

ADUKAN EKO MORTAR BANGUNAN MENGGUNAKAN ADITIF *DISPERSAN* NATRIUM LIGNOSULFONAT DARI LIMBAH INDUSTRI PULP KERTAS ATAU LINDI HITAM

UTILIZATION OF NATRIUM LIGNOSULFONATE FROM BLACK LIQUOR AS DISPERSANT ADDITIVE FOR ECO-MORTAR MIXTURE

Sri Mudiastuti^{1)*}, Suryono Suryokusumo²⁾, Gustini Syahbirin³⁾, Yuyun Yumairoh³⁾

¹⁾Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga P.O.Box 220, Bogor, Jawa Barat
Email : tutiaris@yahoo.com

²⁾Departemen Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor

³⁾Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

Lignin of lignosulfonate was made by a waste product of pulp and paper industry which can be used as a water reducer in a mortar mixture which consisted of 338 grams of water, 1050 grams of stone granule, 520 grams cement and 0.3 percent of natrium lignosulfonate. The mechanical characteristics of this mortar substances can influence such as diameter of flow, flexural strength, compressive strength, and setting time of cement paste. Lignosulfonate shows its function as dispersant on cement hydration for 3 days as it was analyzed by x-ray diffractometer. Research result showed that flow of fresh mortar rise with increase of concentration (from weight of cement) of synthetic natrium lignosulfonate (NaLS). It showed that mortar homogeneity also increased. The result of flexural strength and compressive strength tests using synthetic NaLS of 0.1-0.3% from weight of cement showed that addition of synthetic NaLS of 0.2% was the best result as shown it had the highest of flexural strenght and compressive strength values. Initial setting time of cement paste increased about 50% with addition of synthetic NaLS 0.2%. Whereas the final setting time decreased about 8%. Cement hydration test showed the increases of hydration product peak, Ca(OH)₂ and calcium silicate hydrate (C-S-H) contents.

Keywords: black liquor, lignosulfonate, mortar, compressive strength, flexural strength

ABSTRAK

Lindi hitam merupakan limbah cair dari proses Kraft pada pembuatan pembuatan pulp. Turunan dari limbah ini dalam bentuk natrium lignosulfonat (NaLS) digunakan sebagai *water reducer* campuran atau *dispersant* pada proses hidrasi dari adukan semen, dengan spesifikasi teknis standar adukan mortar terdiri dari campuran air 338 g, gradasi dimensi butiran batuan 1050 g, semen 520 g dan 0,3 % bahan aditif NaLS. Tujuan penelitian ini adalah memperpanjang pembentukan ikatan kimia dalam pembuatan bahan adukan mortar sebagai dasar pembuatan bahan adukan beton agar, dengan cara tambahkan natrium lignosulfonat (NaLS). Karakteristik teknis adukan mortar yang diuji yaitu diameter alir, kuat lentur, kuat tekan mortar dan waktu ikat semen. Hasil penelitian, analisis menggunakan alat difraktometer sinar X, untuk mortar umur tiga hari, dan jumlah peningkatan pemakaian NaLS sintetik, menunjukkan homogenitas mortar semakin meningkat, ditera dari perubahan uji diameter alir semen dan mortar yang sama. Keragaman penambahan konsentrasi NaLS sintetik dari 0,1% sampai 0,3%, ternyata NaLS sintetik 0,2% menunjukkan pengaruh sifat mekanis terbaik untuk kuat lentur, kuat tekan dan waktu ikatan awal semen meningkat terbesar 50%, serta waktu ikat akhir mengalami perpanjangan waktu sekitar 23%. Hasil chromatografi terjadi peningkatan tertinggi dari proses hidrasi semen ditunjukkan untuk Ca(OH)₂ dan kalsium silikat hidrat (C-S-H).

Kata kunci: natrium lignosulfonat, lindi hitam, mortar, kuat tekan dan kuat lentur

PENDAHULUAN

Pada umumnya di Indonesia, proses pembuatan pulp menggunakan proses *kraft*. Lignosulfonat merupakan turunan lignin yang mengandung gugus sulfonat, yang dapat diisolasi langsung dari lindi hitam melalui proses sulfit dengan cara ultrafiltrasi.

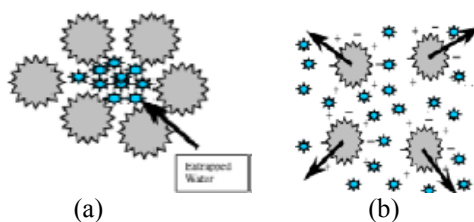
Limbah lindi hitam mengandung lignin, kemudian hasil lignin yang diperoleh disulfonasi dan

menghasilkan lignosulfonat. Gugus sulfonat mensubstitusi gugus fungsi hidroksil atau eter pada atom karbon -C dari rantai samping propana. Sulfonasi ini bertujuan untuk mengubah hidrofilitas lignin yang kurang polar (tidak larut dalam air), dengan mensubstitusi gugus hidroksil dengan gugus sulfonat sehingga hidrofilitasnya meningkat (Syahmani, 2000).

Sesuai kebutuhan masyarakat Indonesia, produksi kertas juga terus meningkat yang diikuti pula dengan limbah lindi hitam yang dihasilkan, sekitar 53 persen dari produksi berkisar 7,2 juta ton per tahun (The, 2008). Limbah cair dari lindi hitam, mengandung senyawa lignin yang tidak larut dalam air dan beberapa macam pelarut. Pada sarana pembuangan lanjutan, limbah ini memberikan dampak lingkungan khususnya pada organisme, maka diusahakan untuk modifikasi lignin menjadi lignosulfonat. Lignosulfonat mengandung grup hidrofilik (gugus sulfonat, fenil hidroksil, dan alkohol hidroksil) dan grup hidrofobik (rantai karbon) sehingga termasuk ke dalam kelompok surfaktan anionik, berfungsi sebagai pendispersi gumpalan ikatan kimia lignin agar dapat mengikat bahan lain, antara lain bahan perekat pada industri keramik serta bahan tambahan pendispersi campuran adukan beton dan mortar (Ouyang *et al.*, 2005 dan Barron, 2008), juga dispersan pada pasta gipsum (Baskoca *et al.*, 1998). Penelitian selanjutnya lignosulfonat, dekstrin dan glukonat mampu untuk meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*) pada adukan beton (Matsushita dan Yasuda, 2004).

Surfaktan anionik dapat menaikkan adsorpsi permukaan dan dispersi partikel. Proses adsorpsi lignosulfonat pada permukaan partikel, menimbulkan muatan negatif pada permukaan partikel sehingga mengakibatkan gaya tolak menolak antar partikel.

Ketika surfaktan ditambahkan pada adukan mortar, partikel surfaktan teradsorpsi dipermukaan partikel semen dan menyebabkan tolakan antar partikel semen yang menghasilkan deflokulasi yang kuat, berakibat distribusi partikel semen homogen di dalam campuran. (Gambar 1a dan b).



Gambar 1. Reaksi semen dan air (a) tanpa pemberian bahan tambah kimia, (b) setelah ditambahkan dengan agen pendispersi.

Jumadurdiyev *et al.* (2004), menyatakan bahwa lignosulfonat telah banyak digunakan sebagai bahan tambahan yang dapat mengurangi penggunaan air dalam teknologi beton dan dapat memperlambat waktu pengerasan. Kedua sifat lignosulfonat ini dapat digunakan mengembangkan waktu pengikatan mortar dengan kemudahan pengerjaan yang baik.

Kamoun *et al.* (2003) memperlihatkan pengaruh lignin tersulfonasi dari rumput *esparto* (SEL), membuat adukan mortar menjadi lebih plastis dengan mengurangi kandungan air dalam adukan campuran mortar. SEL juga menghambat waktu ikat

awal dan akhir semen serta meningkatkan kuat tekan mortar setelah 28 hari.

Jumadurdiyev *et al.* (2004) meneliti pengaruh molase dari limbah pabrik gula untuk lignosulfonat, yang dapat memperlambat waktu pengerasan pasta semen dengan menghambat waktu hidrasi semen. Molase dan lignosulfonat pada dosis 0,2%, jika ditambahkan dalam adukan mortar semen, memperlihatkan perpanjangan waktu pengerasan dan waktu pengikatan bahan adukan, serta meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur pada umur 3,7, dan 28 hari dari pengujian adukan mortar. Grierson *et al.* (2004) telah meneliti lignosulfonat yang digunakan untuk membuat plastisasi dan mengurangi komposisi air dalam campuran beton. Proses pengikatan tersebut, menjadi dasar penelitian dalam pengembangan dan manfaat dari perubahan lignin sebagai hasil dari limbah industri pulp. Hasil ini diaplikasikan menjadi bahan pendispersi bahan adukan mortar.

Tujuan penelitian ini adalah memperpanjang pembentukan ikatan kimia dalam pembuatan bahan adukan mortar sebagai dasar pembuatan bahan adukan beton agar, dengan cara menambahkan natrium lignosulfonat (NaLS). Karakteristik mekanis dari perubahan mortar dengan penambahan lignosulfonat (agen pendispersi) ini dievaluasi dengan pengujian aliran (*flow*), kuat lentur, kuat tekan, waktu ikat awal dan akhir semen, serta hidrasi semen. Pengaruh penambahan natrium lignosulfonat (NaLS) sintetik dan NaLS komersial pada mortar serta perubahan rasio air semen merupakan hasil penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan terdiri dari Semen portland dan pasir lokal di Bogor, aditif NaLS sintetik dari limbah Lindi hitam dan NaLS komersial diperoleh dari PT Fosroc Indonesia dan air jernih kampus IPB.

Alat-alat yang digunakan mixer, ayakan standar JIS, timbangan 25 kg dan 5 kg, labu piknomet, labu *Le Chatelir*, cetakan mortar ukuran $16 \times 4 \times 4$ cm³, alat *vicat*, UTM Shimadzu untuk uji kuat tekan, kuat lentur dan difraktometer sinar X merk Shimadzu.

Metode Analisis Ayak Pasir (ASTM C136-2001)

Metoda dilakukan mengikuti prosedur pengujian ASTM dan JIS dalam Kato (1990). Sampel pasir kering yang telah dicuci, diayak sesuai standar dari ukuran terbesar hingga terkecil. Pengukuran berat massa pasir tertahan disetiap ayakan (ASTM C33-1995), dan diperoleh persentase berat pasir (W) terhadap berat total dari masing-masing ayakan (A). Modulus kehalusan diperoleh dari jumlah persentase total dari masing-masing jumlah akumulasi pasir pada level ayakan, (B), kemudian dibagi seratus.

Bobot jenis relatif pasir (ASTM C128- 2001)

Setelah pasir kering (Bk) dari rendaman air selama 24 ± 4 jam, ditiriskan hingga tercapai berat

permukaan jenuh air (Bs, *Weight of Surface Saturated Dry*). Berat kering dibagi zat cair yang dipindahkan oleh pasir diperoleh berat jenis pasir.

Absorpsi air pada pasir (ASTM C128-2001)

Penyerapan atau perubahan berat pasir kering oven (Bk) pada berat jenuh permukaan air (Bs).

Penentuan Bobot Jenis Semen (ASTM C188-95)

Fluida dalam labu Le-Chatelir menunjukkan perbandingan bobot zat cair yang dipindahkan dan berat semen yang ditambahkan dalam labu, sebagai berat jenis semen.

Penentuan Kekekalan Semen (JIS R5201)

Konsistensi normal semen dan pengaturan adukan pasta, setelah penyimpanan di kelembaban selama 24 jam dan atau perebusan tiga jam. Perubahan keadaan fisiknya menentukan kekekalan semen.

Penentuan Waktu Pengikatan Semen (ASTM C191-2004)

Metoda Vicat digunakan untuk mengukur waktu pengikatan semen. Cincin konik diletakkan di bawah jarum vicat 1 mm selang waktu uji setiap 15 menit. Pengujian pendahuluan dilakukan terhadap pasta semen yang ditambah NaLS sintetik dan NaLS komersial.

$$\text{Waktu ikat awal} = \left(\left(\frac{A-B}{C-D} \right) \times (C-25) \right) + B$$

Keterangan :

- A = waktu ikat di bawah 25 cm
- B = waktu ikat di atas 25 cm
- C = penetrasi pada waktu ikat di atas 25 cm
- D = penetrasi pada waktu ikat di bawah 25 cm.

Uji Alir Mortar (JIS R5201)

Aliran adukan mortar ketika terlepas dari cetakan *slump* disebut pengujian alir mortar. Hasil pengembangan adukan mortar menunjukkan nilai alir mortar rata-rata.

Pembuatan Spesimen Uji Mortar (Kato 1990)

Adukan mortar dengan perbandingan satu bagian pasir semen dan dua bagian pasir dan air dari w/c 0,65 selama 15 menit hingga homogen sebagai kontrol. Dalam pengujian pendahuluan dilakukan penambahan NaLS komersial dan bervariasi selang konsentrasi 0,1 – 0,5% dari berat semen pada mortar. Hasil terbaik dalam uji kuat lentur digunakan untuk menentukan variasi konsentrasi NaLS sintetik.

Hasilnya dibandingkan dengan NaLS komersial, pada konsentrasi yang sama. Adukan dicetak pada mold standar dan disimpan di tempat lembab selama pengujian.

Uji Kuat Lentur dan Kuat Tekan Mortar (Kato 1990)

Pengujian kuat tekan dan lentur mortar dilakukan dengan alat Mihaelis, pada umur 3,7 dan 28 hari. Beban lentur dikonversikan pada beban tekan standart mesin yaitu beban $\times 50 \times 0,234 \text{ kg/cm}^2$.

Analisis Hidrasi Semen Umur 3 Hari dengan Difraktometer Sinar X

Menurut metoda NaLS sintetik 0,2%, hasil tes pendahuluan, yang menunjukkan konsentrasi tebar (Grierson *et al.*, 2004), sebanyak 50 g semen dicampurkan dengan ik dari uji kuat lentur. Selanjutnya dilarutkan dengan 25 ml air deionisasi, diaduk hingga homogen. Proses hidrasi dihentikan setelah 3 hari, sampel dihancurkan menjadi bubuk direndam dengan aseton. Bubuk sampel dianalisa menggunakan *Difraktometer* sinar X pada 40 kV, 20 mA. Analisis ini juga dilakukan pada adukan semen control/tanpa bahan tambahan. Waktu (*in time*) yang digunakan adalah 3, 7, dan 28 hari.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah rancangan percobaan acak lengkap (RAL) satu faktor *in time* dengan dua kali ulangan. Pengujian pendahuluan kuat lentur mortar dilakukan dengan 5 taraf, yaitu penambahan NaLS komersial 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 dan 0,5%. Pengujian inti dilakukan pada faktor kuat tekan dan lentur dengan 7 taraf, yaitu kontrol (0%), menggunakan NaLS sintetik taraf 0,1%, 0,2%, 0,3% serta NaLS komersial 0,1%, 0,2%, 0,3%. Faktor waktu (*in time*) dengan 3 taraf yaitu 3; 7; 28 hari pada semua perlakuan kontrol, NaLS komersial dan sintetik. Respon yang diamati pada kuat lentur mortar, dengan model linier sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan :

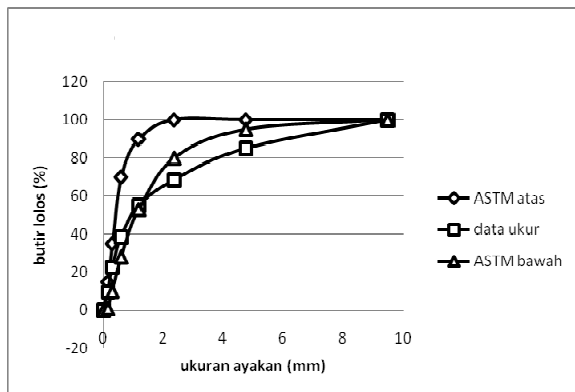
- Y_{ijk} : karakteristik mortar pada faktor jenis sampel ke-i, waktu ke-j, dan ulangan ke-k dengan $i = 1,2,3,4,5,6,7$; $j = 1,2,3$; dan $k = 1,2$
- μ : nilai tengah umum
- α_i : pengaruh jenis sampel ke-i
- β_j : pengaruh waktu ke-j
- $\alpha\beta_{ij}$: pengaruh interaksi jenis sampel dan waktu
- ϵ_{ijk} : galat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

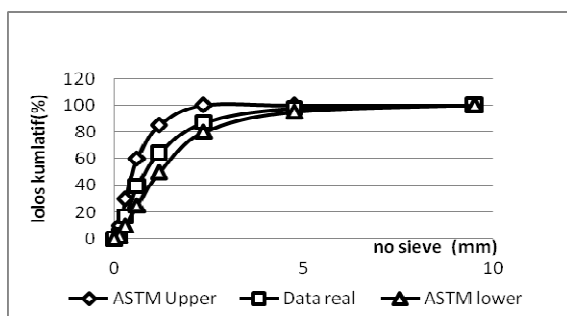
Gradasi isi tumpukan butiran pasir rongga disajikan pada Tabel 1. Hasil analisis ayak pasir Cimangkok menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel yang belum sesuai dengan ketentuan ASTM C33-1995 seperti yang disajikan pada Gambar 2. Hasil analisis gradasi pasir alami dan modifikasi uji laboratorium disajikan pada Gambar 3.

Tabel 1. Gradasi isi tumpukan butiran pasir rongga

p=4	l=4	t=4	1	2				Isi %	Isi %
No	Fraks	R1	CM	CM	Q	D/Q	n	tmpk	Bola
	i								
D1	4,7								
D2	2,36	2,35	2,71	0,36	6,46	0,73	1,21	97,0	97,0
D3	1,18	1,2	1,36	0,18	6,46	0,37	1,28	12,1	14,6
D4	0,6	0,6	0,68	0,09	6,46	0,18	1,35	6,4	2,1
D5	0,3	0,3	0,35	0,05	6,46	0,09	1,42	3,4	0,3
D6	0,15	0,2	0,17	0,02	6,46	0,05	1,49	1,8	0,0
Dn	0,08	0,1	0,09	0,01	6,46	0,02	1,53	0,9	0,0



Gambar 2. Analisis ayak pasir Cimangkok



Gambar 3. Hasil analisis gradasi pasir alami dan modifikasi uji laboratorium

Menurut ASTM dalam Mulyono (2003), Standart Modulus kehalusan (FM) untuk mortar plesteran adalah 3,6 – 4,8 dan adukan beton modulus kehalusan adalah 1,5 – 3,0. JIS dalam Kato 1990, berkisar 3,2 – 4,4. Hasil pengujian modulus kehalusan pasir lebih halus dari ASTM dan JIS maka modifikasi adukan yang dibuat sudah memenuhi standart ASTM, JIS dan SNI. Jadi pengujian ini mengikuti standart nasional dan internasional. Hasil grafik distribusi ukuran partikel pengujian pasir uji ini dapat digunakan sebagai nilai dasar untuk penelitian selanjutnya.

Bobot Jenis Relatif dan Absorpsi Pasir

Menurut JIS, penentuan bobot jenis relatif dari kualitas pasir secara parsial 2,5 – 2,65 g/cm³, Berat jenis dari absorpsi sampel pasir 250 gram, rerata 2,22 g/cm³ dan absorpsi yang terjadi 8,76%.

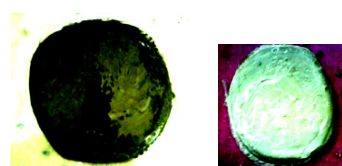
Nilai bobot jenis pasir ini baik untuk membuat bangunan tinggi karena lebih ringan. Nilai adsorpsi standar JIS, yaitu 1 – 5% (Kato, 1990). Bangunan-bangunan didaerah tropis yang panas, penyerapan uap air ini diimbangi dengan intensitas sinar matahari yang besar berkisar 500 – 1000 W/m².

Berat Jenis Semen

Hasil pengukuran berat jenis semen *portland* pada penelitian ini sebesar 3,02 g/ml, lebih kecil jika dibandingkan dengan pustaka yaitu 3,15 g/ml (Kato, 1990). Kelembaban yang tinggi di Bogor, mempengaruhi bukaan zak semen, sehingga menurunkan kualitas semen uji walaupun telah disimpan dalam bak tertutup dan sesuai prosedur.

Kekekalan Semen

Setelah 24 jam, hasil kekekalan adukan semen yang mengeras dinyatakan sebagai kemampuan pengembangan hasil percampuran bahan adukan, dengan maksud mempertahankan pengikatan senyawa dalam volume. Hasil uji ini menunjukkan semen tidak terjadi perubahan volume atau retak, hanya ada pengerutan (*shrinkage*). dipermukaan semen, karena terjadinya penguapan air (Gambar 4).

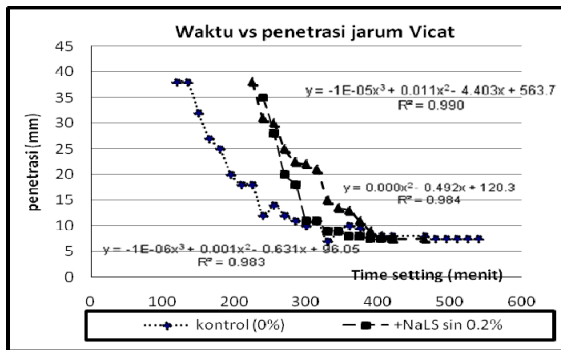


(a) (b)
Gambar 4. Adukan semen (a) sebelum direbus, (b) setelah direbus

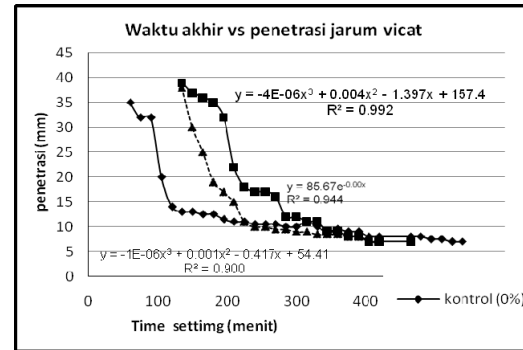
Waktu Pengikatan Semen

Waktu ikat awal dan akhir dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai, berkaitan dengan pengendalian pekerjaan, agar lebih panjang, seperti untuk transportasi, penuangan, pemadatan dan penyelesaian.

Gambar 5a diatas menunjukkan hasil uji waktu ikat semen dipengaruhi penambahan NaLS sintetik 0,2%, ke dalam pasta semen memperlihatkan adanya peningkatan waktu pengikatan awal, yaitu sebesar 50%. Hasil pengujian diperoleh waktu ikat semen



(a). waktu ikat awal



(b). waktu ikat akhir

Gambar 5. Grafik penetrasi semen

Sedangkan waktu ikat akhir mengalami penurunan sekitar 8%. Pemilihan konsentrasi 0,2% diambil dari hasil terbaik pada penentuan kuat lentur. Berdasarkan persamaan garis linier (Gambar 5b) didapatkan prediksi waktu ikat awal berturut-turut terjadi pada 177, 262, dan 264 menit.

Prediksi waktu ikat akhir terjadi pada menit ke 481, 442, dan 404 menit. Peningkatan waktu ikat awal ini menunjukkan bahwa NaLS sintetik dapat bertindak sebagai inhibitor dia reaksi hidrasi semen (Tabel 2).

Tabel 2. Waktu ikat semen pengujian dibanding standar ASTM

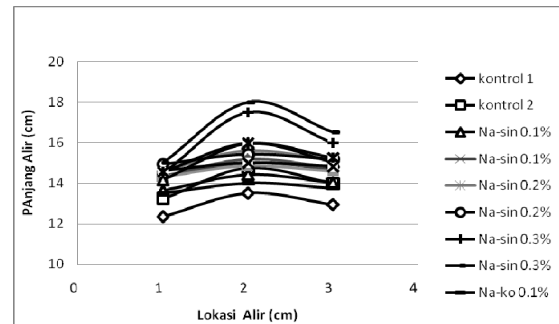
Waktu ikat (menit)	ASTM C 150	Kontrol	NaLS sintetik 0,20%	NaLS komersial 0,20%
Awal	45-375	173	260	275
Akhir	540	525	405	405

Hasil Uji Alir Mortar

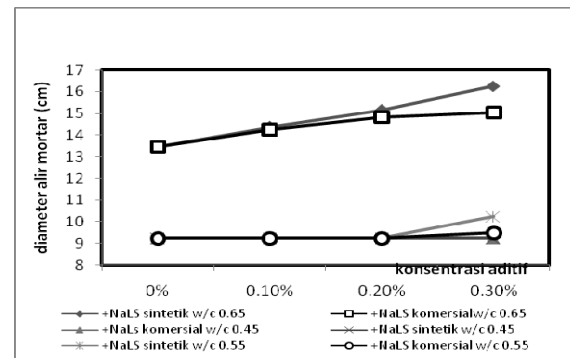
Tujuan pengujian nilai alir mortar adalah melihat pengaruh penambahan NaLS sintetik dan komersial pada keragaman konsentrasi terhadap dispersi mortar. Hasil penelitian ini pada kondisi ratio air semen terendah 0,45, nilai diameter alir mortar tanpa tambahan bahan kimia 13,46 cm, dan NaLS sintesis 0,3% mencapai 18 cm. Hasil uji menunjukkan adukan mortar semakin homogen dan nilai alir adukan dipengaruhi senyawa kimia NaLS, seperti yang disajikan pada Gambar 6 dan 7. Pada ratio air semen yang sama pada adukan, NaLS sintetik menunjukkan diameter alir lebih tinggi dari control dan NaLS komersial. Dispersi dalam adukan mortar yang terjadi semakin tinggi maka pergerakan aliran adukan (pasir, semen dan aditif dalam campuran) lebih menyebar rata.

Bila percampuran pasir, semen, dan air belum mencapai konsistensi dan adukan belum membentuk mortar segar dapat mengakibatkan kesulitan dalam pengerjaannya. Rasio air semen mortar 0,55 dan penambahan NaLS sintetik maupun komersial konsentrasi 0,1 dan 0,2% rerata belum mengalami

perubahan sebesar 10 cm, dan konsentrasi 0,3%, berubah yaitu masing-masing 10,25 cm dan 9,5 cm.



Gambar 6. Hasil w/c = 0,45 dan NaLS sintetik di konsentrasi 0,1%, 0,2%, dan 0,3%



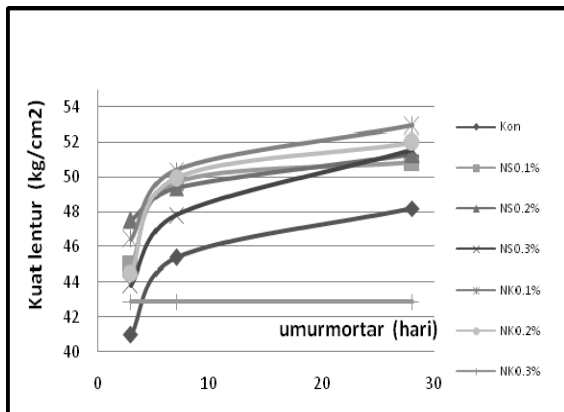
Gambar 7. Hasil diameter aliran adukan pada variasi rasio air semen

Penyebaran merata dalam perletakan pasir dalam adukan atau porositas, menyebabkan kemampuan menerima beban tekan dan beban lentur yang semakin besar. Perbedaan rasio air semen menunjukkan diameter alir yang tidak sama. Hasil rasio air semen 0,45 memperlihatkan perubahan diameter alir dengan nilai 9,25 cm.

Hasil uji pendahuluan kuat lentur mortar

Untuk menghindari biaya pembuatan NaLS sintetik yang mahal maka dilakukan pengujian pendahuluan untuk menentukan konsentrasi terbaik

dengan hasil kuat lentur mortar yang disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kuat lentur terhadap variasi konsentrasi NaLS komersial

Gambar 8 menunjukkan rasio air semen mortar yaitu 0,65 untuk untuk NaLS sintetik 0,1%; 0,2%; 0,3%; dan NaLS komersial 0,1%; 0,2% dan 0,3% dilakukan 2 ulangan (Tabel 3). Pada tahap pengujian pendahuluan menggunakan alat Michaelis, diperoleh kekuatan tekan dan lentur yaitu hasil dikalikan konstanta pada alat. Uji ini bertujuan menetapkan variasi konsentrasi yang akan digunakan pada penambahan NaLS sintetik dalam mortar. Kuat lentur diuji saat mortar berumur 3, 7, dan 28 hari, sesuai sifat masing-masing senyawa dalam semen, yaitu trikalsium aluminat, trikalsium silikat, dan dikalsium silikat.

Tabel 3. Kenaikan pengaruh dispersan NaLS sintesis dan komersial mortar w/c=0,65

Konsentrasi (%)	NaLS sintetik (cm)	Kenaikan (%)	NaLS komersial (cm) awal	Kenaikan (%)
0,1	14,36	6,69	14,26	0,7
0,2	15,15	12,56	14,83	2,16
0,3	16,25	20,73	15,05	7,97

Hasil pengujian berdasarkan uji F pada rancangan percobaan dari data Tabel 4 menunjukkan bahwa interaksi antara perlakuan dan umur mortar memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap respon (kuat lentur) pada taraf nyata 5%. Uji Duncan memperlihatkan bahwa penambahan NaLS komersial 0,2% merupakan konsentrasi yang mempunyai nilai kuat lentur terbesar. Nilai 0,2 % menjadi dasar keragaman konsentrasi NaLS sintetik yang ditambahkan, yaitu 0,1 – 0,3% dari bobot semen sesuai uji pendahuluan tersebut. Kuat lentur meningkat hingga umur mortar 28 hari. Uji Duncan memperlihatkan respon berbeda nyata pada masing-masing umur mortar. Hal ini disebabkan oleh kuantitas produk hidrasi yaitu kandungan kalsium silikat hidrat dalam adukan semen meningkat. Hal ini

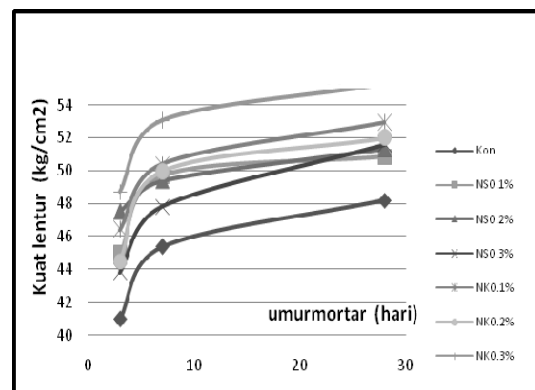
berarti meningkatkan ikatan senyawa tersebut. Pada adukan semen dan pasir terjadi ikatan semakin kuat dan ruang-ruang yang semula kosong jadi terisi air diganti kalsium silikat hidrat maka porositas dalam mortar berkurang, sehingga terjadi pemadatan dan homo-genitas. Pasir seperti ditampilkan pada kekekalan semen memberikan peningkatan kekuatan lentur dan kuat tekan.

Tabel 4. Beda kuat tekan dan lentur pada NaLS sintesis dan NaLS komersial

Kuat Tekan	NaLS-sintesis > 3 hari	7 hari	28 hari	
kg/cm ²	0,1%	14,5	8,5	4,7
	0,2%	17,7	15,8	12,7
	0,3%	12,4	7,2	6,7
Kuat Lentur	NaLS-sintesis > 3 hari	7 hari	28 hari	
kg/cm ²	0,1%	6,3	4,1	-1,5
	0,2%	9	13,9	4,6
	0,3%	2,7	1,2	-1,4

Hasil Uji Kuat Lentur Mortar

Pengujian ini membandingkan pengaruh NaLS sintetik dan komersial terhadap daya dukung mortar, yaitu kuat lentur dan kuat tekan seperti yang terlihat pada Gambar 8. Hasil uji statistik kuat lentur mortar memperlihatkan beda nyata penambahan NaLS sintetik dibandingkan dengan NaLS komersial.



Gambar 9. Kuat lentur mortar pada ragam umur

Gambar 9 memperlihatkan nilai kuat lentur yang semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi NaLS sintetik dan komersial pada keragaman umur.

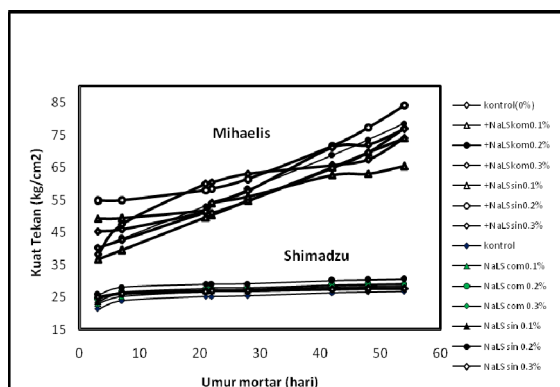
Hasil tertinggi dicapai pada penambahan NaLS 0,2%, tetapi pada penambahan NaLS 0,3%, kuat lentur mortar menurun. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi berlebih yang ditambahkan pada mortar dengan rasio semen air tetap akan mengakibatkan kekuatan mortar menurun. Mortar komersial juga memiliki nilai lebih tinggi dari kontrol pada hari ke 3, 7, dan 28 hari lebih tinggi pada 0,2% (Tabel 4). Hal ini disebabkan kuantitas produk hidrasi, kalsium silikat hidrat yang terkandung dalam pasta semen meningkat.

Meningkatnya senyawa tersebut menyebabkan ikatan yang dihasilkan oleh semen dengan pasir semakin kuat dan ruang-ruang kosong yang awalnya terisi oleh air diganti dengan kalsium silika hidrat sehingga porositas mortar berkurang. Proses tersebut akhirnya memberikan kontribusi utama pada peningkatan kekuatan.

Berdasarkan rancangan percobaan menggunakan program SPSS, uji interaksi antara perlakuan dan umur mortar memberikan pengaruh nyata terhadap respon pada taraf nyata 5% berdasarkan uji F. Uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa pengaruh penambahan NaLS sintetik maupun komersial 0,1; 0,2 dan 0,3% memperlihatkan perbedaan yang nyata terhadap kontrol (0%). Pengujian ini menunjukkan bahwa NaLS sintetik 0,2% merupakan hasil yang terbaik karena mempunyai nilai kuat lentur terbesar. Sehingga dilakukan suatu percobaan pada nilai dasar 0,2%.

Hasil Uji Kuat Tekan Mortar

Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan mortar terbaik pada mortar NaLS sintetik 0,2%, yaitu 54,84, 54,89, dan 61,42 kg/cm² pada umur 3, 7, dan 28 hari, menggunakan alat Michaelis.



Gambar 10. Pengujian kuat tekan mortar dengan alat manual (Michaelis) dan alat modern (Shimadzu)

Nilai kuat tekan mortar NaLS sintetik 0,2% pada umur 3 hari ini lebih tinggi 43,8% dari pada kontrol yang makin meningkat hingga 54 hari. Pengujian NaLS komersial 0,2%, umur 3 hari, menunjukkan 40,24 kg/cm², lebih rendah dibanding kuat tekan mortar NaLS sintetik 0,2%. Hasil NaLS sintetik sangat berbeda dengan NaLS komersial pada kuat tekan dan kuat lentur mortar. Pertambahan umur mortar memperlihatkan peningkatan kekuatan tekan mortar sampai hari ke 28 untuk dua macam alat.

Hasil Analisis Hidrasi Semen Umur Tiga hari dengan Difraktometer Sinar X

Analisis hidrasi semen bertujuan untuk mempelajari proses hidrasi semen pada umur tiga hari

dengan penambahan NaLS sintetik 0,2%. Pemilihan konsentrasi NaLS sintetik 0,2% berdasarkan pengujian kuat lentur yang menunjukkan hasil terbaik. Kajian difraktometer sinar X menunjukkan bahwa intensitas puncak produk hidrasi, yaitu Ca(OH)₂ dan kalsium silikat hidrat (C-S-H) pada pasta semen yang ditambahkan NaLS sintetik 0,2% mengalami peningkatan terhadap pasta semen tanpa bahan tambah kimia (Gambar 11).

Peningkatan intensitas puncak Ca(OH)₂ dan kalsium silikat hidrat sebesar 21,7% dan 8,3%, yaitu dari 230 menjadi 280 cps dan 480 menjadi 520 cps. Ca(OH)₂ merupakan kapur bebas hasil hidrasi senyawa trikalsium silikat dan dikalsium silikat, sedangkan kalsium silikat hidrat juga merupakan produk hidrasi kedua senyawa yang bersifat perekat. Kapur bebas diduga tak banyak berikan kontribusi perkembangan sifat mortar. Puncak difraktogram sinar X pasta semen pada umur 3 hari dibedakan antara pasta semen kontrol dan penambahan natriumlignosulfonat 0,2% (a dan b). Peningkatan puncak Ca(OH)₂ ini mengindikasikan peningkatan reaksi hidrasi senyawa trikalsium silikat.

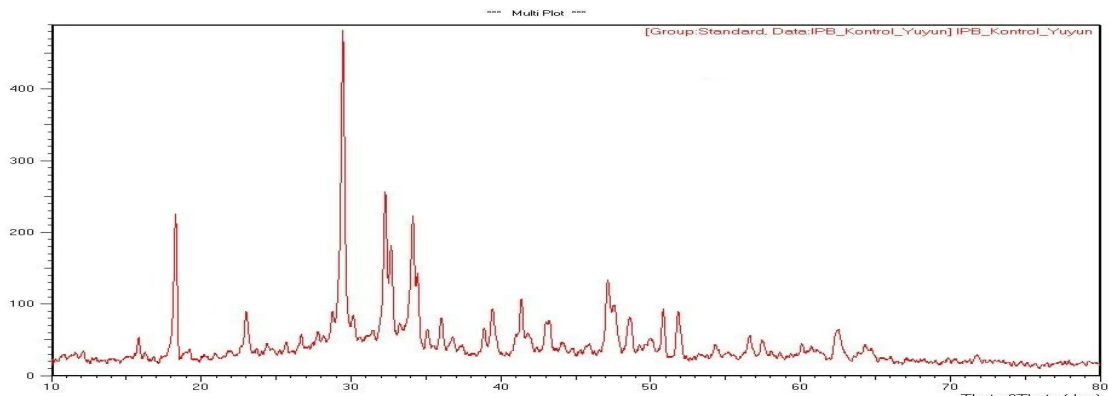
Hal ini memperlihatkan bahwa natrium lignosulfonat bertindak sebagai agen pendispersi. Akibat dari sifat dispersif tersebut maka meningkatkan deflokulasi pada pasta semen sehingga pasta semakin homogen dan jumlah pori dalam struktur mortar akan berkurang. Kemudian dengan meningkatnya deflokulasi, daerah permukaan partikel terdispersi akan semakin meningkat sehingga jumlah Ca(OH)₂ dan kalsium silikat hidrat juga meningkat. Pengaruh dispersi partikel ini secara tidak langsung mempengaruhi kekuatan mortar karena adanya pengurangan struktur pori dalam mortar. Oleh karena itu, nilai kuat lentur dan kuat tekan mortar dengan penambahan NaLS sintetik 0,2% pada hari ke-3 mengalami peningkatan, yaitu sebesar 17,7% dan 43,8%.

KESIMPULAN DAN SARAN

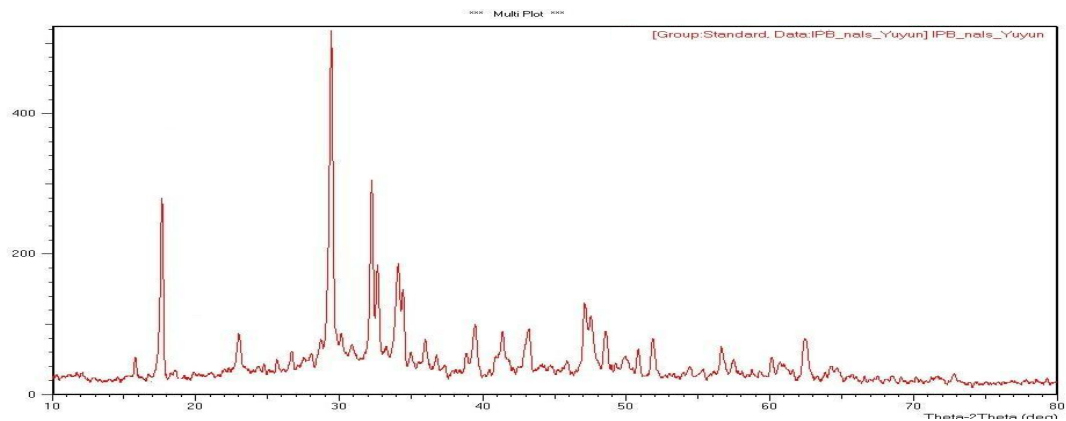
Kesimpulan

Hasil uji pendahuluan kuat lentur mortar menggunakan bahan tambahan NaLS komersial 0,1% sampai dengan 0,5% dari rasio berat semen, memperlihatkan nilai kuat lentur terbesar terjadi pada mortar dengan penambahan NaLS komersial 0,2%.

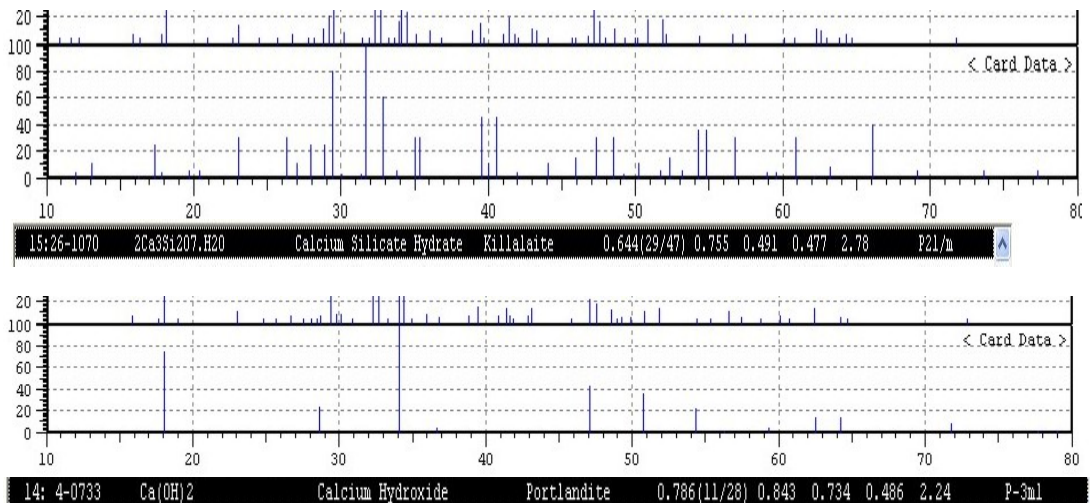
Hasil di atas menjadi penentu pengujian kuat lentur dengan bahan tambah NaLS sintetik menggunakan variasi konsentrasi 0,1 – 0,3%. Uji alir mortar menunjukkan semakin meningkatnya konsentrasi NaLS sintetik maupun komersial, akan meningkatkan daya dispersi mortar. Peningkatan nilai diameter alir pada mortar dan penambahan NaLS sintetik 0,2% sebesar 12,6%.



(a)



(b)



Gambar 11. Difraktogram sinar X (a) adukan semen tanpa bahan tambah kimia, (b) adukan semen dengan penambahan NaLS sintetik 0,2%, (c) adukan / pasta semen dengan penambahan NaLS 0,3% yang dilakukan oleh Grierson *et al.* (2004)

Uji kuat lentur mortar dengan penambahan NaLS sintetik 0,2% pada hari ke 28 memperlihatkan hasil yang terbaik, yaitu sebesar 12,7% terhadap mortar tanpa bahan tambah dan 5% terhadap mortar dengan penambahan NaLS komersial 0,2%, namun NaLS sintetik juga memperlihatkan nilai yang lebih besar pada semua variasi konsentrasi yang

digunakan. Hal tersebut juga diperlihatkan oleh nilai kuat tekan mortar.

Mortar dengan penambahan NaLS sintetik sebesar 0,2% memperlihatkan nilai yang lebih besar yaitu 43,8% daripada mortar tanpa penambahan bahan kimia. NaLS sintetik dapat bertindak sebagai inhibitor reaksi hidrasi awal karena memperlihatkan kenaikan waktu ikat awal pada pasta semen sekitar

50%. Analisis hidrasi semen pada waktu 3 hari memperlihatkan peningkatan kuantitas produk hidrasi, yaitu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan kalsium silikat hidrat, yaitu sebesar 21,7% dan 8,3% sehingga NaLS sintetik bertindak sebagai dispersan dalam pasta semen saat itu.

Penggunaan daur ulang (*reduce*) dari Lindi hitam atau limbah pulp dari hijauan atau tanaman dapat membuat suatu kriteria pemanfaatan limbah. Selain itu juga mengurangi sisa limbah yang terbuang (*reuse*) dari hijauan dan menjadikan lingkungan menjadi bersih.

Saran

Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan terhadap kuat lentur pada beton dan beton bertulang. Hal ini berkaitan dengan perjalanan transportasi pengangkutan bahan adukan dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Perlu dilakukan pengukuran zeta potensial untuk membuktikan terjadinya dispersi partikel pada semen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Ani Suryani, DEA atas bahan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Material. 1995. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement [ASTM C188-1995]. Philadelphia.
- American Society for Testing and Material. 2001. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregates [ASTM- C128-2001]. Philadelphia.
- American Society for Testing dan Material. 2001. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates [ASTM C136-2001]. Philadelphia.
- Barron AR. 2008. Hydration inhibition of portland cement. The Connexions Project. Connexions module. No m16446.
- Baskoca A, Ozkul MH, Artirma S. 1998. Effect of chemical admixtures on workability and strength properties of prolonged agitated concrete. *Cement and Concrete Res* 28: 737-747.
- Collepardi M. 2005. Chemical admixture today. Dalam *Proceedings of Second International Symposium on Concrete Technology for Sustainable-Development with Emphasis on Infrastructure*. Hyderabad, 27 February- 3 March 2005 pp 527-541.
- Fengel D dan Wegener G. 1995. Kayu:Kimia, Ultrastruktur Reaksi-Reaksi. Sastrohamidjojo H, penerjemah. Yogyakarta: UGM Press.
- Ghosh P. 2004. Fibre Science and Technology. New Delhi: McGraw-Hill.
- Grierson LH, Knight JC, Maharaj R. 2004. The Role of Calcium Ions and Lignosulphonate Plasticiser in the Hydration of Cement. *Cement and Concrete Res* 35: 631-636.
- Jumadurdiyev A, Ozkul MH, Saglam AR, Parlak N. 2004. The Utilization of Beet Molasses as a Retarding and Water-reducing Admixture for Concrete. *Cement and Concrete Res* 35:874-882.
- Kamoun A. 2003. Evaluation of the Performance of Sulfonated Esparto Grass Lignin as a Plasticizer-Water Reducer for Cement. *Cement and Concrete Res* 33:995-1003.
- Kato K. 1990. Testing Manual Series Cement, Aggregates, and Concrete. Bogor: JICA – DGHE/IPB Project/ADAET: JTA-9a (132).
- Kenkel J. 2003. Analytical Chemistry for Technicians. London: Lewis Publishers.
- Matsushita Y dan Yasuda S. 2005. Preparation And Evaluation of Lignosulphonates as a Dipersant For Gypsum Paste From Acid Hydrolysis Lignin. *BioresTechnol* 96: 465-470.
- Mulyono T. 2003. Teknologi Beton. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Ouyang X, Qiu X, Chen P. 2006. Physico-Chemical Characterization of Calcium Lignosulfonate. A Potentially Useful Water Reducer. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 283-286: 489-497.
- Fosroc Indonesia. 2005. Fosroc Indonesia - Product Summary of Construction Chemicals Cikarang: Brosur FOSROC.
- Sjöström E. 1995. Kimia Kayu, Dasar-Dasar dan Penggunaan. Ed ke-2. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Syahmani. 2000. Isolasi, Sulfonasi, dan Asetilasi Lignin dari Tandan Kosong Sawit dan Studi Pengaruhnya Terhadap Proses Pelarutan Urea. [Tesis]. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- The I. 2008. *Kertasku dari Hutanku*. <http://www.kabarindonesia.com> [14 Nov 2008].
- Zhang T. 2001. Adsorptive Behavior of Surfactants on Surface of Portland Cement. *Cement and Concrete Res* 31: 1009-1.
- Syahmani. 2000. Isolasi, Sulfonasi, dan Asetilasi Lignin dari Tandan Kosong Sawit dan Studi Pengaruhnya Terhadap Proses Pelarutan Urea. [Tesis]. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- The I. 2008. *Kertasku dari Hutanku*. <http://www.kabarindonesia.com> [14 Nov 2008].
- Zhang T. 2001. Adsorptive Behavior of Surfactants on Surface of Portland Cement. *Cement and Concrete Research* 31: 1009-1.