

KOMPOSIT GEOPOLYMER SERAT KENAF ACAK – FLY ASH – POLYESTER
Bagian 1: Pengaruh Kandungan Serat Terhadap Ketahanan Nyala Api Test Piece**Kuncoro Diharjo¹⁾, M. Masykuri²⁾, Budi Legowo³⁾**1) Jurusan Teknik Mesin FT UNS, 2) Prodi Pendidikan Kimia FKIP UNS,
3) Jurusan Fisika FMIPA UNS
Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta 67126, Email: kuncorodiharjo@uns.ac.id**Abstrak**

Tujuan Penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh kandungan serat terhadap ketahanan nyala api bahan komposit *geopolymer* serat kenaf acak – *fly ash* – *polyester*. Pembuatan komposit dilakukan dengan metoda cetak tekan hidrolis. Perbandingan berat matrik campuran antara *polyester* dengan *fly ash* adalah 40% *fly ash* dan 60% *polyester* (w/w). Variabel utama penelitian ini adalah fraksi volume serat sebesar 20, 30, 40, dan 50% (v/v). Pengujian bakar dilakukan dengan mengacu pada standar JIS K-6911. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kandungan serat alam kenaf menyebabkan komposit mengalami penurunan ketahanan nyala api, penurunan waktu pendingin dan penurunan prosentase massa komposit yang terbakar. Namun sebaliknya, peningkatan kandungan serat kenaf menyebabkan peningkatan *heat release* komposit pada saat pendinginan.

1. Pendahuluan**1.1. Latar Belakang**

Pada abad XXI, perkembangan teknologi komposit sudah bergeser menuju pemanfaatan serat alam sebagai pengganti penguat serat sintesis. Sebagai contoh, sejak tahun 2001 perusahaan mobil terkemuka merek Toyota di Jepang telah memanfaatkan penggunaan serat alam kenaf sebagai bahan penguat komponen panel-panel interior jenis mobil kelas premium ke atas. Suplai bahan baku serat kenaf ke Jepang tersebut dilakukan oleh PT Abadi Barindo Autotech (PT-ABA) yang berlokasi Pasuruan Jawa Timur Indonesia, sedangkan perusahaan pengelola para petani kenaf adalah dan PT-Global Agrotech Nusantara (PT-GAN). Menurut Turyanto (2005), ada 4 propinsi yang memiliki potensi untuk pengembangan budidaya tanaman kenaf yaitu Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Jumlah produksi serat kenaf di dunia mencapai kenaf 970.000 ton/tahun, lebih tinggi dibandingkan dengan serat rosella 250.000 ton/tahun, rami 100.000 ton/tahun dan abaca 70.000 ton/tahun (Eichhorn dkk., 2001). Salah satu faktor pendukung tingginya produksi serat kenaf (*hibiscus cannabinus*) adalah masa tanam yang pendek (4 bulan) dan tahan di lahan-lahan marginal.

Terkait dengan aplikasi panel komposit sebagai panel kabin kendaraan, resiko kemungkinan terjadinya kebakaran kabin harus diperhatikan secara serius dengan mengembangkan panel tahan nyala api, seperti komposit *geopolymer*. Konsep dasar komposit *geopolymer* adalah pencampuran polimer dengan lempung/ batuan alam. Matrik yang digunakan dalam pembuatan komposit geopolimer pada umumnya adalah polimer/ plastik, sedangkan *filler* yang dikompositkan

adalah lempung/ batuan alam yang banyak mengandung oksida silika (SiO_2) dan oksida alumina (Al_2O_3) dalam jumlah besar, serta oksida lainya dalam jumlah kecil. Padahal, bahan silikat dan alumina dalam jumlah besar terkandung di dalam limbah *fly ash* (silikat 52% dan alumina 31%). Jadi, *fly ash* (FA) sangat berpotensi sebagai geomaterial pembentuk komposit *geopolymer*.

Ketersediaan geomaterial didukung oleh kapasitas limbah FA yang berlimbah. Pada tahun 2000, limbah FA tersedia 1,66 juta ton, sedangkan pada tahun 2006 diperkirakan meningkat hingga 2 juta ton. Kh usus untuk limbah FA dari PLTU Suralaya, sejak tahun 2000 hingga tahun 2006, diperkirakan ada akumulasi jumlah FA sebanyak 219.000 ton/tahun. Limbah FA tersebut perlu dimanfaatkan dengan baik untuk menghindari timbulnya masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, perairan dan penurunan kualitas ekosistem (Ardha I.G.N., dalam [www@tekmira.esdm.go.id](http://www.tekmira.esdm.go.id)).

Uraian di atas mencerminkan pentingnya mengkombinasikan pemanfaatan bahan serat kenaf sebagai penguat komposit dengan penambahan limbah FA sebagai bahan anti nyala apinya. Fokus utama penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh kandungan serat terhadap sifat ketahanan nyala api bahan komposit *geopolymer* serat kenaf acak – FA - *polyester*.

1.2. Tinjauan Pustaka

Limbah *fly ash* adalah material yang memiliki sifat tahan suhu tinggi, karena mengandung unsur utama *silikat* dan *alumina*. Kedua unsur ini merupakan bahan yang memiliki sifat *fire resistant* yang sangat bagus. *Federal Aviation Administration* juga telah mengembangkan material komposit FA untuk desain interior pesawat terbang. Selain itu,

komposit FA juga digunakan komponen pembuatan struktur mobil *grand prix* F1, yang membutuhkan ketahanan suhu yang tinggi. Material komposit FA mampu bertahan pada suhu kurang lebih 1000°C (Lyon dkk., 1997).

Diharjo dkk (2007a) menyatakan bahwa FA berpotensi sebagai komponen penguat berbetuk partikel dalam rekayasa bahan komposit geopolimer. Semakin kecil ukuran partikel FA semakin kekuatan dan regangan lentur komposit FA-*polyester*. Pada kandungan 40% FA (w/w), komposit yang diperkuat serbuk FA dengan ukuran butir sekitar 0,1 mm memiliki kekuatan lentur 127,24 MPa dan modulus lentur 4,11 GPa. Kekuatan dan modulus lentur komposit FA-*polyester* meningkat seiring dengan peningkatan kandungan FA. Komposit FA-*polyester* memiliki kekuatan tertinggi pada kandungan 40% FA.

Menurut Mueller dan Krobjilowski (2003), modulus, kekuatan, dan regangan tarik serat kenaf masing-masing adalah 53 GPa, 930 MPa, dan 1,6%. Massa jenis serat kenaf adalah sekitar 1,5 g/cm³. Di sisi lain, proses manufaktur komposit serat alam juga harus memperhatikan kandungan airnya karena serat alam mudah menyerap air dan polimer bersifat anti air. Menurut Diharjo dkk. (2009), kandungan air yang mudah menguap pada serat kenaf kering alami dapat diuapkan dengan pemanasan pada suhu 105 °C selama 4 menit

Pada kandungan fraksi volume serat 23%, komposit serat kenaf acak - *polyester* memiliki kekuatan tarik tertinggi (40,41 MPa) pada kandungan hardener MEKPO 1%. Peningkatan kandungan hardener menyebabkan peningkatan modulus dan menurunkan regangan komposit tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan hardener dapat menguabah sifat komposit menjadi lebih getas (Diharjo dkk, 2007b). Selanjutnya, Diharjo dkk. (2005) mengembangkan penelitian tersebut dengan memvariasi kandungan serat (V_f). Secara berurutan, kekuatan, modulus dan regangan tarik bahan komposit serat kenaf acak - *polyester* pada fraksi volume serat (V_f) 42,39% adalah 59,03 MPa; 8,75 GPa dan 0,728%. Sifat-sifat tarik tersebut masing-masing meningkat 107,8%; 51,91% dan 37,36% terhadap komposit pada $V_f = 13,18\%$.

1.3. Ketahanan Nyala Api

Keuntungan bahan komposit dengan ketahanan nyala api tinggi adalah tingkat kepadatan asapnya rendah, sedangkan kelemahannya adalah terkadang ada bahan komposit yang menghasilkan gas beracun.

Standar NF F16-101, yang diterapkan pada persyaratan kereta api di Prancis, memberikan penilaian pada perlindungan suatu material komposit terhadap ketahanan nyala api dengan mengkombinasikan reaksi untuk api dengan asap dan gas beracun. Saat ini, permintaan masyarakat terhadap keselamatan dari nyala api atau kebakaran sangat tinggi, sehingga banyak digunakan resin *fire retardant dan filler system* (QinetiQ, 2004)

Baru-baru ini, British standard B 6851 telah memperkenalkan konsep dari R-indek, dimana kualifikasi angka tunggal dari resiko gas beracun dihubungkan dengan material komposit untuk digunakan dalam kereta api. R-indek digolongkan sebagai berikut:

- Kategori 1a kereta yang sebagian besar menggunakan lorong, $R < 1,0$
- Kategori 1b kereta menggunakan terowongan, $R < 1,6$:
- Kategori 2 kereta yang berjalan di bawah tanah, $R < 3,6$

R-indek merupakan turunan dari analisa delapan gas, dimana konsentrasi yang kritis telah ditetapkan oleh *National Institute untuk Occupational Safety dan Health Administration* (OSHA) dan dilaporkan pada IDLH (*Immediately Dengerous Life and Health*). Nilai tersebut telah ditinjau kembali dan diteliti lebih lanjut untuk memperkecil ukuran gas emisi. Sebagai catatan, nitrogen oksida buatan 1997 dinyatakan beracun. Padahal, penggunaan campuran nitrogen ini paling tinggi sebagai *fire retardant* pada semua kereta baru di Inggris (Reinforced Plastics Magazine, 2002).

Heat release (HR) adalah kemampuan suatu material untuk melepaskan panas setelah material tersebut terbakar. Prosentase *heat release* dapat diukur dengan rumus:

$$(HR) = \left(1 - \frac{T_1}{T_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan : HR = *Heat Release*

T_1 = Suhu panel setelah api dimatikan

T_0 = Suhu pembakaran

2. Metoda

2.1. Persiapan Bahan

Bahan utama penelitian adalah serat kenaf acak, *unsaturated polyester resin* (UPRs) 157 BQTN EX, *hardener metil etil keton perokside* (MEKPO) dan limbah *fly ash*. Serat kenaf diperoleh dari PT. Karung Goni Rosella Baru – Surabaya, sedangkan *polyester* dan *hardener* MEKPO disupply oleh

PT. Justus Kimia Raya. Bahan limbah *fly ash* diperoleh dari PLTU Paiton, Jawa Timur.

Bahan FA dilakukan pengeringan awal dengan menggunakan oven untuk menghindari penggumpalan ketika dilakukan proses pengayakan (*sieving*). Proses *sieving* dilakukan dengan ukuran mesh 100 (atau ukuran lubang ayakan 0,25 mm). Sebelum dilakukan pencampuran antara FA dengan *polyester*, limbah FA tersebut dioven pada suhu 105 °C selama 4 menit.

Preparasi serat kenaf diawali dengan pencucian menggunakan air bersih dan dilanjutkan pengeringan secara alami hingga kadar air sekitar 10-15% (seimbang lingkungan). Sebelum dicetak sebagai penguat komposit, serat kenaf tersebut dikeringkan di dalam oven untuk menguapkan kandungan air bebas serat.

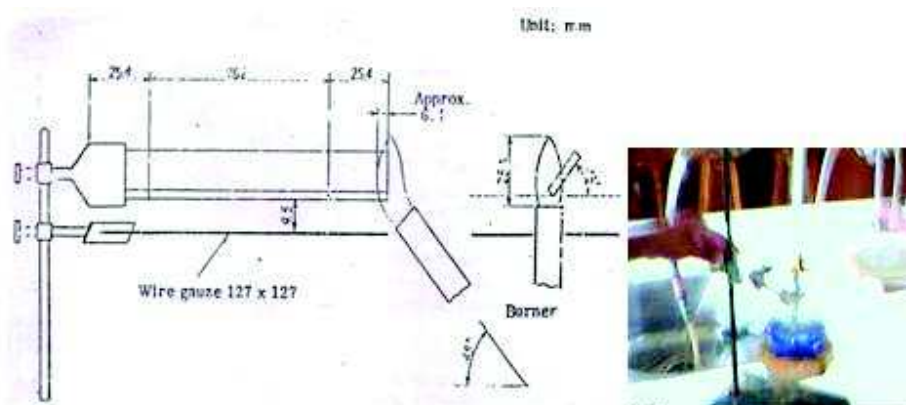
2.2. Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen diawali dengan proses pencampuran dilakukan dengan mencampurkan resin *polyester* dan hardener MEKPO (*methyl ethyl keton peroxide*) dengan kadar 1% (v/v) terlebih dahulu. Selanjutnya, FA dicampurkan ke dalam resin dengan komposisi 40% FA dan 60% *polyester* (w/w). Campuran tersebut diaduk hingga merata. Pembuatan spesimen komposit dilakukan dengan metode cetak tekan hidrolis dengan variasi fraksi volume serat kenaf terhadap campuran FA-*polyester* masing-masing 0, 20, 30, 40 dan 50% (v/v). Spesimen hasil cetakan yang sudah mengeras dilanjutkan dengan pemotongan spesimen dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 20 mm dan tebal 4 mm.

2.3. Pengujian Nyala Api

Pengujian bakar *test piece* dilakukan sesuai dengan standar JIS K-6911 (Gambar 6). Pembakaran dilakukan dengan *bunsen* berdiameter 8,5 - 11,5 mm dengan bahan bakar methanol. Selama dilakukan pembakaran, *bunsen* pembakaran dijepit dengan kemiringan 45° terhadap arah vertikal dan *test piece* dijepit pada posisi horizontal. Nyala api yang terjadi adalah stabil dan berwarna biru dengan ketinggian api 25 mm. Pengujian dilakukan di dalam ruangan agar tidak terpengaruh oleh angin.

Pengujian nyala api panel dilakukan dengan mencatat waktu yang diperlukan agar *test piece* menyala (waktu penyalaan, detik) yang dihitung dengan menggunakan *stopwatch* dimulai saat ujung spesimen ditempelkan pada sumber api. Uji *heat release* dilakukan dengan membakar spesimen selama 120 detik. Selanjutnya, api pembakar dipindahkan sedikitnya berjarak 450 mm *test piece* yang terbakar. Setelah panel menyala selama 120 menit, nyala api spesimen dipadamkan. Suhu spesimen yang diukur adalah suhu saat menyala dan suhu setelah padam dalam waktu kurang dari 10 detik. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan termokopel. Analisis perhitungan *heat release* dilakukan dengan menggunakan persamaan 1. Pada pengujian *heat release* di atas, massa *test piece* sebelum dan sesudah dibakar ditimbang untuk mengetahui pengurangan massanya. Banyaknya massa *test piece* yang hilang (terbakar dan jatuh) menunjukkan massa sampel terbakar (hilang).



Gambar 1. Metode uji nyala api *test piece* (JIS K-6911).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Waktu Penyalaan

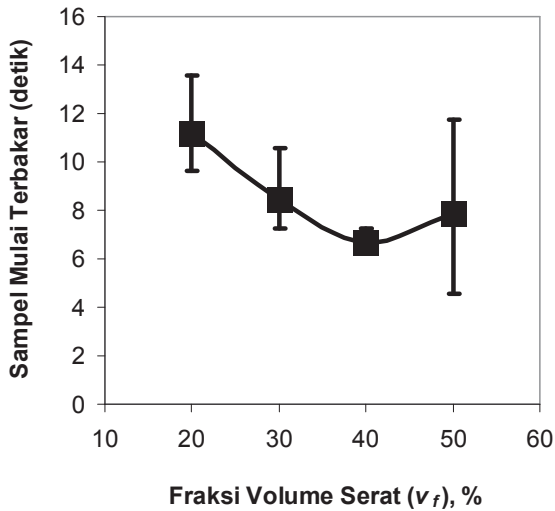
Hasil uji bakar *test piece* bahan komposit *geopolymer* berpenguat serat kenaf menunjukkan bahwa peningkatan kandungan

serat alam kenaf menyebabkan penurunan ketahanan nyala api. Perilaku ini ditunjukkan oleh penurunan waktu penyalaan *test piece* bahan komposit (Gambar 2a dan Gambar 2b). Hal ini disebabkan oleh sifat bahan serat

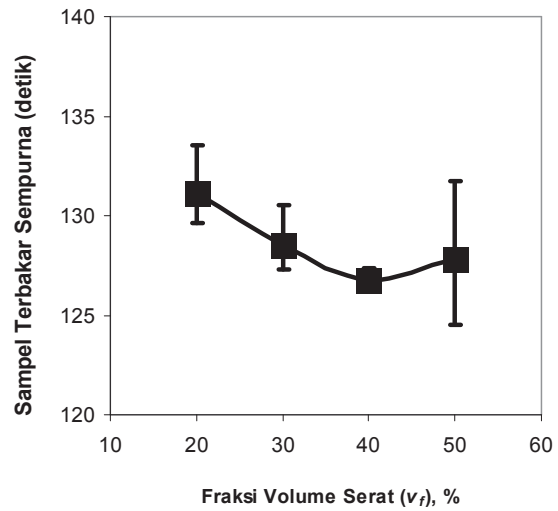
kenaf alam yang mudah terbakar sehingga semakin banyak kandungan serat kenaf maka semakin mudah komposit tersebut terbakar.

Sifat ketahanan nyala api bahan komposit ini bertolak belakang dengan kekuatannya. Oleh karena itu, solusi yang dapat menghasilkan komposit berkekuatan tinggi adalah dengan mendisain menjadi *gradient* komposit; dimana lapisan di bagian

permukaan diprioritaskan pada ketahanan nyala api dengan ketebalan sekitar 1 mm, dan setelah itu penguatan komposit dengan serat kenaf diberikan untuk meningkatkan kemampuan menahan beban. Solusi lain yang dapat dilakukan adalah dengan mendisain komposit hibrid, dimana di sisi luar penguat yang digunakan adalah serat sintesis yang memiliki ketahanan nyala api tinggi.



a. Kurva komposit mulai terbakar.

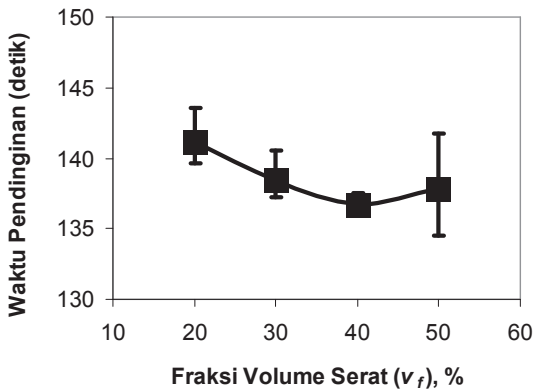


b. Kurva komposit terbakar sempurna.

Gambar 2. Kurva waktu penyalan *test piece* komposit *geopolymer* serat kenaf – FA – polyester.

3.2. Waktu Pendinginan

Peningkatan kandungan serat kenaf juga menurunkan waktu pendinginan sampel sejak api dimatikan (Gambar 3). Hal ini dipandang menguntungkan karena ketika terjadi kebakaran maka panel akan menjadi lebih cepat dingin. Penurunan waktu pendinginan ini dapat disebabkan oleh bahan serat kenaf yang tidak mudah menyerap panas (tidak seperti bahan metal), sehingga panas yang disimpan di dalam serat kenaf juga lebih sedikit.



Gambar 3. Kurva waktu pendinginan *test piece* komposit *geopolymer* serat kenaf – FA – polyester.

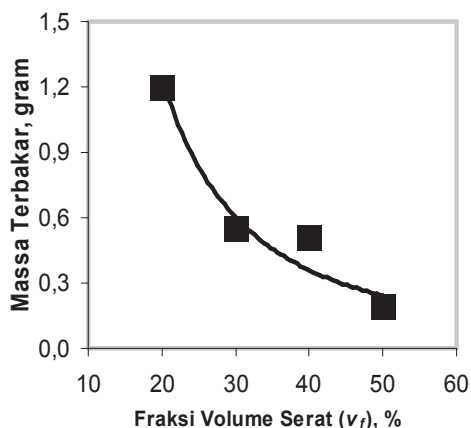
3.3. Massa Test Piece Terbakar

Hasil pengujian bakar bahan komposit menunjukkan bahwa sampel uji mengalami penurunan jumlah massa yang terbakar seiring dengan peningkatan kandungan serat kenaf (Gambar 4). Hal ini sangat menguntungkan karena panel komposit menunjukkan semakin sulit untuk terbakar habis. Hal ini dapat disebabkan oleh peningkatan kandungan serat kenaf yang terikat oleh campuran perekat limbah FA – polyester. Semakin banyaknya serat kenaf menyebabkan semakin sulitnya matrik campuran limbah FA – polyester untuk terbakar. Hal ini juga menjadi penyebab penurunan prosentase massa komposit yang terbakar.

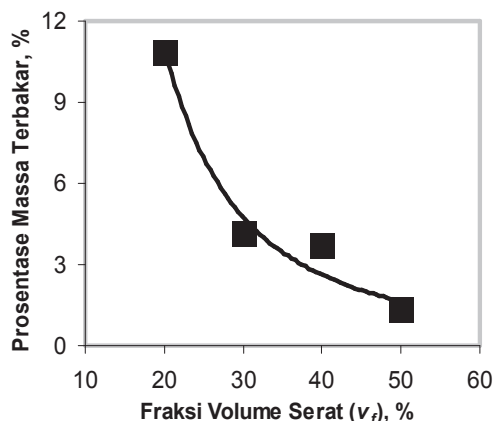
Laju pelepasan panas (*heat release*) bahan komposit menunjukkan peningkatan seiring dengan peningkatan kandungan serat kenaf. Hal ini dipandang sangat menguntungkan karena semakin banyak kandungan serat kenaf maka panel akan menjadi semakin lebih cepat untuk melepas panas (panel menjadi lebih cepat dingin). Hal ini terjadi karena bahan serat kenaf tidak dapat menyerap panas dengan cepat seperti logam sehingga komposit di bagian dalam

diprediksi menjadi jauh lebih dingin. Akibatnya adalah penurunan temperatur sampel menjadi

lebih cepat setelah panas di bagian permukaan dilepas ke udara bebas.



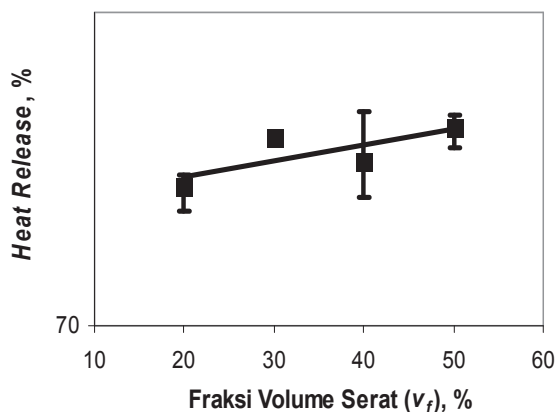
a. Kurva massa terbakar.



b. Kurva prosentase massa terbakar.

Gambar 4. Kurva massa terbakar *test piece* komposit *geopolymer* serat kenaf – FA – polyester.

3.4. Heat Release



Gambar 5. Kurva *heat release test piece* komposit *geopolymer* serat kenaf – FA – polyester.

4. Kesimpulan

Peningkatan kandungan serat alam kenaf menyebabkan *test piece* komposit mengalami (1) penurunan ketahanan nyala api, (2) penurunan waktu pendingin dan (3) penurunan prosentase massa komposit yang terbakar. Namun sebaliknya, peningkatan kandungan serat kenaf menyebabkan peningkatan *heat release* komposit pada saat pendinginan.

5. Ucapan Terima Kasih

Tim Peneliti mengucapkan terima kasih kepada **DP2M-Dikti** yang telah memberikan pendanaan kegiatan penelitian ini melalui **Skim Penelitian Hibah Bersaing Penghargaan** Tahun 2008.

6. Daftar Pustaka

- Ardha I.G.N., "Pemanfaatan Abu Terbang PLTU Suralaya untuk Castable Refractory", Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Web Master; <http://www.tekmira.esdm.go.id>.
- Diharjo K., Jamasri, Soekrisno dan Rochardjo H. S. B., 2009. "Kajian Sifat Fisis, Mekanis dan Akustik Komposit sandwich Serat Kenaf Bermatrik Polyester Dengan Core Kayu Sengon Laut", Laporan Disertasi, Program Doktor Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta
- Diharjo K., Jamasri dan Firdaus F., 2007. "Effect of Particulate Size of Fly Ash and Fly Ash Weight Fraction to Flexural Properties of Fly Ash-Polyester Composite", Proceeding of International Conference of Chemical Science (ICCS) 2007, ISSN 1410-8313, Chemistry Dept., UGM-USM, 24-25 Mei 2007.
- Diharjo K., Jamasri, Soekrisno dan Rochardjo H. S. B., 2007b. "Effect of Hardener Content on The Tensile Properties of The kenaf-Polyester Composite", Jurnal Ilmiah POROS-Terakreditasi B, ISSN 1410-6841, Vol. 10 No. 1, Teknik Mesin FT Universitas Tarumanagara, Jakarta
- Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005, Tensile Properties of Random Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite, National Seminar Proceeding of Development Research and Technology in Materials and Process, Center of Inter University,

- Gajah Mada University, Yogyakarta, Indonesia.
- Eichhorn S.J., Zafeiropoulos C.A.B.N., Ansel L.Y.M.M.P., Entwistle K.M., Escamilla P.J.H.F.G.C., Groom L., Hill M.H.C., Rials T.G., dan Wild P.M., 2001. "Review Current International Research into Cellulosic Fibres and Composites", *Jurnal of Materials Science*, pp. 2107-2131.
- Lyon, R. E., Balaguru, P. N., Foden, A., Sorathia, U., Davidovits, J. & Davidovics, M., 1997, "Fire Resistant Alumino Silicate Composites", Center for Advanced Infrastructure and Transportation (CAIT), Civil & Environmental Eng., Rutgers, The State University, Piscataway, NJ.
- Mueller D. H. dan Krobjilowski A, 2003. "New Discovery in The Properties of Composites Reinforced With Natural Fiber", *Jurnal of Industrial Textiles*, 33, pp. 111-130.
- QinetiQ, 2004, "Macro-Scale Multi Component Material in Fire", Warrington Fire Research/QinetiQ Proprietary, British.
- Reinforced Plastics Magazine, 2002, "Fire-Safe composite for mass transit vehicles", *Reinforced Plastics Magazine*, Vol 46.
- Turyanto, 2005. "Kenaf Alternatif Penghasil Pulp Yang Belum Dilirik", *Enterprise Portal, Bisnis Indonesia*, 13 Sept. 2005, dalam www.bisnis.com