

KOMPONEN KIMIA DAN FISIK ABU SEKAM PADI SEBAGAI SCM UNTUK PEMBUATAN KOMPOSIT SEMEN

Chemical and Physical Component of Rice Husk Ash as SCM for Cement Composite Manufacture

Bakri

ABSTRACT

This research aimed to determine chemical and physical component of rice husk ash as supplementing cement material to manufacture cement composite products. Charcoal of rice husk ash obtained by burning rice husk conventionally in kiln drum and burned again in furnace 1400 Barnsted Thermolyne Type at temperature 600° C for 2 hours. Analysis of chemical and physical component refer to SNI 15-2049-2004. Major chemical compound of rice husk ash was 72.28 % of silica and 21.43 of LOI. Density of rice husk ash was 760 kg/m³.

Key words: *SCM, rice husk ash, chemical and physical component, cement composite.*

PENDAHULUAN

Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50 % selulosa, 25 – 30 % lignin, dan 15 – 20 % silika (Ismail and Waliuddin, 1996). Sekam padi saat ini telah dikembangkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan abu yang dikenal di dunia sebagai RHA (*rice husk ash*). Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada suhu 400° – 500° C akan menjadi silika amorphous dan pada suhu lebih besar dari 1.000° C akan menjadi silika kristalin.

Silika amorphous yang dihasilkan dari abu sekam padi diduga sebagai sumber penting untuk menghasilkan silikon murni, karbid silikon, dan tepung nitrid silikon (Katsuki *et al.*, 2005). Konversi sekam padi menjadi abu silika setelah mengalami proses karbonisasi juga merupakan sumber pozzolan potensial sebagai SCM (*Supplementary Cementitious Material*). Abu sekam padi memiliki aktivitas pozzolanic yang sangat tinggi sehingga lebih unggul dari SCM lainnya seperti *fly ash*, *slag*, dan *silica fume*.

Beberapa hasil ikutan industri dan pertanian seperti *slag*, *fly ash*, dan *rice husk ash* (abu sekam padi) ternyata merupakan polutan potensial yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi atau bahan tambahan semen. Penggunaan bahan pengganti sebagian semen (SCM) melalui komposisi campuran yang inovatif akan mengurangi jumlah semen yang digunakan

sehingga secara ekologis dapat mengurangi emisi gas-gas rumah kaca dan penggunaan konsumsi energi fosil bumi pada industri semen. Pembakaran sekam padi dengan menggunakan metode konvensional seperti *fluidised bed combustors* menghasilkan emisi CO antara 200 – 2000 mg/Nm³ dan emisi NO_x antara 200 – 300 mg/Nm³ (Armesto *et al.*, 2002). Metode pembakaran sekam padi yang dikembangkan oleh COGEN-AIT mampu mengurangi potensi emisi CO₂ sebesar 14.762 ton, CH₄ sebesar 74 ton, dan NO₂ sebesar 0,16 ton pertahun dari pembakaran sekam padi sebesar 34.919 ton pertahun (Mathias, 2000).

Penggunaan abu sekam padi dengan kombinasi campuran yang sesuai pada semen akan menghasilkan semen yang lebih baik (Singh *et al.*, 2002). Abu sekam padi telah digunakan sebagai bahan pozzolan reaktif yang sangat tinggi untuk meningkatkan mikrostruktur pada daerah transisi interfase antara pasta semen dan agregat beton yang memiliki kekuatan tinggi. Penggunaan abu sekam padi pada komposit semen dapat memberikan beberapa keuntungan seperti meningkatkan kekuatan dan ketahanan, mengurangi biaya bahan, mengurangi dampak lingkungan limbah bahan, dan mengurangi emisi karbon dioksida (Bui *et al.*, 2005).

Penggantian sebagian semen oleh abu sekam padi sebesar 40 % dalam pembuatan mortar dapat menghasilkan kekuatan yang baik dan ketahanan terhadap sulfat sehingga akan mengurangi semen yang digunakan, mengurangi emisi gas rumah

kaca, dan meningkatkan masa pakai mortar (Chindaprasirt *et al.*, 2007). Walaupun Sarawasthy and Song (2007) menyarankan penggunaan abu sekam padi sebesar 25 % untuk membuat komposit semen tetapi penggunaan abu sekam padi sampai 30 % sebagai pengganti sebagian semen masih dapat mengurangi penetrasi klorida, mengurangi permeabilitas, meningkatkan kekuatan, dan meningkatkan sifat anti karat komposit semen.

Chindaprasirt and Rukzon (2008) menemukan bahwa mortar yang menggunakan RHA lebih tahan terhadap penetrasi klorida dibandingkan mortar yang menggunakan *palm oil fuel ash* dan *fly ash*. Penggunaan abu sekam padi sebagai SCM pada jembatan, bangunan dermaga, dan bangunan pembangkit tenaga nuklir akan memiliki kekuatan tinggi dan permeabilitas rendah karena abu sekam padi dapat meningkatkan reaksi pozzolan untuk pembentukan kalsium silikat hidrat (Dakroury and Gasser, 2008).

Penggunaan 10 % abu sekam padi dapat meningkatkan kekuatan tekan *concrete* yang menggunakan agregat pasir setelah 28 hari *curing period* sebesar 99,45 MPa dan kekuatan tarik pisah sebesar 7 MPa (Silva *et al.*, 2008). Pembuatan *sandcrete block* yang dilakukan oleh Oyetola and Abdullahi (2006) menunjukkan bahwa penggantian optimum oleh abu sekam padi pada semen adalah 20 % untuk menghasilkan kekuatan tekan sebesar 36,5 MPa setelah 28 hari *curing period*. Penggantian 20 % abu sekam padi pada semen untuk mortar yang menggunakan agregat pasir menghasilkan kekuatan tekan mortar sebesar 54 MPa setelah 28 hari *curing period* (Chindaprasirt *et al.*, 2007). Hasil-hasil penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen efektif menaikkan kekuatan tekan komposit semen pada rasio abu sekam padi terhadap semen (abu sekam padi/semen + abu sekam padi) sebesar 20 % pada agregat batuan tidak reaktif. DTI (2003) menjelaskan bahwa penggunaan abu sekam padi/semen sampai 35 % masih dapat dilakukan untuk mencapai kekuatan tekan maksimum sedangkan penggunaan abu sekam padi/semen + abu sekam padi sebesar 50 % masih cukup efektif tetapi kekuatan komposit semen akan berkurang setelah 28 hari *curing period*. Ganesan *et al.* (2008) mengemukakan bahwa penggantian semen sebesar 30 % oleh abu sekam padi tidak

menghasilkan efek menurun pada kekuatan mortar.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian terdiri atas sekam padi, air suling, dan beberapa reaktan. Instrumen penelitian terdiri atas gelas ukur, tabung reaksi, timbangan digital, thermometer, hygrometer, *furnace* tipe 1400 Barnsted Thermolyne, caliper, baskom, ember, kantong plastik, dandang aluminium, drum pembakaran, ayakan, blender, tanur, dan komputer. Penelitian dilaksanakan pada Oktober – Nopember 2008 di Laboratorium Ilmu Kayu dan Diversifikasi Produk Hasil Hutan Universitas Hasanuddin.

Sekam padi yang telah disiapkan dicuci dengan air untuk memisahkan kotoran yang melekat dan dikeringkan selama beberapa hari sampai mencapai keadaan kering udara. Pembakaran sekam padi untuk menghasilkan abu dilakukan menurut metode yang dilakukan oleh Silva *et al.* (2008), Harsono (2002), dan Ganesan *et al.* (2008) dengan melakukan beberapa penyesuaian. Sekam padi dibakar dalam drum pada suhu $\pm 300^{\circ}$ C selama 60 menit untuk mendapatkan arang sekam padi. Arang sekam padi kemudian didinginkan selama 24 jam kemudian dibakar pada *furnace* tipe 1400 Barnsted Thermolyne pada suhu 600° C selama 2 jam. Abu sekam padi yang berasal dari pembakaran *furnace* kemudian didinginkan selama 24 jam dan kemudian digiling dalam blender selama 2 menit. Abu sekam padi kemudian diayak pada ayakan 325 mesh dan disimpan dalam kantong plastik yang tertutup sebelum dianalisis. Analisis fisik dan kimia bahan dilakukan dengan mengadopsi SNI 15-2049-2004 (BSN, 2004)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen kimia dan fisik abu sekam padi yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Komponen kimia yang paling dominan terkandung pada abu sekam padi yang dihasilkan yaitu SiO_2 sebesar 72,28 % dan senyawa hilang pijar sebesar 21,43 %.. Sedangkan persentase kandungan senyawa CaO , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 , tergolong sangat rendah yaitu masing-masing sebesar 0,65 %, 0,37 %, dan 0,32 %.

Table 1. Chemical and Physical Components of Rice Husk Ash

Chemicals		Physics	
SiO ₂ (% berat)	72,28		
Al ₂ O ₃ (% berat)	0,37	Kerapatan gembur	= 760 kg/m ³
Fe ₂ O ₃ (% berat)	0,32	Lolos ayakan 45 μm	= 75 %
CaO (% berat)	0,65	Tidak lolos ayakan 45 μm	= 25 %
Hilang pijar (% berat)	21,43		

Perhitungan pembentukan tipe mineral atau fasa senyawa abu sekam padi pada Tabel 2 menunjukkan bahwa abu sekam padi yang dibuat tidak memiliki fasa senyawa alite (C₃S) dan balite (C₂S) sedangkan aluminat (C₃A), dan ferrite (C₄AF) sangat rendah yaitu masing-masing sebesar 0,44 % dan 0,98 %. Karena abu sekam padi tidak memiliki fasa senyawa C₃S dan C₂S maka abu sekam padi tidak dapat digolongkan sebagai matriks dalam pengertian semen. Namun demikian karena abu sekam padi memiliki kandungan SiO₂ yang tinggi maka abu sekam padi dapat dijadikan sebagai pengganti sebagian matriks semen.

Matriks semen hidrolik jika bereaksi dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) primer dan kalsium hidroksida (CH). Pembentukan CSH dan CH dalam proses hidrasi dikendalikan oleh hidrasi C₃S dan C₂S dalam semen. Hidrasi C₃S dan C₂S menghasilkan CSH dan CH yang berbeda. Jumlah CH yang dihasilkan dari proses hidrasi C₃S 3 kali lebih banyak dari C₂S. CH yang terbentuk pada proses hidrasi berbentuk hexagonal dan menempati 20 – 25 % volume pasta semen, tetapi tidak memberikan kontribusi kekuatan pada semen. Sedangkan CSH

merupakan gel kaku yang tersusun oleh partikel-partikel sangat kecil dengan susunan lapisan yang cenderung membentuk formasi agregat yang akan memberikan kekuatan pada semen.

Penggantian sebagian semen oleh abu sekam padi akan menghasilkan reaksi antara CH dan silika abu sekam padi yang menyebabkan terbentuknya CSH sekunder. Jumlah CSH sekunder yang terbentuk tergantung pada proporsi antara silika yang dikandung oleh abu sekam padi dan CH yang dihasilkan dari reaksi C₃S atau C₂S dan air. Persentase silika yang dikandung oleh abu sekam padi yang dibuat dalam penelitian ini sebesar 72, 28 % lebih kecil dari persentase silika abu sekam padi yang dibuat pada skala industri. Persentase silika abu sekam padi yang dibuat pada skala industri umumnya di atas 90 %. Penelitian yang dilakukan oleh Gastaldini *et al.* (2007), Silva *et al.* (2008), Chindaprasirt *et al.* (2007), dan Oyetola and Abdullahi (2006) menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi yang memiliki kandungan silika di atas 85 % sebagai pengganti sebagian semen sampai sebesar 30 % dapat meningkatkan kekuatan komposit semen yang dibuat.

Table 2. Content Percentage of C₃S, C₂S, C₃A, and C₄AF of Rice Husk Ash*)

Common Notation	Chemical Formula	Mineral Name	Calculation of Content Percentage	Value of Content (%)
1. C ₃ S	3CaO.SiO ₂	Alite	$(4,071 \times \% \text{CaO}) - (7,600 \times \% \text{SiO}_2) - (6,718 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,430 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3) - (2,852 \times \% \text{SO}_3)$	nilai persentase negatif
2. C ₂ S	2CaO.SiO ₂	Balite	$(2,867 \times \% \text{SiO}_2) - (0,7544 \times \% \text{C}_3\text{S})$	nilai persentase negatif
3. C ₃ A	3CaO.Al ₂ O ₃	Aluminate	$(2,650 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3) - (1,692 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$	0,44
4. C ₄ AF	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	Ferrite	$(3,043 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3)$	0,98

*) Catatan : perhitungan ini berdasarkan rasio Al₂O₃ : Fe₂O₃ > 0,64 sesuai SNI 15-2049-2004

Reaksi abu sekam padi dengan CH mengakibatkan jumlah CH akan berkurang, CSH bertambah, dan permeabilitas berkurang (Chatveera and Lertwattanaruk, 2008). Pembentukan CSH sekunder yang semakin banyak dari reaksi abu sekam padi dan CH akan mengurangi jumlah senyawa CH sehingga menambah ketahanan pasta semen terhadap serangan kimia dari luar. Jumlah CH yang berkurang dapat menurunkan alkalinitas pasta semen sehingga mengurangi reaksi senyawa asam atau basa. Senyawa asam atau basa dapat bereaksi dengan CH yang dapat merusak atau melunakkan CSH. Jika permeabilitas pasta semen tinggi maka air dan senyawa luar lainnya akan mudah masuk ke dalam pasta semen. Pembentukan CSH sekunder dapat mengurangi permeabilitas pasta semen sehingga menghalangi masuknya zat cair ke dalam pasta semen.

Senyawa hilang pijar abu sekam padi yang dibuat sebesar 21,43 % dapat dijadikan petunjuk bahwa jumlah karbon terikat pada abu sekam padi cukup besar. Karbon terikat ini merupakan unsur karbon dari senyawa biomassa sekam padi yang tidak menguap pada saat pembakaran. Persentase jumlah karbon terikat yang besar ini akan mengurangi persentase kandungan silika pada abu sekam padi. Penggunaan abu sekam padi dengan kandungan karbon yang banyak sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan komposit semen akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik komposit semen. Beberapa penelitian telah dilakukan pada penggunaan karbon bergeometri nanotube yang ditemukan pada tahun 1991 untuk meningkatkan kekuatan komposit semen tetapi dalam jumlah yang sangat kecil yaitu kurang dari 1 % berat semen. Penggunaan karbon nanotube sebesar 0,5 % berat semen dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 25 % dan kuat patah sebesar 19 % (Li *et al.*, 2005). Yu and Kwon (2009) menggunakan karbon nanotube sebesar 0,1 % dari berat semen tetapi tidak menunjukkan peningkatan kekuatan mekanis yang berarti pada komposit semen. Walaupun Yu and Kwon (2009) menyarankan untuk menggunakan karbon nanotube pada persentase yang lebih tinggi tetapi sebelumnya Makar and Beaudoin (2003) telah mengemukakan bahwa penggunaan karbon nanotube pada persentase 2 – 10 % belum tentu dapat menghasilkan sifat mekanis yang baik. Kandungan senyawa hilang pijar yang cukup besar pada abu sekam padi dapat menyebabkan

berkurangnya reaktifitas silika terhadap CH pada proses hidrasi.

Keadaan fisik abu sekam padi pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kerapatan gembur abu sekam padi tergolong sedang yaitu sebesar 760 kg/m³. Kerapatan gembur merupakan kerapatan partikel butiran suatu bahan pada volume tertentu yang dipadatkan tetapi masih memiliki rongga di antara partikel-partikel butiran. Nilai kerapatan ini dipengaruhi oleh kerapatan senyawa kimia yang dominan terdapat pada bahan tersebut dan volume rongga yang terdapat pada volume bahan tertentu. Tabel 1 menunjukkan bahwa senyawa kimia dominan pada abu sekam padi yaitu SiO₂ tergolong memiliki kerapatan padat sedang. Walaupun kalsium oksida (CaO) memiliki kerapatan padat tinggi tetapi senyawa ini memiliki persentase sangat sedikit pada abu sekam padi. Kerapatan padat SiO₂ adalah sebesar 2.641 kg/m³ dan kerapatan padat CaO adalah sebesar 3.341 kg/m³ (Balonis and Glasser, 2009).

Kerapatan abu sekam padi sebesar 760 kg/m³ jauh lebih rendah dibandingkan dengan kerapatan semen Portland tipe I yaitu sebesar 1.250 kg/m³. Semakin banyak jumlah persentase abu sekam padi yang digunakan untuk mengganti semen maka jumlah semen semakin berkurang sehingga kerapatan matriks secara keseluruhan akan lebih rendah dari kerapatan semen. Komposit semen yang dibuat dengan menggunakan abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen akan mengurangi kerapatan komposit semen namun dapat meningkatkan kekuatan komposit semen.

Hasil penyaringan dengan menggunakan ayakan berukuran 45 µm atau 325 mesh menunjukkan bahwa persentase lolos ayakan abu sekam padi adalah 75 %. Walaupun beberapa hasil analisis menunjukkan bahwa ukuran butiran partikel abu sekam padi lebih kecil dari semen namun pada Tabel 1 menunjukkan bahwa jumlah butiran partikel yang memiliki ukuran lebih besar dari 45 µm atau tidak lolos ayakan 45 µm cukup banyak terdapat pada abu sekam padi yaitu sebesar 25 %. Hal ini disebabkan karena abu sekam padi yang dibuat masih mengandung karbon terikat dalam jumlah yang cukup besar dalam senyawa hilang pijar berbentuk partikel arang halus.

Abu sekam padi yang memiliki ukuran butiran partikel yang tidak lolos ayakan 45 µm akan memiliki bentuk yang tidak teratur dan porositas internalnya sangat tinggi. Penggilingan abu hasil-pertanian menjadi partikel yang halus akan

memecah struktur internal partikel abu sekam padi sehingga bentuk partikelnya menjadi lebih teratur dan porositas internalnya bisa berkurang. Jika sebagian besar senyawa abu sekam padi (di atas 90 %) terdiri atas silika (SiO_2) maka persentase lolos ayakan ukuran 45 μm akan menjadi lebih tinggi.

Partikel abu sekam padi yang sangat halus memiliki arti penting dalam proses hidrasi semen. Laju hidrasi akan meningkat dengan berkurangnya ukuran partikel sehingga dapat meningkatkan kekuatan pasta semen (Dermibas, 2004). Selain itu abu sekam padi yang memiliki ukuran partikel lebih kecil dari semen dapat berfungsi sebagai mikrofiller untuk meningkatkan kerapatan komposit semen (Nehdi, 2004). Abu sekam padi yang memiliki luas permukaan spesifik silika amorf 40 – 60 m^2/g akan bereaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan adanya air dan membentuk CSH pada suhu 40° C (Yu *et al.*, 1999). Abu sekam padi yang memiliki ukuran partikel yang sangat rendah yaitu kurang dari 11 μm merupakan bahan yang sangat reaktif dan dapat digunakan untuk menghasilkan beton yang memiliki kekuatan tekan sebesar 85 MPa setelah 28 hari *curing periode* pada abu sekam padi/semen + abu sekam padi sebesar 30 % (Sata *et al.*, 2007). Pengaruh abu sekam padi terhadap berbagai parameter yang berhubungan *rheology* seperti viskositas, plastisitas, dan elastisitas tergantung dari distribusi ukuran partikel, luas permukaan spesifik, bentuk dan sifat permukaan abu sekam padi. Abu sekam padi ditemukan sebagai bahan yang paling sesuai sifat *rheology*nya yaitu memiliki viskositas plastis yang sedang dan menghasilkan tegangan yang rendah (Laskar and Talukdar, 2008).

KESIMPULAN

1. Persentase silika abu sekam padi yang dihasilkan dalam penelitian ini yaitu sebesar 72,28 % lebih rendah dari yang dihasilkan pada skala industri yaitu di atas 90 %.
2. Kerapatan gembur abu sekam padi sebesar 760 kg/m^3 akan menghasilkan kerapatan komposit semen yang lebih rendah.
3. Walaupun abu sekam padi tidak dapat digolongkan sebagai matriks semen karena tidak mengandung C3S dan C2S tetapi dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen untuk menghasilkan CSH sekunder dalam pembuatan komposit semen.

SARAN

Pembakaran arang sekam padi pada suhu 600 °C selama 3 sampai 4 jam di *furnace* tipe 1400 Barnsted perlu dicoba untuk mendapatkan persentase silika abu sekam padi di atas 90 %. Metode pengarangkan sekam padi dalam drum perlu dimodifikasi untuk mendapatkan pengaturan distribusi panas yang seragam selama proses pengarangkan sekam padi.

DAFTAR PUSTAKA

- Armesto, L., Bahillo, A., Veijonen, K. Cabanillas, A., and Otero, J. 2002. Combustion Behaviour of Rice Husk in a Bubbling Fluidised Bed. *Biomass and Bioenergy*. 23: 171 – 179.
- Balonis, M. and Glasser, F.P. 2009. *The Density of Cement Phases*. Department of Chemistry, University of Aberdeen. Aberdeen, Scotland, UK.
- BSN. 2004. *Semen Portland Komposit*. SNI 15-7064-2004. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Bui, D. D., Hu, J. and Stroeven, P. 2005. Particle Size Effect on the Strength of Rice Husk Ash Blended Gap-Graded Portland Cement Concrete. *Cement & Concrete Composites*. 27: 357–366.
- Chatveera, B. and Lertwattanaruk, P. 2008. Evaluation of Sulfate Resistance of Cement Mortars Containing Black Rice Husk Ash. *Journal of Environmental Management*. 30: 1-7
- Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., Sathonsaowaphak, A., and Cao, H.T. 2007. Sulfate Resistance of Blended Cements Containing Fly Ash and Rice Husk Ash. *Construction and Building Materials Journal*. 21: 1356 – 1361.
- Chindaprasirt, P. and Rukzon, S. 2008. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Construction and Building Materials*. 22: 1601–1606.
- Dakrouy, A. El. and Gasser, M. S. 2008. Rice Husk Ash (RHA) as Cement Admixture for Immobilization of Liquid Radioactive Waste at Different Temperatures. *Journal of Nuclear Materials*. 381: 271– 277.
- Demirbas, A. 2004. A discussion of the paper "Performance of Rice Husk Ash Produced Using a New Technology as a Mineral Admixture in Concrete". *Cement and Concrete Research*. 34: 1269.

- DTI. 2003. *Rice Husk Ash Market Study*. DTI/Pub URN 03/668. United Kingdom: Brozeoak Ltd (Contractor).
- Ganesan, K., Rajagopal, K., and Thangavel, K. 2008. Rice husk ash blended cement: Assessment of Optimal Level of Replacement for Strength and Permeability Properties of Concrete. *Construction and Building Materials*. 22 (8): 1675 – 1683.
- Gastaldini, A. L. G., Isaja, G. C., Gomes, N. S., and Sperb, J. E. K. 2007. Chloride Penetration and Carbonation in Concrete with Rice Husk Ash and Chemical Activators. *Cement & Concrete Composites*. 29: 176 – 180.
- Harsono, H. 2002. Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Sekam Padi. *Jurnal Ilmu Dasar*. 3 (2): 98 -103.
- Ismail, M. S. and Waliuddin, A. M. 1996. Effect of Rice Husk Ash on High Strength Concrete. *Construction and Building Materials*. 10 (1): 521 – 526
- Katsuki, H., Furuta, S., Watari, T. and Komarneni, S. 2005. ZSM-5 zeolite/porous carbon composite: Conventional- and Microwave-Hydrothermal Synthesis from Carbonized Rice Husk. *Microporous and Mesoporous Materials*. 86: 145 –151.
- Laskar, A. I. and Talukdar, S. 2008. Rheological Behavior of High Performance Concrete with Mineral Admixtures and Their Blending. *Construction and Building Materials*. 22: 2345 – 2354..
- Li, G. Y., Wang, P. M., and Zhao, X. 2005. Mechanical Behavior and Microstructure of Cement Composites Incorporating Surface-treated multi-walled Carbon Nanotubes . *Carbon*. 43: 1239–45
- Makar, J.M. and Beaudoin, J.J. 2003. *Carbon Nanotubes and Their Application in the Construction Industry*. Proceeding of 1st International Symposium on Nanotechnology in Construction, Paisley, Scotland, June 22-25, 2003. pp. 331-341.
- Mathias, A. J. 2000. *Environmental Benefits of Biomass Energy Projects*. Paper Presented at Seminar on Environmental Impact of Developing Biomass Energy Projects for Power Generation/Cogeneration, Bangkok, Thailand, October 24 – 26, 2000
- Nehdi, M. 2004. A reply to the discussion by A. Demirbas of the Paper "Performance of Rice Husk Ash Produced Using a New Technology as a Mineral Admixture in Concrete". *Cement and Concrete Research*. 34:1271–1272.
- Oyetola, E. B. and Abdullahi, M. 2006. The Use of Rice Husk Ash in Low – Cost Sandcrete Block Production. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. 8: 58 – 70.
- Saraswathy, V. and Song, Ha-Won. 2007. Corrosion Performance of Rice Husk Ash Blended Concrete. *Construction and Building Materials*. 21: 1779–1784.
- Sata, V., Jaturapitakkul, C., and Kiattikomol, K. 2007. Influence of Pozzolan from Various by-Product Materials on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. *Construction and Building Materials*. 21: 1589–1598.
- Silva, F. G. da., Liborio, J. B. L., and Helene, P. 2008. Improvement of Physical and Chemical Properties of Concrete with Brazilian Silica Rice Husk (SRH). *Revista Ingeniería de Construcción Journal*. 23 (1): 18 – 25.
- Singh, N. B., Rai, S., and Chaturvedi, S. 2002. Hydration of Composite Cement. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 171-174.
- Yu, Q., Sawayama, K., Sugita, S., Shoya, M. and Isojima, Y. 1999. The Reaction Between Rice Husk Ash and Ca(OH)₂ Solution and The Nature of Its Product. *Cement and Concrete Research*. 29 : 37–43.
- Yu, X. and Kwon, E. 2009. A Carbon Nanotube/Cement Composite with Piezoresistive Properties. *Smart Mater. Struct.* 18 : 055010 (5pp).

Diterima : 30 Oktober 2008

Bakri

Lab. Keteknikan dan Diversifikasi Produk Hasil Hutan
Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245