

PENCAMPURAN BATUBARA COKING DENGAN BATUBARA LIGNITE HASIL KARBONISASI SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN KOKAS

Erlina Yustanti

Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

ABSTRAK

PENCAMPURAN BATUBARA COKING DENGAN BATUBARA LIGNITE HASIL KARBONISASI SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN KOKAS. Indonesia memiliki sumberdaya batubara kualitas rendah jenis non coking coal dengan jumlah cadangan terbesar. Berdasarkan kebutuhan akan kokas yang terus meningkat untuk industri steel making dengan menggunakan blast furnace maka diperlukan pengembangan batubara jenis non-coking coal sebagai bahan baku pembuatan kokas dengan metode coal blending. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan kualitas kokas yang baik berdasarkan variasi komposisi, waktu karbonisasi sehingga menghasilkan kokas dengan kandungan sulfur dan abu serta bentuk CSN (crucible swelling number) yang sesuai dengan standar kualitas kokas secara komersial. Metode coal blending dilakukan dengan cara pencampuran batubara coking coal dan non coking coal pada berbagai komposisi sehingga menghasilkan bahan kokas dengan nilai CSN antara 4-9 selanjutnya dilakukan proses karbonisasi dengan 3 variasi waktu karbonisasi yaitu pada 2, 4, dan 6 jam kemudian dilakukan analisa kimia dan perhitungan nilai kekuatan fisik kokas. Pengujian kekuatan kokas dengan menghitung perbandingan antara berat kokas akhir setelah diuji I-type tumbler test dengan berat kokas awal menjadi persen kekuatan kokas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu karbonisasi, berat kokas semakin berkurang karena jumlah volatile matter yang semakin habis terbakar dan kekuatan kokas cenderung semakin meningkat dengan terbentuknya pori-pori pada kokas, dengan perolehan variasi komposisi dengan kekuatan rata-rata yang paling besar yaitu pada CSN 7 dengan waktu karbonisasi 4 jam dihasilkan kekuatan kokas maksimum 49,20 %.

Kata Kunci: kokas, coal blending, coking coal, non coking coal, swelling, karbonisasi.

ABSTRACT

BLENDED of COKING COAL WITH COAL LIGNITE MAKING MATERIALS AS A RESULT CARBONIZATION COKE. Indonesia has a low quality coal resource type of non-coking coal with the largest reserves. Based on the need for coking industry continues to rise for steel making blast furnaces using coal types will require development of non-coking coal as raw material coking coal blending method. The research objective is to get a good quality coke by variations in composition, carbonization time so as to produce coke with content of sulfur, ash and other forms of CSN (crucible swelling number) in accordance with standard commercial quality coke. Method of coal blending is done by mixing coal coking coal and non coking coal in various compositions to produce coke material with a value between 4-9 CSN carbonization process is then performed with 3 variations carbonization time is at 2, 4, and 6 hours later performed chemical analysis and the calculation of the value of physical strength coke. Coke strength testing by calculating the ratio between the weight of coke end after I tested tumbler-type test with the beginning of a percent by weight of coke coke strength. The results showed that the longer the time carbonization, coke weight decreases due to the increasing amount of volatile matter burned and coke strength tends to increase with the formation of pores in the coke, with the acquisition of variation in the composition of the average power of the greatest is on CSN 7 with carbonization time 4 hours maximum coke strength generated 49.20%.

Keywords: coke, coal blending, coking coal, non-coking coal, swelling, carbonization.

PENDAHULUAN

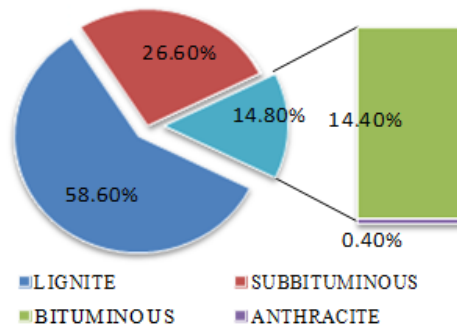
Kokas sebagai bahan baku proses pembuatan baja di dalam *blast furnace*, kokas dihasilkan dari pemanasan batubara jenis *coking coal*. *Coking coal* adalah batubara yang ketika dipanaskan pada temperatur tinggi tanpa udara mengalami tahapan plastis sementara, yaitu secara berurutan mengalami pelunakan, pengembangan, dan memadat kembali menjadi kokas [1]. Batubara lainnya yang tidak memiliki kemampuan untuk dijadikan kokas merupakan batubara jenis *non-coking coal*. Indonesia memiliki sumberdaya batubara kualitas rendah dengan jumlah cadangan terbanyak. Batubara kualitas rendah ini lebih banyak merupakan batubara jenis *non-coking coal*. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan batubara jenis *non-coking coal* di Indonesia sebagai bahan baku industri metalurgi yaitu dengan cara metode *coal blending*. Metode *coal blending* merupakan proses pencampuran batubara jenis *coking coal* dan *non-coking coal* dengan perbandingan komposisi tertentu. Metode ini dilakukan agar batubara jenis *non-coking coal* yang melimpah di Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai kokas. Proses pembuatan kokas dilakukan dengan memanaskan *coking coal* di dalam *coke oven* pada suhu 900 – 1100°C. Pada suhu 900°C, *volatile matter* mulai menguap jika dipanaskan di dalam tungku tertutup [2]. Setelah *volatile matter* menguap semua, bersamaan mulai terbentuk pula kokas yang stabil. Beberapa kandungan dalam batubara yang mempengaruhi kualitas pembuatan kokas, diantaranya adalah kandungan sulfur, kandungan abu (*ash*) dan bentuk CSN (*crucible swelling number*). Batubara dengan kadar sulfur tinggi mempunyai nilai jual yang rendah jika batubara dipakai sebagai bahan bakar. Apabila dipakai sebagai kokas metalurgi pada pembuatan baja maka batubara dengan sulfur yang tinggi akan menimbulkan masalah dengan keberadaan sulfur di dalam produk baja. Oleh karena itu, berdasarkan standar kualitas batubara, kadar sulfur maksimal adalah 1% [3]. Pada analisa kadar abu, semakin banyak mineral yang terdapat di dalam batubara maka kadar abunya juga semakin tinggi [2]. *Mineral matter* tersebut akan mempengaruhi proses karbonisasi batubara sehingga kadarnya di dalam batubara maksimal 12%. Selain itu, kemampuan *swelling* yaitu kemampuan batubara untuk memuai juga mempengaruhi kualitas batubara. Bila pemuai kokas menunjukkan nomor 0-2, batubara tersebut bukan batubara kokas yang baik karena pori - porinya terlalu rendah. Bila CSN-nya 8-9 tingkat pemuaiannya terlalu tinggi berarti bila dijadikan kokas terlalu berpori-pori besar sangat rapuh. Batubara dengan nomor CSN 4-6 adalah ideal untuk diproses menjadi kokas karena batubara ini akan menjadi kokas yang cukup berpori dan kuat menahan beban. Pada penelitian ini dilakukan analisa pengaruh komposisi batubara yang digunakan dalam pembuatan kokas dengan metode *coal blending*, juga akan dilakukan analisa pengaruh kandungan (%) total sulfur, kandungan (%) abu serta CSN (*crucible swelling number*) dan perbedaan waktu pemanasan kokas agar mengetahui waktu optimum yang digunakan untuk menghasilkan kokas paling baik. Tujuan penelitian meliputi pemanfaatan batubara kualitas rendah agar dapat dimanfaatkan menjadi kokas, mendapatkan kualitas kokas yang baik dengan metode *coal blending*, mendapatkan variasi komposisi berdasarkan kandungan (%) total sulfur, kandungan (%) abu serta bentuk CSN (*crucible swelling number*) yang menghasilkan campuran batubara yang sesuai dengan standar kualitas kokas, mendapatkan variasi waktu karbonisasi yang memberikan kualitas kokas paling baik.

TINJAUAN PUSTAKA

Batubara

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, atau disebut juga batuan organik yang terutama terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batu bara terbentuk dari tumbuhan yang telah terkonsolidasi antara strata batuan lainnya dan diubah oleh kombinasi pengaruh tekanan dan panas selama jutaan tahun sehingga membentuk lapisan batu bara [4]. Klasifikasi batubara didasarkan pada tingkat tanaman fosil telah berubah menjadi karbon dan diindikasikan berapa lama usia batubara tersebut, semakin tua batubara umumnya memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi. Klasifikasi batubara berdasarkan kandungan karbonnya yaitu antrasit, bituminus, subbituminus dan *lignite*. Batubara dengan kadar karbon tertinggi adalah jenis batubara terbaik dan paling bersih saat digunakan. Semakin usianya muda, nilai kalorinya semakin menurun dan tingkat kandungan debu pada batubara tersebut meningkat. Penjelasan tipe batubara tersebut berdasarkan [5] yaitu: *lignite* banyak digunakan sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik. *Lignite* adalah jenis batubara muda, berwarna coklat kehitaman, memiliki kadar air tinggi (sampai 45%), dan kandungan sulfur tinggi dan cenderung hancur bila terkena kondisi cuaca buruk, nilai kalori (*ash free basis*) kurang dari 5700 kcal/kg. *Subbituminous Coal* disebut juga *lignite* hitam. *Subbituminous* berwarna lebih hitam

dibanding *Lignite* dan mengandung *moisture* sekitar 20-30%. *Subbituminous* digunakan untuk menghasilkan listrik dan pemanas ruangan. *Bituminous Coal* merupakan batubara lembut, padat, dan berwarna hitam dan memiliki *moisture* kurang dari 20%. *Bituminous* digunakan untuk menghasilkan listrik, kokas, dan pemanas ruangan. *Anthracite Coal* Sering disebut sebagai *hard coal*, antrasit memiliki struktur yang keras, hitam dan berkilau, kandungan sulphur rendah dan karbon yang tinggi. *Anthracite* merupakan klasifikasi tertinggi dari batubara, kadar air umumnya kurang dari 15%. Indonesia adalah pemasok batubara terbesar kedua bagi Jepang. Batubara Indonesia terutama dihasilkan dari Kalimantan, Sumatera, serta sejumlah kecil dari Jawa, Sulawesi, dan tempat lain. Batubara Indonesia memiliki kadar abu dan sulfur yang rendah sehingga dikenal ramah lingkungan. Hal ini menyebabkan batubara Indonesia semakin kompetitif di pasar dunia. Dan untuk menjamin pasokan batubara bagi industri dalam negeri, membuka tambang-tambang baru melalui daya dorong investasi termasuk investasi asing, serta mengeliminasi penambangan ilegal maka pemerintah mengeluarkan Peraturan Menteri tahun 2011. Pemerintah juga memberikan perhatian yang serius terhadap upaya pengembangan energi berbahan baku batubara seperti pencairan batubara dan gasifikasi batubara. Cadangan batubara Indonesia dihitung berdasarkan eksplorasi yang terus dilakukan, sehingga angkanya pun terus membesar seiring dengan ditemukannya lapisan – lapisan baru batubara. Meskipun total sumber daya batubara Indonesia mencapai 104,7 miliar ton, tapi cadangan yang bisa ditambang hanya sekitar seperlimanya saja, yaitu sebesar 21,1 miliar ton. Menurut [6] jumlah persentase cadangan batubara-batubara di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Persebaran Jenis Batubara Di Indonesia [6]

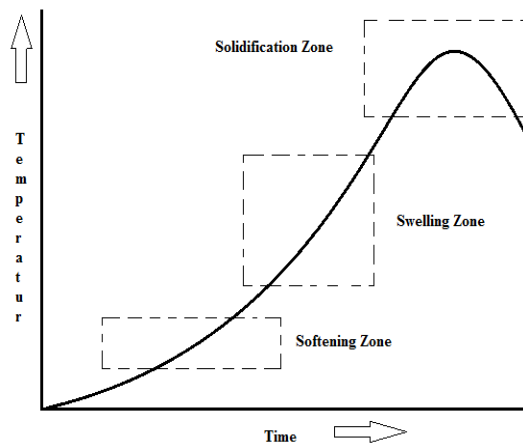
Dilihat dari wilayah, maka hampir seluruh cadangan batubara Indonesia terdapat di Sumatera (50,06%) dan Kalimantan (49,56%), sedangkan sebagian kecil terdapat di Jawa, Sulawesi, dan Papua. Batubara tersebut hampir semuanya berjenis batubara uap, dengan karakteristik kadar abu dan sulfur yang rendah. Dari cadangan yang ada, diketahui bahwa jumlah untuk tipe bituminus dan sub-bituminus sebesar kurang lebih 40%, sedangkan sebagian besar sisanya adalah lignit. Antrasit juga diproduksi meskipun dalam jumlah yang sangat sedikit. Di Kalimantan bagian tengah juga diketahui terdapat batubara kokas sehingga pembangunan tambang di sana berlangsung dengan pesat dalam beberapa tahun belakangan ini [7].

Coking Coal

Coking coal didefinisikan sebagai batubara yang mengalami pelunakan, pemaian dan mengeras kembali menjadi kokas selama proses karbonisasi [8]. Proses tersebut dinamakan tahapan plastis. Zona plastis yang dilalui oleh kokas ditunjukkan pada Gambar 2 [1]. Batubara jenis ini digunakan untuk membuat kokas pada industri besi baja, pengecoran, dan industri lainnya. *Bituminous* memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai *coking coal*, terutama pengujian kadar batubara termasuk *moisture*, *ash*, kandungan sulfur, kandungan *volatile*, *tar* dan *plasticity*.

Coking coal merupakan batubara yang diubah menjadi kokas dengan menghilangkan pengotornya untuk menghasilkan karbon yang hampir murni. Sifat fisik dari batubara kokas menyebabkan batubara melunak, mencair dan kemudian membeku kembali menjadi bongkahan keras namun berpori pada saat dipanaskan tanpa udara. *Coking coal* juga harus memiliki kandungan sulfur dan fosfor rendah. Kokas terbuat dari pembakaran dari campuran batubara

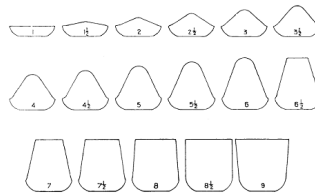
bituminus (disebut juga metallurgical *coal* atau *coking coal*) pada *temperatur* tinggi tanpa udara sampai *volatile matter*-nya hilang. Hampir semua *coking coal* digunakan dalam *oven* kokas. Proses tersebut terdiri dari pemanasan batubara menjadi kokas sekitar 1000-1100°C tanpa oksigen untuk menghilangkan senyawa *volatile* (pirolisis). Proses ini menghasilkan bahan berpori keras yang dinamakan kokas. Kokas digunakan terutama untuk melebur bijih besi dan bahan besi lainnya di dalam *blast furnace*, penggunaan kokas sebagai sumber panas dan agen pereduksi untuk menghasilkan *pig iron* atau *hot metal*. Kokas, bijih besi, dan kapur dimasukkan kedalam *blast furnace* secara *continous*. Udara panas ditiupkan ke dalam *furnace* untuk membakar kokas, sebagai sumber panas dan agen pereduksi oksigen untuk menghasilkan besi cair.



Gambar 2. Zona Plastis *Coking Coal* [1]

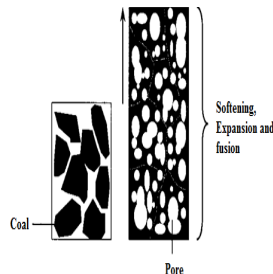
Coal Blending

Penelitian pemanfaatan batubara Indonesia jenis *coking* dan *non-coking* sebagai bahan baku industri metalurgi dikonsentrasikan kepada peningkatan kualitas batubara. Pengembangan proses ini dilakukan dengan cara metode *coal blending* yaitu pencampuran batubara *coking* dan *non-coking* dengan perbandingan tertentu [9]. Hal ini dikarenakan jumlah batubara *coking* relatif rendah dibandingkan dengan batubara *non-coking*. Pencampuran ini diutamakan pada produksi kokas untuk kekuatan yang sesuai terutama *coke strength after reaction* (CSR), meskipun kehilangan sejumlah masa. Teknologi pembuatan kokas dari batubara jenis *coking* telah dikenal, namun penggunaannya terhadap batubara Indonesia untuk menghasilkan kokas dengan kualitas yang memenuhi persyaratan masih belum diperoleh. Karena jenis batubara yang terdapat di Indonesia kebanyakan hanya batubara *non coking*, sehingga pengolahannya hanya semikokas saja. [9]. Secara umum pertimbangan *volatile matter* dalam pencampuran batubara sekitar 26-29% baik untuk pengkokasan. Oleh karena itu, perbedaan tipe batubara, dicampur secara *proportional* untuk memperoleh tingkat *volatility* sebelum pengkokasan dimulai. Istilah-istilah dalam proses pembuatan kokas [10], yaitu : *Plastic Properties* (CSN(*crucible swelling number*), *Fluidity*, *Dilation*) *Plasticity* menunjukkan kemampuan batubara meleleh dan terikat. *Plasticity* merupakan kemampuan untuk mengalami proses pelunakan, reaksi kimia, pembebasan gas, dan memadat kembali dalam *coke oven*. *Plasticity* sangat dibutuhkan dalam proses *coke blend* untuk menentukan kekuatan akhir dari produk kokas. Fluiditas dari sifat plastis merupakan faktor utama untuk menentukan berapa banyak batubara yang digunakan untuk pencampuran. *Crucible swelling number* (CSN) adalah salah satu tes *plasticity* untuk mengamati *caking properties* batubara, yang paling sederhana dan mudah dilakukan. *Caking* adalah kemampuan batubara membentuk gumpalan yang mengembang selama proses pemanasan. Gambar 3. adalah bentuk – bentuk CSN (*crucible swelling number*) berdasarkan ASTM D720 2002.



Gambar 3. Bentuk CSN

Pada proses karbonisasi, batubara pada awalnya mengkerut, kemudian mengembang ketika *volatile matter* mulai menguap, dan akhirnya terbentuklah gumpalan kokas. Dilatasi merupakan perubahan volume yang terjadi pada proses karbonisasi [11]. Proses ini sangat penting untuk diketahui, agar penentuan jumlah batubara konsumsi *coke oven* dapat dilakukan dengan tepat sehingga prosesnya menjadi aman.. *Audibert-Arnu dilatometry* adalah alat untuk mengukur perubahan volume yang terjadi pada proses karbonisasi [12]. Proses perubahan volume kokas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

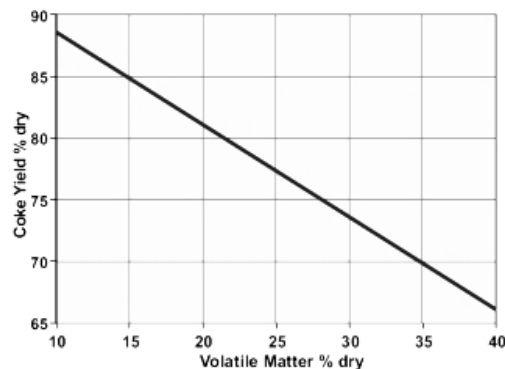


Gambar 4. Proses Perubahan Volume pada Kokas [11]

Coke yield adalah perolehan kokas dan perolehan produk sampingan dari beberapa proses pembuatan kokas utamanya ditentukan saat kokas diproduksi dan saat kondisi karbonisasi. *Coke yield* diperoleh dari perhitungan berat kokas yang masih stabil setelah proses karbonisasi terhadap berat batubara awal yang diumpangkan [13].

$$\% \text{ coke yield} = \frac{\text{weight of stabilized coke (kg)}}{\text{weight of charge (kg)}} \times 100\%$$

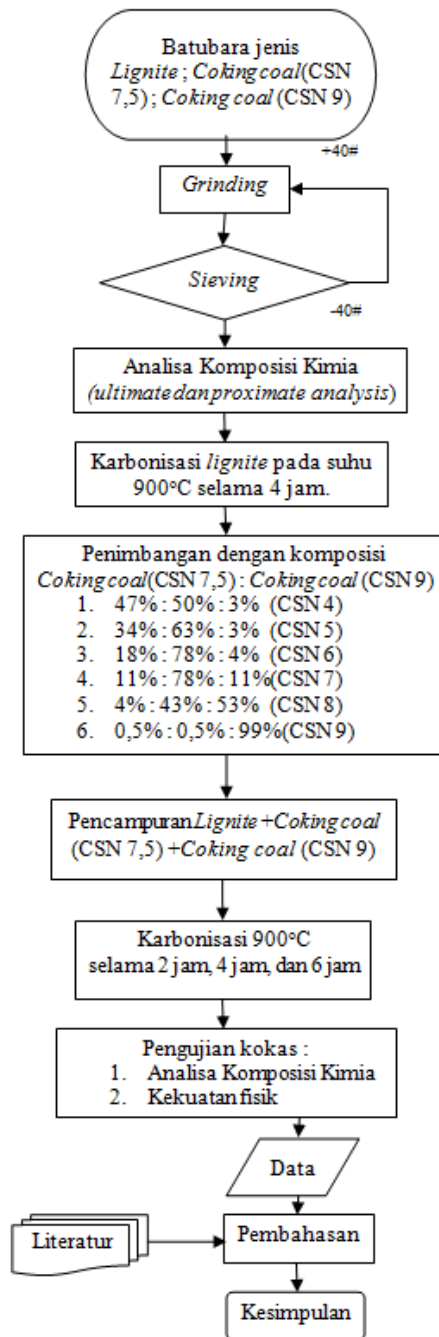
Coke yield berhubungan dengan *volatile matter*, jika semakin tinggi *volatile matter* maka kecenderungan *coke yield* semakin menurun [14]. Gambar 5. menunjukkan hubungan *coke yield* dengan kandungan *volatile matter*.



Gambar 5. Coke Yield - Volatile Matter [14]

METODE PENELITIAN

Gambar 6. merupakan diagram alir penelitian pembuatan kokas metalurgi dengan metode *coal blending*.



Gambar 6. Diagram Alir penelitian pembuatan kokas metalurgi dengan metode *coal blending*

DATA DAN HASIL PERCOBAAN

Pada pembuatan kokas dalam penelitian ini menggunakan campuran dari batubara jenis lignit, dan 2 jenis batubara *coking* dengan nilai *crucible swelling number* (CSN) berbeda yaitu CSN 7,5 dan CSN 9. Tabel 1. menunjukkan hasil analisa kimia awal untuk ketiga jenis batubara tersebut.

Tabel 1. Analisa Kimia Bahan Baku

Parameter	Lignit (%)	<i>Coking Coal</i> (CSN 7,5) %	<i>Coking Coal</i> (CSN 9) %
Karbon tetap (%)	40,35	63,99	41,95
Zat terbang (%)	41,90	32,35	25,35
Sulfur (%)	0,43	0,81	2,95
Abu (%)	10,55	1,62	28,00
Kadar air (%)	6,77	2,14	2,14

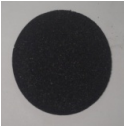





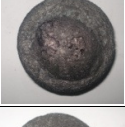



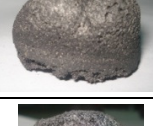







Tabel 2. Pengukuran Bentuk dan Kekuatan Kokas

CSN	Waktu Karbonisasi (jam)	Berat (cm)	Tinggi (cm)	Diameter (cm)	Kekuatan Kokas (%)
4	2	7.76	0.9	4.6	19.44
5		7.87	1.8	4.58	22.34
6		7.47	2.3	4.42	51.96
7		6.92	2.7	4.32	33.62
8		6.9	3.8	4.22	30.93
9		6.7	6	4.21	16.86
4	4	6.92	0.1	4.65	13.06
5		7.04	1.3	4.65	30.94
6		6.89	2.1	4.55	33.19
7		6.32	1.95	4.4	49.20
8		6.12	3	4.35	31.47
9		6.27	5	4.3	17.86
4	6	5.42	0.5	4.5	39.20
5		5.58	0.8	4.2	34.49
6		5.72	1.5	4.5	34.59
7		6.26	2.3	4.35	40.97
8		6.16	3.1	4.2	40.78
9		5.81	5.2	4.3	9.98



















PEMBAHASAN

Hasil percobaan menunjukkan perubahan bentuk kokas setelah dipanaskan beberapa jam. Bentuk kokas yang sebelumnya berbentuk serbuk berubah menjadi lengket, menggumpal dan mengembang. Perilaku tersebut merupakan sifat *plasticity*. Tabel 3, Tabel 4. dan Tabel 5. menunjukkan bentuk-bentuk kokas hasil percobaan karbonisasi.

Tabel 3. Bentuk-bentuk *Swelling* Kokas Setelah Karbonisasi Selama 2 Jam






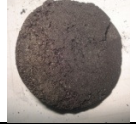
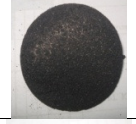











Bentuk <i>swelling</i>	Tampak atas	Tampak samping	Tampak bawah
CSN 4			
CSN 5			
CSN 6			
CSN 7			
CSN 8			
CSN 9			

Tabel 4. Bentuk-Bentuk *Swelling* Kokas Setelah Karbonisasi Selama 4 Jam

Bentuk <i>swelling</i>	Tampak atas	Tampak samping	Tampak bawah
CSN 4			
CSN 5			
CSN 6			
CSN 7			
CSN 8			
CSN 9			

Perubahan terlihat dengan semakin besarnya nilai CSN maka kokas semakin mengembang dan semakin banyak poros yang terbentuk dari hasil karbonisasi tersebut. CSN 4 memiliki jumlah komposisi lignit terbanyak, dan seiring bertambahnya nilai CSN komposisi lignitnya semakin berkurang. CSN 9 memiliki komposisi lignit terendah. Perbandingan komposisi-komposisi tersebut menyebabkan perbedaan bentuk mengembang, karena kemampuan mengembang dari kokas disebabkan jumlah *coking coal* pada setiap komposisi. Lignit yang tidak memiliki sifat muai (nilai CSN=0) tetap dalam bentuk serbuk, sedangkan *coking coal* terus memuai menyebabkan lignit terdesak dan membentuk alur lignit. Alur lignit semakin jelas pada komposisi mulai dari CSN 7, 8 dan 9. Alur yang terbentuk membuktikan lignit tidak mempunyai sifat menggumpal atau sifat *plasticity*. Alur lignit yang terlihat tersebut, tetap dalam bentuk serbuk sehingga dapat disimpulkan bahwa lignit tidak bisa dijadikan sebagai kokas yang baik. Hal ini akan mempengaruhi perilaku kokas selama proses di dalam *blast furnace*, karena kokas yang baik memiliki sifat *plasticity* yang baik pula. Apabila kokas tidak memiliki sifat *plasticity*, maka reaksi hanya terbatas pada permukaannya saja, sehingga mempengaruhi proses kokas sebagai reduktor baja [15]. Penelitian batubara jenis lignit selama ini masih terbatas menjadi batubara semikokas, tetapi tetap saja lignit tidak bisa digunakan sebagai kokas yang baik dalam proses *steelmaking* untuk penggunaan dalam *blast furnace*.

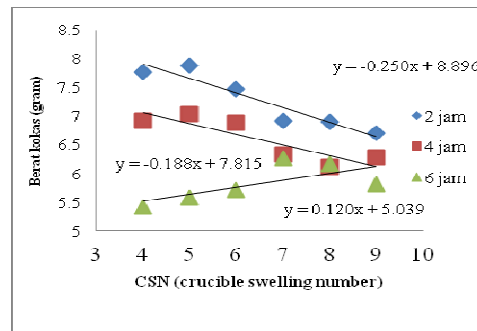
Tabel 5. Bentuk-Bentuk *Swelling* Kokas Setelah Karbonisasi Selama 6 Jam

Bentuk <i>swelling</i>	Tampak atas	Tampak samping	Tampak bawah
CSN 4			
CSN 5			
CSN 6			
CSN 7			
CSN 8			
CSN 9			

Pengaruh CSN Terhadap Berat Kokas

Kokas terbuat dari pembakaran dari campuran batubara bituminus *coking coal* pada temperatur tinggi tanpa udara sampai *volatile matter*-nya hilang. Saat *volatile matter* hampir semua hilang, mulai terbentuk kokas yang stabil. Peristiwa ini sering disebut dengan proses *devolatilization*. Selama proses *devolatilization*, dimana kandungan dalam batubara seperti misalnya hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur akan terlepas keluar sebagai gas produk dan sisanya adalah bongkahan kristal yang berpori umumnya adalah kandungan karbon. Sebagai akibat terlepasnya sebagian material yang terkandung dalam bongkahan batubara dapat menyebabkan terjadinya penurunan massa secara keseluruhan [16].

Profil penurunan massa selama proses karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 7. Dari Gambar 7. terlihat bahwa penurunan massa kokas lebih sedikit dengan waktu karbonisasi selama 2 jam jika dibandingkan dengan proses karbonisasi pada selama 6 jam. Semakin lama waktu karbonisasi massa kokas yang dihasilkan semakin rendah. Pada waktu karbonisasi selama 2 jam berat kokas rata-rata lebih dari 7 gram, pada karbonisasi selama 4 jam massa kokas kurang dari 7 gram, sedangkan pada waktu karbonisasi 6 jam massa kokas jauh dibawah 7 gram. Selama pemanasan *volatile matter* akan menguap dan hilang pada pemanasan temperatur tinggi (temperatur 900°C) [17] sehingga menyebabkan massa kokas berkurang. Jumlah *volatile matter* semakin berkurang dengan semakin lamanya waktu karbonisasi. Selain itu, semakin banyak kandungan *volatile matter* didalam batubara, maka berat kokas yang terbentuk setelah proses karbonisasi akan semakin rendah.

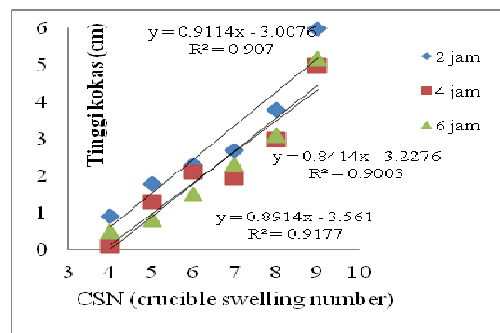


Gambar 7. Grafik Nilai CSN Terhadap Berat Kokas

Pada waktu pemanasan 2 jam dan 4 jam semakin tinggi nilai CSN, berat kokas kecenderungan semakin turun. Tetapi hal yang berbeda dialami saat waktu pemanasan 6 jam yang kecenderungan semakin naik. Meskipun pada pemanasan selama 6 jam, berat kokas yang dihasilkan semakin naik tetapi menghasilkan kokas yang rapuh pada CSN yang lebih tinggi. Hal tersebut terlihat dari struktur kokas yang dihasilkan. Jadi meskipun semakin berat kokas yang dihasilkan, tidak berarti hasilnya semakin baik karena menghasilkan kokas yang rapuh.

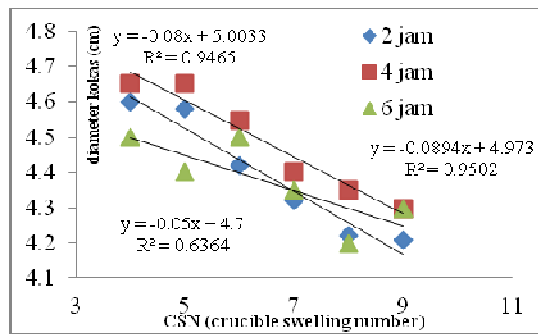
Pengaruh CSN (*crucible swelling number*) Terhadap Tinggi Kokas

Tinggi kokas dipengaruhi oleh waktu karbonisasi dan komposisi CSN, seperti terlihat pada Gambar 8. Tinggi kokas ini dapat diukur karena bentuk wadah pemanasan yang berbentuk silinder. Pertambahan tinggi kokas karena terdesaknya gas akibat perubahan *vitrinite* menjadi gas [18]. Pemuaiannya yang terjadi mendesak batubara sehingga semakin tinggi dan mengikuti wadah pemanasan.



Gambar 8. Grafik Peningkatan Tinggi Kokas

Crucible swelling number (CSN) adalah salah satu tes *plasticity* untuk mengamati *caking properties* batubara. *Caking* adalah sifat yang menggambarkan kemampuan batubara membentuk gumpalan yang mengembang selama proses pemanasan. Bentuk – bentuk *caking CSN (crucible swelling number)* didasarkan pada ASTM D720 2002. *Crucible swelling number (CSN)* memiliki *range* dari nomor 1 hingga 9 dengan kenaikan nomor ½. Nomor-nomor tersebut disertai dengan bentuk masing-masing. Proses pengembangan ini disertai dengan pertambahan tinggi kokas pula. Seperti terlihat pada ASTM D720, semakin tinggi nomor kokas maka semakin tinggi pemuaiannya kokas tersebut. Gambar 8. menunjukkan pertambahan tinggi pada peningkatan nomor CSN, nomor CSN 4 paling rendah sedangkan CSN 9 memiliki ukuran paling tinggi. Peningkatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. dan hasilnya hampir sama pada setiap peningkatan waktu karbonisasi, tetapi pada waktu karbonisasi 2 jam hasil ukuran kokas lebih tinggi dan mulai menurun pada waktu karbonisasi 4 dan 6 jam. Penurunan tinggi kokas diakibatkan terjadinya penyusutan apabila waktu pemanasan yang terlalu lama dan dianggap batubara telah seluruhnya berubah menjadi kokas [9].



Gambar 9. CSN Terhadap Diameter Kokas

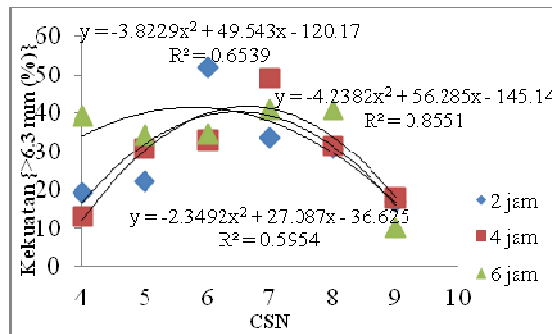
Pengaruh CSN (*crucible swelling number*) Terhadap Diameter Kokas

Diameter kokas hasil karbonisasi dipengaruhi waktu karbonisasi, seperti pada Gambar 9. Kokas yang mengalami pemuaihan, secara umum bentuknya mengikuti wadah tempat pemanasannya. Diameter kokas dapat diukur karena wadah pemanasan berbentuk silinder sehingga untuk membandingkan bentuk pengembangannya, diukur diameter kokasnya.

Dapat dilihat bahwa pada waktu karbonisasi selama 4 jam ternyata memiliki diameter lebih besar dibandingkan waktu karbonisasi 2 jam dan 6 jam. Waktu karbonisasi 4 jam ini pada beberapa jenis batubara *blending* secara umum merupakan waktu saat tekanannya meningkat secara cepat, setelah terjadi peningkatan, berangsur-angsur terbentuk *plastic zone*. Setelah proses *plastic zone* terlewati, tekanan menurun dan bagian plastis mulai pecah karena terjadi pengeluaran gas yang terperangkap di dalam kokas [20].

Pengaruh CSN (*Crucible Swelling Number*) Terhadap Kekuatan Kokas

Kekuatan kokas diukur dengan menggunakan alat *I-type tumbler test*, pengujian ini merupakan pengujian kekuatan kokas dingin. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh antara waktu karbonisasi dan komposisi CSN terhadap kekuatan kokas.

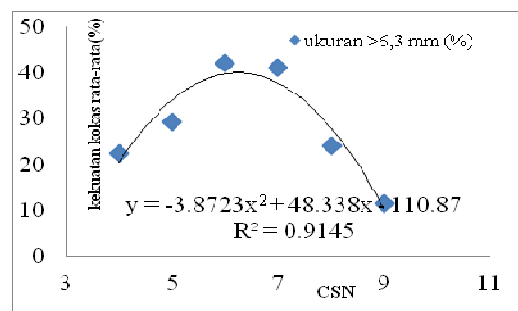


Gambar 10. Pengaruh CSN-Kekuatan Kokas

Hasil kekuatan kokas terhadap lama waktu karbonisasi bervariasi dan pengaruhnya cukup signifikan, semakin lama waktu karbonisasi kekuatan kokas semakin baik [20]. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 10. menunjukkan hasil kekuatan kokas semakin meningkat pada CSN 6 dan 7. Pada CSN tertentu semakin lama waktu pemanasan kekuatan kokas semakin naik, sedangkan pada CSN 8 dan 9 semakin lama waktu pemanasan kekuatannya cenderung menurun. Hasil tersebut berhubungan dengan beberapa hal yang dapat mempengaruhi kekuatan kokas [19], yaitu: tekstur kokas, kandungan kimia dari abu batubara, ukuran pori-pori batubara. Pada kokas yang dihasilkan, pengaruh tekstur secara fisik cukup terlihat jelas. Pada CSN 4, 5 dan 6, teksturnya cenderung tidak terlalu rapat karena cukup banyak lignit pada campuran-campurannya, tetapi lebih sedikit poros yang dihasilkan. Sedangkan pada CSN 7, 8 dan 9, tekstur bagian terluar kokas lebih terlihat rapat. Tekstur tersebut diharapkan membentuk ikatan partikel

batubara lebih rapat sehingga pada tekstur sempurna menghasilkan kokas yang lebih tahan abrasi, tetapi pada CSN 8 dan 9 poros yang terbentuk sangat banyak. Hal tersebut yang menyebabkan kekuatan kembali menurun, meskipun teksturnya rapat tetapi poros yang dihasilkan dapat menyebabkan kokas yang kekuatannya kurang baik. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa kekuatan maksimum terdapat pada hasil CSN 7.

Pada pengukuran kekuatan kokas, pengaruh komposisi CSN mempengaruhi kekuatan kokas seperti terlihat pada Gambar 11. Oleh karena itu, dibuat nilai rata-rata CSN untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan kokas. Nilai kekuatan kokas yang tinggi ditentukan berdasarkan jumlah atau persentase ukuran diatas 6,3mm yang lebih banyak. Berdasarkan Gambar 11, kekuatan kokas mulai meningkat pada CSN 6 dan menurun kembali pada CSN 8. Pada pengukuran kekuatan kokas tersebut, CSN 7 menunjukkan kekuatan kokas maksimum Sehingga dapat disimpulkan bahwa kokas yang baik untuk digunakan sebagai kokas dengan kekuatan dinamis tinggi adalah CSN 7.

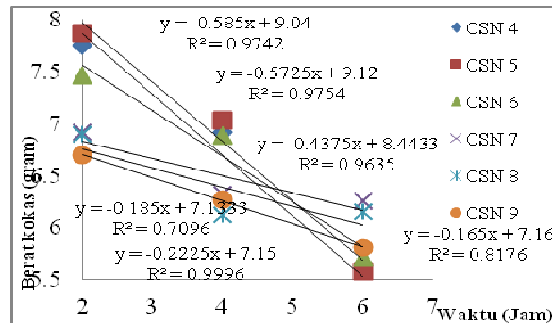


Gambar 11. Pengaruh Komposisi CSN Terhadap Kekuatan Kokas Rata-rata

Kokas yang telah diproduksi berdasarkan perbedaan komposisi CSN dan temperatur karbonisasi dilakukan pengujian kekuatan dengan menggunakan alat *I-type tumbler test* sebagai pengujian kokas dingin (*cold strength*) untuk mengetahui apakah kokas tersebut tahan abrasi juga tahan pecah. Hasil dari *test* tersebut diperoleh kokas terpecah menjadi partikel halus dan partikel kasar berdasarkan ukuran *screen* tertentu. Jumlah partikel kasar dijadikan pembanding sebagai kekuatan kokas, semakin banyak ukuran partikel yang tersisa, maka semakin kuat kokas tersebut. Alat *I-type tumbler test* didasarkan pada ASTM. Profil fraksi massa partikel halus dapat dilihat pada Gambar 11. Gambar 11 menjelaskan bahwa adanya pengaruh komposisi CSN terhadap kekuatan kokas. Dari Gambar 11 terlihat bahwa pada awal komposisi yaitu sekitar CSN 4, 5, 6 dan 7 jumlah partikel kasar meningkat. Sedangkan pada CSN 8 dan 9 mulai menurun kembali. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kokas yang kekuatannya paling baik untuk digunakan di dalam *blast furnace* adalah CSN 7 karena dianggap paling tahan abrasi dan tahan pecah.

Pengaruh Waktu Karbonisasi Terhadap Berat kokas

Gambar 12 menunjukkan pengaruh waktu terhadap berat kokas pada tiap CSN (*Crucible swelling number*).

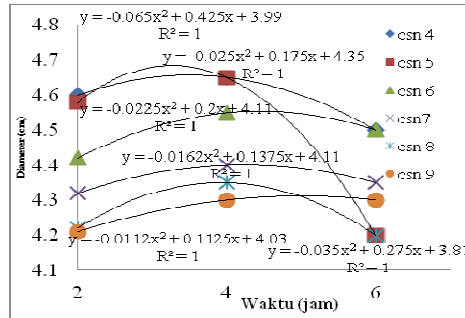


Gambar 12. Pengaruh Waktu Terhadap Berat Kokas

Pada Gambar 12. dapat dilihat bahwa waktu pemanasan berpengaruh terhadap berat kokas pada setiap CSN. Semakin lama waktu pemanasan berta kokas cenderung merurun pada setiap CSN, meskipun dengan kemiringan yang berbeda. Hal tersebut terutama disebabkan oleh jumlah *volatile matter* yang semakin berkurang dan habis terbakar. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa fenomena penurunan berat terjadi pada setiap pemanasan kokas meskipun dengan komposisi berbeda.

Pengaruh Waktu Karbonisasi Terhadap Diameter Kokas

Gambar 13. menunjukan pengaruh waktu terhadap berat kokas pada tiap CSN (*Crucible swelling number*).

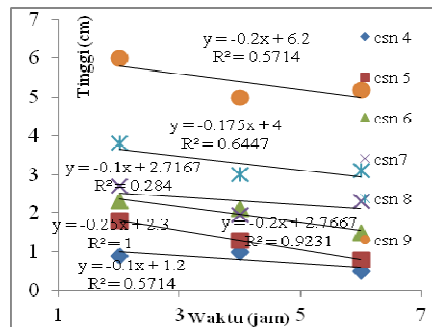


Gambar 13. Pengaruh Waktu Terhadap Diameter

Pada Gambar 13. dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan diameter pada setiap komposisi CSN. Pengukuran diameter kecenderungan menurun setiap penambahan nomor CSN, komposisi CSN 4 perolehannya paling besar yaitu sekitar lebih dari 4,5 cm sedangkan diameter terendah pada CSN 9 yaitu sekitar 4,2 cm. dan secara berurutan terus kecenderungan menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nomor komposisi CSN, maka semakin menurun ukuran diameternya. Ukuran diameter tersebut, berpengaruh pada penyusutan akhir dari kokas, bahwa penyusutan terbesar terdapat pada komposisi CSN yang lebih besar, meskipun pada awalnya CSN dengan nilai tinggi terus mengembang. Dalam skala pabrik, diperlukan komposisi nilai CSN yang optimum, sehingga tidak terlalu menekan dinding dan tidak juga terlalu menyusut karena penyusutan tersebut dapat menyebabkan keretakan pada kokas. Diameter optimum rata-rata pada setiap CSN terdapat di waktu karbonisasi 4 jam. Hal tersebut sesuai dengan teori karbonisasi, bahwa kokas mengembang secara signifikan hingga pemanasan 4 jam, lalu mulai menyusut [20].

Pengaruh Waktu Terhadap Tinggi Kokas

Gambar 14. menunjukan pengaruh waktu terhadap berat kokas pada tiap CSN (*Crucible swelling number*).

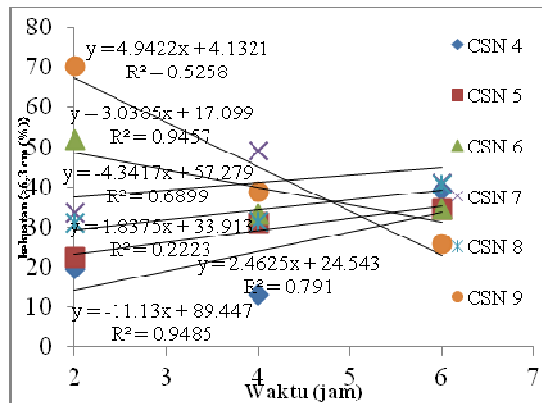


Gambar 14. Pengaruh Waktu Karbonisasi Terhadap Tinggi Kokas

Bahasan pengaruh waktu terhadap tinggi tersebut, kecenderungan hampir mirip dengan pengaruh waktu karbonisasi terhadap berat kokas, karena terdapat perbedaan tinggi pada setiap CSN. Hal tersebut menunjukan berat dan tinggi merupakan satu kesatuan korelasi sebagai bukti

bahwa kokas mengembang mengikuti bentuk tempat pemanasnya. seberapa besar pengembangan dan penyusutan kokas dengan variabel waktu yang dilakukan. Tetapi berkebalikan dengan pengukuran berat, ukuran tinggi kokas menunjukkan bahwa nomor CSN yang semakin tinggi maka ketinggian kokas semakin besar. Secara berurutan ukuran kokas tertinggi adalah CSN 9 dan perolehan ukuran terendah pada komposisi CSN 4. Tinggi kokas berbeda-beda, tetapi kecenderungan pengaruh waktu terhadap tinggi kokas pada setiap CSN hampir sama, yaitu bahwa semakin lama waktu karbonisasi, tinggi kokas semakin menurun. Penurunan tinggi kokas tersebut masih berhubungan dengan penyusutan yang terjadi akibat pemanasan kokas yang semakin lama.

Pengaruh Waktu Karbonisasi Terhadap Kekuatan Kokas



Gambar 15. Pengaruh Waktu Terhadap Kekuatan Kokas

Pada Gambar 15. semakin lama waktu pemanasan, maka kekuatan kokas kecenderungan semakin meningkat. Seperti dijelaskan [Jackan, 1958] bahwa ukuran kokas dan kekuatan kokas meningkat dengan waktu pemanasan yang semakin lama. Pada pemanasan yang semakin lama, kokas semakin padat, keras dan strukturnya terus berubah hingga bagian terdalam menjadi kokas. Peningkatan nilai kekuatan meningkat pada hampir semua CSN kecuali pada CSN 6 dan 9. Hal tersebut dihindari, karena diharapkan kekuatan kecenderungan semakin naik, meskipun pada CSN 6 dan 9 memiliki kekuatan lebih tinggi pada waktu pemanasan 2 jam. Penurunan kekuatan tersebut tidak diharapkan karena pemanasan pada skala pabrik dilakukan secara kontinyu hingga semua batubara berubah menjadi kokas. Jika penggunaan CSN 6 dan 9 digunakan untuk skala pabrik, dihasilkan kokas yang semakin lama semakin rendah kekuatannya. Kecenderungan yang diharapkan yaitu nilai kekuatan yang semakin meningkat tetapi stabil seperti pada CSN 7.

KESIMPULAN

- Lignit yang merupakan batubara jenis *non-coking coal* tidak mampu melunak, lengket dan mengembang sehingga tidak cocok digunakan sebagai kokas untuk *blast furnace*.
- Komposisi jumlah kadar %sulfur dan %abu yang paling sesuai dengan standar yaitu komposisi CSN 4, 5, 6 dan 7, sedangkan untuk CSN 8 dan 9 tidak memenuhi syarat standar.
- Semakin lama waktu pemanasaan, *coking coal* semakin mengembang tapi pada kondisi tertentu pengembangan akan maksimum dan mulai terjadi penyusutan bila diukur dari tinggi kokas.
- Setiap komposisi tertentu, bentuk pengembangan kokasnya berbeda-beda semakin banyak *coking coal* maka kokas semakin mengembang.
- Sifat *plasticity* diperlukan untuk *fluidity* saat kokas menjadi reduktor dalam proses *blast furnace*, karena apabila tidak memiliki sifat *plasticity*, maka reaksi hanya terbatas pada permukaannya saja, sehingga mempengaruhi proses kokas sebagai reduktor baja.
- Semakin lama waktu pemanasan, berat kokas semakin berkurang karena jumlah *volatile matter* yang semakin habis terbakar.

- Semakin lama waktu pemanasan, kekuatan kokas cenderung semakin meningkat dan yang paling baik terdapat pada hasil komposisi CSN 7.
- Perolehan hasil maksimum pada :
 - Komposisi = CSN 7
 - Waktu karbonisasi= 4 jam
 - Kekuatan maksimum = 49,20 %

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zimmerman & Raymond, E.: *Evaluating and Testing The Coking Properties of Coal*. Miller Freeman Publication, Inc, San Francisco (1979).
- [2] Sudarsono. S. A.: *Pengantar Preparasi dan Pencucian Batubara*. Departemen Teknik Pertambangan ITB : Bandung (2003)
- [3] Valia & Hardarshan, S.: *Coke Production for Blast Furnace Ironmaking* Scientist, Ispat Inland Inc. (2006).
- [4] Annual Book ASTM Standard. *Gaseous Fuels, Coal and Coke, Petroleum Products, Lubricant and Fossil Fuels*, Section 5 Vol.05.05: American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania (2002).
- [5] Stovesonline (2011).
- [6] Adiarso, dkk.: *Teknologi Pemanfaatan Batubara Peluang dan Tantangan*. Balai Besar Teknologi Energi BPPT PUSPIITEK : Tangerang, 2010.
- [7] Budiraharjo, I.: Industri batubara Indonesia. Terjemah bebas artikel berjudul "Indonesia sekitan jijou" oleh Masafumi Uehara, *JCOAL Journal Vol 18, Januari 2011*. (JCOAL Resources Development Division) (2011).
- [8] AISI (2006).
- [9] Rustiadi P. & Susanto.: *Proses pengolahan batubara Indonesia untuk kokas metalurgi dengan metode coal blending*. Pusat penelitian metalurgi LIPI, Tangerang (2003).
- [10] Karen, et al.: *Understanding the microstructure of coal during carbonization using rheometry and 1H NMR*. ICCS&T, Okinawa (2005).
- [11] Nomura, S. et al.: *Coal Blending Theory for Dry Coal Charging Process*. Nippon steel technical report, Japan (2006).
- [13] Olulana, A. O.: *Effect of pre-heating on the mecum strength of coke from a coal blend include 5 % of non caking Nigerian okaba coal*. National metallurgical development centre, Nigeria (2011).
- [14] COALTECH (2007).
- [15] Arslan, V. & Kemal, M.: *The effect of inert matters and low volatile coal addition on the plasticity of high volatile Zonguldak coals*. The south African institute of mining and metallurgy, Turkey (2006).
- [16] Khairil & Irwansyah: *Kaji Eksperimental Teknologi Pembuatan Kokas dari Batubara sebagai Sumber Panas dan Karbon pada Tanur Tinggi (Blast Furnace)*. Universitas Syiah Kuala, Aceh (2010).
- [17] Sudarsono, S. A.: *Pengantar Preparasi dan Pencucian Batubara*. Departemen Teknik Pertambangan ITB, Bandung (2003).
- [18] Suarez-ruiz, I.: *Organic petrologi: An Overview*. Instituto Nacional Del Carbon (INCAR-CSIC) Oviedo, Spain, 2012.
- [19] Curran, J.: *Fundamental Factors Influencing Coke Strength*. The University of Newcastle, Australia (2009).
- [20] Jackman, H. W.: *Influence of Coking Time on Expansion Pressure and Coke Quality*. Division of the Illinois state geological survey, Urbana (1958).