



UNIVERSITAS INDONESIA

KARAKTERISASI SIFAT MEKANIS KOMPOSIT PARTIKEL SiO_2
DENGAN Matriks RESIN POLYESTER

TESIS

NAMA : KUS HARDOYO

NPM : 0706171535

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
UNIVERSITAS INDONESIA
2008

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

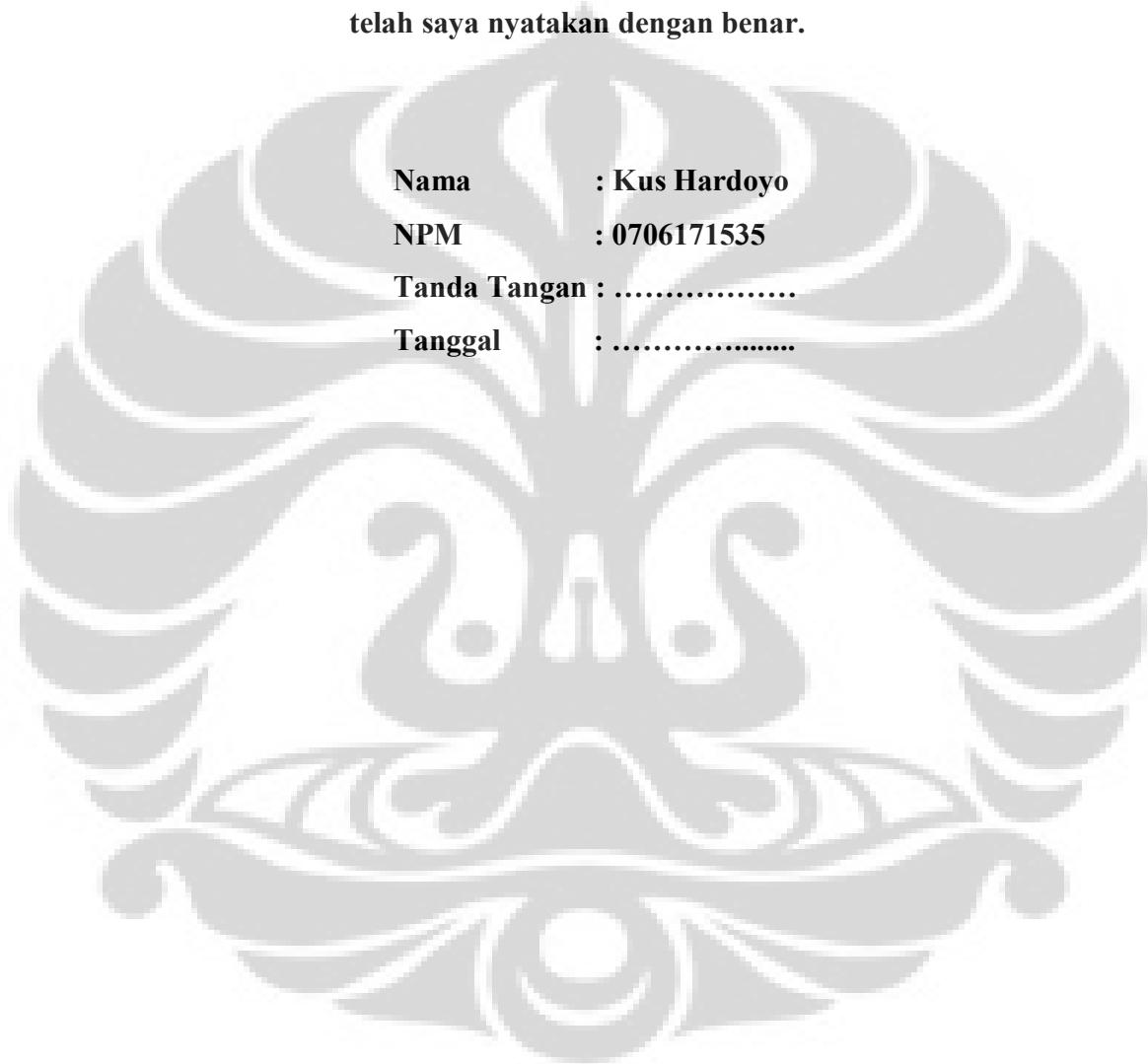
**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Kus Hardoyo

NPM : 0706171535

Tanda Tangan :

Tanggal :



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Kus Hardoyo
NPM : 0706171535
Program Studi : Ilmu Material
Judul Tesis : Karakterisasi Sifat Mekanis Komposit Partikel SiO₂
Dengan Matriks Resin Polyester.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Ilmu Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Bambang Soegijono ()

Penguji : Dr. Azwar Manaf, M.Met. ()

Penguji : Dr. Suhardjo Poetardji ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Dengan segala puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini.

Tesis ini dibuat dalam rangka memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Sains pada Program Studi Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Indonesia.

Saya sangat menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, mulai dari pertama memasuki perkuliahan sampai selesainya tesis ini, semua ini tidak akan terwujud.

Bersama ini saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Bambang Soegijono, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu dan tenaga untuk mengarahkan dan membimbing saya.
2. Bapak Hadi Soetrisno beserta seluruh manajemen dan staff PT. Induro International yang telah memberikan kesempatan dan berbagai fasilitas yang saya perlukan.
3. Keluarga tercinta : istri dan anak-anak saya yang telah memberikan dukungan baik material maupun spiritual.
4. Seluruh sahabat dan berbagai pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu saya.

Semoga Allah SWT, berkenan membalas segala kebaikan dan bantuan yang sudah diberikannya kepada saya.

Saya berharap tesis ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Tangerang, 10 Desember 2008

Kus Hardoyo

ABSTRACT

Name : Kus Hardoyo

Study Program : *Material Sains*

The composite was used as a substitute material, because the composite have weather resistant, chemical corrosion resistant. The composite also have high ratio between tensile strength and weight (high specific strength) if compared with steel.

Composite is combining two or more of materials which have different of mechanical properties to fine better than each of material used.

The strengthen of material usually called as a fiber and the others called as a matrix, it's to distribute of external force.

Volume fractions of particle fiber will effluence to the mechanical properties of composite.

The various form of fibers are Continuous Fiber, Lamina Fiber, Particle Fiber.

Basic concept of this composite made by using polyester resin matrix as a binder material and Silica Sand (SiO₂) to get the good stiffness.

With 50% added Silica by resin weight, the flexural modulus has 34.2% increase for Hand Lay Up process and 39% added Silica by resin weight, the stiffness factor has 112.6% increase for Filament winding process. The above is recommended for underground drain pipe and underground tank which have low internal pressure and high stiffness requirement.

ABSTRAK

Komposit sudah banyak digunakan sebagai material substitusi, karena komposit mempunyai sifat yang tahan terhadap cuaca, tahan terhadap korosi dari cairan kimia tertentu. Komposit juga mempunyai perbandingan strength terhadap berat (*specific strength*) yang tinggi, jika dibandingkan dengan baja.

Komposit merupakan penggabungan dua material atau lebih yang mempunyai sifat mekanik berbeda untuk memperoleh sifat yang lebih baik dari masing-masing penyusunnya.

Material yang lebih kuat biasanya disebut fiber dan yang lainnya sebagai pengikat fiber untuk mendistribusikan gaya yang bekerja.

Berbagai macam bentuk fiber antara lain : Fiber Menerus, Fiber Lapisan dan Fiber Partikel.

Konsep pembuatan komposit ini menggunakan matriks polyester sebagai bahan pengikat fiber berupa partikel SiO₂ untuk mendapatkan sifat kekakuan yang baik.

Sifat mekanik SiO₂ yang lebih kuat dibanding matrik resin polyester dapat meningkatkan kekerasan dan kekakuan (stiffness) .

Pada penambahan 50% Silika dari berat resin diperoleh kenaikan Modulus Lentur sebesar 34.2% untuk proses Hand Lay Up dan pada 39% dari berat resin diperoleh kenaikan Faktor Kekakuan sebesar 112.6% untuk proses Filament Winding. Meskipun demikian untuk kuat tarik pada kedua kondisi diatas mengalami penurunan, sehingga hasil tersebut hanya dapat diaplikasikan untuk tangki atau pipa dengan tekanan rendah, tetapi membutuhkan kekakuan yang tinggi.

Kata kunci:

Komposit, polyester, fiber partikel, partikel silica, kekerasan, kuat tarik, kuat lentur, fraksi volume.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	1
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Manfaat Penelitian	3
I.5 Batasan Penelitian	3
II. KAJIAN LITERATUR.....	4
II.1 Material Komposit	4
II.2 Proses Manufaktur	10
II.3 Fraksi Volume dan Fraksi Berat	12
II.4 Analisa Laminasi Fiberglass.....	13
III. METODE PENELITIAN	16
III.1 Bahan dan Alat	17
III.2 Metode Pembuatan Material Uji	19
III.3 Viskositas dan <i>Hardness</i>	23

III.4 Uji Kuat Tarik Material <i>Hand Lay Up</i>	23
III.5 Uji Kuat Lentur Material <i>Hand Lay Up</i>	24
III.6 Uji Kuat Tarik Material <i>Filament Winding</i>	24
III.7 Uji Eksternal Loading Material <i>Filament Winding</i>	25
IV. DATA DAN HASIL PENGUJIAN	26
IV.1 Viskositas dan <i>Hardness</i>	26
IV.2 Uji Kuat Tarik Material <i>Hand Lay Up</i>	28
IV.3 Uji Kuat Lentur Material <i>Hand Lay Up</i>	32
IV.4 Uji Kuat Tarik Material <i>Filament Winding</i>	34
IV.5 Uji Eksternal Loading Material <i>Filament Winding</i>	35
V. PEMBAHASAN	37
V.1 Analisa Spesimen <i>Hand Lay Up</i>	37
V.2 Analisa Spesimen <i>Filament Winding</i>	39
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	46
VI.1 Kesimpulan	46
VI.2 Saran	48
VII. DAFTAR REFERENSI	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik hubungan kuat tarik resin akrilik dimodifikasi dengan sol SiO ₂ dalam berbagai kadar yang berbeda.....	8
Gambar 2.2	Skema proses produksi dengan modifikasi partikel pada fiberglass.....	8
Gambar 2.3	Efek ukuran partikel pada kuat geser fiber.....	9
Gambar 2.4	Gaya bekerja pada fiberglass yang dimodifikasi coating partikel SiO ₂ , (a) fiber tanpa modifikasi partikel dan (b) fiber dengan modifikasi partikel..	10
Gambar 2.5	Proses Hand Lay Up.....	11
Gambar 2.6	Skema Proses Filament Winding.....	12
Gambar 2.7	Kuat tarik longitudinal laminasi fiber menerus.....	14
Gambar 2.8	Longitudinal tensile laminasi fiber terputus.....	15
Gambar 3.1	Diagram alur yang menjadi acuan kegiatan penelitian.....	16
Gambar 3.2	Material yang digunakan sebagai bahan penelitian a). Resin Polyester, b). Partikel silica mesh #200 dan #325, c). Fiberglass Chopped Strand Mat, d). Fiberglass Continuous Roving Yarn	18
Gambar 3.3	Grafik stress dan strain pada fiberglass dan matriks resin polyester.....	20
Gambar 4.4	Grafik perubahan tensile strength komposit pada kondisi $\epsilon_f > \epsilon_m$	20
Gambar 3.5	Skema Filament winding Single Bath modifikasi Sprayer (Gambar Koleksi Pribadi).....	22
Gambar 3.6	(a) Pengujian viskositas dengan DIN Cup dan (b) Pengujian Hardness dengan Barcol.....	23
Gambar 3.7	Spesimen uji tarik plat komposit.....	23

Gambar 3.8	Spesimen uji lentur plat komposit.....	24
Gambar 3.9	Spesimen uji tarik hoop pipa komposit.....	24
Gambar 3.10	Spesimen uji eksternal loading pipa komposit.....	25
Gambar 4.1	Hasil SEM Partikel Silica a). SiO ₂ Mesh #200 perbesaran 500x dan b). SiO ₂ Mesh #325 perbesaran 500x.....	26
Gambar 4.2	Hubungan antara fraksi berat silika dengan viskositas.....	27
Gambar 4.3	Hubungan antara fraksi berat Silika dengan Hardness pada Casting.....	27
Gambar 4.4	Hubungan antara fraksi berat silika dengan hardness pada Hand Lay Up dan Filament Winding.....	28
Gambar 4.5	Hubungan antara fraksi berat silika dengan kuat tarik pada Hand Lay Up, a). Kuat tarik maksimum tiap-tiap spesimen, dan b). Kuat tarik maksimum rata-rata.....	29
Gambar 4.6	Hubungan antara fraksi berat silika dengan kuat tarik pada regangan 0.2% pada Hand Lay Up, a). Kuat tarik pada regangan 0.2% tiap-tiap spesimen, dan b). Kuat tarik pada regangan 0.2% rata-rata.....	30
Gambar 4.7	Hubungan antara fraksi berat silika dengan modulus tarik Hand Lay Up, a). Modulus tarik tiap-tiap spesimen, dan b). Modulus tarik rata-rata.....	31
Gambar 4.8	Hubungan antara fraksi berat silika dengan kuat lentur pada Hand Lay Up, a). Kuat lentur tiap-tiap specimen, dan b). Kuat lentur rata-rata.....	32
Gambar 4.9	Hubungan antara fraksi berat silika dengan modulus lentur pada Hand Lay Up, a). Modulus Lentur tiap-tiap specimen, dan b). Modulus lentur rata- rata.....	33

Gambar 4.10	Hubungan antara fraksi berat Silika dengan Kuat Tarik pada Filament Winding, a). Kuat Tarik Hoop Pipa tiap-tiap specimen, dan b). Kuat Tarik Hoop Pipa rata-rata.....	34
Gambar 4.11	Hubungan antara fraksi berat Silika dengan Kekakuan Pipa pada Filament Winding, a). Kekakuan Pipa tiap-tiap spesimen, dan b). Kekakuan Pipa rata-rata.....	35
Gambar 4.12	Hubungan antara fraksi berat Silika dengan Faktor Kekakuan pada Filament Winding, a). Faktor kekakuan pipa tiap-tiap spesimen, b). Kekakuan Pipa rata-rata.....	36
Gambar 5.1	Pembuatan komposit dengan mengikuti metode dua bath [11], a). Tangki silika dan resin bath, dan b). kondisi Fiberglass Roving banyak terputus dan kusut.....	41
Gambar 5.2	Pembuatan komposit dengan mengikuti metode satu bath dengan <i>Sprayer</i> Silika, a). Fiberglass roving tidak mudah terputus, b) Aplikasi <i>sprayer</i> silika.....	41
Gambar 5.3	Spesimen hasil uji tarik hoop pipa non silika.....	43
Gambar 5.4	Spesimen hasil uji tarik hoop pipa dengan penambahan silika.....	43
Gambar 5.5	Mekanisme transfer gaya yang mengakibatkan delaminasi pada pipa komposit (koleksi pribadi).....	44
Gambar 5.6	Pipa FW tanpa penambahan partikel silica paska uji <i>eksternal loading</i>	45
Gambar 5.7	Pipa FW dengan penambahan partikel silica paska uji <i>eksternal loading</i>	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat mekanik dari berbagai macam fiber.....	6
Tabel 2.2	Sifat mekanik dari komposit laminate resin polyester dan fiberglass.....	7
Tabel 5.1	Kerusakan pipa komposit pasca uji eksternal Loading.....	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Foto-foto Pengujian SEM, Hardness, Viskositas, Uji Tarik, Uji bending, External Loading.....	50
Lampiran 2.	Tabel hasil pengujian.....	56
Lampiran 3.	Sertifikat Resin Synolac.....	62
Lampiran 4.	Sertifikat Fiberglass Choped Strand Mat.....	63
Lampiran 5.	Sertifikat Fiberglass Filament Winding Roving.....	64
Lampiran 6.	Sertifikat partikel silika mesh #200.....	65
Lampiran 7.	Sertifikat partikel silika mesh #325.....	66
Lampiran 8.	Sertifikat MEKP.....	67
Lampiran 9.	Laporan Hasil Pengujian Uji Tarik Hand Lay Up, Lentur Hand Lay Up, Tarik Hoop Filament Winding, Eksternal Loading Filament Winding....	68

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Persaingan pasar global menuntut dunia industri untuk lebih efisien dalam menghasilkan produk. Efisiensi bisa diperoleh dari berbagai sumber, misalnya : Material / bahan baku, proses / metode produksi, tenaga kerja dan lain-lain. Sedangkan dari biaya produksi yang didalamnya terdapat upah tenaga kerja, selalu mengalami kenaikan setiap tahunnya seperti yang tertuang dalam upah minimum dari pemerintah.

Beberapa kemungkinan yang bisa dikembangkan ke arah efisiensi adalah metode produksi dan pemilihan material. Pemilihan material yang tepat sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi kinerja industri akan menjadi topik yang sangat menarik di dunia ilmu pengetahuan masa mendatang. Dewasa ini dunia industri khususnya infrastruktur, tidak bisa lepas dari material komposit, baik sebagai struktur utama maupun sebagai pendukung.

Komposit merupakan salah satu material yang mempunyai banyak kelebihan antara lain:

1. Tahan terhadap lingkungan yang korosif.
2. Mempunyai rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi.
3. Mudah dibentuk.
4. Proses pembuatan sangat simpel, tidak memerlukan investasi yang mahal.

Dari kelebihan tersebut diatas akhirnya komposit banyak digunakan sebagai bahan pengganti, misalnya pembuatan tangki, pipa-pipa yang biasa digunakan di pabrik-pabrik kimia. Akhir-akhir ini komposit dikembangkan di dunia otomotif (transportasi) dan bahan bangunan.

I.2 Perumusan Masalah

Penggunaan komposit sebagai konstruksi bawah tanah memerlukan perhatian khusus, karena beban eksternal yang bekerja sangat besar yaitu beban tanah, beban air dan lain-lain.

Sifat kaku sangat diperlukan untuk menahan segala beban yang bekerja, sedangkan komposit yang pada umumnya tipis, sehingga memerlukan pengaku (*stiffener*). Pengaku bisa terbuat dari komposit yang sejenis atau material lain, seperti baja, kayu, dan lainnya. Rasio pemakaian partikel fiber ataupun continuous fiber akan berpengaruh terhadap sifat-sifat mekanis dari masing-masing material, sehingga memerlukan batas-batas pemakaian, untuk mencapai hasil yang maksimal.

Pemakaian jumlah partikel fiber yang terlalu tinggi akan mempersulit dalam proses produksi massal, sebaliknya jika terlalu sedikit tidak akan mempengaruhi sifat mekanisnya.

Dari berbagai aspek tersebut diatas, jelaslah bahwa diperlukan suatu formula khusus yang bisa mengakomodasi keperluan terhadap beban internal dan eksternal suatu produk komposit sehingga tercapai suatu desain yang seimbang. Desain seimbang yang dimaksud adalah bahwa, produk komposit mempunyai kekuatan yang proporsional (tidak berlebihan) ketika menerima beban, baik internal maupun eksternal atau kedua-duanya.

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan pengaruh penggunaan partikel silica (SiO_2) dengan beberapa variasi fraksi volume untuk mendapatkan sifat mekanik khususnya sifat kaku yang baik.

Sifat mekanik yang akan diteliti antara lain :

1. Kuat tarik
2. Modulus tarik
3. Kuat lentur
4. Modulus lentur
5. *Hardness*

Dari hasil diatas diharapkan pasir silica bisa dipakai sebagai campuran dalam pembuatan pipa dan tangki bawah tanah (*underground pipe* dan *underground tank*) yang memerlukan kekakuan yang baik. Sehingga dapat menekan biaya, karena partikel silika lebih murah jika dibandingkan Resin dan *Fiberglass*.

Sementara yang sekarang terjadi adalah ketika suatu produk komposit didesain terhadap beban internal akan menghasilkan ketebalan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan perhitungan terhadap beban eksternalnya. Sehingga hasil akhir yang dipakai adalah tebal terhadap desain beban eksternal, dan ini merupakan suatu pemborosan.

I.4 Manfaat Penelitian

Komposit dengan matrik polyester resin, partikel silika, dan *fiberglass* yang mempunyai kekerasan dan kekakuan yang lebih baik, diharapkan dapat digunakan sebagai konstruksi pipa atau tangki bawah tanah yang lebih murah. Sehingga dapat memberikan alternatif untuk menekan harga jual produk komposit tersebut.

I.5 Batasan Penelitian

Pembuatan komposit dengan sistem *Hand Lay Up* dan *Filament Winding* dengan menggunakan resin polyester sebagai matriks dan *fiberglass* sebagai *reinforcement*, kemudian ditambahkan partikel silika dengan ukuran mesh tertentu. Partikel silika tersebut divariasikan dalam beberapa fraksi berat untuk mengetahui pengaruh terhadap sifat mekanisnya.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

II.1 Material Komposit

Komposit merupakan penggabungan dua material atau lebih yang mempunyai sifat mekanik berbeda untuk memperoleh sifat yang lebih baik dari masing-masing penyusunnya. Material yang lebih kuat biasanya disebut fiber yang berfungsi sebagai penguat dan yang lainnya disebut matriks sebagai pengikat fiber untuk mendistribusikan gaya yang bekerja.

Matriks

Matriks pada komposit mempunyai beberapa fungsi antara lain sebagai berikut [2] :

1. Mentransfer tegangan yang bekerja diantara fiber.
2. Sebagai pelindung dari segala pengaruh lingkungan yang korosif.
3. Untuk melindungi permukaan fiber dari pengaruh abrasi.

Matriks dibagi menjadi dua golongan besar yaitu : *Polymeric Matrix* dan *Metal Matrix*.

Polymeric matrix terdiri dari *Thermoplastic* dan *Thermoset Polymer*.

Beberapa macam termoseting resin yang sudah banyak digunakan antara lain [7] :

1. Resin Epoxy

Resin epoxy mempunyai karakteristik yang baik terhadap ketahanan pada bahan kimia, mempunyai kekuatan yang baik, absorpsi kelembaban yang rendah. Epoxy juga banyak dipakai pada produk-produk yang memerlukan performa tinggi, misalnya untuk ketahanan terhadap korosi, solvent, alkali, dan asam. Secara umum resin ini mempunyai viskositas yang tinggi sehingga biasanya dipakai pada suhu cetakan antara 50°C- 100°C.

2. Resin Phenolic

Resin ini merupakan material plastis sintetis asli yang dikembangkan pada *moulding compound* dengan menambahkan berbagai *filler*. Mempunyai cost yang rendah, ketahanan terhadap panas yang baik sampai dengan 150°C.

3. Resin Vinyl ester

Resin vinyl ester merupakan kombinasi yang paling baik antara resin polyester dan resin epoxy, mempunyai kekuatan seperti resin epoxy dan lebih mudah dalam aplikasi, hanya agak mahal. Resin ini ada beberapa varian yaitu : tipe Bisphenol-A dan Novolac yang mempunyai kekuatan dan ketahanan terhadap bahan kimia yang baik sekali, juga tahan terhadap suhu tinggi.

4. Resin Unsaturated Polyester

Resin unsaturated polyester adalah resin yang paling banyak digunakan, dari proses yang paling dasar dan sederhana yaitu Hand Lay Up sampai dengan proses dengan mesin dan cetakan yang kompleks. Unsaturated polyester mempunyai banyak tipe tingkatan, yaitu : orthophthalic, isophthalic, dan vinylester merupakan hasil modifikasi antara polyester dan epoxy.

Fiber

Fiber mempunyai prinsip dasar sebagai *reinforcement* dari komposit. Fiber yang akan mendapat porsi lebih besar dalam menahan beban yang bekerja. Sehingga bahan baku, bentuk, orientasi, dan volume fraksi, sangat mempengaruhi kekuatan komposit yang dibuat.

Fiber yang banyak digunakan di Industri komposit yaitu *fiberglass* dengan berbagai type, diantaranya :

- 1) *A-glass (alkali)* : mempunyai kadar alkali yang tinggi, dengan komposisi kimia mirip kaca jendela.
- 2) *C-glass (chemical)* : sangat tahan terhadap korosi bahan kimia, kebanyakan digunakan untuk *surfacing tissue*.
- 3) *D-glass (dielectric)* : mempunyai karakteristik dielektrik yang baik, biasanya digunakan pada industri elektronik.
- 4) *E-glass (electrical)* : dengan komposisi calcium-alumino-borosilicate, kadar alkali rendah, dan lebih kuat dari A-glass.

- 5) *E-CR glass (corrosion resistant)* : dibuat untuk memenuhi permintaan pasar terhadap dalam perbaikan ketahanan terhadap bahan kimia, lebih baik dari *E-glass*
- 6) *R*-dan *S-glass* : mempunyai kuat tarik yang tinggi yang biasanya digunakan pada pembuatan komponen pesawat terbang. Tipe *R-glass* buatan Eropa dan tipe *S-glass* buatan USA.

Tabel 2.1 Sifat mekanik dari berbagai macam fiber, [3]

Fiber	Specific gravity	Young's modulus (GN/m ²)	Tensile strength (GN/m ²)
Glasses			
E-Glass	2.5	73	3.5
S-Glass	2.5	86	4.6
D-Glass	2.2	52	2.4
SiO ₂	2.2	74	5.9
Polycrystalline ceramics and multiphase			
Alumina	3.2	173	2.2
Carbon	1.8	544	2.6
Boron	2.6	414	2.8
Boron carbide	4.1	511	2.1
Whiskers			
Alumina	3.9	1,550	20.8
Boron carbide	2.5	448	6.9
Graphite	2.2	704	20.7
Silicon nitride	3.2	379	7.0
Metals (cold worked)			
Tungsten	19.3	345	2.0
Molybdenum	10.2	335	2.2
Austenitic stainless steel	7.9	200	2.4
Eutectoid steel	7.8	240	4.0
Organic			
Kevlar (aromatic nylon)	1.45	130	2.7

Filler

Beberapa pihak menyatakan bahwa fiber partikel dianggap sebagai *filler*, tetapi pada prinsipnya bahwa partikel ini digunakan sebagai campuran komposit dengan tujuan antara lain sebagai berikut [2] :

1. Mengurangi cost.
2. Meningkatkan modulus
3. Mengurangi *shrinkage*
4. Mengontrol viskositas
5. Membuat permukaan lebih halus.

Beberapa material yang biasa digunakan adalah calcium carbonat, clay, fume silica dan lain-lain.

Tabel 2.2 Sifat mekanik dari komposit laminate resin polyester dan fiberglass [7]

	Type of reinforcement					
	None	Chopped roving ^a	Roving fabric ^b	Bidir. fabric ^c	Unidir. fabric ^d	Unidir. roving
Typical glass content (%)		30	50	65	65	75
Tensile strength (MPa)	85	100	270	460	680	1150
Tensile modulus (GPa)	4.2	7.7	16	22	34	42
Flexural strength (MPa)	120	180	300	600	900	1300
Flexural modulus (GPa) (psi)	4.0	7.0	15	21	32	40
Compressive strength (MPa) (psi)	- ^c	200	160	310	- ^e	- ^e
Coefficient linear thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	110	30	20	15	10	8
Density (kg/dm ³)	1.2	1.4	1.65	1.75	1.75	2.0

^aFibre length: 50 mm.
^bTwill weave; warp = weft.
^cStyle 7581; silane-sized yarns.
^dWarp/weft ratio: 10; silane-sized yarns.
^eNo reliable test method.

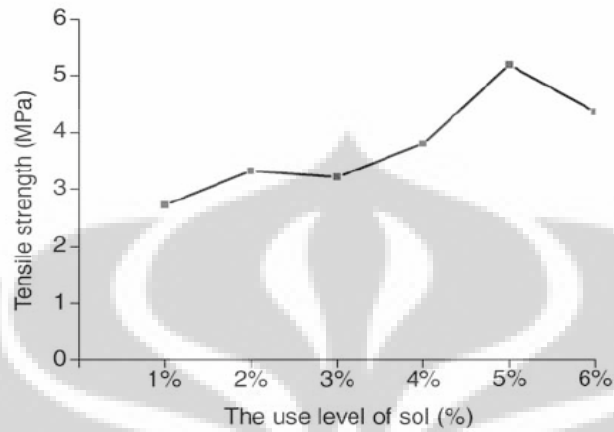
Penggunaan fiber partikel sekarang ini antara lain pada pembuatan komponen otomotif untuk meningkatkan kekakuan (*stiffness*).

Sedangkan fume silica banyak digunakan sebagai campuran untuk membuat bahan penyambung pada pipa, atau untuk membentuk radius pada sambungan fiberglass (*filled*), tetapi bahan ini sangat mahal sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut.

Dalam ukuran nano, silika ini biasanya dipergunakan sebagai thixotropic agent pada coating, untuk menghindari terjadinya drop pada saat aplikasi dan mempertebal atau meningkatkan daya tutup *coating*.

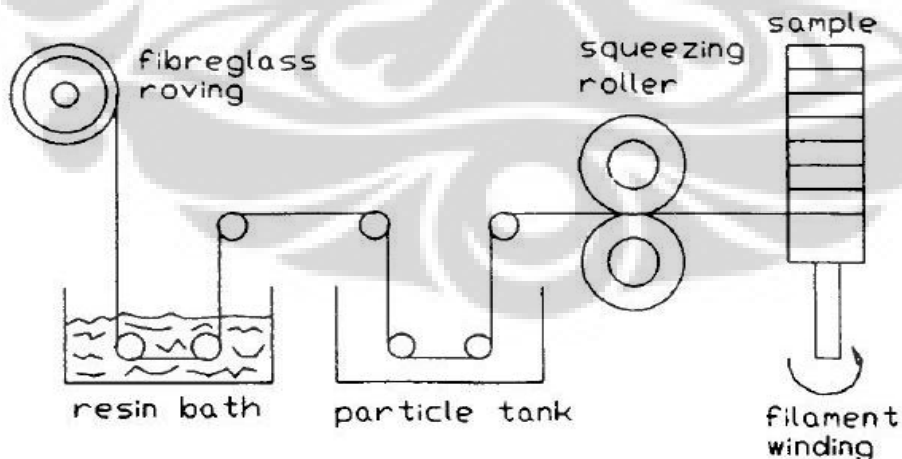
Use level of sol (%)	1	2	3	4	5	6
Tensile strength (MPa)	2.72	3.32	3.21	3.8	5.19	4.365
Rate of extension at break (%)	579.66	581.46	577.31	583.11	563.25	538.98
Slit strength (N/mm)	8.29	8.45	7.12	9	10.48	10.86

Tensile strength of acrylic resin without modifying = 4.71 MPa; rate of extension at break = 400.2%.



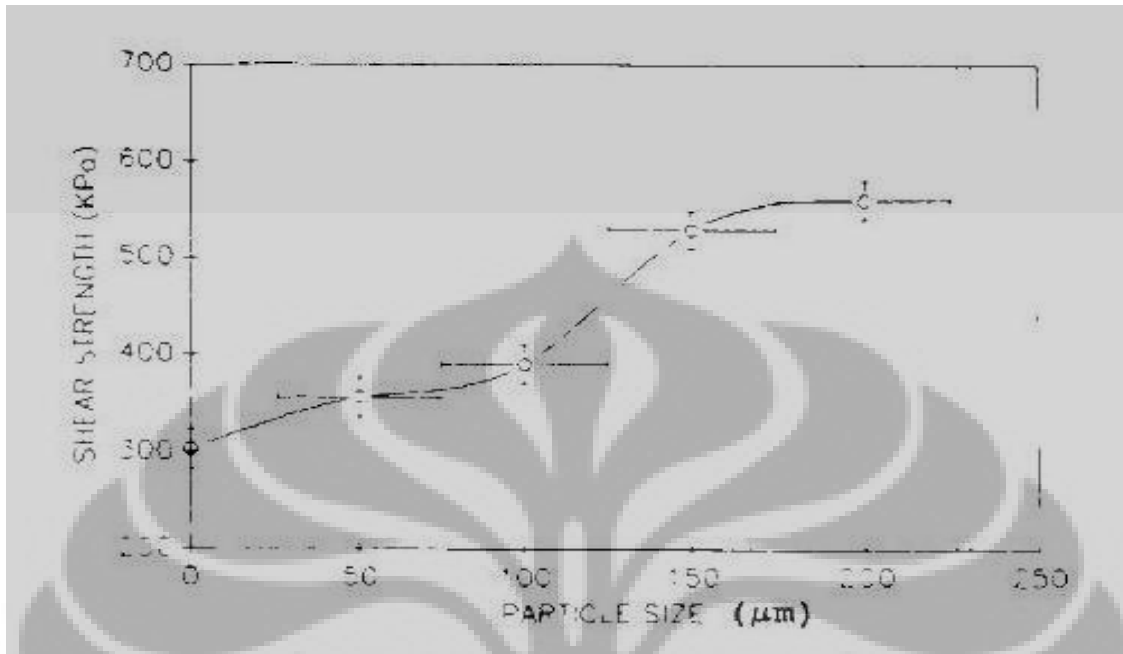
Gambar 2.1 Grafik hubungan kuat tarik resin akrilik dimodifikasi dengan sol SiO₂ dalam berbagai kadar yang berbeda. [6]

Partikel silika ini sebelumnya juga sudah diteliti oleh Y. Zhang dan J. Cameron [11] pada tahun 1993 menggunakan sistem filament winding dengan memasang tangki partikel silika didepan resin bath. Prinsip kerjanya adalah fiberglass roving yarn yang melewati resin bath, setelah basah oleh fiberglass melewati tangki yang berisi partikel silika dan akan menempel pada fiberglass yang sudah basah oleh resin.



Gambar 2.2 Skema proses produksi dengan modifikasi partikel pada fiberglass [11]

Dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa penambahan silika dalam ukuran micron dapat memperbaiki kuat geser komposit, seperti pada grafik berikut ini :



Gambar 2.3 Efek ukuran partikel pada kuat geser fiber [11]

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa pada kadar penggunaan tertentu, kuat geser meningkat tajam. Dari hasil penelitian diperoleh foto Scanning Electron Microscopy yang terlihat bahwa butiran-butiran partikel SiO₂ menempel pada fiberglass dan melapisi permukaan fiber dengan bantuan pengikat resin.

Perbedaan gaya yang bekerja pada fiberglass tanpa dimodifikasi dengan yang dimodifikasi partikel silika, dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

Tanpa modifikasi partikel,

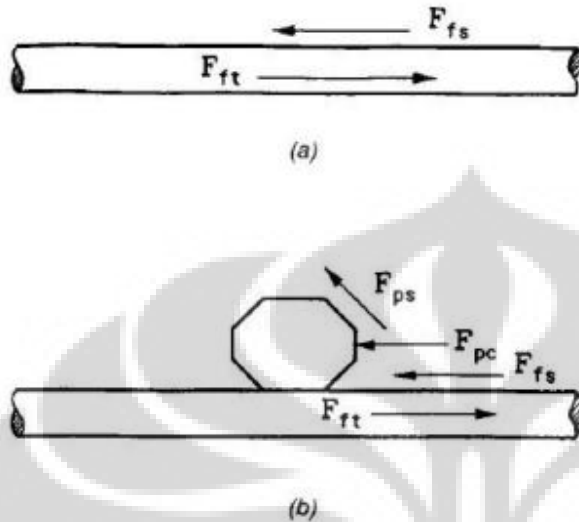
$$\sum F = F_{ft} - F_{fs} = 0 \quad (2.1)$$

gaya tarik yang bekerja, F_{ft} , gaya geser F_{fs} antara fiber dan matriks.

Dengan modifikasi partikel,

$$\sum F = F_{ft} - F_{fs} - F_{pc} \cos \theta - F_{ps} \sin \theta = 0 \quad (2.1)$$

gaya tarik yang bekerja, F_{ft} , gaya geser antara fiber dan matriks, F_{fs} , gaya tekan partikel F_{pc} , gaya geser partikel F_{ps} . Dari sini kelihatan bahwa $F_{pc} \cos \theta$ dan $F_{ps} \sin \theta$ memberikan tambahan gaya geser pada sistem tersebut.



Gambar 2.4 Gaya bekerja pada fiberglass yang dimodifikasi coating partikel SiO_2 , (a) fiber tanpa modifikasi partikel dan (b) fiber dengan modifikasi partikel.[11]

Dengan peningkatan dari kuat geser tersebut di atas diharapkan dapat memperbaiki kuat lentur maupun modulus lentur dari produk komposit.

II.2 Proses Manufaktur

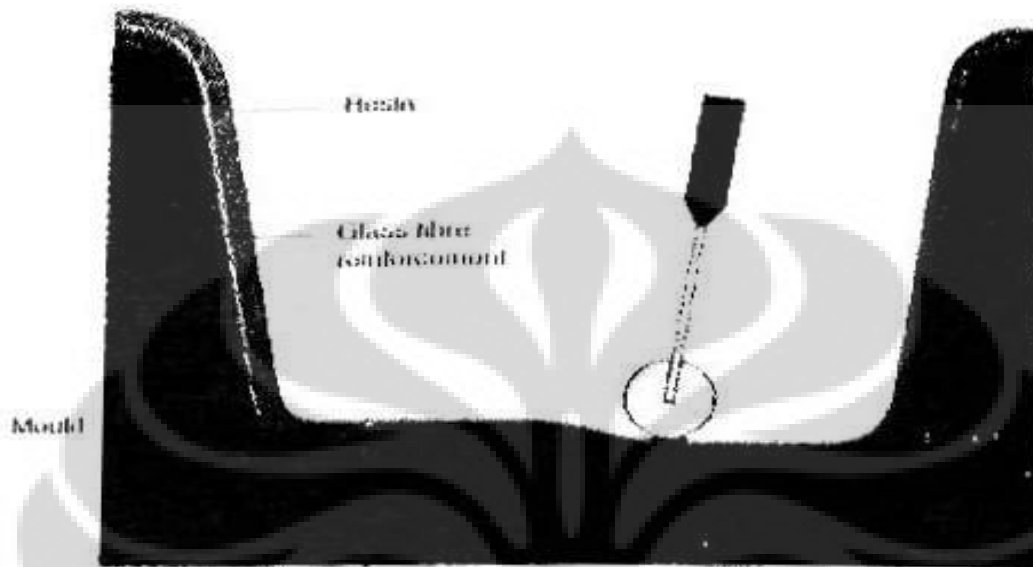
Berbagai macam proses pembuatan komposit yang sudah dikenal antara lain : *Hand Lay Up* (HLU), *Filament Winding* (FW) *Resin Transferred Moulding* (RTM), *Vacuum Infusion*, *Sheet Moulding Compound* (SMC) *Bulk Moulding Compound* (BMC), *preg*, *pultrusion*, dan lain-lain.

Dalam penelitian ini akan dipakai dua metode yaitu *Hand Lay Up* dan *Filament Winding*.

Hand Lay Up (HLU),

Metode ini dikenal sebagai metode yang paling simpel dibanding yang lainnya. Dengan mencampur resin polyester dan katalis MEKP, kemudian diaduk dan dioleskan dengan

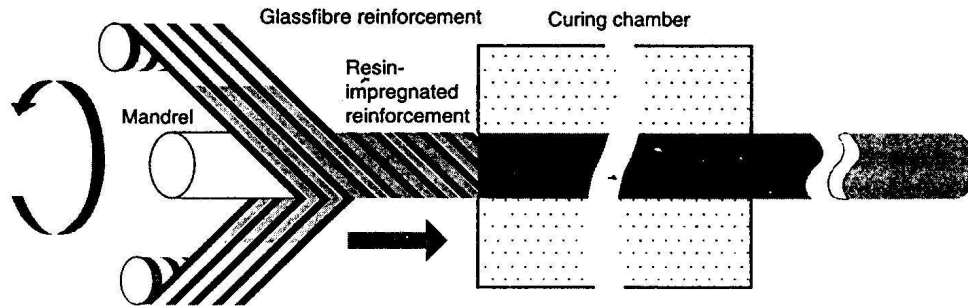
kuas atau roll ke sebuah cetakan yang sebelumnya sudah diberi realese agent berupa wax. Resin dioleskan ke seluruh permukaan cetakan dan diikuti fiberglass, kemudian diroll dengan roll yang permukaannya berulir seperti baut untuk mengeluarkan udara yang terjebak di dalam fiberglass. Demikian seterusnya sampai ketebalan yang diinginkan.



Gambar 2.5 Proses Hand Lay Up [7]

Filament Winding (FW)

Filament Winding digunakan untuk membuat produk yang memerlukan kuat tarik yang tinggi karena menggunakan fiber menerus dan mempunyai fraksi volum fiber tinggi. Produk yang bisa dibuat umumnya berbentuk silinder, ellips, dan lain-lain yang berbentuk radius dan bagian dalamnya kosong. Proses ini menggunakan cetakan berbentuk silinder diputar, kemudian *fiberglass roving yarn* dilewatkan ke dalam bath yang berisi resin yang sudah dicampur dengan katalis. *Fiberglass roving yarn* yang basah oleh resin dililitkan diatas permukaan cetakan yang berbentuk silinder. Sedemikian rupa sehingga pada saat cetakan diputar, fiberglass roving melilit secara merata dari ujung satu ke ujung lainnya.

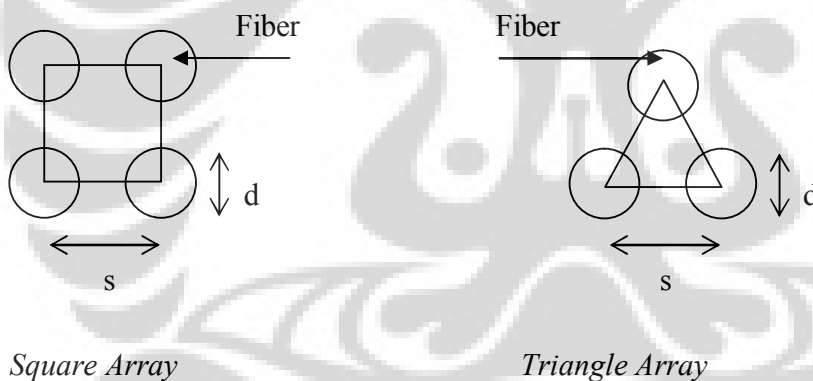


Gambar 2.6 Skema Proses Filament Winding [7]

II.3 Fraksi Volume dan Fraksi Berat

Sifat mekanis komposit antara lain dipengaruhi oleh bahan penguat atau fibernya dan besarnya kandungan fiber pada komposit tersebut, dalam hal ini fraksi volume atau fraksi berat fiber.

Maksimum fraksi volume dari Continuous Fiber dinyatakan sebagai berikut [1] :



Square Array

Triangle Array

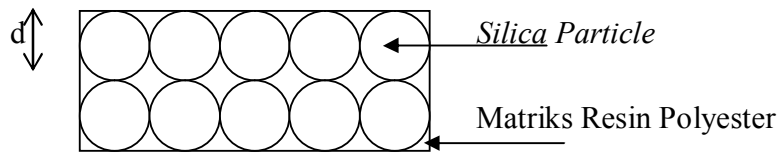
Pada kedua formasi tersebut diatas fraksi volume akan maksimum jika s (spacing) = d (diameter fiber),

Square Array, $v_{fmax} = \pi/4 = 0.785 = 78.5\%$

Triangular Array, $v_{fmax} = \pi/(2(3)^{1/2}) = 0.907 = 90.7\%$

Dengan demikian, fiber dengan bentuk partikel yang diasumsikan berbentuk bola dapat dinyatakan sebagai berikut :

Asumsi Square Array



$$\text{Fraksi Volume} = \frac{4/3 \pi (d/2)^3 \times 100\%}{d^3} = 52.4\%$$

II.4 Analisa Laminasi Fiberglass

Sebagai dasar untuk mempermudah perhitungan maka dibuat beberapa asumsi pendekatan sebagai berikut [2] :

1. Distribusi / penyebaran fiber merata diseluruh matrik.
2. Bonding antara fiber dan matrik baik.
3. Tidak terdapat void pada matrik.
4. Analisa beban searah dengan arah fiber.
5. Laminasi tidak mempunyai tegangan sisa.
6. Matrik dan fiber merupakan material yang elastis linear.

Analisa Fiber Menerus

Dengan mengambil asumsi bahwa resin dan fiberglass akan bersama-sama dan besar regangannya adalah sama, maka dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\epsilon_f = \epsilon_m = \epsilon_c \quad (2.1)$$

ϵ_f = regangan fiber, ϵ_m = regangan matriks, dan ϵ_c = regangan komposit

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot v_f + \sigma_m \cdot v_m \quad (2.2)$$

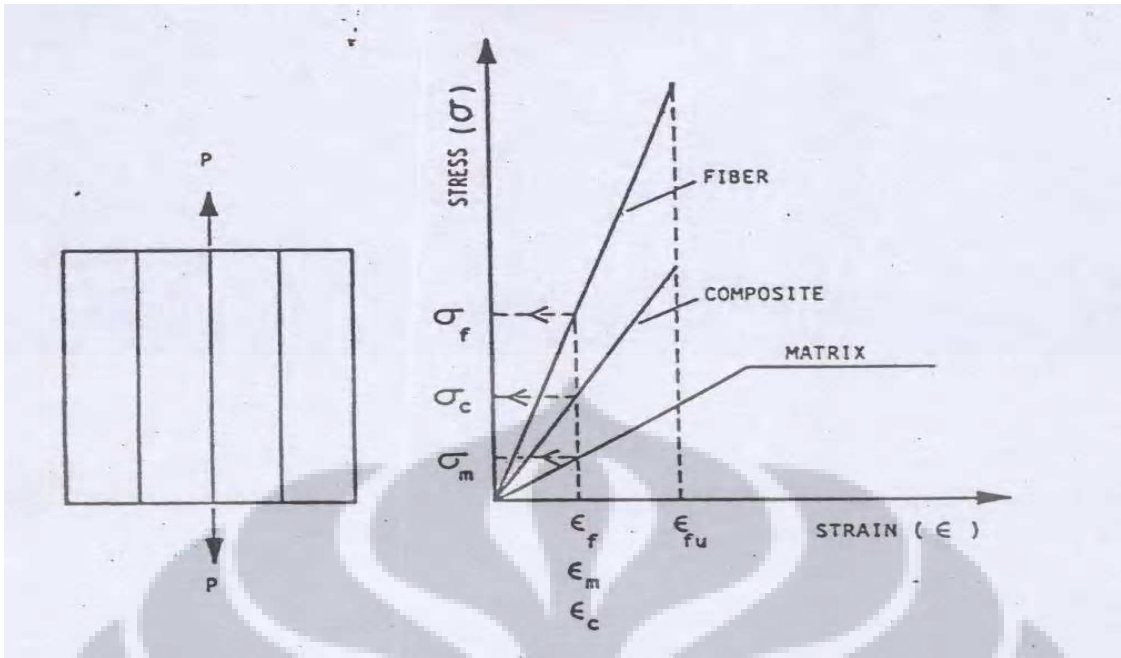
$$E_L = E_f \cdot v_f + E_m \cdot (1 - v_f) \quad (2.3)$$

Dimana,

σ_c = Kuat tarik komposit, σ_f = Kuat tarik fiber, σ_m = Kuat tarik matriks,

A_f = Luas penampang fiber, A_m = Luas penampang matriks

E_L = Modulus *longitudinal* komposit, E_f = Modulus fiber, E_m = Modulus matriks



Gambar 2.7 Kuat tarik longitudinal laminasi fiber menerus [2]

Analisa Fiber Terputus

Beban yang bekerja pada komposit dengan laminasi fiber terputus didistribusikan diantara fiber dan matriks. Dimana regangan matriks lebih tinggi dari fiber sehingga perbedaan tersebut akan menimbulkan perpindahan dan penyebaran tegangan pada permukaan/penampang fiber terhadap matrik dapat dinyatakan sebagai berikut :

Dimana,

$$(\sigma_f)_{\max} = \frac{2\tau_i \cdot l_t}{d_f} \quad (2.4)$$

$x = \frac{1}{2} l_t$, merupakan panjang yang untuk mentransfer masing-masing ujung fiber, sehingga dapat diketahui panjang minimal dari fiber sedemikian rupa tercapai tegangan yang maksimal, yaitu sebagai berikut :

$$l_c = \frac{\sigma_{fu} \cdot d_f}{\tau_i} \quad (2.5)$$

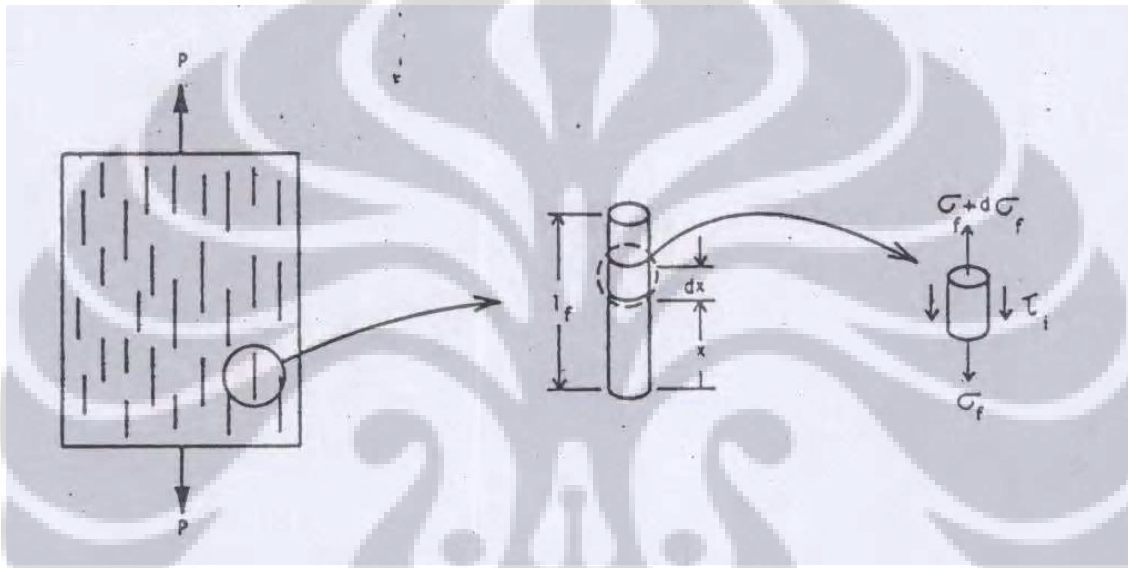
Dimana,

σ_f = Tegangan tarik longitudinal fiber pada jarak x dari ujung.

σ_{fu} = Kuat tarik ultimit fiber

l_c = Panjang fiber minimum yang diperlukan untuk mencapai tegangan maksimum fiber sebanding dengan kuat tarik ultimit ditengah-tengah fiber.

τ = Kuat geser permukaan antara fiber dan matriks atau kuat geser matriks yang berdekatan dengan permukaan geser tersebut, mana yang lebih kecil.

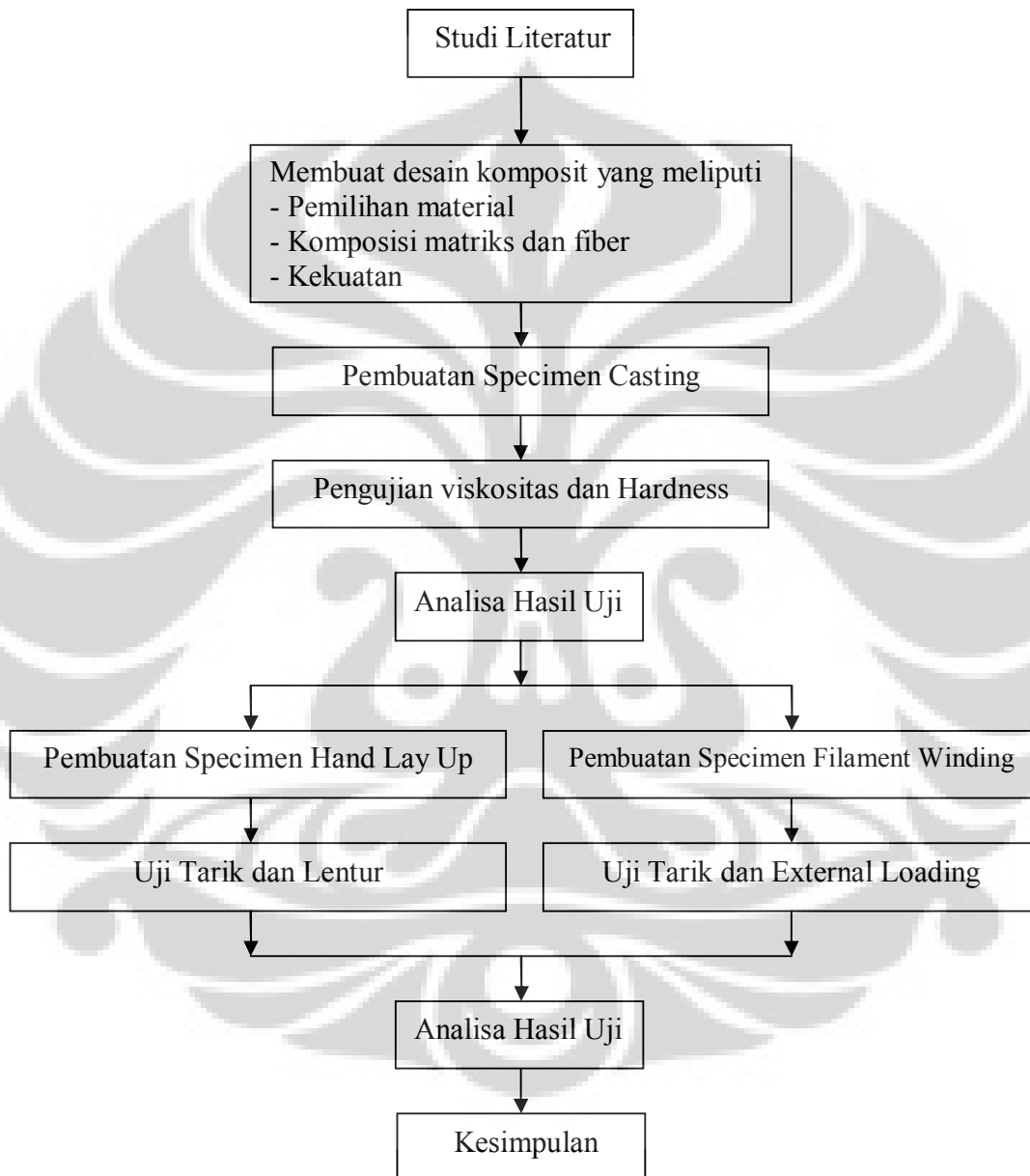


Gambar 2.8 Longitudinal tensile laminasi fiber terputus [2]

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dengan membuat spesimen komposit dan kemudian diuji, dan dievaluasi diantara masing-masing spesimen, dengan diagram alur sbb



Gambar 3.1 Diagram alur yang menjadi acuan kegiatan penelitian

III.1 Bahan dan Alat

Spesifikasi material sebagai berikut :

Matriks

Resin Polyester , merek Synolac 2352A diproduksi dari Cray Valley Malaysia [17].

1. Tanpa wax, *pre-accelerated* dan mengandung *thixotropic agent*.
2. Specific gravity pada suhu 25°C : 1.12
3. Viscosity pada suhu 25°C : 300 – 500 cps
4. Sifat mekanik tanpa penguat fiber
 - a. Barcol hardness : 45
 - b. Kuat tarik : 69 MPa
 - c. Modulus tarik : 3800 Mpa
5. Sifat mekanik dengan penguat fiberglass 4 *plies* Chopped Strand Mat 450 gr/m²
 - a. Glass content : 30%
 - b. Kuat tarik : 102 MPa
 - c. Modulus tarik : 6700 MPa
 - d. Kuat lentur : 171 MPa
 - e. Modulus lentur : 6600 Mpa

Fiberglass

1. Chopped Srand Mat MC 450A, merk Nittoboseki, Japan [18]
Berbentuk lembaran dengan serat terputus, orientasi random panjang sekitar 50mm, dengan berat 450gram/m².
2. Fiberglass Roving Yarn 2400 tex, merk Nittoboseki, Japan.
Berbentuk serat menerus dengan berat 2400gr/km.
3. Partikel silika, SiO₂ dengan mesh #200 dan #325



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.2 Material yang digunakan sebagai bahan penelitian a). Resin Polyester, b). Partikel silica mesh #200 dan #325, c). Fiberglass Chopped Strand Mat, d). Fiberglass Continuous Roving Yarn

III.2 Metode Pembuatan Material Uji

Fraksi volume dan fraksi berat.

Salah satu aspek yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik adalah fraksi volume fiber. Dalam pembuatan spesimen uji sangat sulit untuk menentukan fraksi volume fiber karena bentuknya yang tidak teratur, sehingga dalam penelitian ini dikonversikan dalam fraksi berat.

Dengan asumsi bahwa fiberglass berpenampang lingkaran menerus dan partikel silika berbentuk bulat semua dengan susunan *square array* [1] maka dapat dihitung fraksi berat maksimum dari fiberglass dan partikel sebagai berikut :

Fraksi volume maksimum

Fraksi volume maksimum fiberglass,

$$v_{fmax} = \pi/4 = 0.785 = 78.5\%, \quad v_m = 100\% - 78.5\% = 21.5\%$$

Fraksi berat maksimum fiberglass,

$$W_{fmax} = \frac{2.5 v_f}{2.5 v_f + 1.12 v_m} = \frac{2.5 \times 78.5\%}{2.5 \times 78.5\% + 1.12 \times 21.5\%} = 89.07\%$$

Fraksi volume minimum

Fraksi volume fiberglass mempunyai batas minimum fraksi dalam komposit seiring dengan perubahan fraksi volumenya berpengaruh terhadap perubahan kuat tariknya, dapat digambarkan dalam sebuah grafik sebagai berikut :

Fiberglass E glass [1], *Tensile modulus*, $E_f = 73 \text{ GN/m}^2 = 73000 \text{ MPa}$

Tensile strength, $\sigma_f = 3.5 \text{ GN/m}^2 = 3500 \text{ Mpa}$

Strain, $\varepsilon_f = 3500/73000 = 0.048$

Specific gravity = 2.5

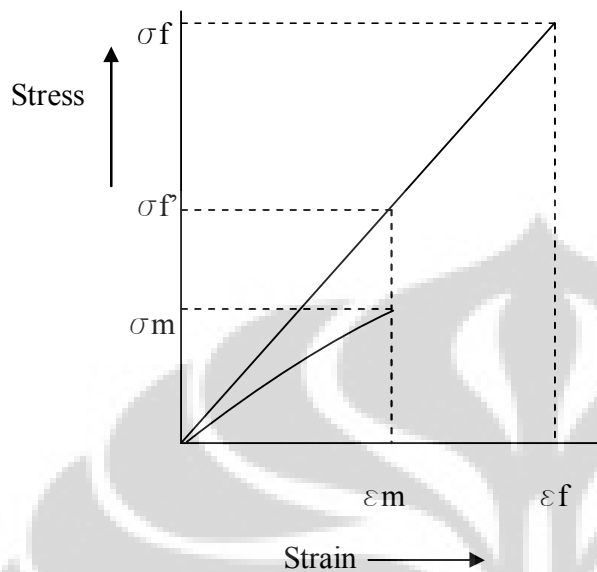
Resin Polyester [16], *Tensile modulus*, $E_m = 3800 \text{ MPa}$

Tensile strength, $\sigma_m = 69 \text{ MPa}$

Strain, $\varepsilon_m = 69/3800 = 0.018$

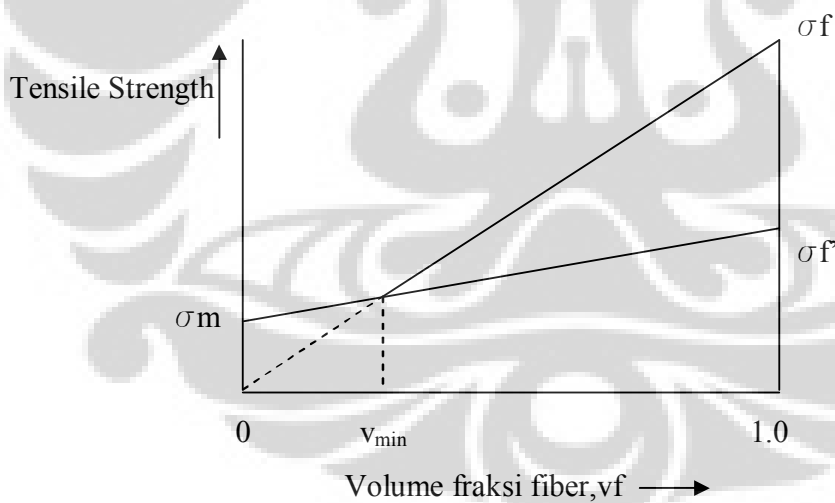
Specific gravity = 1.12

Dengan demikian Strain fiber lebih besar dari strain matriks ($\epsilon_f > \epsilon_m$), sehingga diperoleh grafik sebagai berikut [3] :



Gambar 3.3 Grafik stress dan strain pada fiberglass dan matriks resin polyester

$$\begin{aligned} \sigma_f' &= \sigma_f \times \epsilon_m / \epsilon_f = 3500 \times 0.018 / 0.048 \\ &= 1312.5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$



Gambar 3.4 Grafik perubahan tensile strength komposit pada kondisi $\epsilon_f > \epsilon_m$

Fraksi volume minimum fiberglass,

$$v_{\min} = \frac{\sigma_m}{\sigma_f - \sigma_f' + \sigma_m} = \frac{69}{3500 + 1312.5 + 69} = 0.014 = 1.4\%$$

Fraksi berat minimum fiberglass,

$$W_{\text{fmin}} = \frac{2.5 v_f}{2.5 v_f + 1.12 v_m} = \frac{2.5 \times 1.4\%}{2.5 \times 1.4\% + 1.12 \times 98.6\%} = 3.07\%$$

Pembuatan spesimen komposit tahap pertama.

Spesimen ini dibuat untuk mengetahui sifat mampu dikerjakannya (workability) dan kekerasan (hardness) dari resin setelah dicampur dengan silica.

Hal ini penting untuk mengetahui rasio yang layak untuk pembuatan spesimen selanjutnya.

Resin dicampur dengan pasir silica dengan fraksi berat silica divariasikan dalam beberapa rasio, yaitu 0% (murni), 10%, 30%, 50%. Kemudian silica divariasikan dalam dua ukuran yaitu mesh #200, dan mesh #325. Jadi akan diperoleh tujuh variasi adonan resin matriks yang berbeda, yaitu : 0% silica, 10% silica#200, 30% silica#200, 50% silica#200, 10% silica#325, 30% silica#325, 50% silica#325.

Masing-masing adonan resin siap untuk di uji viskositasnya dan setelah itu dikeringkan dalam suhu kamar dan bisa diuji Hardness.

Pembuatan spesimen komposit tahap kedua.

Setelah pengujian tahap pertama tersebut di atas akan diperoleh formula dan ukuran butir yang baik dan mudah untuk diaplikasikan.

Spesimen tahap kedua dibagi menjadi dua metode pembuatan yaitu :

1. Metode *Hand Lay Up*

Dengan menggunakan fiberglass tipe Chopped Strand Mat (CSM) dibuat laminasi dengan matrik resin yang sudah dicampur dengan silica dengan berbagai variasi seperti tersebut di atas. Jumlah laminasi ditentukan sebanyak 4 lembar yang aplikasikan setiap lembar di basahi dengan resin dan diroll sampai semua fiber terbasahi semuanya.

Spesimen akan diuji dalam dua parameter yaitu :

- Uji Tarik, mengacu standar ASTM D 638

Tensile Properties of Plastics

- Kuat Lentur, mengacu standar ASTM D 790

Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Material.

2. Metode *Filament Winding*

Metode ini dengan menggunakan mesin *Fiment Winding* yang dikontrol dengan CNC sehingga penyebaran lilitan fiberglass *Roving Yarn* (RY) sangat terkontrol.

Penambahan silica akan dipakai dengan dua cara yaitu :

a. *Double Bath*

Ada dua *bath* yang dipakai untuk resin dan silica.

b. *Single Bath*

Hanya menggunakan satu *bath* untuk resin, dan silica disemprotkan ke alur *Roving Yarn* yang melilit.

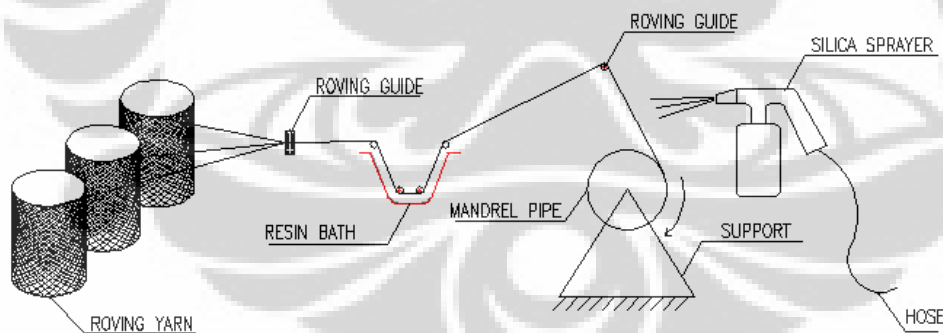
Spesimen akan diuji dalam dua parameter yaitu :

- Kekakuan Pipa, mengacu standar ASTM D 2412

Determination of External Loading Characteristics of Plastic Pipe by Parallel-Plate Loading.

- Kuat Tarik Arah Hoop mengacu ASTM D 2290

Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe by Split Disk Method.



FILAMENT WINDING SINGLE BATH WITH SPRAYER

Gambar 3.5. Skema Filament winding Single Bath modifikasi Sprayer (**Gambar Koleksi Pribadi**)

III.3 Viskositas dan Hardness

Pengujian viskositas dilakukan di PT. Induro Internasional dengan menggunakan DIN Cup No.4 dengan mengacu standard DIN 53211.

Pengujian hardness dilakukan di PT. Induro Internacional dengan menggunakan alat Uji Barcol Impresor, dengan mengacu standard ASTM D 2583, *Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impresor*.



(a)



(b)

Gambar 3.6 (a) Pengujian viskositas dengan DIN Cup dan (b) Pengujian Hardness dengan Barcol

III.4 Uji Kuat Tarik Material Hand Lay Up

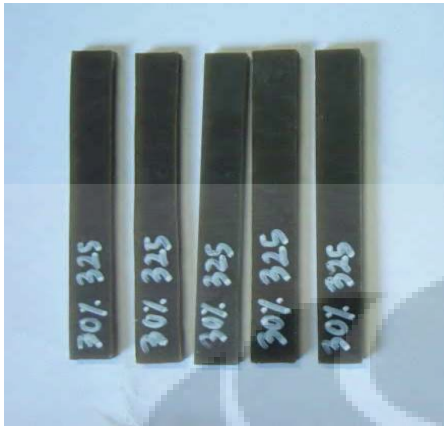
Pengujian kuat tarik dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi (LUK) Serpong dengan mengacu standar ASTM D 638.



Gambar 3.7 Spesimen uji tarik plat komposit.

III.5 Uji Kuat Lentur Material Hand Lay Up

Pengujian kuat tarik dilakukan di Laboratorium Sentra Teknologi Polimer (STP) Serpong dengan mengacu standar ASTM D 790



Gambar 3.8 Spesimen uji lentur plat komposit.

III.6 Uji Kuat Tarik Material Filament Winding

Pengujian kuat tarik dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi (LUK) Serpong dengan mengacu standar ASTM D 2290.



Gambar 3.9 Spesimen uji tarik hoop pipa komposit

III.7 Uji Eksternal Loading Material Filament Winding

Pengujian eksternal loading dilakukan di Laboratorium Uji Konstruksi (LUK) Serpong dengan mengacu standar ASTM D 2412.

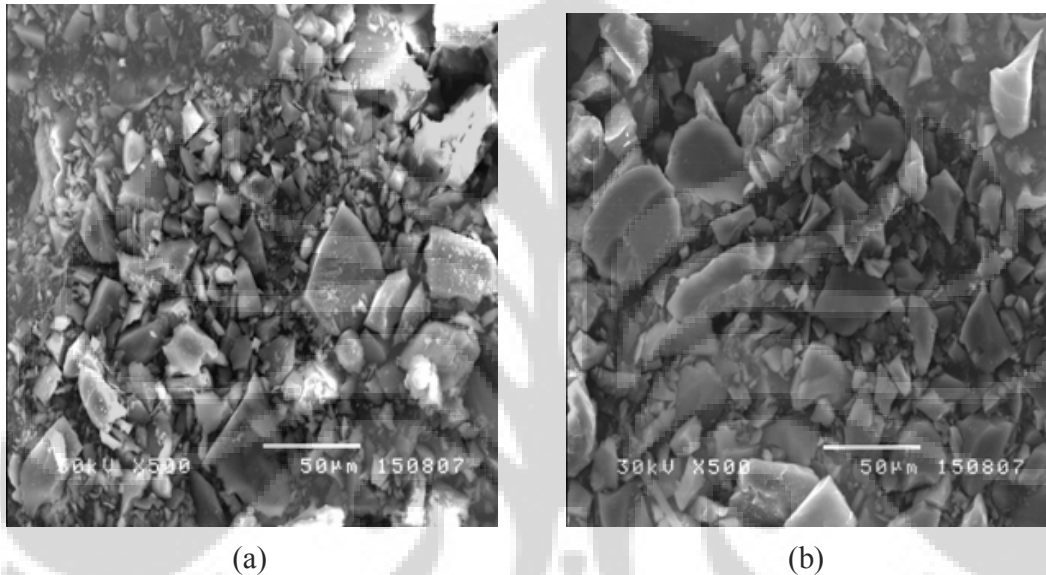


Gambar 3.10 Spesimen uji eksternal loading pipa komposit

BAB IV

DATA DAN HASIL PENGUJIAN

Sebelum pembuatan sampel untuk pengujian mekanis, dilakukan pengujian terhadap partikel Silika dengan SEM (Scanning Electron Microscopy) diperoleh gambar morfologi dari partikel SiO₂ dan XRD (X-Ray Diffraction) diperoleh data bahwa partikel tersebut mempunyai sistem kristal Hexagonal.



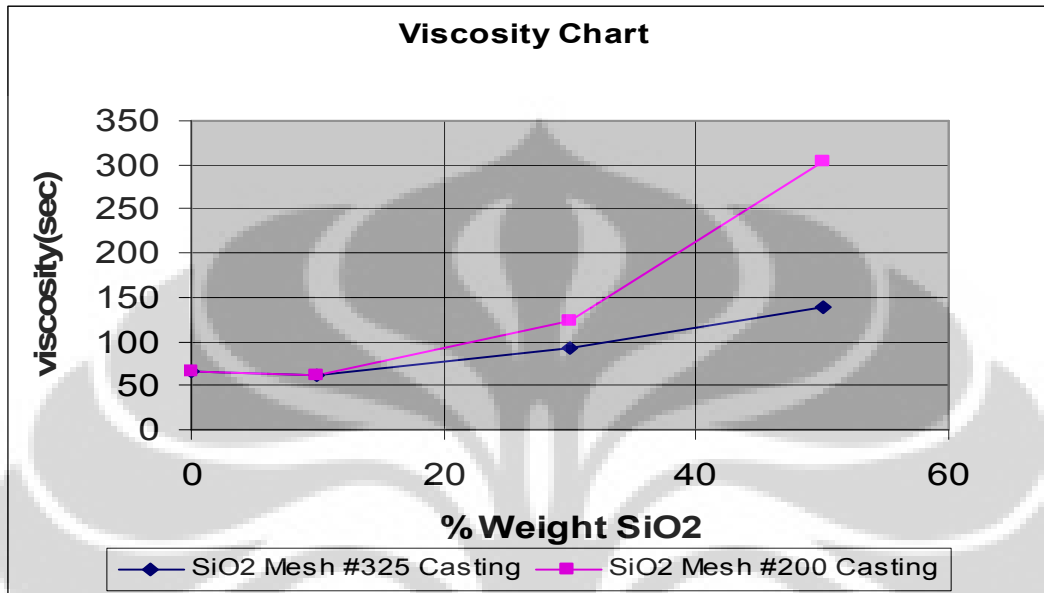
Gambar 4.1 Hasil SEM Partikel Silica a). SiO₂ Mesh #200 perbesaran 500x dan b). SiO₂ Mesh #325 perbesaran 500x

IV.1 Viskositas dan Hardness

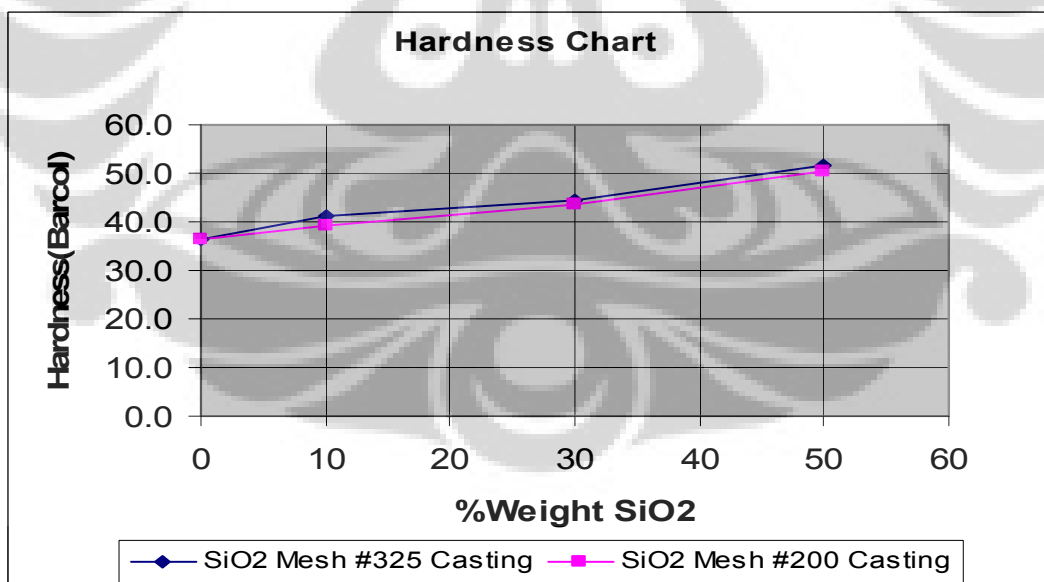
Pengujian viskositas dilakukan dengan Din Cup standard DIN 53211 [15], dengan memvariasikan ukuran butir mesh #325 dan mesh #200, dengan fraksi berat partikel silica masing-masing 0%, 10%, 30%, 50%. Dengan tujuan untuk mendapatkan kandungan partikel yang sebanyak-banyaknya, dengan mempertimbangkan kemudahan pada saat aplikasi pada laminasi komposit.

Sejumlah spesimen resin *mixed* silica tersebut diatas setelah kering kemudian diuji kekerasannya, untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran butir dan kandungan partikel silica dalam resin terhadap kekerasannya.

Dari hasil pengujian viskositas dan kekerasan diperoleh data sebagai berikut :



Gambar 4.2 Hubungan antara fraksi berat silica dengan viskositas



Gambar 4.3 Hubungan antara fraksi berat Silika dengan Hardness pada Casting

Pengujian hardness juga dilakukan terhadap laminate komposit dengan fiberglass dan partikel silica pada variasi fraksi berat silica terhadap resin sebagai berikut :

- a. Dengan metode Hand Lay Up (HLU), 0%, 10%, 30% dan 50%
- b. Dengan metode Filament Winding (FW), 0% dan 39%

Dari pengujian viskositas didapatkan hasil yang baik untuk silika mesh #325, lebih mudah diaplikasikan pada laminasi komposit.



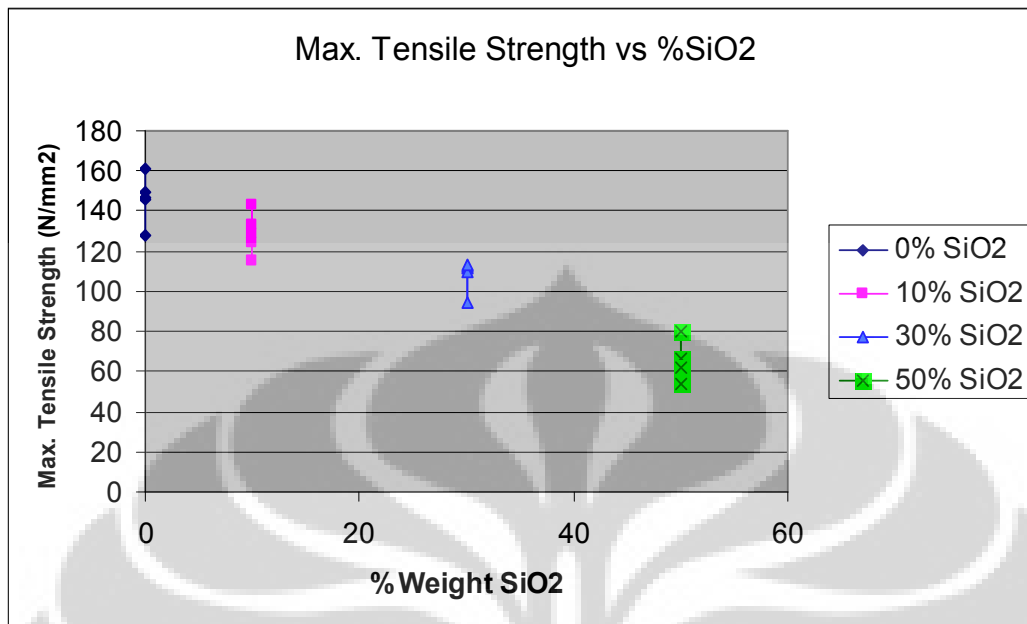
Gambar 4.4 Hubungan antara fraksi berat silika dengan hardness pada Hand Lay Up dan Filament Winding

IV.2 Uji Kuat Tarik Material Hand Lay Up

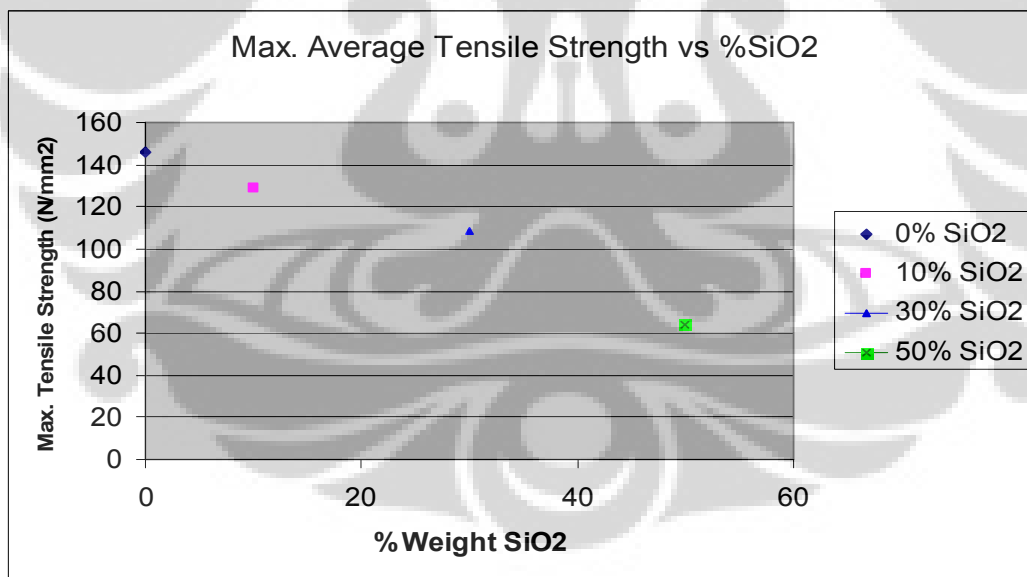
Setelah pengujian hardness diatas dilakukan pengujian terhadap Kuat Tarik, Modulus Tarik, Kuat Lentur dan Modulus Lentur pada spesimen komposit Hand Lay Up dan Kuat Tarik Hoop beserta *external loading* pada spesimen komposit Filament Winding. Parameter-parameter tersebut diatas diuji pada berbagai variasi fraksi berat partikel silica terhadap resin.

Dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan partikel silica dapat mempengaruhi perilaku sifat mekanis dari komposit tersebut.

Dari hasil pengujian bahwa kenaikan fraksi berat silika akan mengurangi kuat tarik maksimum komposit seperti pada gambar berikut :



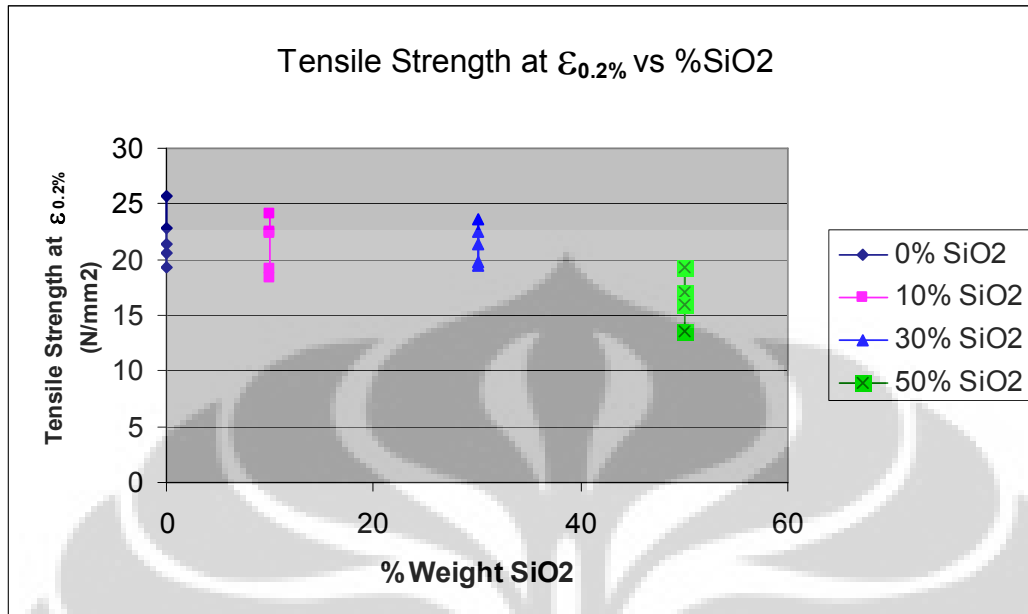
(a)



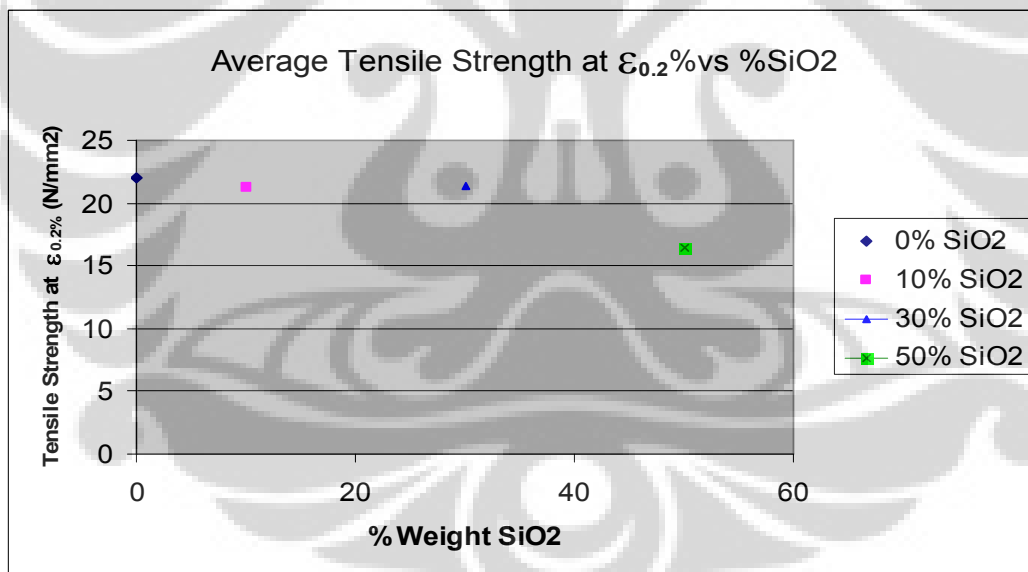
(b)

Gambar 4.5 Hubungan antara fraksi berat silika dengan kuat tarik pada Hand Lay Up, a). Kuat tarik maksimum tiap-tiap spesimen, dan b). Kuat tarik maksimum rata-rata

Sedangkan untuk kuat tarik pada regangan 0.2%, dengan fraksi berat silika 30% tidak terlalu berpengaruh pada kuat tariknya.



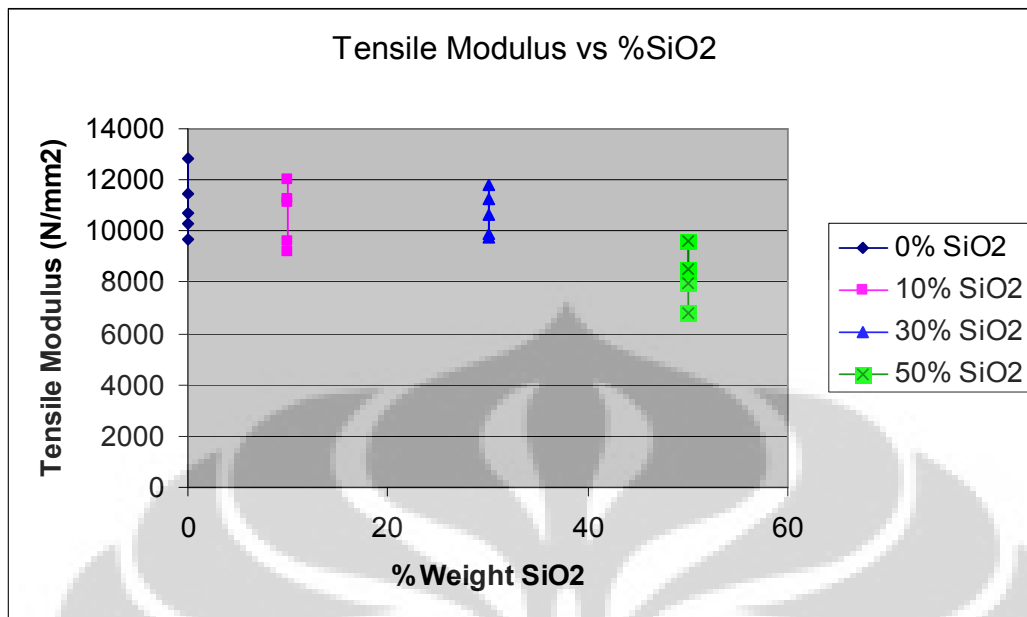
(a)



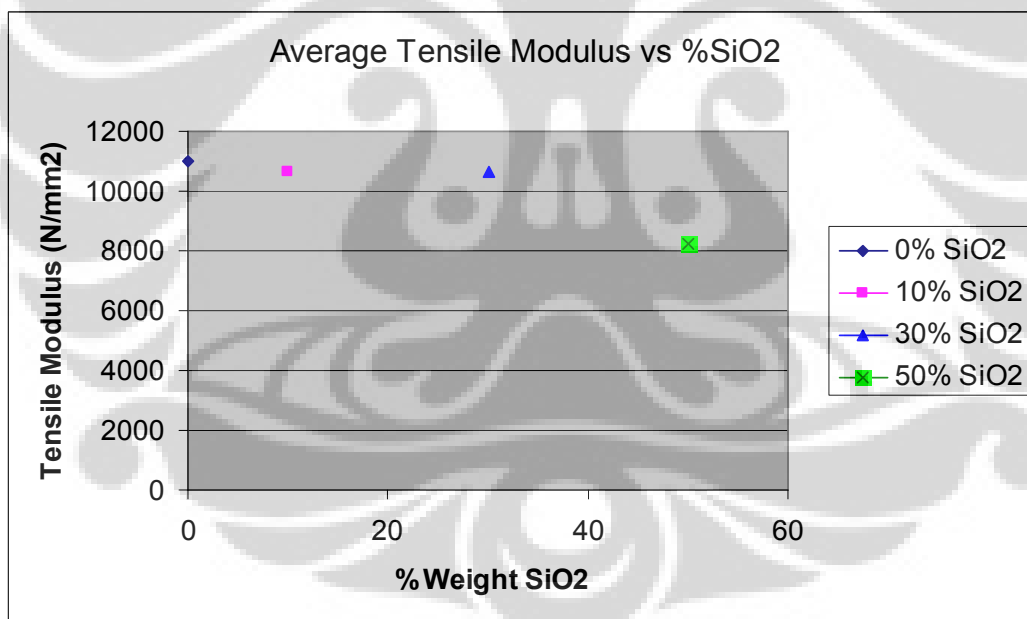
(b)

Gambar 4.6 Hubungan antara fraksi berat silika dengan kuat tarik pada regangan 0.2% pada Hand Lay Up, a). Kuat tarik pada regangan 0.2% tiap-tiap spesimen, dan b). Kuat tarik pada regangan 0.2% rata-rata.

Begitu pula pada modulus tariknya, 30% fraksi berat silika tidak berpengaruh banyak.



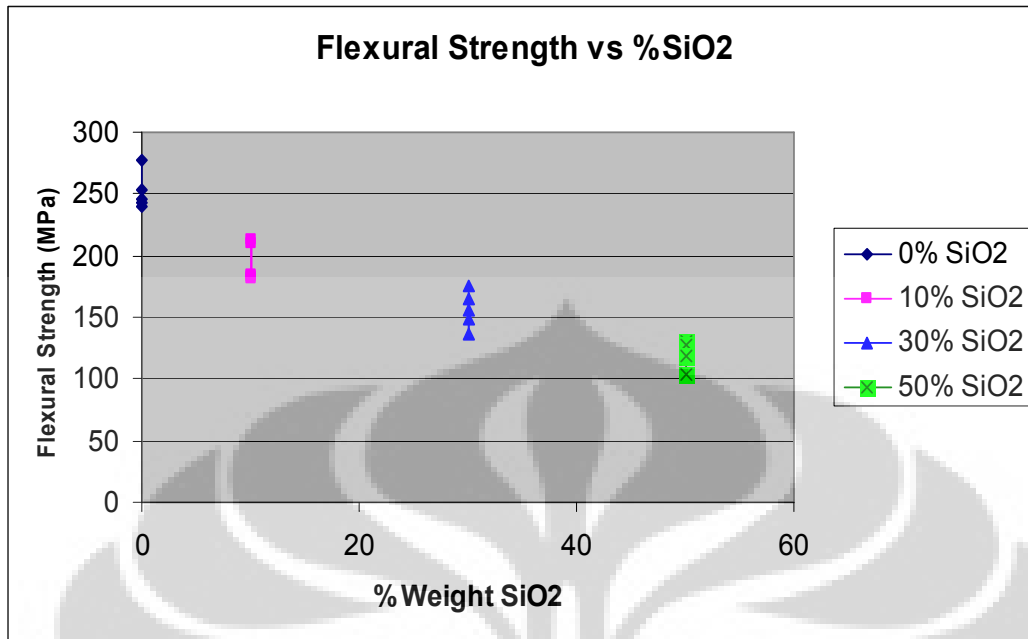
(a)



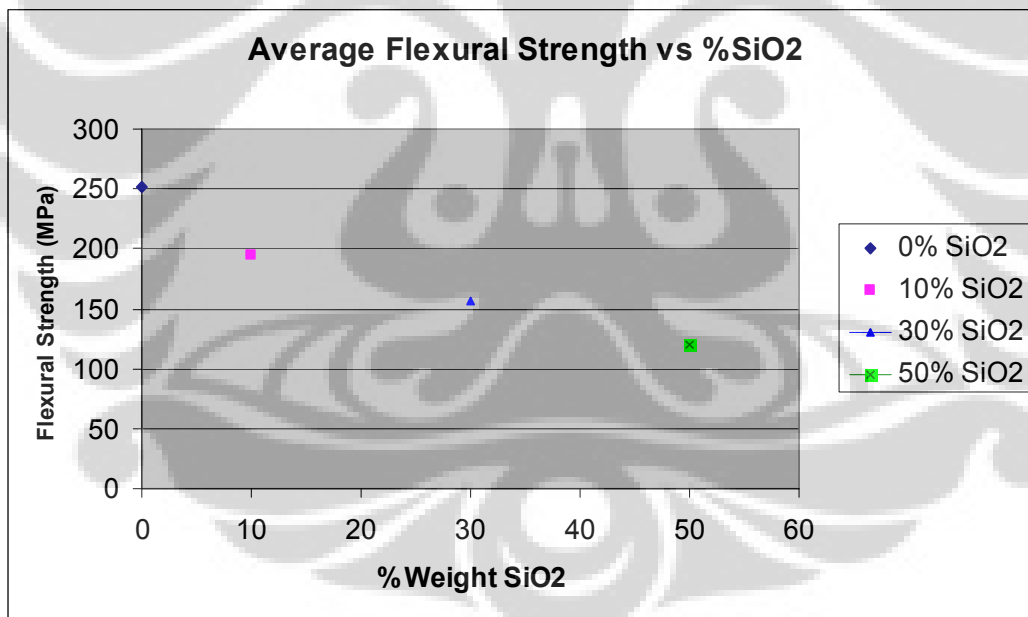
(b)

Gambar 4.7 Hubungan antara fraksi berat silika dengan modulus tarik pada Hand Lay Up, a). Modulus tarik tiap-tiap spesimen, dan b). Modulus tarik rata-rata

IV.3 Uji Kuat Lentur Material Hand Lay Up



(a)

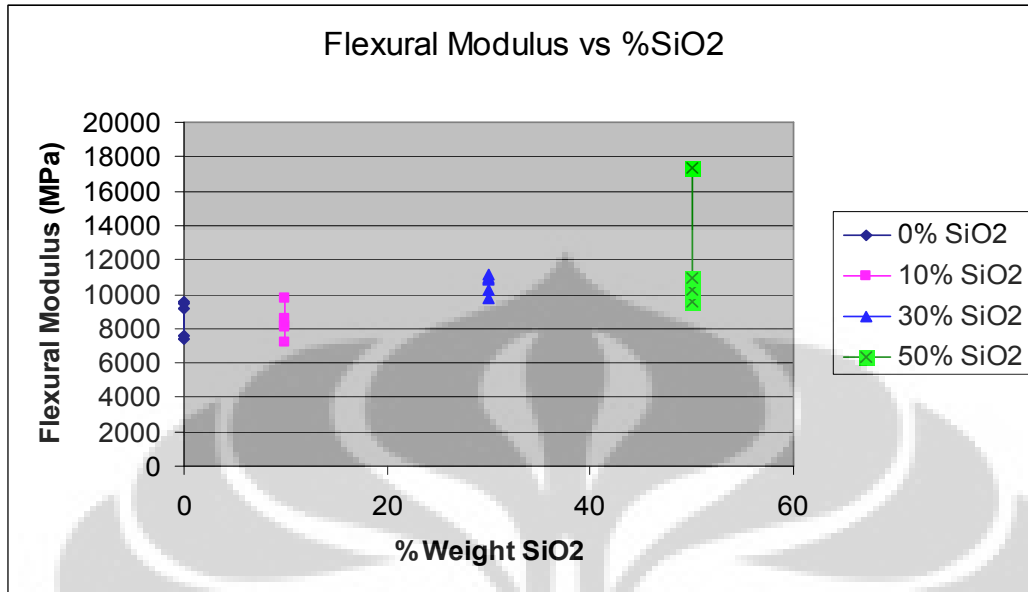


(b)

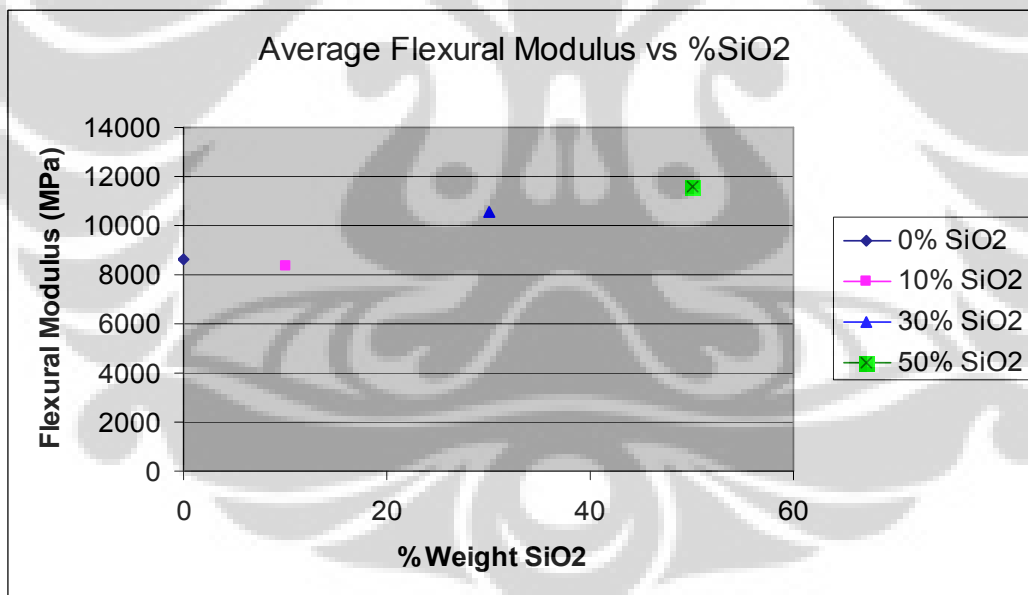
Gambar 4.8 Hubungan antara fraksi berat silika dengan kuat lentur pada Hand Lay Up,

a). Kuat lentur tiap-tiap specimen, dan b). Kuat lentur rata-rata

Hasil yang sangat signifikan adalah pada modulus lentur, mengalami kenaikan yang sangat baik pada fraksi berat silika 30% dan 50%.



(a)

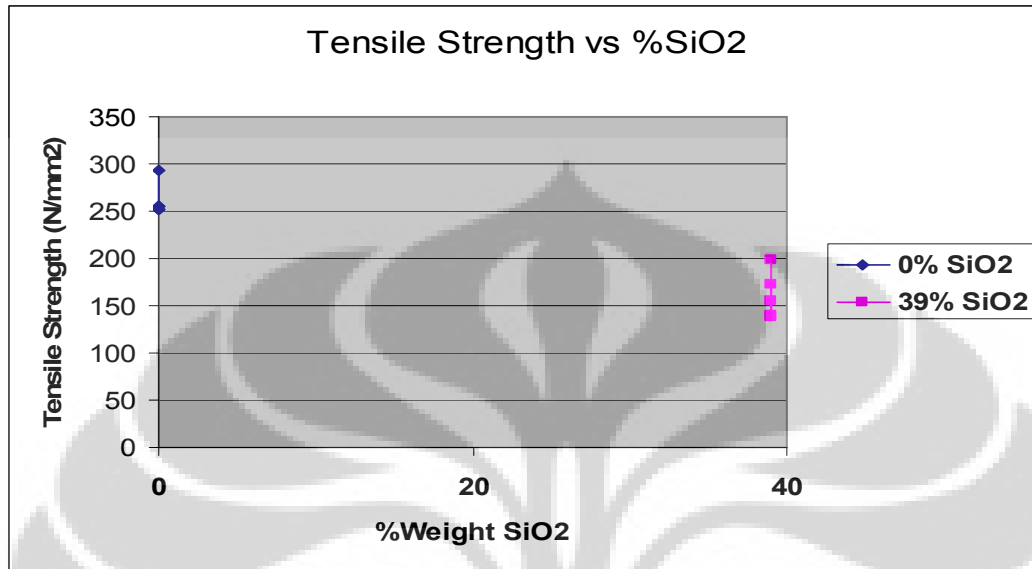


(b)

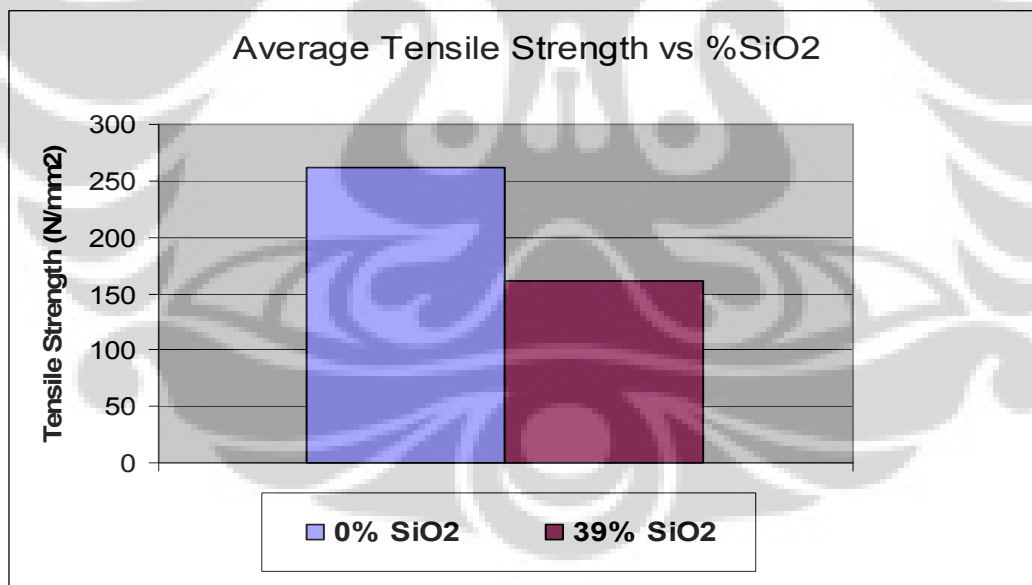
Gambar 4.9 Hubungan antara fraksi berat silika dengan modulus lentur pada Hand Lay Up, a). Modulus Lentur tiap-tiap specimen, dan b). Modulus lentur rata-rata

IV.4 Uji Kuat Tarik Material Filament Winding

Pengujian ini sangat sulit dan harus membuat suatu alat khusus untuk mendapatkan hasil yang baik. Penambahan silika juga mengurangi kuat tarik pada spesimen pipa .



(a)

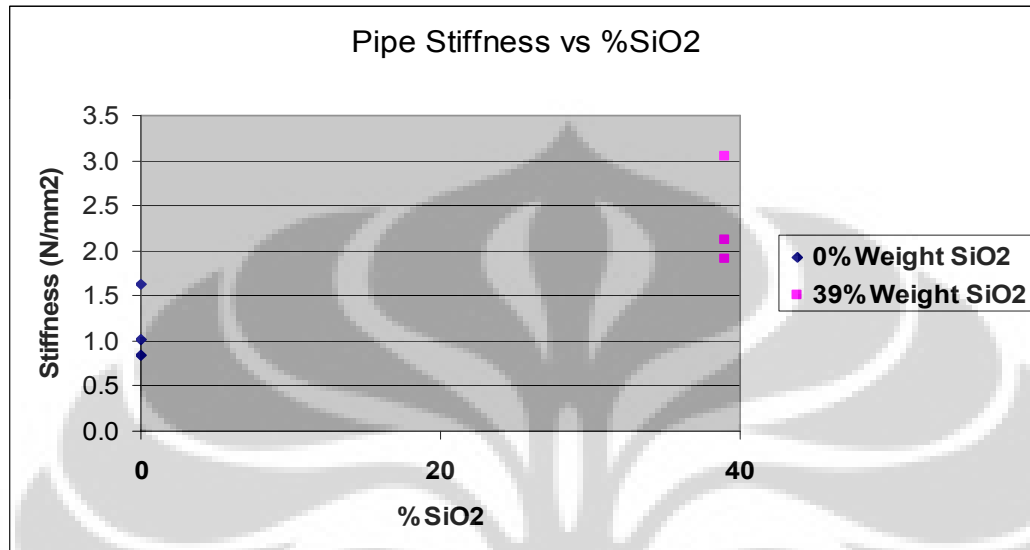


(b)

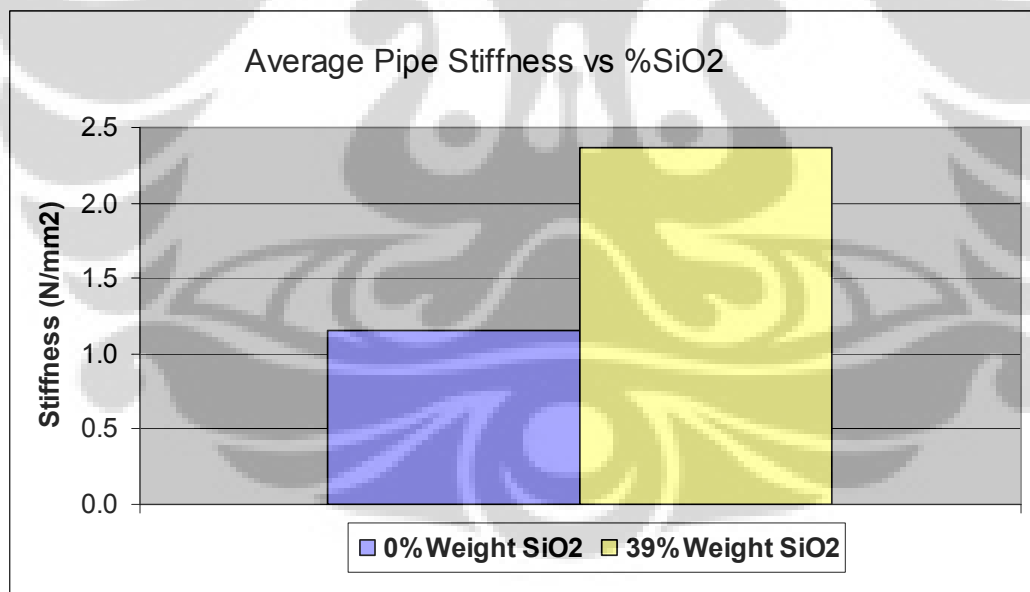
Gambar 4.10 Hubungan antara fraksi berat Silika dengan Kuat Tarik pada Filament Winding, a). Kuat Tarik Hoop Pipa tiap-tiap specimen, dan b). Kuat Tarik Hoop Pipa rata-rata

IV.5 Uji Eksternal Loading Material Filament Winding

Hasil yang sangat baik ketika pengujian external loading, yang ditunjukkan seperti pada gambar berikut ini :

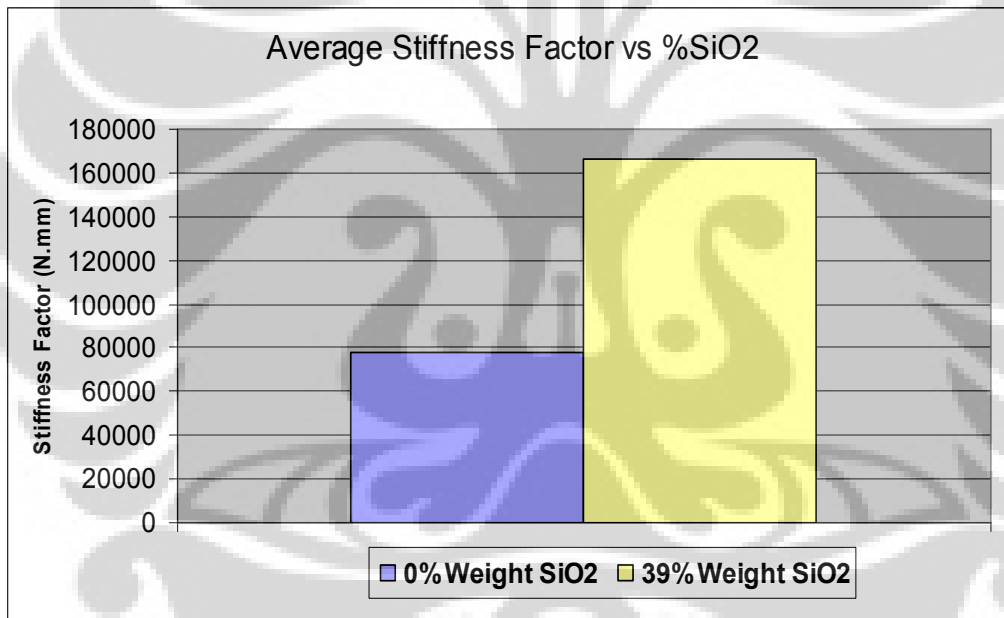
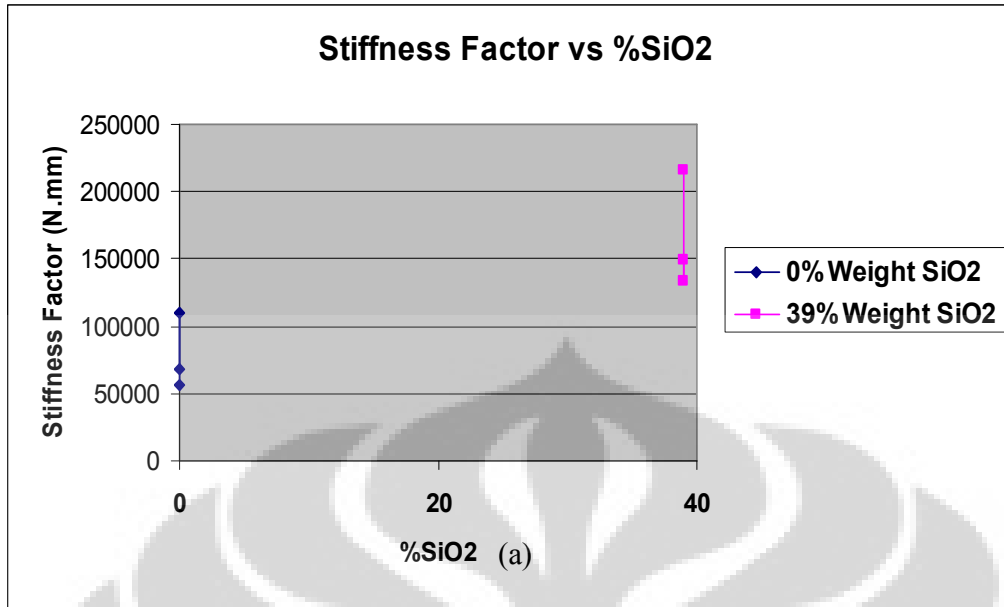


(a)



(b)

Gambar 4.11 Hubungan antara fraksi berat Silika dengan Kekakuan Pipa pada Filament Winding, a). Kekakuan Pipa tiap-tiap spesimen, dan b). Kekakuan Pipa rata-rata



(b)

Gambar 4.12 Hubungan antara fraksi berat Silika dengan Faktor Kekakuan pada Filament Winding, a). Faktor kekakuan pipa tiap-tiap spesimen, b). Kekakuan Pipa rata-rata

BAB V

PEMBAHASAN

Pengujian terhadap viskositas menunjukkan bahwa partikel dengan ukuran lebih kecil yaitu mesh #325 mempunyai nilai viskositas yang rendah dan pada pengujian hardness mempunyai kekerasan yang lebih tinggi. Sehingga silika ini lebih mudah untuk diaplikasikan pada laminasi komposit.

Ukuran partikel lebih kecil akan mempermudah meresapnya resin dan partikel ke dalam sela-sela fiberglass. Begitu pula dengan kekerasannya, partikel lebih kecil akan mempunyai kerapatan yang baik dalam pengujian menggunakan skala Barcol dengan probe model jarum. Sehingga kemungkinan probe jarum mengenai partikel silika lebih sering, dibandingkan ukuran partikel yang lebih besar.

Semakin tinggi fraksi berat partikel silika akan semakin tinggi nilai kekerasannya, sebab silika mempunyai kuat ikat yang tinggi, dengan energi ikat sekitar 621.7 kJ/mol [18].

V.1 Analisa Spesimen Hand Lay Up

Dari hasil pengujian spesimen dengan metode pembuatan Hand Lay Up diperoleh data-data bahwa dengan penambahan partikel silika maka akan menambah ketebalan dari komposit.

Komposit tanpa silika dengan jumlah laminasi sebanyak 4 plies 450gr/m² chopped strand mat menghasilkan ketebalan rata-rata 3.19mm. Sehingga diketahui ketebalan satu ply 450gr/m² chopped strand mat sebesar 0.7975mm. Sampel plat dibuat dengan ukuran 200mm x 500mm, berat plat setelah jadi = 594.5gram, berat fiberglass = 4 x 450 x 0.2 x 0.5 = 180gram. Jadi berat resin = 594.5gram - 180gram = 414.5gram

Komposit dengan penambahan 10% berat silika (dari berat resin) diperoleh ketebalan rata-rata 3.524mm. Sehingga diketahui ketebalan satu ply 450gr/m² chopped strand mat sebesar 0.881mm.

Komposit dengan penambahan 30% berat silica (dari berat resin) diperoleh ketebalan rata-rata 3.696mm. Sehingga diketahui ketebalan satu ply 450gr/m² chopped strand mat sebesar 0.924mm.

Komposit dengan penambahan 50% berat silica (dari berat resin) diperoleh ketebalan rata-rata 4.406mm. Sehingga diketahui ketebalan satu ply 450gr/m² chopped strand mat sebesar 1.1015mm.

Pengujian Kuat Lentur dan Modulus Lentur.

Dengan penambahan ketebalan tersebut diatas maka diperoleh modulus lentur yang semakin tinggi, meskipun kuat lenturnya berkurang. Dengan modulus lentur yang lebih tinggi dan ketebalan yang lebih juga, maka akan diperoleh kekakuan yang lebih baik.

Kekakuan = EI

E = Modulus

I = Momen Inersia = $1/12 b h^3$ (spesimen plat)

Dari hasil pengujian tersebut dapat diambil suatu nilai fraksi berat silica yang optimal sesuai dengan kebutuhan Modulus dan Kuat Lentur yang diinginkan, diantara 30% sampai dengan 50% silica (fraksi berat terhadap resin).

Jika dilihat dari hasil rata-rata pada nilai Modulus Tarik yang semakin meningkat dan Kuat Tarik yang semakin menurun, maka material ini bisa diaplikasikan pada kondisi yang sangat membutuhkan kekakuan baik dari segi penampilan maupun kekuatan tetapi tidak menahan beban besar secara terus menerus, misalnya : Partisi ruangan, pintu, interior kereta, panel-panel dinding dan lain-lain.

Pengujian Kuat Tarik dan Modulus Tarik.

Dari hasil pengujian ini diperoleh bahwa kedua parameter yaitu Kuat Tarik dan Modulus Tarik, keduanya menurun seiring dengan penambahan fraksi berat dari silica. Hal ini terjadi karena masing-masing sample mempunyai jumlah dan type fibreglass yang sama yaitu 4 plies 450gr/m² Chopped Strand Mat tetapi dengan ketebalan yang berbeda seiring dengan penambahan partikel silica. Dimana Kuat Tarik berbanding lurus dengan

Modulus Tarik tetapi berbanding terbalik dengan luas penampang, dalam hal ini unsur ketebalan sangat berpengaruh, Suharjo Poetardji [5] :

$$E = \sigma/\varepsilon \quad , \quad \sigma = F/A \quad , \quad A = a \times b$$

E = Modulus Tarik (N/mm²)

σ = Kuat Tarik (N/mm²)

ε = Regangan (mm/mm)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang = lebar x tebal (mm²)

Dari formula diatas dapat diketahui bahwa penambahan silica berarti akan menambah luas penampang spesimen uji, yang akan memperkecil Kuat Tarik dan Modulus Tarik,

Sebab komposit dengan fiber berbentuk partikel tidak akan memperbaiki kuat tarik dari fiberglass berbentuk chopped, dimana fiberglass ini mempunyai penampang geser yang lebih luas dibandingkan dengan partikel.

V.2 Analisa Spesimen Filament Winding

Pembuatan spesimen dengan mengacu metode yang dikemukakan oleh Y. Zhang dan J. Cameron [11] dengan menggunakan *double bath* yaitu untuk resin dan partikel silica menemui banyak kendala antara lain :

1. Pada saat tarikan pertama fiberglass roving oleh mesin filament winding, jumlah partikel silika yang menempel pada roving yang basah karena resin, tidak merata dan jumlahnya tidak terkontrol.
2. Setelah melewati roving guide berbentuk seperti sisir yang berfungsi untuk menjaga lebar band width dan alur roving, roving banyak yang terputus dan kusut. Hal ini karena partikel fiber dengan mesh#325 yang menempel pada roving dan tergesek oleh roving menyebabkan partikel mengikis roving sehingga mudah putus. Hal ini juga terjadi pada roving guide yang terbuat dari material SUS 304 terkikis oleh gesekan roving dan partikel silika.

Dengan metode ini proses tidak bisa dilanjutkan, sebab tujuan akhir dari penelitian ini harus bisa digunakan pada skala yang besar yaitu sampai proses produksi massal, bukan hanya sekedar pembuatan sampel semata.

Setelah beberapa kali dicoba dan dianalisa akhirnya ditemukan dengan metode silika disemprotkan pada alur fiberglass roving, aplikasi ini harus dilakukan hati-hati karena bentuk partikel silika yang tajam akan mudah mengikis cetakan pipa yang relatif mahal.

Dari hasil uji coba pembasahan resin diperoleh data sebagai berikut :

Berat roving sebelum dipakai rata-rata	= 2.4 gram/m ² /yarn
Berat roving setelah melewati resin bath rata-rata	= 3.84 gram/m ² /yarn
Berat resin yang menempel pada fiberglass roving	= 1.44 gram/m ² /yarn
Dipakai lebar band width	= 50 mm
Desain berat fiberglass roving FW -55°/+55°	= 2 x 600 gram/m ² x 4 layer
Jumlah Roving Yarn pada band Width	= (600/2.4) x (50/1000) = 12.5 yarn → 13 yarn
Panjang bersih pipa	= 1200 mm
Diameter pipa	= 150 mm
Berat Fiberglass Roving	= $\pi \times 0.150 \times 1.200 \times 2 \times 600 \times 4 = 2715.4$ gram
Berat Resin	= (1.44/2.4) x 2715.4 = 1629.2 gram
Berat sampel termasuk Silika	= 4980 gram
Berat silika	= 4980 - 2715.4 - 1629.2 = 635.4 gram
Fraksi berat Silika terhadap Resin	= 635.4/1629.2 x 100 % = 39.0007%

Sehingga bisa dihitung berat partikel silika yang harus disemprotkan, dengan mengatur lebar lubang *sprayer* sebaran partikel dan mengatur valve angin sesuai ratio yang diinginkan.



(a)



(b)

Gambar 5.1 Pembuatan komposit dengan mengikuti metode dua bath [11], a). tangki silika dan resin bath, dan b). kondisi Fiberglass Roving banyak terputus dan kusut



(a)



(b)

Gambar 5.2 Pembuatan komposit dengan mengikuti metode satu bath dengan *Sprayer Silika*, a). Fiberglass roving tidak mudah terputus, b) Aplikasi *sprayer silica*.

Perbandingan metode pembuatan pipa komposit menggunakan proses Filament Winding dengan penambahan partikel silika sebagai berikut :

1. Dua bath yaitu tangki silika dan resin bath :

Kelebihan :

- Aplikasi lebih praktis dan desain mesin lebih kompak.
- Kebersihan terjaga dengan baik, tidak ada partikel silika terbuang.

Kekurangan :

- Fiberglass roving mudah putus, kecepatan produksi rendah
- Rasio partikel silika tidak terkontrol, fiberglass ada yang tertempel silika, ada yang tidak sama sekali.

2. Satu bath dengan sprayer

Kelebihan :

- Rasio partikel silika lebih mudah dikontrol, dengan penyetelan debit spray silika
- Kecepatan proses produksi sama seperti proses biasa tanpa silika
- Roving tidak mudah terputus, sehingga kualitas visual lebih baik

Kekurangan :

- Mesin perlu desain khusus untuk mengatasi kotor akibat debu silika

Kuat Tarik Hoop Pipa Komposit Filament Winding

Pengujian dengan sistem ini hampir sama dengan proses Hand Lay Up tersebut diatas hanya dari segi metode pembuatan spesimen yang berbeda, sehingga hasilnya pun hampir sama yaitu kenaikan fraksi berat silica menyebabkan peningkatan ketebalan yang mengakibatkan menurunnya nilai kuat tarik. Tetapi nilai ini sangat berguna untuk perhitungan ketebalan pipa atau tangki yang berbentuk silinder.

Dari pengamatan kerusakan sample setelah diuji tarik menunjukkan bahwa sebanyak 4 dari total 5 sampel pipa dengan pasir silika kondisi fiberglassnya terputus, sedangkan untuk seluruh pipa tanpa pasir silika fiberglassnya tidak terputus sama sekali. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan pasir silika akan menambah kuat geser antara matrik dengan fiberglass, fiberglass akan terputus sebelum tercabut dari matrik.



Gambar 5.3 Spesimen hasil uji tarik hoop pipa non silika

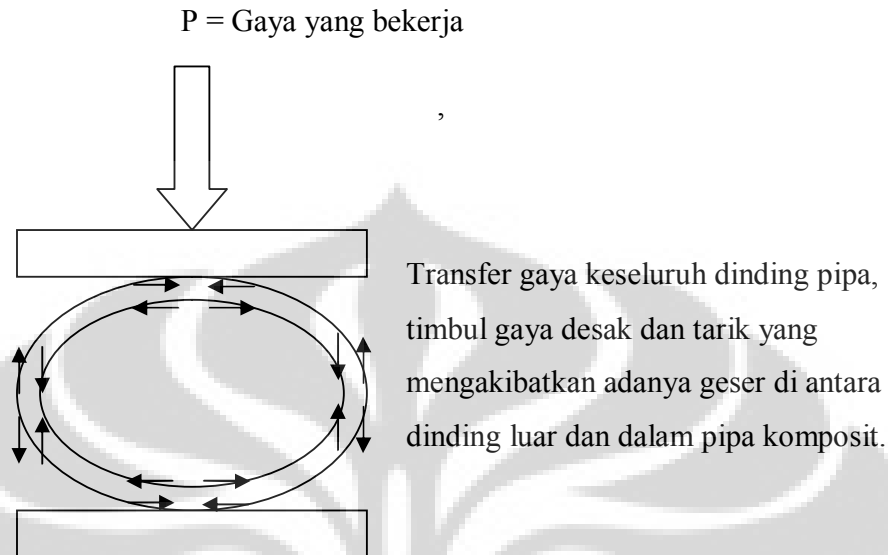


Gambar 5.4 Spesimen hasil uji tarik hoop pipa dengan penambahan silika

Eksternal Loading Pipa Komposit Filament Winding

Dari hasil pengujian bahwa seiring dengan penambahan fraksi berat partikel silika menambah sifat kekakuan dari pipa, akibat tekanan dari luar. Sehingga nilai Stiffness Faktor (SF) dari pipa tersebut semakin tinggi.

Pada pengujian pembebanan eksternal ini secara visual terlihat bahwa pipa yang tidak ditambah partikel silika mempunyai luas area cacat delaminasi yang lebih besar dari pada yang ditambah partikel silika.



Gambar 5.5 Mekanisme transfer gaya yang mengakibatkan delaminasi pada pipa komposit (koleksi pribadi)

Dari sini kelihatan bahwa, pada saat pipa dibebani timbul gaya geser internal diantara laminasi sisi luar dan sisi dalam, dimana pipa komposit dengan partikel silika lebih kuat menahan gaya gesek (penyebab delaminasi) dari pada pipa komposit tanpa partikel silika.

Tabel 5.1 Kerusakan pipa komposit pasca uji eksternal Loading

No.	Jenis Pipa	Dia. Luar (mm)	Panjang (mm)	Luas Permukaan (mm ²)	Luas Kerusakan		Jenis Kerusakan
					(mm ²)	%	
1	FW Non Silica	157.80	305.00	151262.57	137250	90.74	Delaminasi dan Crack
2	FW Non Silica	157.54	301.00	149032.84	63210	42.41	Delaminasi dan Crack
3	FW Non Silica	157.53	300.00	148528.29	63000	42.42	Delaminasi dan Crack
				Rata-rata		58.52	
4	FW Silica	160.90	301.00	152211.40	42140	27.69	Delaminasi dan Crack
5	FW Silica	160.37	301.50	151962.03	33165	21.82	Delaminasi dan Crack
6	FW Silica	161.83	297.00	151056.75	32670	21.63	Delaminasi dan Crack
				Rata-rata		23.71	



Gambar 5.6 Pipa FW tanpa penambahan partikel silica paska uji *eksternal loading*.



Gambar 5.7 Pipa FW dengan penambahan partikel silica paska uji *eksternal loading*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Pengujian Viskositas

Semakin tinggi kandungan pasir silika akan semakin kental, dengan fraksi berat yang baik sebesar 50% pada pasir silika mesh #325, dengan kekentalan yang lebih tinggi misalnya pada 50% pasir silika mesh #200 sulit diaplikasikan dengan sistem laminasi Hand lay Up, disamping itu juga akan berpotensi adanya void karena resin yang sangat kental sulit untuk bisa meresap ke dalam fiberglass.

Pengujian Kekerasan (Hardness)

Pengujian kekerasan dengan skala Barcol Hardness menunjukkan bahwa kenaikan fraksi berat pasir silika akan meningkatkan kekerasan.

Pengujian Kuat Tarik Plat Komposit Hand Lay Up

Pengujian dengan metode pembuatan komposit Hand Lay Up menunjukkan bahwa Penambahan SiO₂ sebesar 10%, 30%, 50% akan berpengaruh pada penurunan Kuat Tarik rata-rata sebesar, 11.8%, 25.9%, 56.1% dan penurunan Modulus Tarik rata-rata sebesar 3.1%, 2.9%, 25%. Hal ini bisa terjadi karena pembuatan plat dengan jumlah lapisan fiberglass yang sama yaitu masing-masing 4 lembar Chopped Strand Mat 450gr/m² terjadi kenaikan tebal karena penambahan silika, yang mengakibatkan penurunan Kuat Tarik dan Modulus Tarik.

Pengujian Kuat Lentur Plat Komposit Hand Lay Up

Pengujian ini menunjukkan bahwa Penambahan SiO₂ sebesar 10% tidak berpengaruh pada Modulus Lentur bahkan memperlemah Modulus Lentur rata-rata 22.8% dan penurunan Kuat Lentur rata-rata sebesar 3.4%.

Pada penambahan 30% dan 50% SiO₂ masing-masing terjadi penurunan Kuat Lentur sebesar 37.9% dan 52.4%, tetapi pada kondisi ini Modulus Lentur mengalami peningkatan yang baik masing-masing rata-rata naik 22.5% dan 34.2%. Hal ini berarti bahwa komposit dengan penambahan 50% SiO₂ sangat kaku bila dibandingkan dengan tanpa penambahan SiO₂.

Pengujian Kuat Tarik Hoop Pipa Komposit Filament Winding

Metode Filament Winding dengan modifikasi silica sprayer, tidak jauh berbeda dengan kuat tarik metode Hand Lay Up yaitu bahwa penambahan partikel silica akan menurunkan kuat tarik dari komposit, karena penambahan tebal.

Pada penambahan 39% SiO₂ rata-rata terjadi penurunan kuat tarik sebesar 38.48% menjadi rata-rata 160.7 N/mm².

Pengujian Eksternal Loading Pipa Komposit Filament Winding

Metode Filament Winding dengan modifikasi silica sprayer, menunjukkan bahwa fraksi berat yang pada awalnya diatur sekitar 50%, karena ada beberapa partikel yang jatuh atau terbang menjadi hanya 39%, dengan hasil yang cukup baik pada sifat Kekakuan Pipa (Pipe Stiffness) dan Faktor Kekakuan (Stiffness Factor) masing-masing mengalami kenaikan rata-rata sebesar 103.9% dan 112.6%.

Setelah pengujian *eksternal loading*, secara visual pipa dengan menggunakan partikel silika mempunyai luas kerusakan delaminasi yang lebih sedikit (rata-rata 23.71%) dari pada pipa tanpa partikel silika(rata-rata58.52%), setelah pengujian *eksternal loading*.

Secara umum Komposit dengan penambahan partikel silika dapat diaplikasikan pada produk pipa dan tangki bawah tanah yang bertekanan rendah atau sebagai media aliran saja, seperti : saluran drainase, pipa hisap, tangki penampungan bawah tanah dan lain-lain yang tidak memerlukan kuat tarik yang tinggi, tetapi diperlukan material yang bersifat kaku. Bisa juga diaplikasikan pada bahan bangunan seperti panel-panel dinding, toilet, atap, dan lain-lain. Komposit ini akan lebih murah karena harga partikel silica jauh lebih

murah dari fiberglass 10 kali lipat dan jika dibandingkan dengan resin antara 10 – 30 kali lipat lebih murah dari resin tergantung tipenya.

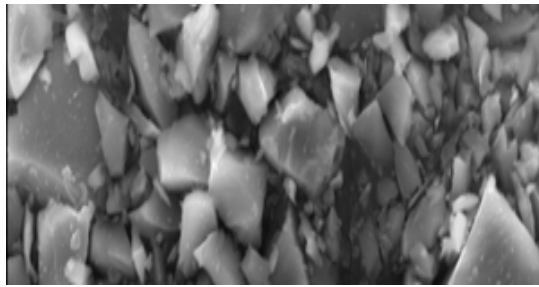
VI.2 Saran

1. Pembuatan komposit dengan metode Filament Winding Single Batch Spray perlu dikembangkan lagi dengan cara mengontrol fraksi berat dan penyebaran pasir silica pada saat proses berlangsung.
2. Pembuatan komposit dengan metode Filament Winding Double Batch, sangat rentan terhadap putusnya Roving Yarn, sehingga perlu pengembangan lebih lanjut. Disamping itu juga rasio silica yang menempel pada Roving Yarn yang basah karena resin tidak bisa dikontrol (fraksi beratnya).
3. Kontrol rasio silica yang paling baik adalah dengan *mixing* resin dan silica lebih dahulu, hal ini bisa dilakukan pada metode Hand Lay Up dan bisa dikembangkan ke arah Injection.

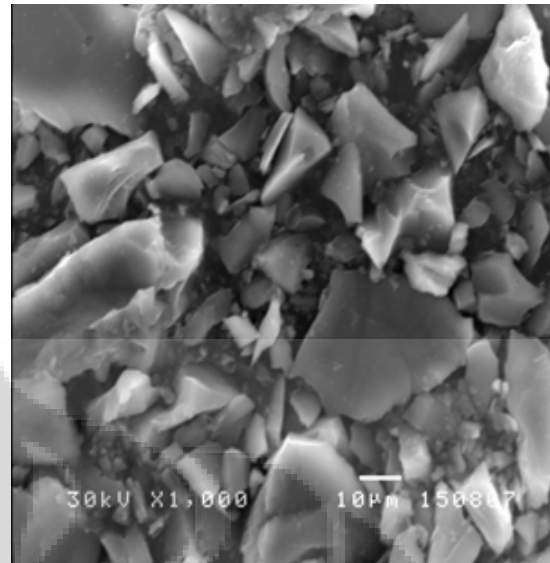
BAB VII

DAFTAR REFERENSI

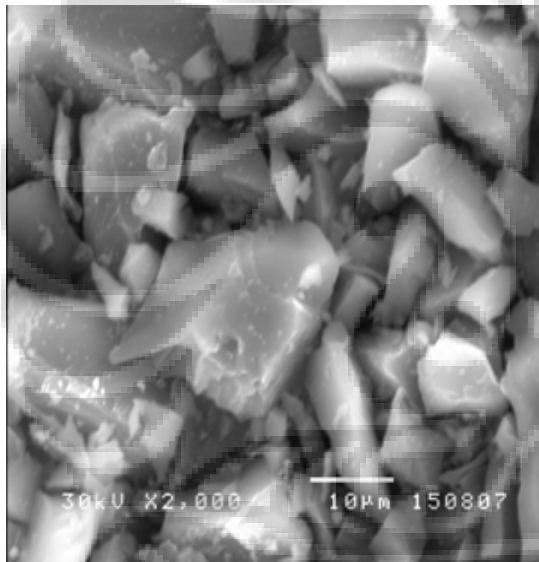
1. Gibson Ronald F (1994), *Principles of Composite Material Mechanics*
2. Mallick P.K, (1993), *Fiber Reinforced Composites, Material Manufacturing and Design, second edition, revised and expanded*
3. Anderson J.C., Leaver K.D., Rawlings R.D., Alexander J.M, (1992) Fourth edition *Material Science*
4. *American Standards of Testing Machine (2003), Volume 08.01, 08.02, 08.03, 08.04, Annual Book*
5. Jianzhong MA, Jing Hu, Zhuie Zhang and Lingyun Liu (2006), *The Acrylic Resin Leather Coating Agent Modified by Nano-SiO₂*
6. Murphy John (1998), *The Reinforced Plastic Hand Book second edition*
7. Lubin George consultant (1982), *Hand Book of Composites edited*
8. Cheremisinoff Nicholas P., Cheremisinoff Paul N. (1978), *Fiberglass Reinforced Plastic deskbook*
9. Hermanto (2004), Analisis Kinerja Pipa Glass Fiber Reinforced Plastics pada Uji Tekanan dan Benda Impak Beban Jatuh,
10. Zhang Y. and Chameron J.(1993), *Silica Particle / Glass Fibre-Reinforced Polyester Resin, Journal of Composites Materials,*
11. Cao Y. and Chameron J. (2006), *Flexural and Shear Properties of Silica Particle Modified Glass Fiber Reinforced Epoxy Composite*
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Grit_size (13/10/2008)
13. http://id.wikipedia.org/wiki/Skala_Mohs (22/10/2008)
14. Wagner (2008), *Viscosity-Coating Thickness*
15. www.barcol-impressor.com (22/10/2008)
16. Cray Valley, Technical Data Sheet (2008)
17. Nitto Boseki, Technical Data Sheet (2008)
18. Silicon Dioxide, <http://en.wikipedia.org> (16/12/2008)



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar hasil Scanning Electrón Microscopy partikel silika a) Mesh #200 perbesaran 1000x, b). Mesh #325 perbesaran 1000x , c). Mesh #200 perbesaran 2000x d). Mesh #325 perbesaran 2000x

(lanjutan)



(a)



(b)

Gambar a). Alat uji Barcol, dan b). Pengujian Hardness dengan Barcol



(a)



(b)

Gambar a). Alat uji viskositas DIN cup, dan b). Pengujian viskositas

(lanjutan)



(a)



(b)

Gambar a) dan b). Pengujian Kuat Lentur dan Modulus Lentur Plat Komposit Hand Lay Up, Universal Testing Machine kapasitas 10 KN

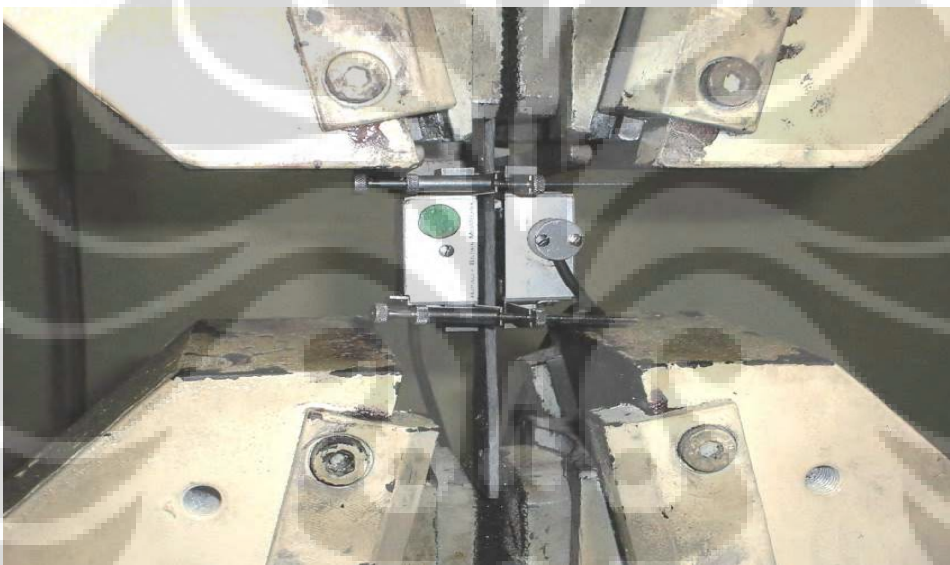
(lanjutan)



(a)

(b)

Gambar spesimen paska uji lentur a). 10% silika dan b). 50% silika



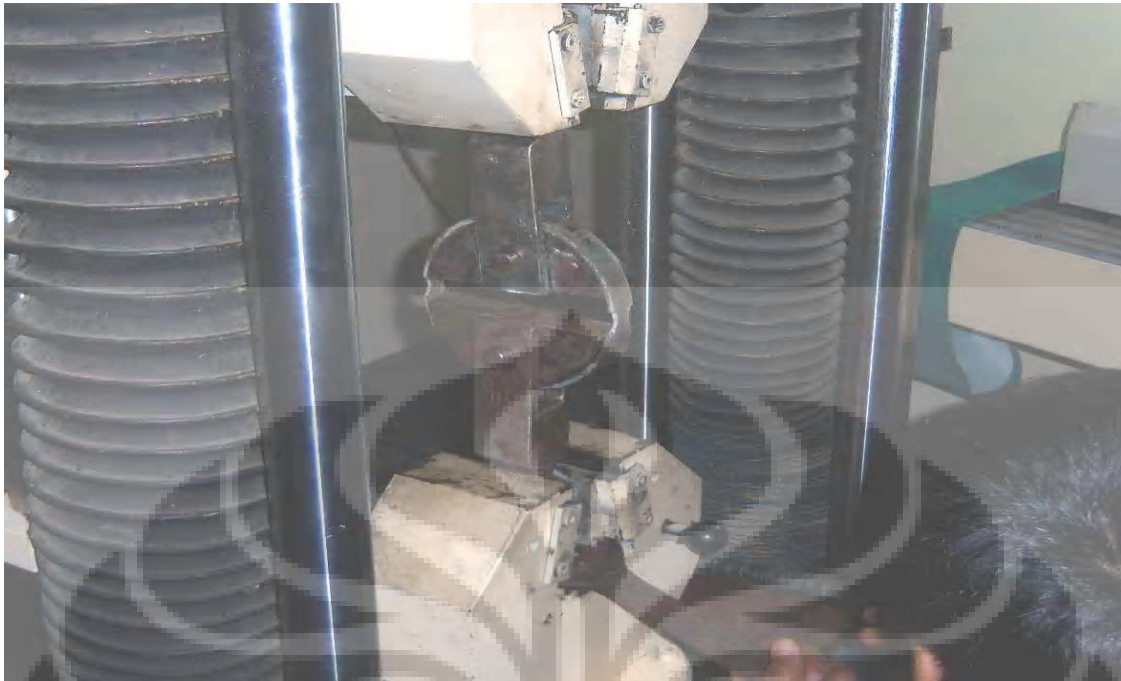
(a)



(b)

a). Foto Pengujian Kuat Tarik dan Modulus Tarik, dan b). Spesimen paska uji tarik

(lanjutan)



(a)



(b)



(c)

Gambar a) dan b). pengujian kuat tarik hoop pipa komposit filament winding, c) alat pemegang specimen uji.

(lanjut)



(a)



(b)

Foto pengujian uji eksternal loading pipa komposit filament winding, a) tanpa silika, b) dengan silika

Tabel Hasil Pengujian Viskositas dan Hardness

SiO₂ Mesh #325 Casting

% SiO ₂ (weight)	Viscosity (second)	Hardness (Barcol)
0	67	36.3
10	62	41.2
30	93	44.4
50	138	51.8

SiO₂ Mesh #200 Casting

% SiO ₂ (weight)	Viscosity (second)	Hardness (Barcol)
0	67	36.3
10	61	39.0
30	124	43.7
50	304	50.5

SiO₂ Mesh #325 Laminate HLU

% SiO ₂ (weight)	Hardness (Barcol)	Laminate Method
0	51.4	Hand Lay Up
10	52.2	Hand Lay Up
30	53.4	Hand Lay Up
50	54.7	Hand Lay Up

SiO₂ Mesh #325 Laminate FW

% SiO ₂ (weight)	Hardness (Barcol)	Laminate Method
0	45.9	Filament Winding
39	46.5	Filament Winding

(lanjutan)

Tabel Hasil Pengujian Kuat Lentur dan Modulus Lentur pada Hand Lay Up

0% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Tebal a (mm)	Lebar b (mm)	Span Ls (mm)	Load P (N)	Lendutan D (mm)	Slope m (N/mm)	Kuat Lentur σ_f (MPa)	Modulus Lentur E_f (Mpa)
1	0	3.32	12.97	53.12	498.07	4.12	121.02	277.60	9555.08
2	0	3.32	12.89	53.12	452.73	3.93	115.22	253.90	9153.23
3	0	3.22	12.98	51.52	421.96	4.39	96.13	242.30	7584.08
4	0	3.14	12.95	50.24	405.44	4.33	93.67	239.30	7407.02
5	0	2.95	13.00	47.20	393.25	3.27	120.29	246.10	9475.04
Rata-rata								251.84	8634.89

10% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Tebal a (mm)	Lebar b (mm)	Span Ls (mm)	Load P (N)	Lendutan D (mm)	Slope m (N/mm)	Kuat Lentur σ_f (MPa)	Modulus Lentur E_f (Mpa)
1	10	3.52	12.96	56.32	405.82	3.28	123.67	213.50	9771.10
2	10	3.47	12.53	55.52	335.51	3.36	99.71	185.20	8148.92
3	10	3.67	12.95	58.72	361.00	3.34	107.96	182.30	8536.92
4	10	3.54	12.85	56.64	397.84	3.92	101.38	209.90	8078.92
5	10	3.42	12.98	54.72	334.42	3.68	90.80	180.80	7163.08
Rata-rata								194.34	8339.79

30% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Tebal a (mm)	Lebar b (mm)	Span Ls (mm)	Load P (N)	Lendutan D (mm)	Slope m (N/mm)	Kuat Lentur σ_f (MPa)	Modulus Lentur E_f (Mpa)
1	30	3.49	12.96	55.84	331.12	2.56	129.35	175.70	10220.00
2	30	3.73	12.87	59.68	311.63	2.23	139.88	155.80	11129.84
3	30	3.72	12.82	59.52	270.64	2.21	122.39	136.20	9776.00
4	30	3.75	12.20	60.00	314.53	2.44	128.91	165.00	10820.12
5	30	3.79	12.46	60.64	292.79	2.20	133.00	148.80	10930.00
Rata-rata								156.30	10575.19

50% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Tebal a (mm)	Lebar b (mm)	Span Ls (mm)	Load P (N)	Lendutan D (mm)	Slope m (N/mm)	Kuat Lentur σ_f (MPa)	Modulus Lentur E_f (Mpa)
1	50	4.62	13.06	73.92	329.84	1.49	220.65	131.20	17300.25
2	50	4.37	13.08	69.92	281.27	2.21	127.02	118.10	9944.07
3	50	4.10	12.87	65.60	281.64	2.34	120.47	128.10	9585.08
4	50	4.37	12.96	69.92	279.16	2.15	129.73	118.30	10250.21
5	50	4.57	12.88	73.12	253.84	1.85	136.98	103.50	10890.00
Rata-rata								119.84	11593.92

(lanjutan)

Tabel Hasil Pengujian Kuat Tarik pada Filament Winding

Hasil Pengujian Kuat Tarik Hoop Pipa

0% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Lebar b1 (mm)	Tebal a1 (mm)	Lebar b2 (mm)	Tebal a2 (mm)	Luas Tot At (mm ²)	Load Fm (kN)	σ (N/mm ²)
1	0	14.07	4.60	14.07	4.84	132.59	38.75	292.25
2	0	14.24	3.77	14.24	4.42	116.81	29.75	254.69
3	0	14.37	4.29	14.37	3.90	117.30	30.00	255.75
4	0	14.48	5.60	14.48	5.33	158.43	39.75	250.90
5	0	14.44	4.21	14.44	4.08	118.87	30.00	252.38
Rata-rata								261.19

39% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Lebar b1 (mm)	Tebal a1 (mm)	Lebar b2 (mm)	Tebal a2 (mm)	Luas Tot At (mm ²)	Load Fm (kN)	σ (N/mm ²)
1	39	14.37	6.42	14.28	5.44	169.94	33.75	198.60
2	39	14.74	5.43	14.38	4.93	150.93	20.75	137.48
3	39	13.42	5.85	14.12	6.12	164.92	28.50	172.81
4	39	14.81	5.30	14.35	5.29	154.40	21.50	139.25
5	39	14.28	4.77	14.39	5.22	143.23	22.25	155.34
Rata-rata								160.70

Tabel Hasil Pengujian Eksternal Loading pada Filament Winding

Hasil Pengujian Karakteristik Eksternal Loading

0%Weight SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Dia.Luar ID (mm)	Dia.Dalam OD (mm)	Radius Tengah r (mm)	Panjang L (mm)	Gaya		Lendutan Δy (mm)	Kekakuan PS(N/mm ²)	Faktor Kekakuan SF(N.mm)
						P (KN)	F(N/mm)			
1	0	157.80	149.54	76.84	305.00	16.00	52.46	63.00	0.83	56278.58
2	0	157.54	149.96	76.88	301.00	13.75	45.68	28.00	1.63	110438.33
3	0	157.53	149.33	76.72	300.00	13.00	43.33	43.00	1.01	67792.36
Rata-rata		157.62	149.61						1.16	78169.76

39%Weight SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Dia.Luar ID (mm)	Dia.Dalam OD (mm)	Radius Tengah r (mm)	Panjang L (mm)	Gaya		Lendutan Δy (mm)	Kekakuan PS(N/mm ²)	Faktor Kekakuan SF(N.mm)
						P (KN)	F(N/mm)			
1	39	160.90	150.74	77.91	301.00	12.75	42.36	20.00	2.12	149238.05
2	39	160.37	150.29	77.67	301.50	13.25	43.95	23.00	1.91	133371.50
3	39	161.83	150.23	78.02	297.00	14.50	48.82	16.00	3.05	215879.88
Rata-rata		161.03	150.42						2.36	166163.15

(lanjutan)

Tabel Hasil Pengujian Kuat Tarik dan Modulus Tarik pada Hand Lay Up

0% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Tebal a (mm)	Lebar b (mm)	Luas Ao (mm)	F _{0.2%} (KN)	Fm (KN)	$\sigma_{0.2\%}$ (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	Et (N/mm ²)
1	0	2.91	12.81	37.28	0.80	6.00	21.46	161.0	10730.45
2	0	3.18	13.04	41.47	0.80	6.20	19.29	149.5	9646.18
3	0	3.33	12.89	42.92	1.10	6.30	25.63	146.8	12813.43
4	0	2.72	12.86	34.98	0.80	5.10	22.87	145.8	11435.37
5	0	3.33	13.14	43.76	0.90	5.60	20.57	128.0	10284.26
Rata-rata							21.96	146.21	10981.94

10% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Tebal a (mm)	Lebar b (mm)	Luas Ao (mm)	F _{0.2%} (KN)	Fm (KN)	$\sigma_{0.2\%}$ (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	Et (N/mm ²)
1	10	2.86	13.34	38.15	0.70	4.40	18.35	115.33	9173.73
2	10	2.75	13.25	36.44	0.70	5.20	19.21	142.71	9605.49
3	10	2.76	12.86	35.49	0.80	4.40	22.54	123.97	11269.64
4	10	2.44	12.88	31.43	0.70	4.20	22.27	133.64	11136.85
5	10	2.54	13.11	33.30	0.80	4.30	24.02	129.13	12012.23
Rata-rata							21.28	128.96	10639.59

30% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Tebal a (mm)	Lebar b (mm)	Luas Ao (mm)	F _{0.2%} (KN)	Fm (KN)	$\sigma_{0.2\%}$ (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	Et (N/mm ²)
1	30	2.86	13.13	37.55	0.80	4.20	21.30	111.85	10651.95
2	30	2.85	12.49	35.60	0.80	4.00	22.47	112.37	11237.06
3	30	3.11	13.19	41.02	0.80	4.50	19.50	109.70	9751.13
4	30	2.89	13.19	38.12	0.90	3.60	23.61	94.44	11805.11
5	30	3.10	13.07	40.52	0.80	4.60	19.74	113.53	9872.40
Rata-rata							21.33	108.38	10663.53

50% SiO₂

Sample No.	SiO ₂ %	Tebal a (mm)	Lebar b (mm)	Luas Ao (mm)	F _{0.2%} (KN)	Fm (KN)	$\sigma_{0.2\%}$ (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	Et (N/mm ²)
1	50	4.62	13.06	60.34	1.00	3.50	16.57	58.01	8286.76
2	50	4.37	13.08	57.16	1.10	4.60	19.24	80.48	9622.18
3	50	4.10	12.87	52.77	0.90	3.50	17.06	66.33	8528.06
4	50	4.37	12.96	56.64	0.90	3.50	15.89	61.80	7945.59
5	50	4.57	12.88	58.86	0.80	3.20	13.59	54.36	6795.60
Rata-rata							16.47	64.20	8235.64

Perhitungan *Specific Strength* dan *Specific Modulus* Lentur**0% SiO₂**

Keterangan	Resin	Silika	Fiberglass	Total Nilai
Berat (gram)	3600	0	1800	5400
Fraksi berat (%)	66.67	0	33.33	100
Specific gravity	1.12	2.2	2.5	1.37
Volume (cm ³)	3214.2857	0	720	3934.29
Fraksi volume (%)	81.70	0	18.30	100
Spesifik kuat lentur	Mpa/(Ton/m ³)			183.48
Spesifik modulus lentur	Mpa/(Ton/m ³)			6291.13

10% SiO₂

Keterangan	Resin	Silika	Fiberglass	Total Nilai
Berat (gram)	2980.8	331.2	1800	5112
Fraksi berat (%)	58.31	6.4788732	35.21	100
Specific gravity	1.12	2.2	2.5	1.45
Volume (cm ³)	2661.4286	150.55	720	3531.97
Fraksi volume (%)	75.35	4.26	20.39	100
Spesifik kuat lentur	Mpa/(Ton/m ³)			134.27
Spesifik modulus lentur	Mpa/(Ton/m ³)			5762.11

30% SiO₂

Keterangan	Resin	Silika	Fiberglass	Total Nilai
Berat (gram)	2746.8	1177.2	1800	5724
Fraksi berat (%)	47.99	20.566038	31.45	100
Specific gravity	1.12	2.2	2.5	1.54
Volume (cm ³)	2452.5	535.09	720	3707.59
Fraksi volume (%)	66.15	14.43	19.42	100
Spesifik kuat lentur	Mpa/(Ton/m ³)			101.24
Spesifik modulus lentur	Mpa/(Ton/m ³)			6849.84

50% SiO₂

Keterangan	Resin	Silika	Fiberglass	Total Nilai
Berat (gram)	2745	2745	1800	7290
Fraksi berat (%)	37.65	37.65	24.69	100
Specific gravity	1.12	2.2	2.5	1.65
Volume (cm ³)	2450.8929	1247.73	720	4418.62
Fraksi volume (%)	55.47	28.24	16.29	100
Spesifik kuat lentur	Mpa/(Ton/m ³)			72.64
Spesifik modulus lentur	Mpa/(Ton/m ³)			7027.32

Perhitungan *Specific Strength* dan *Specific Modulus Tarik***0% SiO₂**

Keterangan	Resin	Silika	Glass	Total Nilai
Berat (gram)	3600	0	1800	5400
Fraksi berat (%)	66.67	0	33.33	100
Specific gravity	1.12	2.2	2.5	1.37
Volume (cm ³)	3214.286	0	720	3934.29
Fraksi volume (%)	81.70	0	18.30	100
Spesifik kuat tarik	Mpa/(Ton/m ³)			106.52
Spesifik modulus tarik	Mpa/(Ton/m ³)			8001.13

10% SiO₂

Keterangan	Resin	Silika	Glass	Total Nilai
Berat (gram)	2980.8	331.2	1800	5112
Fraksi berat (%)	58.31	6.478873	35.21	100
Specific gravity	1.12	2.2	2.5	1.45
Volume (cm ³)	2661.429	150.55	720	3531.97
Fraksi volume (%)	75.35	4.26	20.39	100
Spesifik kuat tarik	Mpa/(Ton/m ³)			89.10
Spesifik modulus tarik	Mpa/(Ton/m ³)			7351.09

30% SiO₂

Keterangan	Resin	Silika	Glass	Total Nilai
Berat (gram)	2746.8	1177.2	1800	5724
Fraksi berat (%)	47.99	20.56604	31.45	100
Specific gravity	1.12	2.2	2.5	1.54
Volume (cm ³)	2452.5	535.09	720	3707.59
Fraksi volume (%)	66.15	14.43	19.42	100
Spesifik kuat tarik	Mpa/(Ton/m ³)			70.20
Spesifik modulus tarik	Mpa/(Ton/m ³)			6907.06

50% SiO₂

Keterangan	Resin	Silika	Glass	Total Nilai
Berat (gram)	2745	2745	1800	7290
Fraksi berat (%)	37.65	37.65	24.69	100
Specific gravity	1.12	2.2	2.5	1.65
Volume (cm ³)	2450.893	1247.73	720	4418.62
Fraksi volume (%)	55.47	28.24	16.29	100
Spesifik kuat tarik	Mpa/(Ton/m ³)			38.91
Spesifik modulus tarik	Mpa/(Ton/m ³)			4991.79

CRAY VALLEY RESINS (M) SDN. BHD.

(Co. No. 227546-T)

PL0 491, Jalan Keluli, 81700 Pasir Gudang Industrial Estate,
Johor, Malaysia.

Tel: 07-2536688 Fax: 07-2528882

IRREVOCABLE DOCUMENTARY CREDIT NO: 08/001/6795/B DATE: 080919

INVOICE: 42604

DATE: 22/09/2008

ORIGINAL

Inspection Date: 11.07.2008

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Product : SYNOLAC 2532A
Batch No. : PIG 8163

TEST RESULTS

* Appearance : Cloudy pink
Viscosity @ 25°C (LVT/Sp3/60rpm) : 490 cps
Thixotropic index 25°C (LVT/Sp3,6/60rpm) : 2.2
Gel time (1% K1/ 25°C) : 42.2 mins
Peak Exotherm : 172 °C
Time to Peak : 54.2 mins
Non-Volatile @ 150°C/60 mins : 57.8 %
Acid Value : 18.5 mg KOH/g





NITTO BOSEKI CO., LTD.

GLASS FIBER DIVISION

4-1-28, KUDAN KITA, CHIYODA-KU, TOKYO

〒102-8489, JAPAN

PHONE: 81-3-3514-8731 FAX: 81-3-3514-8758

MESSRS :

Date : Jun.27,2008

QUALITY CERTIFICATE

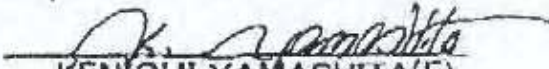
PRODUCT NAME : GLASS CHOPPED STRAND MAT
MC 450A-186WX

Results of Inspection Item	Unit	Specification	Result
Lot Number	—	—	80610,80611,80616,
Width	(mm)	1860±5	1860
Length per Roll	(m)	64.0+0.5-0	64.1
Weight per Roll	(kg)	53.0±3.7	53.5
Mass per Unit Area	(g/m ²)	450±31.5	449
Maximum Deviation of Mass per 300 x 300mm	(%)	less than 18	7.4
Loss on Ignition	(%)	4.0±2.0	3.0

Testing Method : JIS R 3420

NITTO BOSEKI CO.,LTD.
GLASS FIBER DIVISION
QUALITY ASSURANCE DEPT.

(C.No.A6982701)


KENICHI YAMASHITA(F)



NITTO BOSEKI CO., LTD.

GLASS FIBER DIVISION

4-1-28, KUDAN-KITA, CHIYODA-KU, TOKYO

〒102-8489, JAPAN

PHONE : 81-3-3514-8731 FAX : 81-3-3514-8758

MESSRS: _____

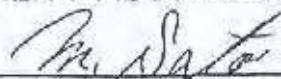
Date : Jul 20, 2007

QUALITY CERTIFICATE

PRODUCT NAME : GLASS ROVING
RS 240RL-510WC
EX - FACTORY DATE : Jul 20, 2007
CARTON No. : No 7541 ~ 7560
NET WEIGHT : 17,791 kg

ITEM	(UNIT)	RESULTS				
		70628	70629	70630	70701	70702
LOT No.		70628 x 2	70629 x 3	70630 x 3	70701 x 4	70702 x 3
Roll Weight	(kg)	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
Roving Tex	(tex)	2434	2437	2437	2441	2446
Loss on Ignition	(%)	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34
Moisture	(%)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Tensile Strength	(N/tex)	0.469	0.448	0.448	0.448	0.448

NITTO BOSEKI CO., LTD.
GLASS FIBER DIVISION
QUALITY ASSURANCE DEPT.


MASAKAZU SATO (S)

(C.No.A5295201)

OF
P. T. SUPERINTENDING COMPANY OF INDONESIA

LABORATORY MANAGER,
DR. H. A. HASJID

This report may not be used
for advertising purposes

Sampling is not to be done by
the organization.
Sample received in our Laboratory.

LABORATORY: JL. ELANGAR 2-1-01
ELANGAR COMMERCIAL STATE BUILDING 116
PHONE: 21-271211, 212127 TELKAT: 21122 21122
HEAD OFFICE: JL. SET. 100-1, PAKMAN 111
ADDRESS: SURABAYA 11111
PHONE: 21111 (4 LINE), 21111 (5 LINE)
CABLE: SUCOPINDO 1111

LAB No. M-1497/XII/86.

REPORT
OF
ANALYSIS

Subject : SILICA FLOUR.

Tested for : Full analysis.

Description of Sample : Packing : Unsealed plastic bag.
One sample received on : December 3, 1986.

Sample marks : " 200 MESH "

Principal : CV. NAGAMAS PRIMA ENTERPRISE
Jl. Mardani Raya No. 8
Jakarta Pusat.

Results :

- SiO ₂ content,	%	: 97.38
- Fe ₂ O ₃ content,	%	: 0.06
- Al ₂ O ₃ content,	%	: 1.20
- CaO content,	%	: 0.19
- MgO content,	%	: 0.04
- K ₂ O content,	%	: 0.30
- Na ₂ O content,	%	: 0.07
- TiO ₂ content,	%	: 0.03
- Loss on ignition,	%	: 0.65
- Sieve test :		
- on mesh 200,	%	: 25.40
- passing mesh 200,	%	: 74.60

Jakarta, December 11, 1986

This report refers to the tested sample only.

Analyses are carried out to the best of our knowledge.
Report is issued on the understanding that it does not

65

and our responsibility is limited to the correctness of the results.
Parties concerned from their contractual obligations.

PT. SUCOFINDO
ANALYTICAL LABORATORIES

LABORATORY MANAGER,
DRS. H. A. RAJID

This report may not be used

for advertising purposes
sampling is not carried out by
our organization.
Samples analyzed in our laboratory.



LABORATORY: Jl. PAPA BILANDRA 880
SILANGKA BUNGAPODI - SATE - BUNGAPODI
PHONE: 021-2511011-1024215-1024216-1024217-1024218
TELEFAX: 021-2511011-1024215-1024216-1024217-1024218
HEAD OFFICE: JARIVAN BUNGAPODI - 17.000
Jl. A. M. PRADIA, JARIVAN - 17.000
P.O. BOX 1277-1278-1279-1280
INDONESIA 17100 TEL: 021-2511011-1024215-1024216-1024217-1024218
FAX: 021-2511011-1024215-1024216-1024217-1024218

Our Ref. : MI-1535/VII/89.....

REPORT
OF
ANALYSIS

LAB. No. 2005302
2005302.

Subject : SILICA FLOUR.
Hal

Tested for : Full analysis.
Analisa

Description of Sample : Packing : Unsealed plastic bag,
Keirangan Contoh : One sample received on : July 1, 1989;

Simple marks : " MESH 325 "
Tanda

Principal : CV. NAGAMAS PRIMA ENTERPRISE
Jl. Mardani Raya No. 8
Jakarta Pusat

Results
Hasil

- SiO ₂ content,	%	: 98.87
- Al ₂ O ₃ content,	%	: 0.21
- Fe ₂ O ₃ content,	%	: 0.16
- TiO ₂ content,	%	: undetectable
- CaO content,	%	: 0.13
- MgO content,	%	: 0.03
- K ₂ O content,	%	: 0.11
- Na ₂ O content,	%	: 0.03
- Loss on Ignition,	%	: 0.21
- Specific Gravity,	%	: 2.70
- pH 5%,	%	: 6.50
- Passing by mesh 325,	%	: 99.6

Jakarta, July 7, 1995



[Signature]

Mrs. Yelva Lelaenah
Reg. Number 2.62.52.032

da.

This report refers to the tested sample only.

All analyses are carried out to the best of our knowledge and
This report is issued on the understanding that it does not void

CERTIFICATE OF ANALYSIS
(MEPOXE)

Lampiran

We hereby certify that the product analysis is as follows :

Lot No. (Item)	A. O (%)	Gel Time (min' sec'')	Curing Time (min' sec'')	Max Temp (°C)
Standard	9.5±0.5	9~13	—	—
04839 A (100)	9.40	09'10"	18'21"	143
04841 A (.50)	9.10	09'15"	18'36"	142

Item = In Box : @ 20kg

Polymerization mixing ratio : Resin/Hardener = 100/1.5 (Weight Ratio)

Resin : PolyLite TA 136 (FRP-Hand Lay Up)

Note : Recommended storage temperature 5~25°C

Multirastia
Wit Prastia

M Suzuki
M Suzuki

Laporan Pengujian

No.Lap. : R108493

No. Order : J1080440

Tanggal : 05-11-2008

Pelanggan : Universitas Indonesia Program Pasca Sarjana
Jl. Salemba Raya No. 4 , Jakarta 10430

Kontak Person : Bpk. Kus Hardoyo

Jenis Material : 4 Sampel Material Komposit (Resin + Fiber Glass)

Penerimaan Sampel : 28 Oktober 2008

Tanggal Pengujian : 04 November 2008

Tipe Pengujian : Flexural Strength (ASTM D 790)

KONDISI PENGUJIAN

• Uji *Flexural (3-Point Bending)*

Sampel uji dipreparasi oleh pelanggan. Sebelum diuji sampel dikondisikan pada suhu 23 °C dan kelembaban relatif 50 % selama lebih dari 40 jam. Kecepatan tekan adalah 0,427 x thickness / menit. Jumlah spesimen uji untuk masing-masing sampel 5 (lima) buah. Kondisi ruang pada saat pengujian dilakukan adalah suhu 23,2 °C dan kelembaban relatif 58 %.

HASIL PENGUJIAN

Hasil pengujian *flexural strength* pada sampel komposit dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel : Hasil pengujian *Flexural Strength* pada Sampel Komposit

No.	Jenis Sampel	E- Modulus [GPa]	Flexural Strength [MPa]
1.	Komposit Resin + Fiber Glass (0 % Silica)	8,64 ± 1,05	251,8 ± 15,4
2.	Komposit Resin + Fiber Glass (10 % Silica)	8,34 ± 0,95	194,3 ± 16,0
3.	Komposit Resin + Fiber Glass (30 % Silica)	10,58 ± 0,56	156,3 ± 15,1
4.	Komposit Resin + Fiber Glass (50 % Silica)	11,59 ± 3,23	119,9 ± 10,87

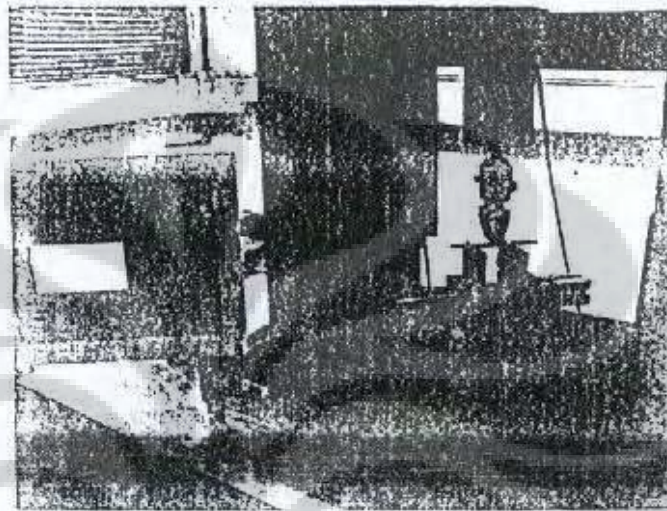
Pengujian Fisik & Mekanik
Manajer Teknis



Ir. Hendro Sat Setijo Tomo

ORIGINAL

LAMPIRAN FOTO PENGUJIAN



Gambar 1. Peralatan Pengujian Flexural



Gambar 2. Pengujian Flexural

ORIGINAL

Test Certificate

Flexural Test

Order No.....J1080440
 Test Standard.....ASTM D790
 Tester.....abd

Material.....Komposit 0%
 Tested on.....2008-11-04
 Kondisi Uji.....23.2oC,RH58%

Testing machine.....AGS-G
 Test speed 1D % → 1 260 mm/min

Directory.....J1080440fkompst
 Parameterset.....astm d790

Legend

BNo..... Batch number
 a..... Thickness
 b..... Width

Ls..... Support span
 Ef..... E Modulus
 FM..... Flexural strength

Test No	BNo	a mm	b mm	Ls mm	Ef GPa	FM MPa
1	Komp 0% -1	3.320	12.97	53.12	9.555	277.6
2	Komp 0% -2	3.320	12.89	53.12	9.153	253.9
3	Komp 0% -3	3.220	12.98	51.52	7.584	242.3
4	Komp 0% -4	3.140	12.95	50.24	7.407	239.3
5	Komp 0% -5	2.950	13.00	47.20	9.475	246.1
Mean:		3.190	12.96	51.04	8.635 ✓	251.8
Minimum:		2.950	12.89	47.20	7.407	239.3
Maximum:		3.320	13.00	53.12	9.555	277.6
Std.dev.:		0.154	0.042	2.463	1.053	15.40
W(0.95) %:		5.991	0.403	5.991	15.14	7.593
Values:		5	5	5	5	5

ORIGINAL

Test Certificate

Flexural Test

Order No..... J1080440
 Test Standard.....ASTM D790
 Tester.....abd

Material.....Komposit 10%325
 Tested on..... 2008-11-04
 Kondisi Uji..... 23.2oC,RH58%

Testing machine.....AGS-G
 Test speed 1.....0.% → 1 460 mm/min

Directory..... J1080440ftkompst
 Parameterset..... astm d790

Legend

BNo Batch number
 a Thickness
 b Width

l_s Support span
 E_f E-Modulus
 σ_{fM} Flexural strength

Test No	BNo	a mm	b mm	l _s mm	E _f GPa	σ _{fM} MPa
6	Komp 10% 325-1	3.520	12.96	56.32	9.771	213.5
7	Komp 10% 325-2	3.470	12.53	55.52	8.149	185.2
8	Komp 10% 325-3	3.670	12.95	58.72	8.537	182.3
9	Komp 10% 325-4	3.540	12.85	56.64	8.079	209.9
10	Komp 10% 325-5	3.420	12.98	54.72	7.163	180.8
Mean:		3.524	12.85	56.38	8.340	194.3
Minimum:		3.420	12.53	54.72	7.163	180.8
Maximum:		3.670	12.98	58.72	9.771	213.5
Std.dev.:		0.094	0.188	1.503	0.946	15.98
W(0.95) %:		3.310	1.815	3.310	14.08	10.21
Values:		5	5	5	5	5

ORIGINAL

Test Certificate

Flexural Test

Order No.....J1080440
 Test Standard.....ASTM D790
 Tester.....abd

Material.....Komposit 30%325
 Tested on.....2008-11-04
 Kondisi Uji.....23.2oC,RH58%

Testing machine.....AGS G
 Test speed 1.....0 % → 1.618 mm/min

Directory.....J1080440\kompst
 Parameterset.....astm d790

Legend

BNo.....Batch number
 a.....Thickness
 b.....Width

Ls.....Support span
 Ef.....E-Modulus
 "fM.....Flexural strength

Test No	BNo	a mm	b mm	Ls mm	Ef GPa	"fM MPa
11	Komp 30% 325-1	3.490	12.96	55.84	10.22	175.7
12	Komp 30% 325-2	3.730	12.87	59.68	11.13	155.8
13	Komp 30% 325-3	3.720	12.82	59.52	9.776	136.2
14	Komp 30% 325-4	3.750	12.20	60.00	10.82	165.0
15	Komp 30% 325-5	3.790	12.46	60.64	10.93	148.8
Mean:		3.696	12.66	59.14	10.58	156.3
Minimum:		3.490	12.20	55.84	9.776	136.2
Maximum:		3.790	12.96	60.64	11.13	175.7
Std.dev.:		0.118	0.321	1.892	0.561	15.10
W(0.95) %:		3.972	3.144	3.972	6.585	12.00
Values:		5	5	5	5	5

ORIGINAL

Test Certificate

Flexural Test

Order No.....J1080440
 Test Standard.....ASTM D790
 Tester.....abd

Material.....Komposit 50%325
 Tested on.....2008-11-04
 Kondisi Uji.....23.2oC,RH58%

Testing machine.....AGS-G
 Test speed 1.....0 % -> 1,951 mm/min

Directory.....J1080440ftkompst
 Parameterset.....astm d790

Legend

BNo.....Batch number
 a.....Thickness
 b.....Width

Ls.....Support span
 Ef.....E-Modulus
 "fM.....Flexural strength

Test No	BNo	a mm	b mm	Ls mm	Ef GPa	"fM MPa
16	Komp 50% 325-1	4.620	13.06	73.92	17.30	131.2
17	Komp 50% 325-2	4.370	13.08	69.92	9.944	118.1
18	Komp 50% 325-3	4.100	12.87	65.60	9.585	128.3
19	Komp 50% 325-4	4.370	12.96	69.92	10.25	118.3
20	Komp 50% 325-5	4.570	12.88	73.12	10.89	103.5
Mean:		4.406	12.97	70.50	11.59	119.9
Minimum:		4.100	12.87	65.60	9.585	103.5
Maximum:		4.620	13.08	73.92	17.30	131.2
Std.dev.:		0.205	0.098	3.288	3.226	10.87
W(0.95) %:		5.790	0.938	5.790	34.54	11.26
Values:		5	5	5	5	5

ORIGINAL



**BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI
BALAI BESAR TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR**

KAWASAN PUSPIPTEK Gd. 220 CISAUK - TANGERANG 15314
Telp. (021) 7560565 / 7560930, Fax. (021) 7560903

Lampiran 9
(lanjutan)

**LAPORAN
REPORT**

HASIL

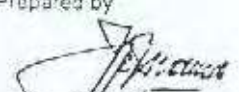
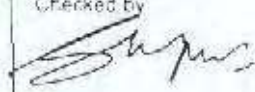
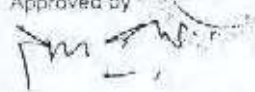
UJI TARIK & TEKAN STATIS MATERIAL KOMPOSIT
PARTIKEL SiO_2 & MATRIKS R POLYSTER

Kus Hardoyo / 0706171535

Program Studi Ilmu Material
Program Pascasarjana FMIPA-UI

Nomor : 2008. 2. 2091

Tanggal : 5 November 2008

Dikerjakan oleh Prepared by	Tanggal Date	Diperiksa oleh Checked by	Tanggal Date	Disetujui oleh Approved by	Tanggal Date
 Abdurrahman S. Teknisi	05/11/08	 M. Ir. M.N. Sofia Nusa MT Penyelia	05/11/08	 DR Ir Amin S M Eng Manajer Teknis	05/11/08

Duplikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari isinya harus dengan izin tertulis dari Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur - BPPT
Duplication and utilization of this document or part of it is subjected to prior written permission from Agency for the Assessment and Application of Technology - BPPT



BALAI BESAR TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR

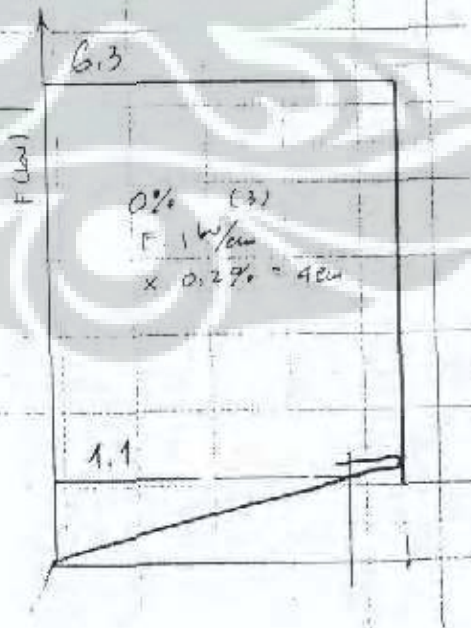
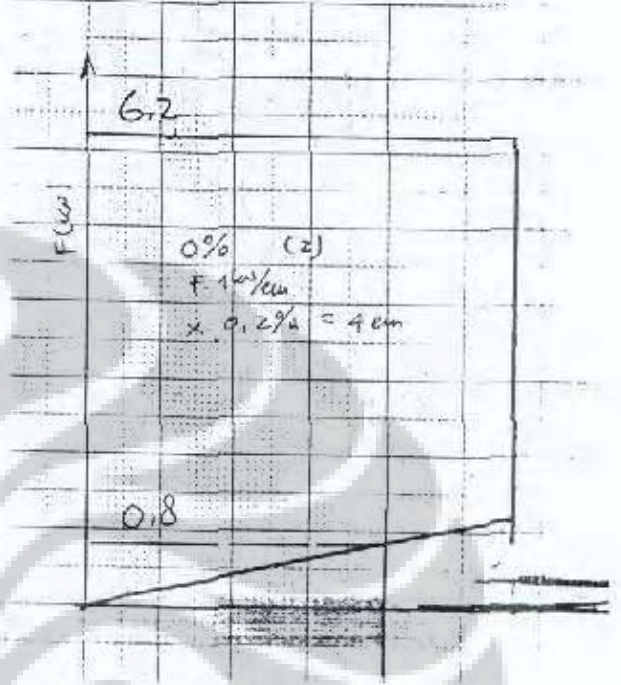
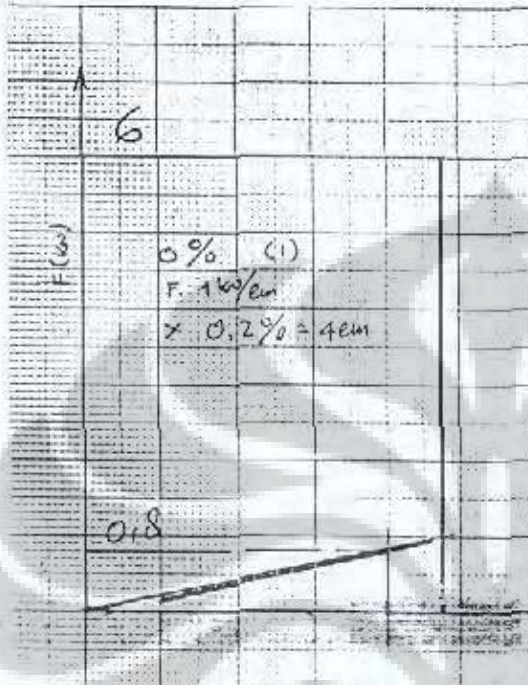
LAPORAN UJI TARIK STATIS
TENSION TEST REPORTHalaman
PageLampiran 9.
(lanjutan)Pemakai Jasa : Kus Hardoyo / 0706171535
Customer : Program Studi Ilmu Material
Program Pascasarjana FMIPA-UIObjek : Spesimen
ObjectNo. Kontrak :
Contract NrMaterial : Komposit Partikel SiO₂
& Matriks R PolysterNo Laporan
Report NrStandar
StandardTanggal : 5 Nopember 2008
DateMesin Uji : RME 100
Test MachineTanggal penerimaan spesimen : 5 Nopember 2008
Date of specimen receiving

No	Dimensi (mm)		A ₀ (mm ²)	F _{0.2%} (kN)	F _m (kN)	σ _{0.2%} (N/mm ²)	σ _u (N/mm ²)	E _t (N/mm ²)	Kode	Keterangan
	Lebar	Tebal								
1	12.81	2.91	37.28	0.8	6.0	21.46	160.96	10730.45	0%	
2	13.04	3.18	41.47	0.8	6.2	19.29	149.52	9646.18	0%	
3	12.89	3.33	42.92	1.1	6.3	25.63	146.77	12813.43	0%	
4	12.86	2.72	34.98	0.8	5.1	22.87	145.80	11435.37	0%	
5	13.14	3.33	43.76	0.9	5.6	20.57	127.98	10284.26	0%	
1	13.34	2.86	38.15	0.7	4.4	18.35	115.33	9173.73	10% 325	
2	13.25	2.75	36.44	0.7	5.2	19.21	142.71	9605.49	10% 325	
3	12.86	2.76	35.49	0.8	4.4	22.54	123.97	11269.64	10% 325	
4	12.88	2.44	31.43	0.7	4.2	22.27	133.64	11136.85	10% 325	
5	13.11	2.54	33.30	0.8	4.3	24.02	129.13	12012.23	10% 325	
1	13.13	2.86	37.55	0.8	4.2	21.30	111.85	10651.95	30% 325	
2	12.49	2.85	35.60	0.8	4.0	22.47	112.37	11237.06	30% 325	
3	13.19	3.11	41.02	0.8	4.5	19.50	109.70	9751.13	30% 325	
4	13.18	2.69	38.12	0.9	3.6	23.61	94.44	11805.11	30% 325	
5	13.07	3.10	40.52	0.8	4.6	19.74	113.53	9872.40	30% 325	
1	13.35	4.17	55.67	1.0	3.5	17.96	62.87	8981.58	50% 325	
2	13.35	4.31	57.54	1.1	4.6	19.12	79.95	9558.82	50% 325	
3	13.48	4.37	58.91	0.9	3.5	15.28	59.42	7639.08	50% 325	
4	13.17	4.34	57.16	0.9	3.5	15.75	61.23	7872.94	50% 325	
5	12.86	3.82	49.13	0.8	3.2	16.28	65.14	8142.46	50% 325	

Keterangan A₀ = Luas penampang F_m = Beban tarik
 F_{0.2%} = Beban luluh σ_{0.2%} = Tegangan luluh
 σ_u = Tegangan maksimum E_t = Modulus elastisitas tarik

- Hasil uji hanya representatif batang uji yang diuji, di luar batang uji ini bukan tanggung jawab
 Lab: Uji Mekanik Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT

Dikerjakan oleh
Prepared byDiperiksa oleh
Checked by



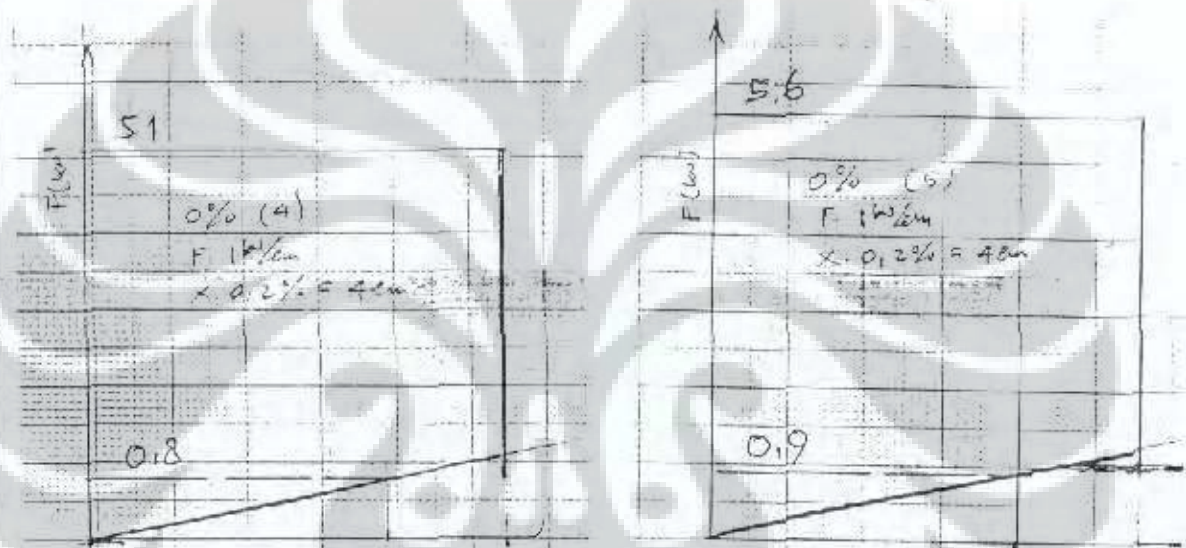
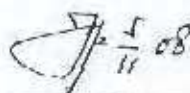
Dikerjakan oleh
Prepared by

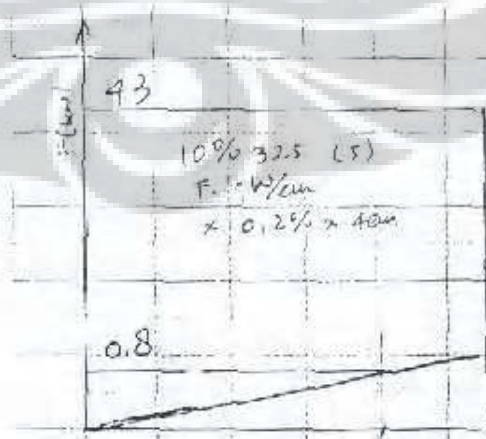
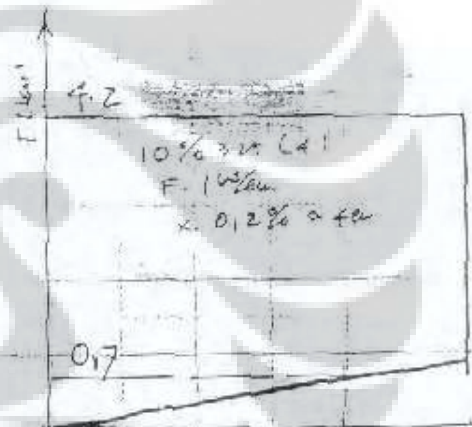
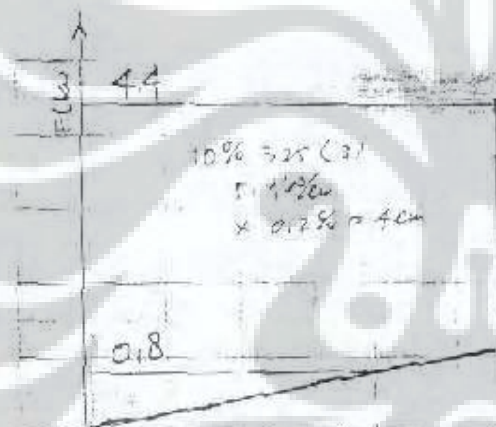
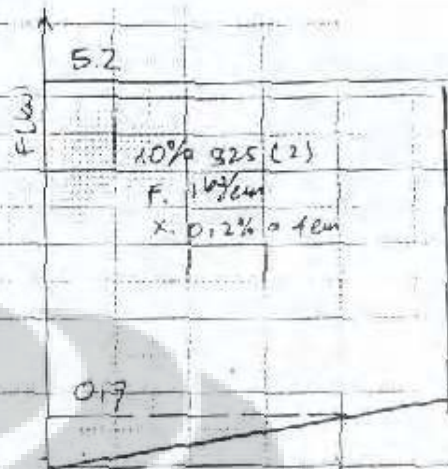
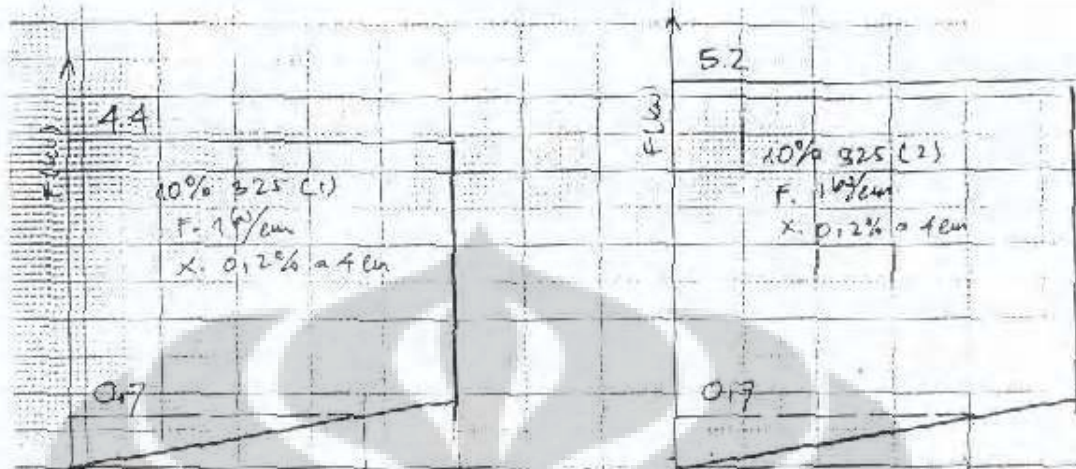
Jf 5/11/08

Diperiksa oleh
Checked by

Hz



Dikerjakan oleh
Prepared by
5/11/08Diperiksa oleh
Checked by



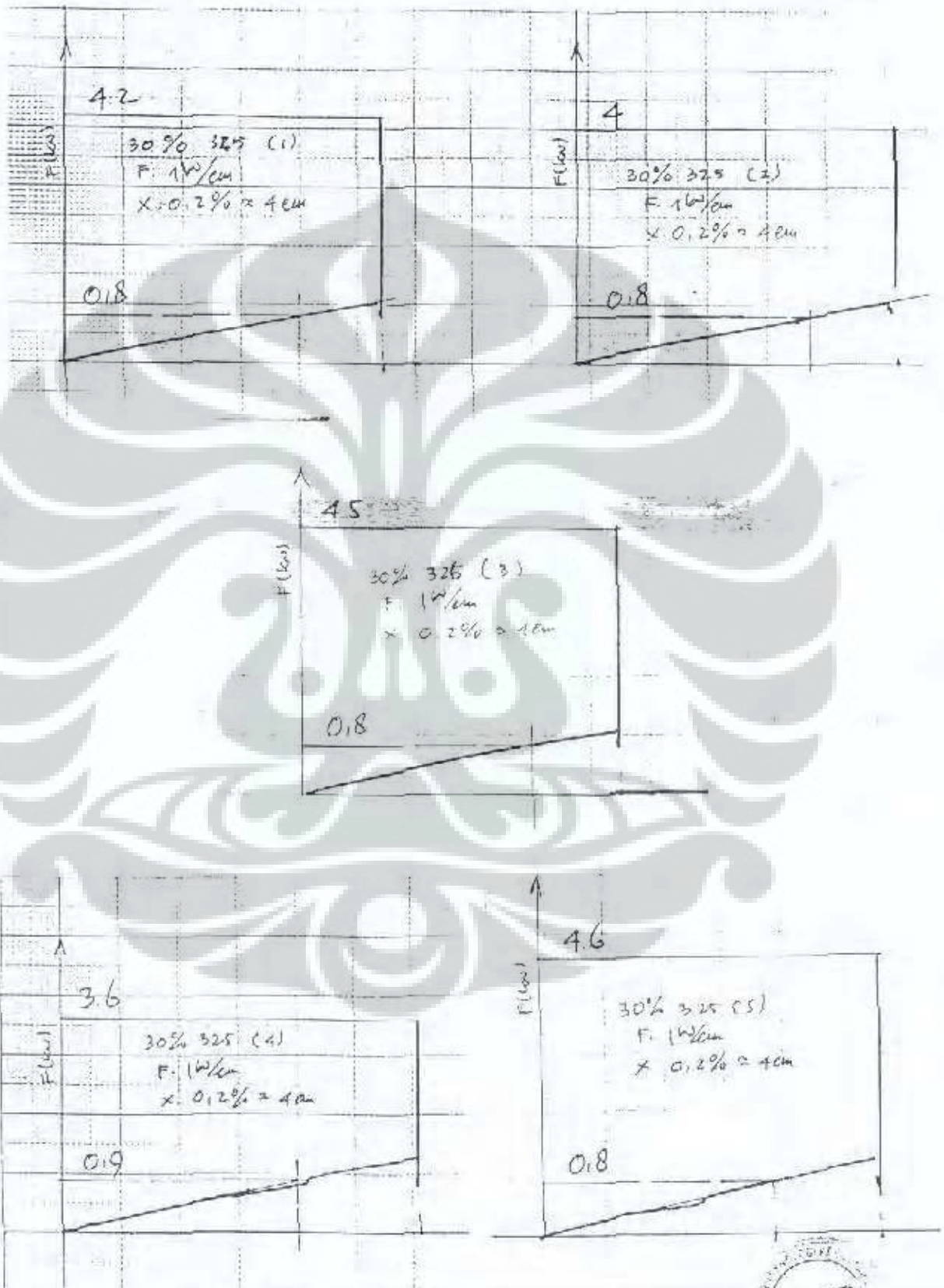
Dikerjakan oleh
Prepared by

J. F. 11/08

Diperiksa oleh
Checked by

[Signature]





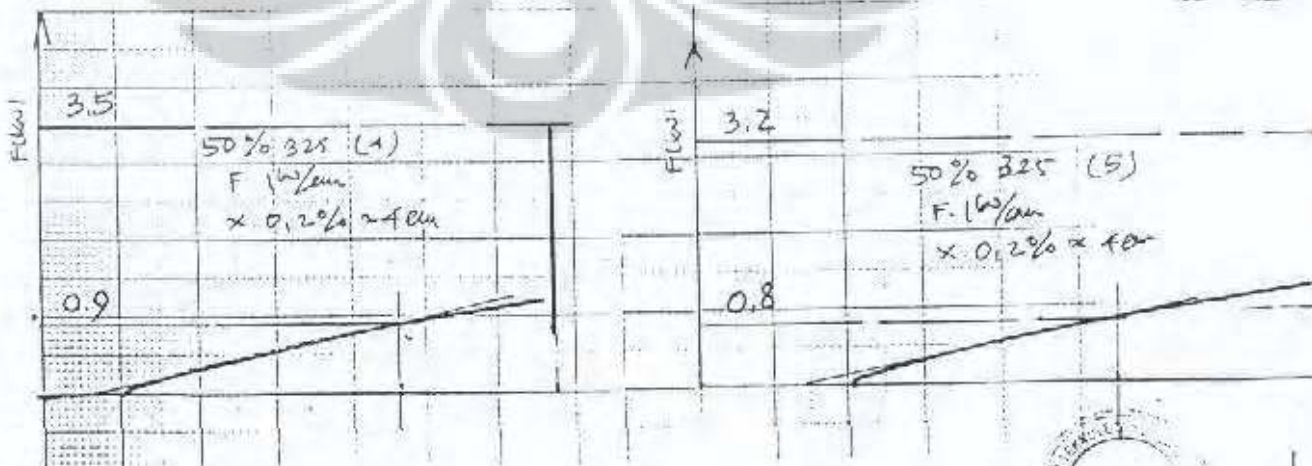
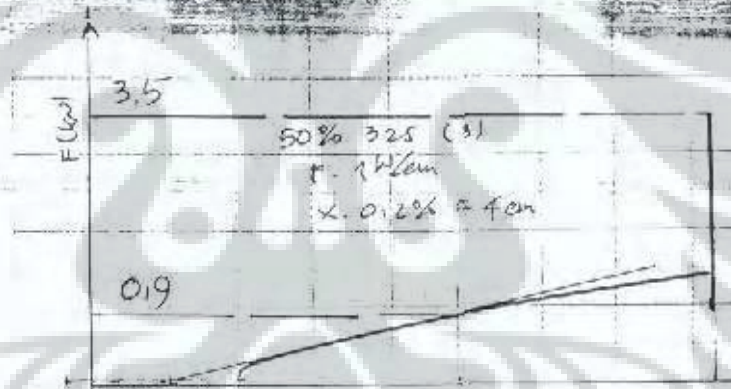
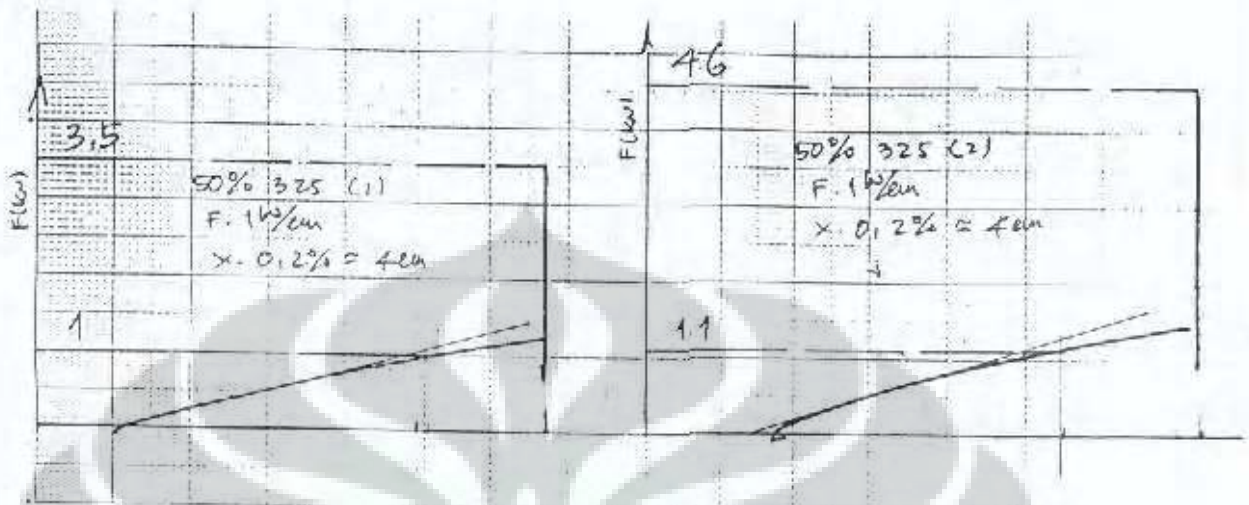
Dikerjakan oleh
Prepared by

J. I. 08
11/08

Diperiksa oleh
Checked by

M





Dikerjakan oleh
Prepared by

[Signature]
11/08

Diperiksa oleh
Checked by

[Signature]





BALAI BESAR TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR

LAPORAN UJI TARIK STATIS
TENSION TEST REPORTHalaman
PageLampiran 9.
(lanjutan)

Pemakai Jasa Kus Hardoyo / 0706171535
Customer Program Studi Ilmu Material
Program Pascasarjana FMIPA-UI

Objek Spesimen
Object

No Kontrak
Contract Nr

Material Komposit Partikel SiO₂
Material & Matrks R Polyster

No Laporan
Report Nr

Standar
Standard

Tanggal 5 Nopember 2008
Date

Mesin Uji RME 100
Test Machine

Tanggal penerimaan spesimen 5 Nopember 2008
Date of specimen receiving

No	Dimensi (mm)		Dimensi (mm)		A ₀ (mm ²)	F _m (kN)	σ _u		ε (%)	Kode	Keterangan
	Lebar	Tebal	Lebar	Tebal			(N/mm ²)	(Kgf)			
1	14.02	4.60	14.07	4.84	132.59	38.75	292	29.8	-	I	Non Slice
2	14.29	3.77	14.24	4.42	118.81	29.75	255	26.0	-	II	Non Slice
3	14.28	4.29	14.37	3.90	117.30	30.00	256	26.1	-	III	Non Slice
4	14.51	5.60	14.48	5.33	158.43	39.75	251	25.6	-	IV	Non Slice
5	14.24	4.21	14.44	4.08	118.87	30.00	252	25.7	-	V	Non Slice
1	14.37	5.42	14.28	5.44	169.94	33.75	189	20.2	-	I	Silikca
2	14.74	5.43	14.38	4.93	150.93	20.75	137	14.0	-	II	Silikca
3	13.42	5.85	14.12	6.12	164.92	28.50	173	17.6	-	III	Silikca
4	14.81	5.30	14.35	5.29	154.40	21.50	139	14.2	-	IV	Silikca
5	14.28	4.77	14.39	5.22	143.23	22.25	155	15.8	-	V	Silikca

Keterangan:

A₀ = Luas penampangσ_y = Kuat luluhF_m = Beban tarikσ_u = Kuat tarik

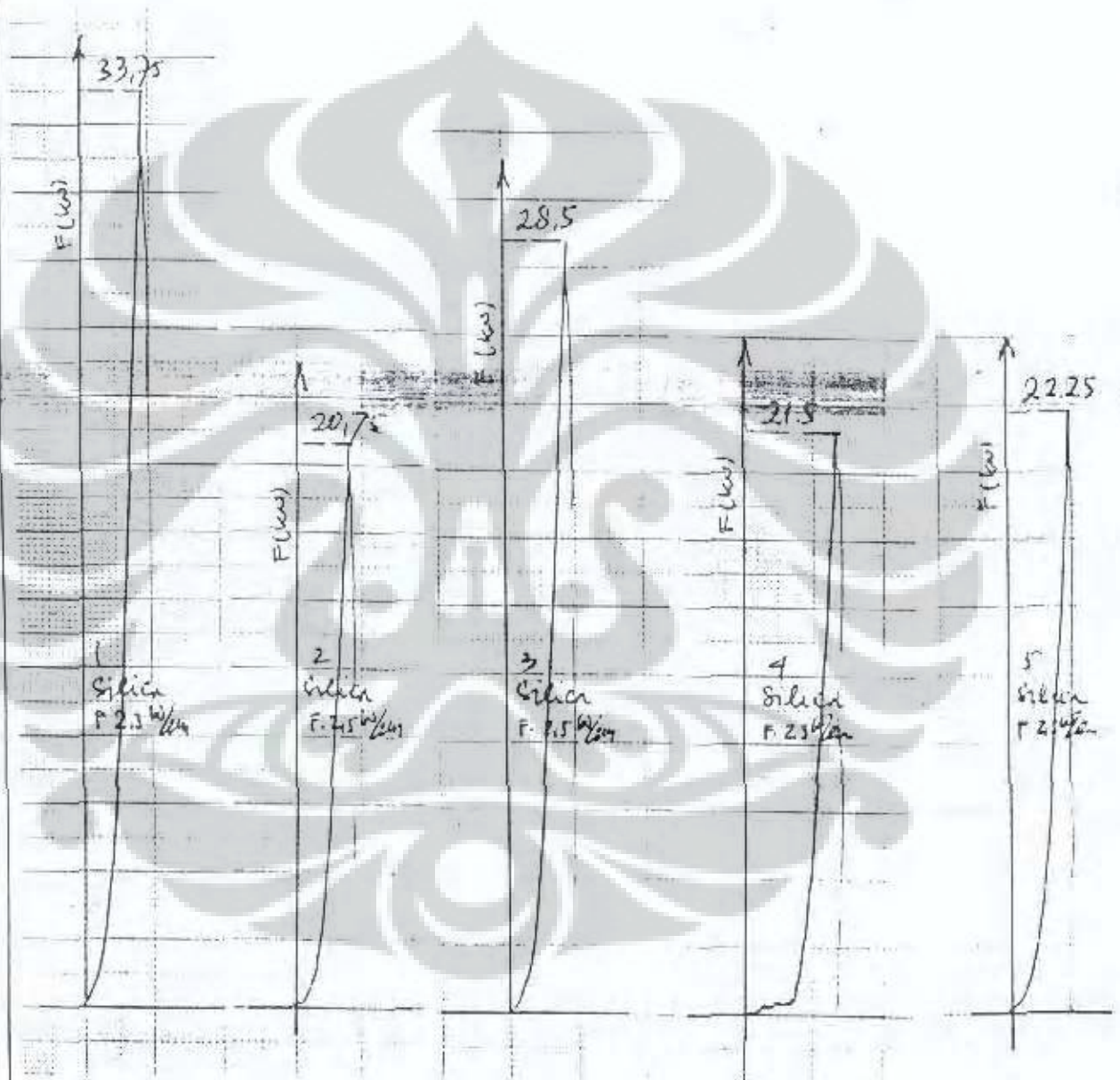
- Hasil uji hanya representatif batang uji yang diuji, di luar batang uji bukan tanggung jawab
Lab Uji Mekanik Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT

Dikerjakan oleh
Prepared by

Jp 11/08

Diperiksa oleh
Checked by

[Signature]



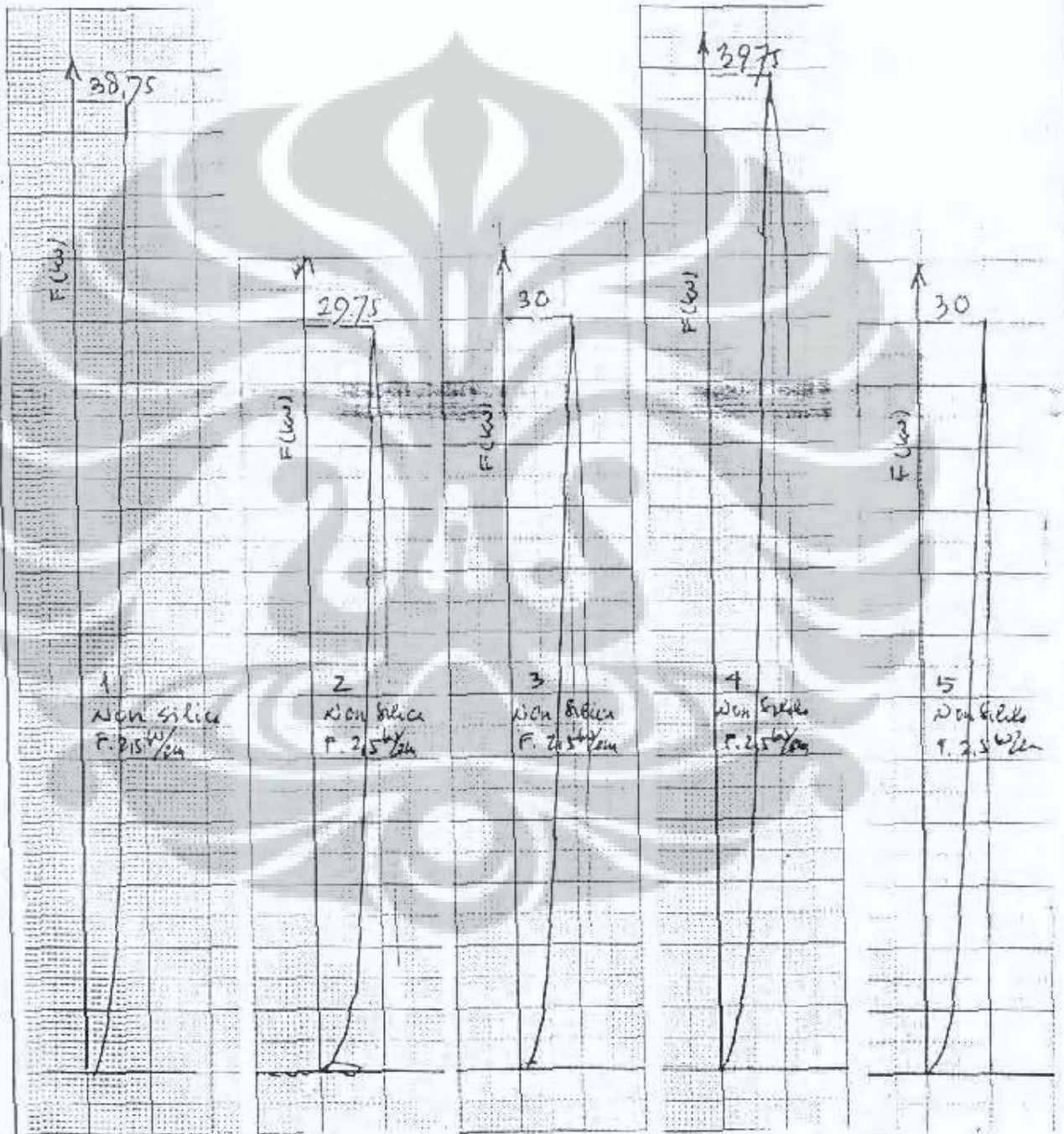
Dikerjakan oleh
Prepared by

J. I. 08

Dipenksa oleh
Checked by

J. I.





Dikerjakan oleh
Prepared by

J. S. 11/08

Diperiksa oleh
Checked by

[Signature]



BALAI BESAR TEKNOLOGI KEKUATAN STRUKTUR

LAPORAN UJI TEKAN STATIS
COMPRESSION TEST REPORTHalaman
PageLampiran 9.
(lanjutan)Pemakai Jasa
CustomerKus Hardoyo / 0706171535
Program Studi Ilmu Material
Program Pascasarjana FMIPA-UIObjek
Object

Pipa

No. Kontrak
Contract NrMaterial
MaterialKomposit Partikel SiO₂
& Matriks R PolysterNo Laporan
Report NrStandar
StandardTanggal
Date

5 Nopember 2008

Mesin Uji
Test Machine

RME 100

Tanggal penerimaan spesimen
Date of specimen receiving

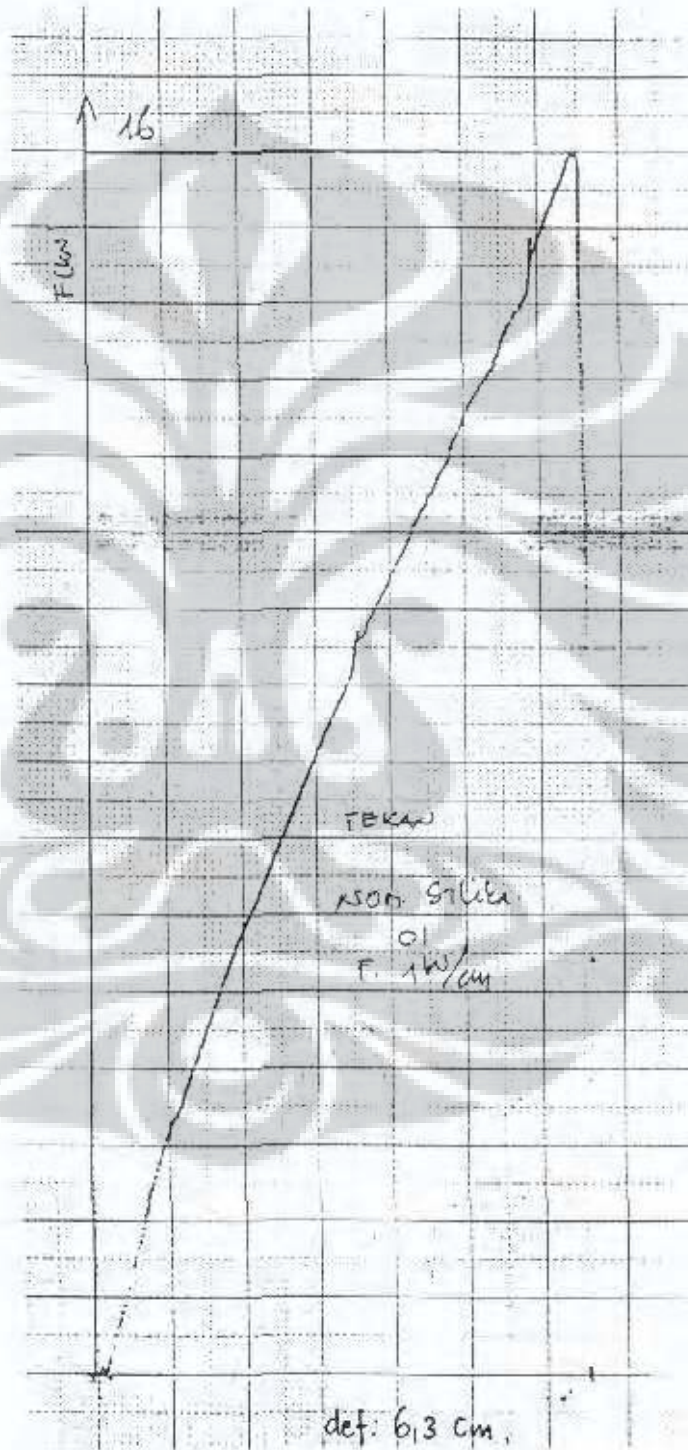
5 Nopember 2008

No	Dimensi (mm)			Luas Penampang (mm ²)	Gaya (kN)	Defleksi (cm)	Kode	Keterangan
	Ø Luar	Ø Dalam	Lebar					
1	157.80	149.54	305.0	1997.82	18.00	6.3	FW Non Silica	Retak
2	157.54	149.98	301.0	1829.72	13.75	2.8	FW Non Silica	Retak
3	157.53	149.33	300.0	1975.26	13.00	4.3	FW Non Silica	Retak
1	160.90	150.74	301.0	2485.52	12.75	2.0	FW Silica	Retak
2	160.37	150.29	301.5	2458.19	13.25	2.3	FW Silica	Retak
3	161.83	150.23	297.0	2841.62	14.50	1.8	FW Silica	Retak

Hasil uji hanya representatif batang uji yang di uji, di luar batang uji bukan tanggung jawab
Lab. Uji Mekanik Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT

Dibuatkan oleh
Prepared by

Diperiksa oleh
Checked by



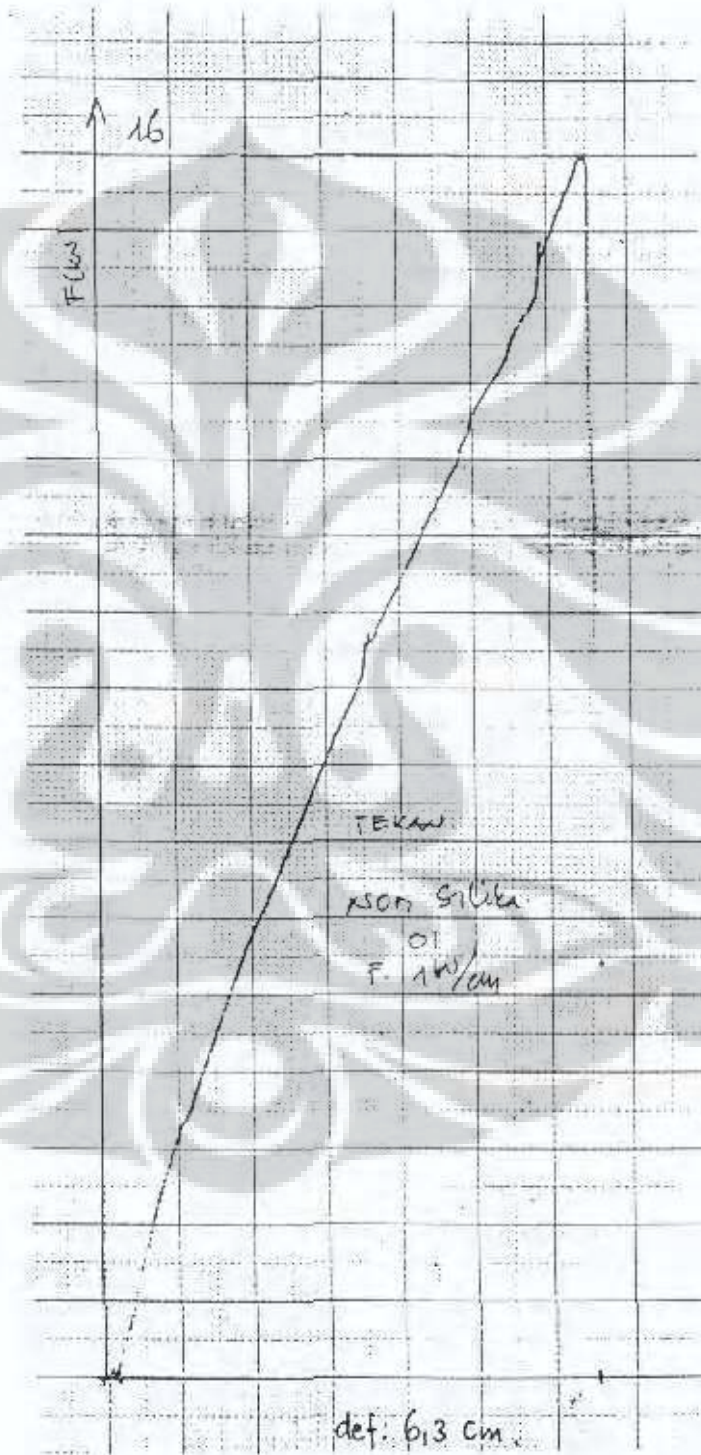
Dikerjakan oleh
Prepared by

[Signature]
5/11/08

Diperiksa oleh
Checked by

[Signature]





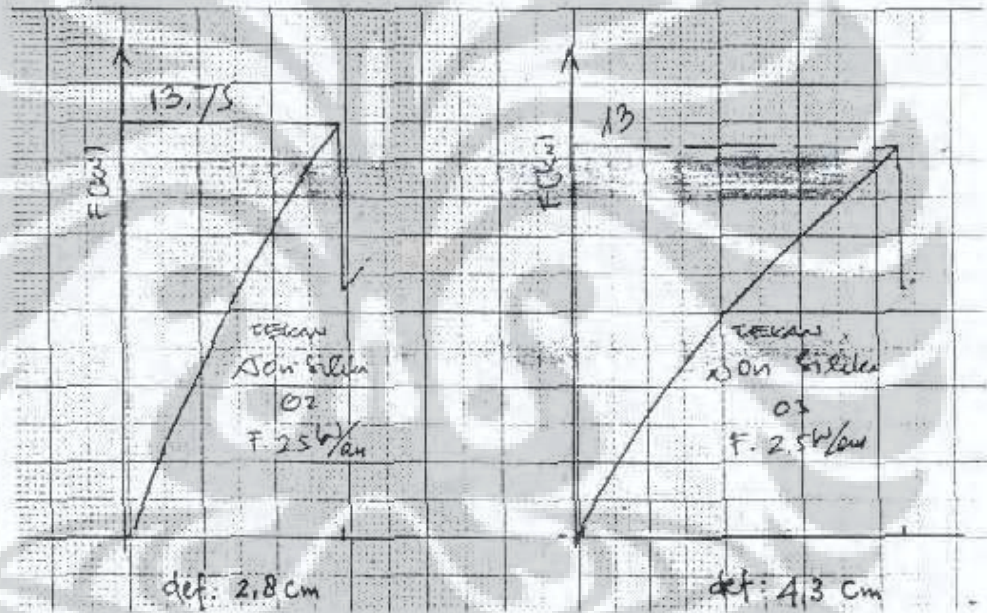
Dikerjakan oleh
Prepared by

Jp 5/11/08

Diperiksa oleh
Checked by

M





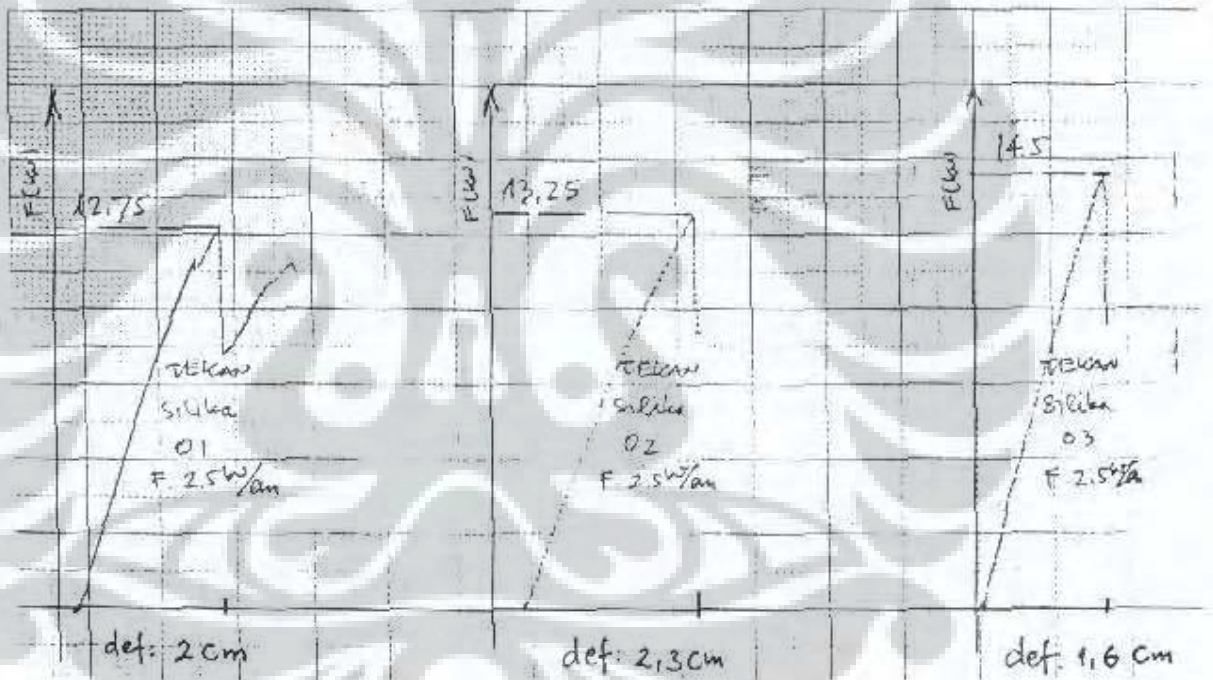
Dikerjakan oleh
Prepared by

Handwritten signature
5/11/08

Diperiksa oleh
Checked by

Handwritten signature





Dikerjakan oleh
Prepared by

[Signature]
5/11/08

Diperiksa oleh
Checked by *[Signature]*

