkat kerapatan (jarak sela antar ikatan serbuk/butiran), sehingga akan mempengaruhi pula distribusi panas yang terjadi.

➤ **Kuat tekan spesimen**

Spesimen yang digunakan dalam pengujian berbentuk kubus dengan dimensi 20x20x20mm (sesuai dengan standart skala terkecil alat uji).

▪ **Data uji dan nilai kuat tekan spesimen**

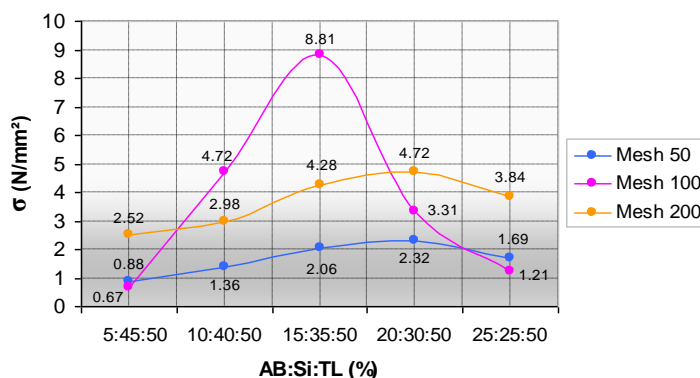
Data hasil uji tekan secara otomatis muncul dan tercatat langsung pada layar komputer mesin uji dalam suatu program tertentu (lampiran 2). Data tersebut teridentifikasi saat mencapai beban puncak (yang dapat diketahui dengan hancurnya benda uji). Setting kecepatan tekan dari mesin uji adalah 500 N/sec.

Tabel 3. Gaya max. dan nilai kuat tekan tiap spesimen

Mesh	Komposisi AB : Si : TL (%)	Area (mm ²)	Gaya Max. F max. (N)	Kuat Tekan σ (N/mm ²)
50	5:45:50	400	350,15	0,88
	10:40:50	400	542,30	1,36
	15:35:50	400	824,12	2,06
	20:30:50	400	926,61	2,32
	25:25:50	400	674,67	1,69
100	5:45:50	400	269,01	0,67
	10:40:50	400	1887,37	4,72
	15:35:50	400	3522,81	8,81
	20:30:50	400	1323,72	3,31
	25:25:50	400	482,52	1,21
200	5:45:50	400	1007,74	2,52
	10:40:50	400	1191,35	2,98
	15:35:50	400	1712,30	4,28
	20:30:50	400	1887,37	4,72
	25:25:50	400	1537,23	3,84

▪ **Analisa grafik nilai kuat tekan (σ)**

Berikut adalah grafik nilai kuat tekan tiap spesimen berdasarkan hasil uji tekan (*compression test*) ditinjau dari variasi mesh dan komposisi bahan:



Gambar 6. Hubungan nilai kuat tekan dengan komposisi

Analisa Grafik:

- Berdasarkan variasi mesh, grafik di atas menunjukkan adanya perubahan nilai kuat tekan (σ) yang berbeda antara mesh 50 dan 200 dibandingkan dengan mesh 100, dimana pada mesh 100 terjadi kenaikan dan penurunan nilai kuat tekan (σ) yang signifikan. Ini menunjukkan bahwa ada kemungkinan terjadi perbedaan perlakuan pada beberapa proses sebelumnya yang mempengaruhi struktur mikro (tingkat kerapatan maupun kekuatan ikatan antar butiran/serbuk) dalam paduan, sehingga akan mempengaruhi pula besarnya nilai kekuatan tekan spesimen.
- Demikian dengan variasi komposisi, paduan pada mesh 100 menunjukkan perubahan nilai kuat tekan (σ) yang signifikan dibandingkan mesh 50 dan 200. Secara umum, nilai kuat tekan (σ) tertinggi dan terendah ada pada variasi mesh 100. Dimana harga kuat tekan (σ) tertinggi dan terendah ada pada variasi mesh 100, yaitu pada komposisi AB 15%, Si 35%, TL 50% sebesar 8,81 MPa (N/mm²) dan untuk harga terendah ada pada komposisi AB 5%, Si 45%, TL 50% sebesar 0,67 MPa (N/mm²).

KESIMPULAN

- Komposisi/kandungan mineral yang terdapat pada bahan baku abu batubara, pasir inti cor bekas, dan *tanah liat* mempunyai karakteristik yang sesuai dengan sifat fisik bahan refraktori bata tahan api.
- Konduktivitas termal paduan semakin rendah seiring dengan meningkatnya prosentase AB dan ukuran serbuk/butiran, akan tetapi prosentase Si justru semakin menurun diikuti dengan nilai mesh. Hal tersebut berbanding terbalik dengan nilai tahanan termal paduan.
- Kuat tekan paduan cenderung meningkat sampai pada prosentase AB 20%, akan tetapi menurun jika prosentase AB ditambahkan. Fenomena yang terjadi pada variasi mesh 100 komposisi AB 15%, Si:35% menunjukkan tekstur fisik yang lebih padat dibandingkan paduan yang lain, ikatan antar partikel juga terlihat lebih rapat, sehingga berpengaruh positif terhadap nilai kuat tekan paduan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusta C. Pradana, ST, UNDIP, 2007, "Pengaruh Variasi Parameter Proses Sintering Terhadap Sifat Densitas, Porositas, dan Shrinkage Produk Berbahan Silika-PE Untuk Aplikasi Filtering", Bab 2, naskah Tugas Sarjana.
- Firdaus Hanif, 2007, "Pembakaran Batubara", www.multiply.com, diunduh 4 Oktober 2007 pukul 12:20 PM.
- Laboratorium Fenomena FT. UNDIP, 2008, "Jobsheet Praktikum Fenomena Dasar 2009", Semarang.
- Riki Gana, Ir., "Refraktori (Bata Tahan Api)", blok pada wordpress.com, diunduh 19 April 2010.
- UNEP, 2006, "Tungku dan Refraktori", www.energyefficiencyasia.org, Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri, hal 1-5 dan 14-17.
- <http://abubatubara.blogspot.com/2008/07/manfaat-abu-batubara.html>.