

KARAKTERISASI ABU LAYANG INDUSTRI BAN DAN PEMANFAATANNYA UNTUK PEMBUATAN BATAKO

(*characterization of fly ash from tire industry and its use for concrete brick production* ¹⁾)

Jumaeri, Woro Sumarni, dan Latifah ²⁾
Staf Pengajar pada Universitas Negeri Semarang

ABSTRACT

The use of coal as energy sources at boiler engine of tire industry can causes fly accumulation. The objective of the research is to study feasibility of fly ash waste from tire industry for concrete brick production, by involve the fly ash/cement, water/(fly ash + cement + sand) ratio and lime addition. The fly ash characterization carried out by gravimetri methode analysis. The test materials of brick were made by mixed fly ash, cement, sand, lime and water in given weight ratio. The mixture was stirred until was found the workable paste. The casting of test material carried out the cubic 7 x 7 x 7 cm in size. The compressive strength was test carried out after 28 days curing. The result show that the major constituent of fly ash is followed : SiO₂ 63,01 %, Al₂O₃ 9,27 %, Fe₂O₃ 6,31 %, CaO 5,19 % and Mg 0,05 %. The compressive strength of brick to decrease by increasement of the used fly ash. At the ratio of fly ash/cement 20 : 80 and 30 : 70, 600 g sand, the compressive strength of brick is 118,15 and 108,08 kg/cm² respectively. The ratio of water/(fly ash + cement + sand) influence the compressive strength on concrete brick. The compressive strength reach the maximum value at given point and than to gradually decrease. At the composition of fly/cement = 30 : 70 and 20 : 80 the compressive strength is maximum at the ratio of water/(fly ash + cement + sand) 0,10 and between 0,10 - 0,15 are respectively. The addition of lime at mixture of fly ash, cement and sand is trend to decrease the compressive strength. Addition, in concrete brick production, the addition of fly ash it is preferable if not more than 25 - 30 % of the used cement and mechanically compression.

Key words : *Industry, fly ash, brick*

PENDAHULUAN

Dewasa ini kebutuhan sumber energi di Indonesia semakin meningkat. Dengan menipisnya cadangan minyak bumi, maka pemerintah melaksanakan deversifikasi sumber energi, dengan batu bara sebagai salah satu alternatifnya. Penggunaan batu bara yang utama saat ini adalah sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap, industri semen dan industri lainnya, misalnya industri ban. Pada pembakaran batu bara selain menghasilkan energi juga akan menghasilkan sisa pembakaran yang berupa gas, seperti (SO_3 , NO_x , CO_2) dan padatan yang berupa abu, baik sebagai abu layang maupun abu dasar (Herry, 1993). Industri ban P.T. Mega Rubber Factory merupakan industri ban yang ada di kota Semarang. Dalam proses pembuatan ban dari bahan dasarnya industri ini menggunakan bahan bakar batu bara sebagai sumber energi dalam mesin *boiler*. Penggunaan batu bara secara terus menerus dalam proses produksi mengakibatkan terjadinya peningkatan akumulasi limbah abu layang batu bara. Apabila semua pembangunan PLTU dengan bahan bakar batu bara di Indonesia berjalan sesuai dengan rencana, maka pada tahun 2000 akan dihasilkan lebih dari tiga juta ton abu layang setiap tahunnya (Herry, 1993). Sedangkan PLTU Suralaya menghasilkan abu layang \pm 750.000 ton pertahun (Nasrul dan Utama, 1995). Limbah abu layang yang terus meningkat ini, bila dibiarkan tidak mempunyai nilai ekonomis dan bahkan dapat menimbulkan masalah serius bagi lingkungan.

Pemakaian abu layang untuk berbagai keperluan masih sangat sedikit. EPA, 1988, melaporkan bahwa produksi abu layang di Amerika Serikat mencapai 70 juta ton pada

tahun 1983. Dari jumlah ini 12,8 juta ton digunakan untuk berbagai keperluan, sedangkan sisanya dibuang di atas permukaan tanah baik secara langsung sebagai padatan atau melalui pembentukan lumpur intermediate. Bolch (1980) menyatakan bahwa penggunaan abu layang untuk keperluan pembuatan bata, campuran aspal, penghilangan bau limbah kotoran binatang dan sebagainya jumlahnya kurang dari 15 % dari abu yang dihasilkan. Sedangkan sisanya, yaitu kurang 85 % masih dibuang begitu saja sebagai limbah padat di kolam-kolam atau di atas tanah daratan. Di Belanda kajian tentang *recycling* abu layang terus dikembangkan (Anonim, 1997). Dengan berbagai alasan, sampai saat ini limbah abu layang di Indonesia belum banyak dimanfaatkan sehingga jumlahnya semakin bertambah. jumaeri, 1995, melaporkan bahwa komponen utama penyusun abu layang batu bara adalah SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yang kadarnya masing-masing 54,59 %, 31,69 %, dan 3,19 %. Komponen ini mirip dengan komponen yang ada pada semen. Oleh karena itu abu layang batu bara termasuk bahan *pozzolan*.

Saat ini mulai dikembangkan pemanfaatan abu layang untuk pembuatan batubara. Di Eropa pembuatan bata dilakukan dengan mencampurkan pasir kuarsa, kapur dan gipsum. Abu layang digunakan untuk menggantikan sebagian pasir kuarsa. (Anonim, 1989). Penggunaan abu layang batu bara PLTU Suralaya sebanyak 70 % berat total bahan padat (abu layang, semen dan kapur) dalam pembuatan bata menghasilkan kuat tekan di atas 100 kg/cm^2 dan penyerapan air di bawah 30 %, yang mana memenuhi baku mutu I bata tras (SII

0964-84) mutu II untuk batako (Herry, 1994). Karena persamaan bahan bakar yang digunakan di PLTU Suralaya dan P.T. Mega Rubber Factory, maka limbah padat yang dihasilkan industri ini dapat digunakan untuk pembuatan batako. Kualitas batako yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh karakteristik abu layang sebagai bahan pozzolan serta komposisi campuran yang digunakan. Dengan demikian perlu diketahui komposisi campuran bahan-bahan tersebut sehingga memberikan hasil yang optimum.

Penelitian ini menggunakan limbah abu layang yang dihasilkan oleh industri ban P.T. Mega Rubber Factory Semarang, sebagai bahan pozzolan dan pembuatan batako.

Abu Layang (*Fly Ash*). Pada setiap pembakaran batu bara, baik untuk PLTU maupun industri semen dan industri lainnya, akan menghasilkan abu dalam jumlah yang cukup besar. Industri ban P.T. Mega Rubber factory Semarang menggunakan batu bara sebagai sumber energi dalam proses produksi. banyaknya abu dan karakteristiknya sangat ditentukan oleh jenis batu bara dan sistem pembakaran yang digunakan.

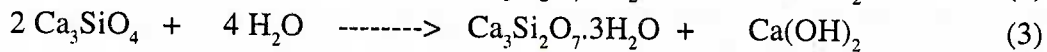
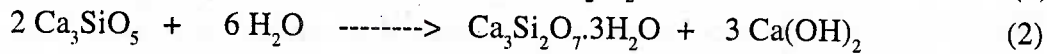
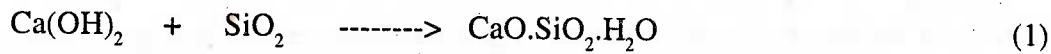
Secara umum abu batu bara dapat diartikan sebagai materi sisa yang ada setelah materi yang dapat terbakar habis terbakar (Hasley et al., 1986). Abu batu bara merupakan suatu campuran kompleks sebagai hasil perubahan kimia yang berlangsung dalam komponen mineral batu bara selama pembakaran. Abu layang adalah abu batu bara yang berupa serbuk halus, tidak dapat bakar, dengan distribusi ukuran 1 - 100 μm dan relatif homogen (Maulbetch dan Murakka, 1983). Ukuran abu layang relatif kecil, oleh karena itu abu ini terbawa gas buang dan bila tidak dilewatkan presipitator elektrostatis akan beterbangan di atmosfer. Dibandingkan abu dasar, abu layang

mempunyai warna lebih terang (keabu-abuan) mirip semen dan merupakan komponen terbesar batubara, yaitu kira-kira 85 % dari total abu yang dihasilkan.

Sesuai dengan konstituen batu bara, abu yang dihasilkan utamanya tersusun dari mineral silikat (SiO_2), alumina (Al_2O_3) kemudian diikuti Fe_2O_3 dan CaO dan senyawa-senyawa dari Mg, Ti, Na dan K dalam jumlah lebih kecil. Karena kandungan kimiawinya tersebut, maka abu layang termasuk bahan *pozzolan*, yang mana bila dicampur dengan CaO dan air akan membentuk material yang sifatnya mengikat seperti semen.

Berbeda dengan abu layang, semen mempunyai sifat pengikat yang jatuh lebih kuat. Hal ini disebabkan oleh komposisi kimiawinya yang berbeda. Komposisi semen portland pada umumnya terdiri dari CaO 60-67 %, SiO_2 17-25 %, Al_2O_3 3-8 %, Fe_2O_3 0,5-6 % MgO 0,1 - 4 % dan SO_3 1-3 % (Wilby, 1983). Dengan penambahan CaO diharapkan dapat meningkatkan sifat pengikat dari abu layang. Industri ban P.T. Mega Rubber Factory Semarang menggunakan batu bara sebagai sumber energi, sehingga akan menghasilkan abu layang dalam proses produksi.

Pembuatan Batako. Pembuatan batako pada umumnya dilakukan dengan mencampurkan pasir kuarsa sebagai sumber SiO_2 , kapur dan semen serta sejumlah agregat yang berupa kerikil atau batu kricak dalam perbandingan tertentu. Campuran yang dihasilkan selanjutnya dicetak secara manual atau mekanik dalam bentuk dan ukuran yang diinginkan. Reaksi utama dalam proses ini merupakan reaksi *pozzolan*, menghasilkan kalsium-silikat hidrat yang berlangsung sebagai berikut :



Hasil reaksi di atas (kalsium silikat hidrat) dengan bertambahnya waktu reaksi secara berangsur-angsur membentuk padatan yang terus bertambah kekerasannya sampai waktu tertentu. Silikat pada abu layang merupakan silikat amorf. Silikat ini dapat terlarut dalam air pada temperatur kamar.

Berdasarkan uraian sebelumnya maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik abu layang batu bara yang dihasilkan oleh industri ban P.T. Mega Rubber Semarang.
2. Mengetahui adanya pengaruh perbandingan berat abu layang/(semen + pasir) terhadap kuat tekan batako yang dihasilkan.
3. Mengetahui adanya pengaruh perbandingan berat air/(abu layang + semen + pasir) terhadap kualitas batako yang dihasilkan ?
4. Mengetahui adanya pengaruh penambahan kapur pada campuran terhadap kuat tekan.

BAHAN DAN METODA

Sampel abu layang diperoleh dari hasil pembakaran batu bara dalam proses produksi industri ban P.T. Mega Rubber factory Semarang, Unit Produksi Salatiga. Pengambilan sampel dilakukan secara acak dari tempat penampungan abu yang tersedia.

Sesuai dengan tujuan penelitian yang ingin dicapai maka variabel yang akan dipelajari dalam penelitian ini adalah komposisi campuran sebagai variabel bebas dan kuat tekan batako sebagai variabel terikat. Adapun ukuran kualitas batako

ditunjukkan dengan kuat tekan (kg/cm^2) dari benda uji.

Semua data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh secara langsung melalui pengujian di laboratorium. Karakterisasi abu layang dilakukan di Laboratorium Pengujian BPPI Semarang. Sedangkan uji kuat tekan dilakukan dengan alat General Test Machine di Laboratorium Teknik Sipil FT Unnes Semarang.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi P.T. Mega Rubber Semarang, Semen Portland Tipe I produksi P.T. Semen Nusantara, pasir, kapur bangunan dan air. Adapun bahan-bahan kimia untuk karakterisasi abu layang meliputi : HCl, HNO₃, KSCN, larutan baku Fe³⁺, NH₄Cl, NH₄OH, Amonium oksalat, H₂SO₄, KMnO₄, NaH₂PO₄ dan akuades.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : neraca kapasitas 500 gram, ayakan 170 mesh, alat pengaduk, wadah plastik untuk membuat pasta campuran, gelas ukur 100 ml, cetakan kubus ukuran 7 x 7 x 7 cm dan alat ukur kuat tekan General Machine Test, Muffle Furnace, krus platina dan seperangkat alat-alat gelas.

Cara Penelitian

Karakterisasi abu layang dilakukan di Laboratorium Pengujian BPPI Semarang sesuai dengan Prosedur Baku Pengujian Abu Layang di Laboratorium Kimia BPPI Semarang. Prosedur analisis Kimia selengkapnya terlampir (Lampiran 1).

Penyiapan benda uji (monolit)/batako dilakukan dengan cara mencampurkan abu layang, semen, kapur dan pasir dengan perbandingan berat tertentu. Campuran ini kemudian diaduk sehingga homogen mungkin dan selanjutnya dicampur air dengan perbandingan berat tertentu. Campuran ini kemudian diaduk lagi sehingga diperoleh suatu pasta. Pasta yang dihasilkan selanjutnya dicetak dalam kubus ukuran 7 x 7 x 7 cm dan dalam cetakan batako. Setelah dikeluarkan dari cetakannya, benda uji ini dibiarkan sampai kering sehingga diperoleh padatan yang siap untuk dilakukan uji kuat tekan.

Pembuatan benda uji/batako dilakukan dengan perbandingan bervariasi antara berat bahan-bahan yang diperlukan. Untuk setiap komposisi dibuat tiga sampel benda uji, sehingga diperlukan 3 kali pengukuran kuat tekan untuk setiap komposisi. Adapun variabel yang akan dipelajari adalah sebagai berikut :

- a. perbandingan berat abu layang/(semen + pasir))
- b. perbandingan berat air/abu layang +semen + pasir)
- c. Penambahan kapur dalam campuran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan tujuan penelitian yang akan dicapai, maka hasil penelitian dan pembahasannya meliputi hal-hal berikut : (1) karakteristik abu layang (2) pengaruh komposisi campuran abu layang/semen + pasir (3) pengaruh perbandingan air/ (abu layang + pasir + semen) dan (4) pengaruh penambahan kapur terhadap kuat tekan batako.

1. Karakteristik Abu Layang

Abu layang batu bara pabrik ban P.T. Mega Rubber merupakan hasil pembakaran batu bara subbituminous produksi P.T. Adora

Kalimantan, dengan temperatur zona pembakaran antara 250 - 300°C. Beberapa kandungan oksida abu layang industri ban dan karakter fisisnya tertera pada Tabel 1.

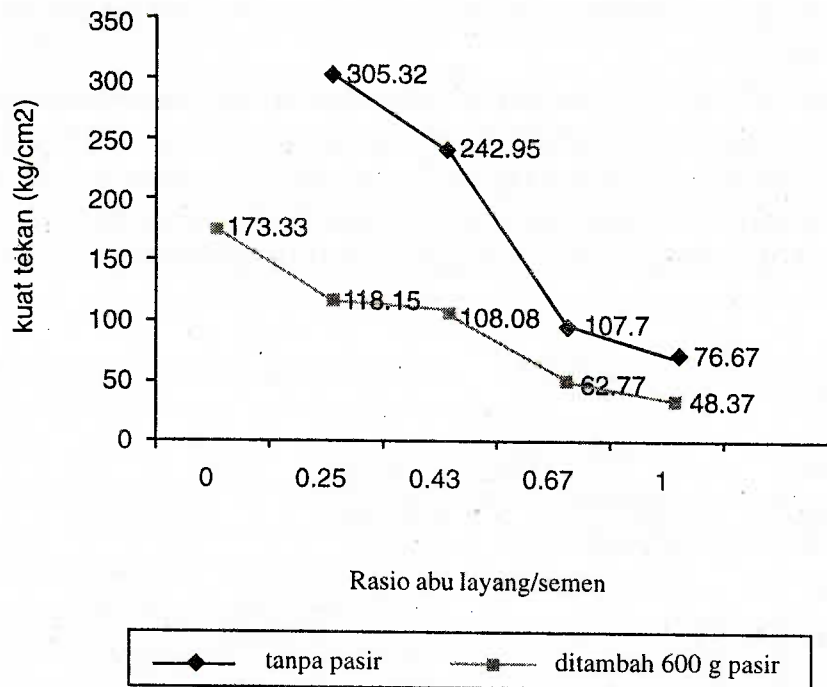
Tabel 1 Kandungan beberapa oksida abu layang P.T. Mega Rubber Semarang.

Komponen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	BJ	L.O.I
%berat	63,01	9,27	5,19	0,05	6,31	0,88	15,35

Berdasarkan karakteristik tersebut menunjukkan bahwa kandungan utama abu layang PT. Mega Rubber adalah SiO₂ dan Al₂O₃. Jumlah komponen (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) sudah memenuhi syarat mutu pozolan menurut ASTM C 618 - 96 sebagai mineral admixture (Anonim, 1995), yaitu lebih dari 70 %. Data hilang pijar "(loss of ignition" = L.O.I) menunjukkan harga yang melebihi persyaratan ASTM C 618 - 96, yaitu 15,35, jauh lebih besar dari yang dipersyaratkan, yaitu maksimum 10 %. Hal ini menunjukkan bahwa abu layang PT Mega Rubber mengandung C yang cukup besar. Akibat kadar C yang masih tinggi adalah mengurangi reaktivitas abu dan selanjutnya akan menurunkan kuat tekan.

2. Pengaruh Komposisi campuran Abu Layang/Semen terhadap Kuat Tekan

Untuk mempelajari pengaruh komposisi campuran, jumlah air yang digunakan pada pembuatan benda uji diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh campuran yang dapat dicetak. Uji kuat tekan dilakukan setelah masa perawatan "(curing)" 28 hari. Hasil pengukuran kuat tekan rata-rata benda uji batako tanpa pasir dan dengan penambahan 600 gram pasir untuk campuran 100 gram (abu layang + semen) dari berbagai rasio campuran abu layang/semen disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Hubungan rasio abu layang/semen dengan kuat tekan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh (Gambar 1) menunjukkan bahwa pada campuran abu/semen 1 : 4 mempunyai kuat tekan paling besar (305,32 kg/cm²) dan pada perbandingan 1 : 1 mempunyai kuat tekan paling rendah (76,87 kg/cm²). Kuat tekan benda uji batako berkurang dengan bertambahnya jumlah abu yang digunakan. Berkurangnya kuat tekan benda uji dengan bertambahnya abu layang yang digunakan disebabkan karena sifat abu layang yang kurang reaktif dari pada semen portland. Namun demikian kuat tekan benda uji batako dapat bertambah dengan perawatan benda uji yang lebih lama.

Gambar 1 juga menunjukkan kuat tekan batako yang dibuat dengan menggunakan perbandingan (abu layang + semen) : pasir = 1 : 6. Kuat tekan benda uji, dengan kandungan pasir 600 gram untuk setiap campuran 100 gram abu layang dan semen, lebih rendah bila dibandingkan dengan

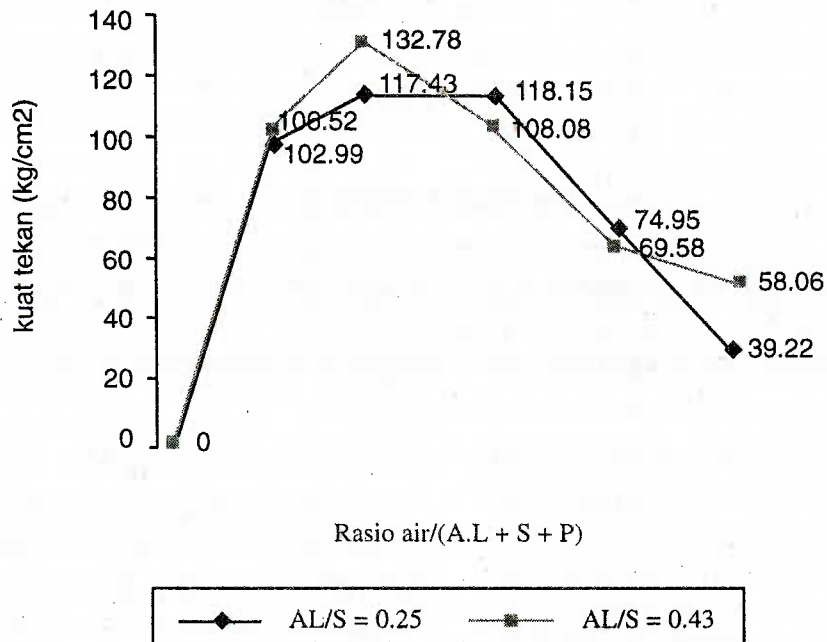
campuran abu layang dan semen tanpa ditambah pasir untuk semua rasio abu layang/semen dan cenderung berkurang dengan bertambahnya rasio abu layang/semen. Campuran semen-pasir 100/600 gram mempunyai kuat tekan tertinggi, yaitu 173,33 kg/cm². Pada rasio abu layang/semen = 0,25 kuat tekan dengan campuran pasir, kuat tekan batako mencapai 118,5 kg/cm² dan pada rasio abu layang/semen = 0,5 atau 1 : 1, kuat tekan minimum, yaitu 48,37 kg/cm². Jika kuat tekan batako yang dipersyaratkan lebih besar 100 kg/cm², maka campuran abu layang/semen 20 : 80 atau 30 : 70 dapat digunakan untuk pembuatan batako dengan menambahkan pasir 600 gram.

3. Pengaruh rasio berat air/ (abu layang + semen + pasir) terhadap kuat tekan

Pengaruh rasio berat air/(abu layang + semen + pasir) yang dipelajari, dikenakan pada rasio abu layang/semen 20 : 80 atau 0,25

dan 30 : 70 atau 0,43, dengan menggunakan pasir 600 gram. Hasil pengukuran kuat tekan disajikan pada gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 tersebut dapat dinyatakan bahwa kuat tekan batako bertambah dengan bertambahnya rasio berat air/(abu layang + semen + pasir), mencapai maksimum pada titik tertentu dan kemudian kuat tekan berkurang dengan bertambahnya rasio air/(abu layang + semen + pasir). Kuat tekan maksimum dicapai pada rasio berat air/(abu layang + semen + pasir) 0,10 untuk rasio abu layang/semen = 0,43 dan antara 0,10 - 0,15 untuk rasio abu layang/semen = 0,25.



Gambar 2 Hubungan rasio berat air/(abu layang + semen + pasir) terhadap kuat tekan

Hal ini menunjukkan bahwa campuran batako dengan rasio abu layang/semen yang tinggi mempunyai sifat kemudahan pengerjaan yang lebih baik dari pada yang rasionya rendah. Kecenderungan ini sesuai dengan sifat pozzolan yang dimiliki abu layang batu bara.

4. Pengaruh Penambahan Kapur terhadap Kuat Tekan

Penambahan kapur bangunan dalam campuran benda uji akan meningkatkan kandungan CaO dalam campuran bahan,

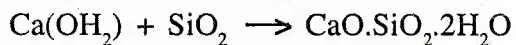
sehingga dapat meningkatkan kuat tekan benda uji. Untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur terhadap kuat tekan, maka batako dibuat dengan komposisi campuran jenis abu tetap abu layang 30 g, semen 70 g dan pasir 600 g, dan jumlah kapur yang ditambahkan sebesar 10 - 60 % dari abu yang digunakan. Jumlah air disesuaikan sehingga campuran dapat dicetak. Hasil pengukuran kuat tekan benda uji batako yang diperoleh disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Hubungan penambahan kapur pada campuran dengan kuat tekan

Kode sampel	Abu layang	Semen	Pasir	Kapur	Kuat tekan
R	30	70	600	3	95,61
S	30	70	600	6	89,13
T	30	70	600	12	66,11
U	30	70	600	18	64,94

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan kapur pada campuran bahan (abu layang, semen dan pasir) cenderung menurunkan kuat tekan pada penambahan 10 %; 20 %; 40 % dan 60 dari total abu yang digunakan. Kecenderungan ini dapat dijelaskan dengan karena adanya pembentukan kalsium silikat hidrat sebagai hasil reaksi antara abu layang dan CaO yang ada dalam kapur bangunan yang tidak optimal. Pada penelitian ini menggunakan campuran abu layang : semen = 30 : 70. Jumlah abu layang jauh lebih sedikit dari pada semen.

Dalam *Report of Second Fly Ash Mission of Netherland* tahun 1989 dijelaskan bahwa rekasi utama yang terjadi antara abu layang dan kapur berlangsung sebagai berikut (Herry, 1994) :



Bila abu layangnya terlalu sedikit maka SiO₂ yang dibutuhkan untuk bereaksi belum mencukupi, sehingga tidak terbentuk kalsium silikat hidrat, tetapi justru terdapat Ca(OH)₂ bebas yang tersisa. Akibatnya akan menyebabkan terjadinya retakan-retakan dalam padatan yang dihasilkan dan kuat tekan batako menjadi berkurang. Pada rasio abu layang/semen yang cukup besar penambahan kapur pada batas tertentu dapat meningkatkan kuat tekan benda uji batako.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan uraian-uraian sebelumnya maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Abu layang batu bara Industri Ban PT Mega Rubber Semarang mengandung beberapa oksida utama : SiO₂ 63,01 %, Al₂O₃ 9,27 %, Fe₂O₃ 6,31, CaO 5,19, MgO 0,05, B.J 0,88 dan L.O.I = 15,35
2. Perbandingan berat abu layang/semen mempengaruhi kuat tekan batako yang dihasilkan. Kuat tekan batako makin berkurang dengan bertambahnya jumlah abu layang Mega Rubber dalam campuran. Kuat tekan batako pada rasio abu layang/semen 20 : 80 dan 30 : 70 dengan menggunakan pasir 600 gram masing-masing adalah 118,15 dan 108,08 kg/cm².
3. Perbandingan berat air/(abu layang + semen + pasir) mempengaruhi kuat tekan (kualitas) batako yang dihasilkan. Kuat tekan batako bertambah dengan bertambahnya rasio berat air/(abu layang + semen + pasir), mencapai maksimum pada titik tertentu dan kemudian berangsur-angsur turun. Kuat tekan maksimum dicapai pada rasio berat air (abu layang + semen + pasir) 0,10 untuk rasio abu layang/semen = 30 : 70, (0,43) dan antara 0,10 - 0,15 untuk rasio abu layang/semen = 20 : 80, (0,25).

4. Penambahan kapur pada campuran bahan (abu layang, semen, dan pasir) dalam kisaran penelitian ini cenderung mengurangi meningkatkan kuat tekan batako.

Saran

Berdasarkan kesimpulan dan pembahasan sebelumnya maka dapat disarankan bahwa abu layang batu bara industri ban dapat digunakan sebagai bahan campuran pembuatan batako dalam jumlah 25 - 30 % dari jumlah semen yang digunakan. Untuk meningkatkan kualitas batako perlu digunakan alat pengepres mekanik yang dapat dikendalikan dalam pembuatan batako.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1989, Report of the Second Fly Ash Mission of the Netherlands, Visiting India During September 1989, Chapter 3 : The Lime-Fly Ash Brick Process, Ministry of Housing, Physical Planning and Environmental, Netherlands.
- , 1995, Teknologi dan Pembuatan Semen, Makalah Seminar Sehari Teknologi Semen dan Aplikasinya, Kerjasama P.T Semen Padang (Persero) dengan Kanwil Departemen Pekerjaan Umum Propinsi Jawa Tengah, Semarang, September 1995
- , 1997, Research in Chemical Technology and Materials Science, Delft University of Technology Netherlands
- Arief B. dan Yateman A., 1999, Kajian Fosfatasi Abu Terbang Batbara sebagai Material Penukar Anion, Prosiding Seminar Nasional Kimia V, 8 - 9 Maret 1999, FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Bolch W.E., 1980, Solid Waste and Trace Elements Impact, in AES Green Led, Coal burning Issue, Univ. Press of Colorado, Gainesville, 12 : 231
- Chaerudin D., 1995 Pemanfaatan Limbah Abu Terbang PLTU Suralaya Untuk Campuran Beton, Energi dan Listrik Vol 3 : 37 - 46
- EPA, 1988, Wastes from the Combustion of Coal by Electric Utility Poer Plant, US Environt Prot. Agency EPA/530-DW-002
- Fajril, 1996, Sintesis Zeolit-4A dari Abu Layang, Tesis S-2 Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada
- Herry P., 1993, Abu Terbang dan Pemanfaatannya, Makalah Seminar Nasional Batu Bara Indonesia, 7-8 September 1993, UGM Yogyakarta
- , 1994, Pembuatan Bata dari Abu terbang PLTU Suralaya, Teknologi Indonesia Jilid XVII No 2, LIPI Bandung
- Hassley R.K., Reasoner J.W., dan Riley J.T., 1986, Coal Science, John Wiley and Sons, New York, 81-87
- Jumaeri, 1995, Studi Tentang Pemanfaatan Abu Layang Sebagai Adsorben Zat Warna Dalam Larutan Air, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- , 1998, Pengaruh Penambahan CaO Terhadap Kualitas Fiksasi Logam Berat Oleh Abu Layang Batu Bara,

- Laporan Penelitian DPPM, FMIPA
IKIP Semarang
- Maulbetch J.S dan Murakka I.P., 1983, Coal
Fired Power Plant Waste Manage-
ment, Environmental and Solid
Waste, 25-52
- Nasrul A. dan Utama D., 1995, Penelitian
Pergunaan Abu Terabang Batu
Bara Untuk Bendungan RCC, Energi
dan Listrik vol. 3, 19 - 34, Jakarta
- Russel C.J, 1976, Construction Materials,
Standard Handbook for Civil Engi-
neers, second edition, Editor :
Frederick S Merrit, McGraw-Hill
Book Company, New York
- Taslimah, 1996. Sintesis Zeolit - P dari Abu
Layang batubara, Makalah Ilmiah
Seminar PPSM, Jakarta 1996
- Wilby, C.B. Structural Concrete,
Butterworths, London, 10 - 15