

**UJI MEKANIK *HOOP TENSILE STRENGTH* PADA  
KOMPOSIT GEOPOLIMER BERPENGUAT SERAT KACA  
DENGAN METODE *SPLIT-DISK TEST***

(Skripsi)

Oleh

**BEBY THETA DERTINY**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

MECHANICAL TEST OF HOOP TENSILE STRENGTH ON GLASS FIBER-  
REINFORCED GEOPOLIMER COMPOSITTE BY SPLIT-DISK TEST  
METHOD

By  
Beby Theta Dertiny

Abstrac

In geothermal production wells, strong and high temperature resistant pipes are required which generally use iron or steel pipes. However, the constraint faced is the occurrence of corrosion, therefore the use of steel pipes diverted with a composite. As another alternative to the manufacture of composite pipe, geopolymer pipe research was conducted. Preparation of geopolymer using fly ash that is activated with sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) and sodium hydroxide (NaOH) at a ratio of 0.43. The activator ratio with fly ash is 0.67. Geopolymer is given additional glass fiber reinforcement with 0%, 20%, and 30% fiber composition. Besides it also analyzing the comparison of specimen which is curing and non curing. The curing process is carried out at a temperature of 100 °C for 24 hours. Testing is done by split disk test method in accordance with ASTM D2290. The best value of tensile strength obtain is found in curing geopolymer pipe specimen with 30% glass fiber fraction of 0.263 MPa. The low hoop tensile strength is due to the low density of mass specimen, the poor fiber glass bonding and uneven fiber distribution.

**Key Word: Pipe, Fiber Glass, Geopolymer, Hoop Tensile Strength**

# **UJI MEKANIK *HOOP TENSILE STRENGTH* PADA KOMPOSIT GEOPOLIMER BERPENGUAT SERAT KACA DENGAN METODE *SPLIT-DISK TEST***

Oleh: Beby Theta Dertiny

## Abstrak

Pada sumur produksi geotermal diperlukan pipa yang kuat dan tahan temperatur tinggi, dimana umumnya menggunakan pipa besi atau baja. Namun kendala yang dihadapi adalah terjadinya korosi, oleh sebab itu penggunaan pipa baja dialihkan dengan komposit. Sebagai alternatif lain dari pembuatan pipa komposit dilakukan penelitian pipa geopolimer. Pembuatan geopolimer menggunakan *fly ash* yang diaktivasi dengan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dengan rasio 0,43. Rasio aktivator dengan *fly ash* sebesar 0,67. Geopolimer diberikan tambahan penguat berupa serat kaca dengan komposisi serat 0%, 20%, dan 30%, selain itu juga dilakukan analisis perbandingan spesimen yang dicuring dan tidak dicuring. Proses curing dilakukan dengan temperatur  $100^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Pengujian dilakukan dengan metode *split disk test* sesuai dengan ASTM D2290. Nilai kuat tarik terbaik yang diperoleh terdapat pada spesimen pipa geopolimer curing dengan fraksi serat kaca 30% sebesar 0.263 MPa. Rendahnya nilai kuat tarik disebabkan oleh kerapatan massa spesimen yang rendah dan daya ikat serat kaca yang kurang baik serta distribusi serat yang tidak merata.

Kata kunci: Pipa, Geopolimer, Serat Kaca, Kekuatan Tarik Hoop.

**UJI MEKANIK *HOOP TENSILE STRENGTH* KOMPOSIT  
GEOPOLIMER BERPENGUAT SERAT KACA DENGAN  
METODE *SPLIT-DISK TEST***

Oleh

**Beby Theta Dertiny**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

**SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**



Judul Skripsi

: **UJI MEKANIK HOOP TENSILE STRENGTH  
PADA KOMPOSIT GEOPOLIMER  
BERPENGUAT SERAT KACA DENGAN  
METODE SPLIT-DISK TEST**

Nama Mahasiswa

: **Beby Theta Dertiny**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021012

Jurusan

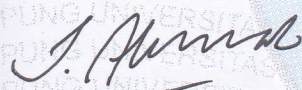
: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**



**Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**  
NIP 19690801 199903 1 002



**Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.**  
NIP 19740202 199910 2 001

**2. Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**  
NIP 19740816 200012 1 001

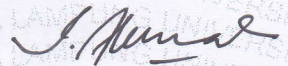


**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

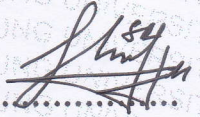
**Ketua**

**: Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**



**Anggota Penguji**

**: Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.**

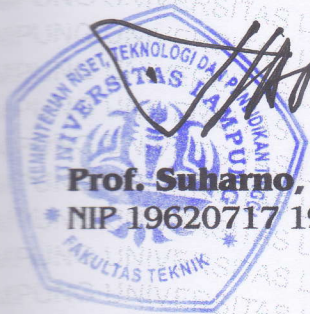


**Penguji Utama**

**: Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**

**NIP 19620717 198703 1 002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Juni 2017**



## PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL  
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN  
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTTUSAN  
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



**Bebby Theta Dertiny**  
NPM. 1115021012

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pringsewu, Lampung pada tanggal 13 desember 1992 sebagai anak kedelapan dari 8 bersaudara, dari pasangan Dicky Harold Salawangi dan Etty Setiawaty J. Pendidikan TK Pertiwi Gedong Tataan Kab. Pesawaran diselesaikan pada tahun 2000, SDN 1 Sukaraja Gedong tataan kab. Pesawaran diselesaikan pada tahun 2005, SMPN 1 Gedong Tataan diselesaikan pada tahun 2008, SMAN 1 Gadingrejo Kab. Pringsewu diselesaikan pada tahun 2011.

Pada tahun 2011 penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri Jalur Ujian Tertulis (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota Humas (2012 s.d 2013) dan Ketua Divisi Kerohanian (2013 s.d 2014). Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. Daya Radar Utama, Panjang, Lampung dengan judul laporan “Pelurusan Poros (*Shafting Aligment*) pada Sistem Propulsi Kapal *Landing Ship Tank* (LST-520)” pada tahun 2014. Pada tahun 2016 penulis melakukan penelitian dengan judul “Uji Mekanik *Hoop Tensile Strenght* Pada Komposit Geopolimer Berpenguat Serat Kaca dengan Metode *Split-Disk Test*” dibawah bimbingan Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. dan Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.

## **MOTTO**

Firman TUHAN; “Jangan takut, sebab Aku menyertai engkau, jangan bimbang sebab Aku ini Allahmu; Aku akan meneguhkan, bahkan akan menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-Ku yang membawa kemenangan.”

(Yesaya 41:10)

Firman TUHAN; “Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman TUHAN, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan.”

(Yeremia 29:11)

“sebab semua yang lahir dari Allah, mengalahkan dunia. Dan inilah kemenangan yang mengalahkan dunia: iman kita.”

(1 Yohanes 5:4)

“Akhir kata dari semua yang didengar ialah: takutlah akan Allah dan berpeganglah pada perintah-perintah-Nya, karena ini adalah kewajiban setiap orang”

(Pengkhotbah 12:13)

## SANWACANA

Shalom, salam damai sejahtera.

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus karena berkat kasih setia-Nya dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Uji Mekanik *Hoop Tensile Strength* Komposit Geopolimer Berpenguat Serat Kaca Dengan Metode *Split-Disk Test*”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini penulis sangat berterima kasih dan memberikan penghargaan yang sedalam-dalamnya kepada seluruh pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini. Dengan tulus hati penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kepada Orang Tua, Abang dan Kakak-kakak ku, yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, serta dukungan materi kepada penulis agar dapat menyelesaikan skripsi dan kuliah di Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat akin, M.P. selaku Rektor Universitas lampung.
3. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik universitas lampung.
4. Bapak Ahmad Su’udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dan sebagai dosen pembahas skripsi penulis, yang telah memberikan saran dan masukan guna penyempurnaan dalam penulisan laporan ini.

5. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. sebagai pembimbing utama skripsi atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met. sebagai dosen pembimbing skripsi atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. Bapak Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing Akademik dan atas kesediaan dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun teladan dan motivasi sehingga dapat menjadi bekal penulis untuk melangkah ke masa depan.
9. Keluarga Rohani sion Ministry: kak Ribka Pricilla, bang Royanto Manitupulu, kak Desti Handayani, Arin Galih Prawesti yang telah meluangkan waktu untuk memberikan dukungan, motivasi, doa, dan pembelajaran hidup sesuai firman Tuhan.
10. Saudaraku Risa Erita Tarigan untuk dukungan dan doa untuk penulis, teman seperjuangan Tri Susanto, Benny silalahi, S.,T., Adi Yusuf Setiawan S.T., Kiki eko , Jenifer M.T., yang telah mambantu penulis baik tenaga maupun dukungan penelitian. Kepada Budi Tri Utami S.T., Jesi Tiastuti S.T., Ratih Safria H. S.T., dan Keluarga besar Teknik Mesin 2011 yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu untuk motivasi dan semangat kepada penulis.
11. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penulisan laporan tugas akhir/skripsi ini untuk mencapai suatu kelengkapan dan penyempurnaan. Penulis juga mengharapakan saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak.



Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis berharap laporan ini memberikan manfaat, baik kepada penulis maupun kepada pembaca.

Bandar Lampung, 20 Juli 2017

Penulis,



**Beby Theta Dertiny**



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN PENULIS .....	iii
RIWAYAT HIDUP .....	iv
MOTTO .....	v
SANWACANA .....	vi
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	3
C. Manfaat Penelitian .....	3
D. Batasan Masalah .....	3
E. Ruang Lingkup Masalah .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	4
II. KAJIAN PUSTAKA	
A. Pipa .....	6
B. Analisis Tegangan Pada Pipa .....	7
1. Tegangan Normal .....	8
1.a Tegangan Longitudinal .....	8
1.b Tegangan Circumferensial .....	10
1.c tegangan Radial .....	11
2. Tegangan Geser .....	11
3. Tegangan Torsi .....	12

C. Komposit .....	13
1. Klasifikasi Komposit berdasarkan penguat .....	14
1.1 Komposit Serpih .....	14
1.2 Komposit Partikel .....	14
1.3 Komposit Filled .....	15
1.4 Komposit Laminat .....	15
1.5 Komposit Serat .....	16
2. Klasifikasi komposit berdasarakan matrik .....	17
2.1 Komposit matrik polimer .....	18
2.2 Komposit matrik logam (Metal) .....	18
2.3 Komposit matrik keramik .....	18
3. Serat Kaca .....	18
3.1 Continous Roving .....	19
3.2 Woven Roving .....	19
3.3 Reinforcing Mats .....	20
3.4 Surface Veil .....	20
D. Geopolimer .....	21
1. Abu Terbang .....	23
2. Alkali Aktivator .....	24
E. Uji Hoop Tensile .....	25
F. Uji SEM dan EDX .....	28
1. Prinsip kerja SEM .....	29
2. Prinsip kerja EDX .....	30

### III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	31
B. Bahan yang Digunakan .....	31
C. Alat yang Digunakan .....	32
D. Prosedur Pembuatan Spesimen .....	34
1. Survei Lapangan dan Study Literatur .....	34
2. Pembuatan Cetakan Spesimen Uji .....	34
3. Pembuatan Spesimen Uji .....	35

E. Perhitungan Pembuatan spesimen .....	37
F. Pengukuran Spesimen .....	41
G. Prosedur Pengujian Hoop Tensile .....	41
H. Diagram Alir .....	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Data Pengujian .....	44
B. Non-Curing Pipa Geopolimer Serat Kaca .....	44
1. Non-Curing Pipa Geopolimer Serat Kaca 0% .....	45
2. Non-Curing Pipa Geopolimer Serat Kaca 20% .....	46
3. Non-Curing Pipa Geopolimer Serat Kaca 30% .....	49
C. Curing Pipa Geopolimer Serat Kaca .....	50
1. Curing Pipa geopolimer Serat Kaca 20% .....	51
2. Curing Pipa geopolimer Serat Kaca 30% .....	52
D. Perbandingan Spesimen .....	56
V. SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan .....	57
B. Saran .....	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

No.	Keterangan Tabel	Halaman
2.1	Kekuatan serat gelas .....	19
2.2	Pengaruh rasio Si-Al terhadap sifat geopolimer dan aplikasinya.....	24
3.1	Hasil pengukuran spesimen .....	41
4.1	Parameter pengujian .....	44
4.2	NC Pipa Geopolimer serat kaca 0% .....	45
4.3	NC Pipa Geopolimer Serat Kaca 20% .....	46
4.4	NC Pipa Geopolimer Serat Kaca 30% .....	49
4.5	C Pipa Geopolimer Serat Kaca 20% .....	51
4.6	C Pipa Geopolimer Serat Kaca 30% .....	52
4.7	Perbandingan hasil data .....	56

## DAFTAR GAMBAR

No.	Keterangan Gambar	Halaman
2.1	Diagram material pipa dan komponen.....	7
2.2	Komponen tegangan normal.....	8
2.3	Tegangan aksial .....	9
2.4	Tegangan tekuk .....	9
2.5	Tegangan <i>longitudinal Pressure</i> .....	10
2.6	Arah Tegangan Longitudinal Keseluruhan pada Pipa .....	10
2.7	Tegangan <i>circumferensial</i> pada pipa .....	11
2.8	Tegangan radial .....	11
2.9	Tegangan geser .....	12
2.10	Tegangan torsi .....	13
2.11	Struktur bagan komposit.....	14
2.12	Mikrostruktur laminat .....	15
2.13	Orientasi fiber dan penyebarannya (a) kontinue dan lurus, (b) putus-putus dan lurus, (c) Putus-putus dan acak .....	17
2.14	Bagan Klasifikasi komposit berdasarkan matrik .....	17
2.15	<i>continous roving</i> .....	19
2.16	<i>Woven roving</i> .....	20
2.17	<i>Reinforcing mats</i> (a)300, (b) 400 .....	20
2.18	<i>Surface Veil</i> .....	21
2.19	Grafik regangan terhadap kegagalan .....	21
2.20	Struktur kimia polysialate .....	22
2.21	(a) alat uji dengan <i>split-disk</i> , (b) luas daerah takik spesimen.....	25
2.22	Jenis-jenis kurva tegangan-regangan komposit .....	27
2.23	Pantulan elastis dan non elastis .....	28
2.24	Skema SEM .....	30

3.1	Bahan yang diperlukan.....	31
3.2	Mesin uji tarik .....	32
3.3	Media atau alat uji <i>Split Disk</i> .....	33
3.4	Dimensi alat uji <i>Split Disk</i> dengan satuan mm .....	33
3.5	(a) pipa 3 in dan 4 in yang terpotong, (b) Penandaan pada pipa 1 in sebelum dipotong, (c) Pengeleman pipa 1 in dan 3 in, (d) Cetakan pipa .....	35
3.6	Geometri dan dimensi spesimen uji <i>hoop tensile</i> ASTM D 2290.....	37
3.7	Spesimen yang siap diuji tarik .....	42
3.8	Diagram alir penelitian .....	43
4.1	Kurva tegangan-pemanjangan non curing pipa geopolimer serat kaca 0%.....	45
4.2	SEM geopolimer non curing 0% serat.....	46
4.3	Kurva tegangan-pemanjangan non curing pipa geopolimer serat kaca 20%.....	47
4.4	Perpatahan pada spesimen .....	48
4.5	SEM geopolimer non curing 20% serat, (a) 500x, (b) 1 Kx .....	49
4.6	Kurva tegangan-pemanjangan non curing pipa geopolimer serat kaca 30%. .....	50
4.7	Kurva tegangan-pemanjangan curing pipa geopolimer serat kaca 20%.....	51
4.8	Kurva tegangan-pemanjangan curing pipa geopolimer serat kaca 30%.....	52
4.9	Retakan pada permukaan spesimen C30_3.....	53
4.10	Ukuran keretakan sebelum pengujian.....	53
4.11	Rambatan retak setelah pengujian.....	54
4.12	SEM geopolimer curing 30% serat .....	54
4.13	EDX geopolimer curing 30%serat .....	55

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Pada industri pembangkit listrik panas bumi (*geothermal*) di Indonesia umumnya merupakan sistem *hydrothermal* dimana temperatur tertinggi mencapai  $>225$  C (Saptadji, 2009). Untuk mengalirkan uap panas dari sumur-sumur produksi biasanya menggunakan pipa berbahan baja, besi, timah hitam, dan polimer. Umumnya standar untuk sumur-sumur produksi, industri menggunakan pipa standart API (*American Petroleum Institute*) seperti pipa standart API 5L Grade B SCH 40 memiliki kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 35000 Psi atau 241,318 MPa (Himawan, 2010).

Permasalahan yang dihadapi adalah tingginya laju korosi dan terdapat kerak (*Scaling*) akibat adanya aliran uap panas pada permukaan dalam pipa. Salah satu alternatif untuk mengatasi laju korosi dengan menggunakan bahan geopolimer. Geopolimer umumnya digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton, dimana bahan penunjang kekuatan beton berupa pasir, coral dan semen. Geopolimer sebagai bahan pipa direkayasa sedemikian rupa agar memiliki sifat (*properties*) yang terbaik. Material geopolimer salah satunya disintesa dari abu terbang (*fly ash*) yang diaktivasi dengan larutan aktivator berupa sodium silikat dan sodium hidroksida.

Penelitian geopolimer dilakukan pertama kali oleh Davitdovits pada tahun 1978 yang kemudian dilakukan pengembangan untuk material berbahan geopolimer. Beberapa peneliti terdahulu diantaranya adalah Sakonwan Hanjitsuwan dkk, telah menganalisa rasio konsentrasi sodium hidroksida (NaOH) 8, 10, 12, 15 dan 18 M dengan sodium silikat atau *waterglass* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebesar 0.67. Kemudian larutan aktivator tersebut dicampurkan

dengan *fly ash* dengan rasio 0.43, kemudian dilakukan curing 40°C. Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian tersebut adalah konsentrasi NaOH berpengaruh pada kekuatan fisik (Hanjitsuwan, 2013).

Selain pernyataan diatas, beberapa peneliti yang lain seperti Resti Nur Arini dkk, menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH semakin tinggi juga kekuatan tekan dan kekuatan belah. Sedangkan semakin tinggi perbandingan aktivator ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ : NaOH) tidak selalu menghasilkan kuat tekan dan kuat belah yang tinggi (Arini, 2013). Pernyataan itu pun dapat didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Puput Risdanareni dkk, yang menyatakan bahwa pada 8M NaOH kekuatan tekan meningkat dengan perbandingan aktivator 2 untuk beton dan 2.5 untuk binder (pasta geopolimer). Sedangkan pada 10M NaOH kekuatan tekan meningkat dengan perbandingan aktivator 2.5 untuk beton maupun binder (Risdanareni, 2014).

Selain konsentrasi NaOH, Pusat diseminasi dan informasi Haki (LP2M) Universitas Hasanuddin menyatakan bahwa: laju pengerasan dan peningkatan kekuatan tekan geopolimer juga dapat dilakukan dengan meningkatkan suhu curing dan lama waktu yang digunakan selama curing. Hal ini disebabkan oleh karena proses pengerasan pada geopolimer merupakan reaksi polikondensasi yang bersifat endotermis.

Pada penelitian ini, geopolimer digunakan sebagai bahan alternatif pembuatan pipa dimana penguat yang digunakan berupa serat sebagai pengganti pasir dan untuk menambahkan kelenturan pipa. Untuk mempermudah pembuatan maka serat yang digunakan berupa serat pendek sepanjang 2 cm. Serat yang digunakan sebagai penguat adalah serat kaca. Selain karena harga yang relatif murah dan mudah didapatkan, serat kaca mempunyai kelebihan diantaranya adalah memiliki massa jenis yang rendah ( $\pm 2,55 \text{ g/cm}^3$ ), resisten terhadap panas dan dingin serta tahan korosi (Prasetyo, 2012).



Berdasarkan penelitian-penelitian diatas, uji mekanik yang umum dilakukan untuk beton geopolimer adalah uji tekan. Untuk pengujian pada pipa maka pada penelitian ini dilakukan uji mekanik *hoop tensile* (tegangan *Circumferensial*). Pembuatan spesimen dengan menggunakan NaOH 14 M dan variasi serat kaca 0%, 20%, dan 30%. Kemudian spesimen diberikan perlakuan curing 100°C selama 24 jam dan dibandingkan dengan spesimen yang tidak diberikan perlakuan curing. Pengujian dilakukan dengan media *split-disk* dan pembuatan spesimen berdasarkan ASTM D 2290.

## **B. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui *hoop tensile* atau tegangan *circumferensial* dan untuk mendapatkan formulasi material komposit untuk pipa yang terbaik dari komposit geopolimer berpenguat serat kaca.

## **C. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini bagi peneliti adalah sebagai berikut:

1. Memajukan teknologi dan ekonomi.
2. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat mengembangkan aspek ilmu pengetahuan tentang material pipa komposit geopolimer.
3. Memberikan nilai tambah terhadap prosuk sampingan industri (limbah).

## **D. Batasan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi dalam beberapa hal sebagai berikut:

1. Pengaruh penambahan serat kaca pada campuran geopolimer.
2. Pengaruh curing dengan temperatur 100 °C selama 24 jam.
3. Variasi komposisi serat kaca dengan campuran geopolimer:
  - a) 0 % serat kaca : 100 % geopolimer.

- b) 20 % serat kaca : 80 % geopolimer.
- c) 30 % serat kaca : 70 % geopolimer.
- 4. Pengujian sifat mekanik komposit ASTM D 2290.
- 5. Pengujian SEM dan EDS

### **E. Ruang Lingkup Penelitian**

1. Membuat spesimen pipa geopolimer berpenguat serat kaca berdasarkan ASTM D2290
2. Menguji spesimen pipa geopolimer berpenguat serat kaca dengan *split-disk*
3. Menganalisis *ultimate hoop tensile strength*

### **F. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, hipotesa, serta sistematika penulisan laporan.

#### **BAB II : KAJIAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisikan landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung pembahasan tentang studi kasus yang diambil, yaitu sifat-sifat mekanik ijuk dengan aspal. Dasar teori ini dijadikan sebagai penuntun untuk memecahkan masalah yang berbentuk uraian kualitatif atau model matematis.

#### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan penulis dalam pelaksanaan penelitian yaitu tentang diagram alur

penelitian, penyiapan spesimen uji, pembuatan spesimen uji, serta pengujian mekanis.

#### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan data-data yang diperlukan dan pembahasan tentang studi kasus yang diteliti yaitu pengujian tarik lalu kemudian dianalisa.

#### BAB V : SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari data-data yang diperoleh dan pembahasan dari penulis tentang studi kasus yang diambil.

#### DAFTAR PUSTAKA

Berisikan literatur-literatur atau referensi yang diperoleh penulis untuk menunjang penyusunan laporan penelitian.

#### LAMPIRAN

Terdiri dari data-data gambar yang mendukung atau hal-hal lain yang dianggap perlu.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pipa

Sistem perpipaan adalah sistem struktur pipa yang efektif dalam proses pendistribusian fluida (minyak, gas, air). Dari sekian jenis pembuatan pipa secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu:

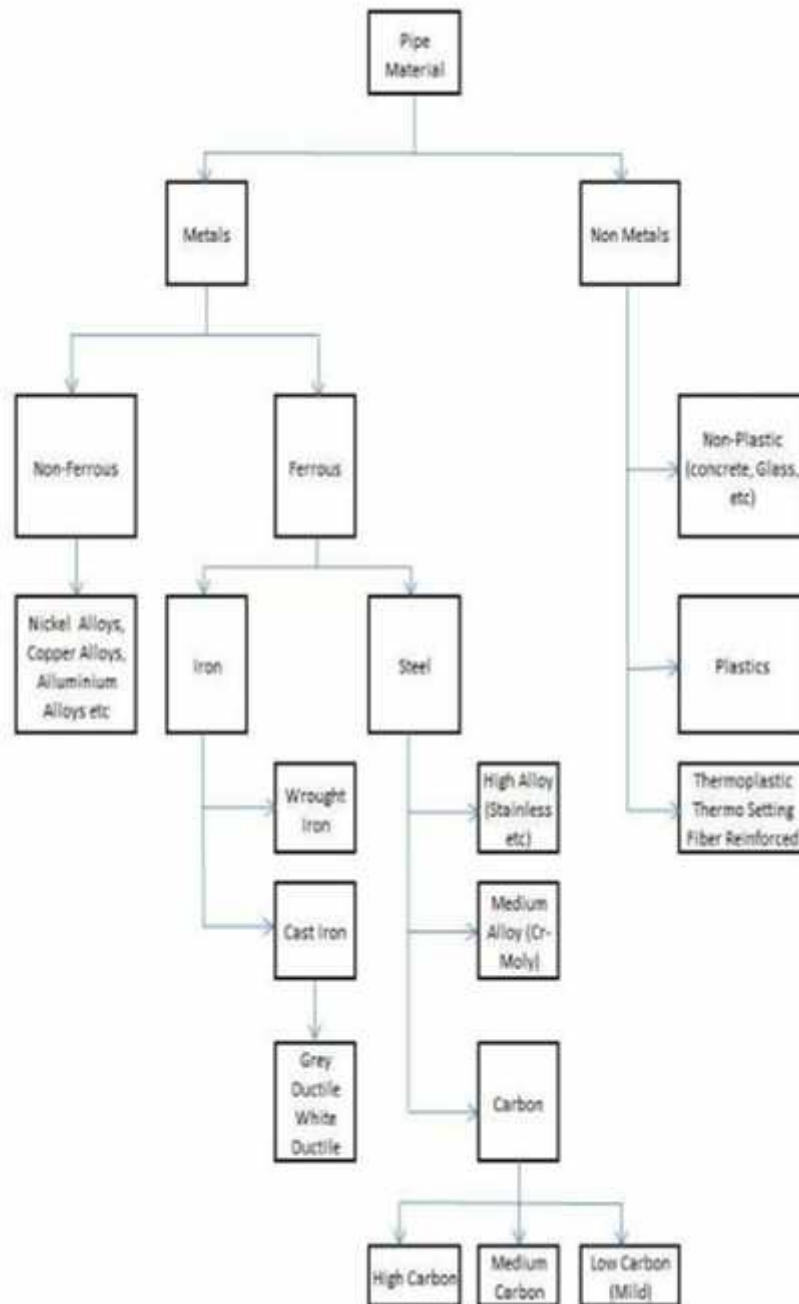
1. Jenis pipa tanpa sambungan (pembuatan pipa tanpa sambungan pengelasan).
2. Jenis pipa dengan sambungan (pembuatan pipa dengan pengelasan).

Pemilihan bahan perpipaan haruslah disesuaikan dengan kebutuhan teknik perpipaan dan hal ini dapat dilihat pada kode standar dalam pembagian sistem perpipaan sebagai berikut:

1. Perpipaan untuk pembangkit tenaga listrik
2. Perpipaan untuk industri bahan migas
3. Perpipaan untuk penyulingan minyak mentah
4. Perpipaan untuk pengangkutan minyak
5. Perpipaan untuk proses pendinginan
6. Perpipaan untuk tenaga nuklir
7. Perpipaan untuk distribusi dan transmisi gas

Selain dari penggunaan instalasi atau konstruksi seperti diterangkan diatas perlu pula diketahui jenis aliran, temperatur, sifat korosi, faktor gaya serta kebutuhan lainnya dari aliran serta pipanya (Tofik, 2009). Berdasarkan teori dari buku piping and pipeline engineering yang ditulis oleh George A. Antaki,

diagram material pipa dan komponennya dapat terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.1 Diagram material pipa dan komponen (Antaki, 2003. Hal. 50)

## B. Analisis tegangan pada pipa

Untuk mengetahui keamanan sistem perpipaan dari beban statis dan beban dinamis yang merupakan efek resultan dari gaya gravitasi, perubahan

temperatur, tekanan di dalam dan luar pipa, perubahan jumlah debit air, dan pengaruh gaya seismatik maka diperlukan analisis tegangan pada pipa. Tegangan pada pipa dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu tegangan normal dan tegangan geser.

### 1. Tegangan normal

Tegangan normal terdiri dari 3 komponen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.2 Komponen tegangan normal (Maja, 2010)

#### 1.a Tegangan Longitudinal.

Tegangan longitudinal yaitu tegangan yang searah dengan panjang pipa merupakan jumlah dari tegangan aksial, tegangan tekuk (*Bending*), dan tegangan tekanan (*Pressure stress*).

- 1). Tegangan aksial  $\sigma_{ax}$  adalah tegangan disebabkan oleh gaya yang bekerja searah sumbu pipa dan dapat dilihat dalam persamaan berikut ini:

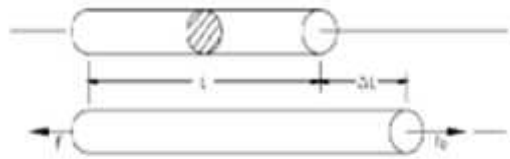
$$\sigma_{ax} = F_{ax} / A \tag{1}$$

dimana:  $A = \text{Luas penampang pipa} = \pi[d_o^2 - d_i^2] / 4$

$F_{ax} = \text{Pembebanan}$

$d_o = \text{Diameter luar}$

$d_i = \text{Diameter dalam}$



Gambar 2.3 Tegangan aksial (Maja, 2010)

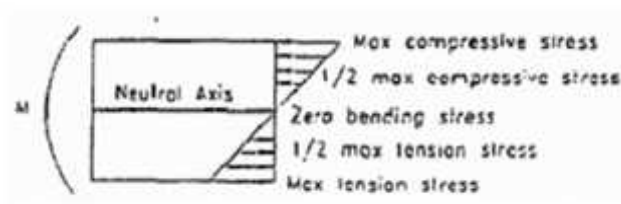
- 2). Tegangan akibat tekuk (*bending*)  $\sigma_b$  disebabkan oleh momen ( $M$ ) yang bekerja di ujung-ujung pipa. Nilai maksimum tegangan berada pada permukaan pipa sedangkan pada sumbu tegangan bernilai nol, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.4. Berikut ini persamaan yang digunakan pada tegangan tekuk yaitu:

$$\sigma_b = \frac{M_E}{I} \quad (2)$$

Dimana:  $I$  = momen inersia penampang

$r_o$  = Jari-jari permukaan luar pipa

$r_i$  = Jari-jari permukaan dalam pipa



Gambar 2.4 Tegangan akibat tekuk (Maja, 2010)

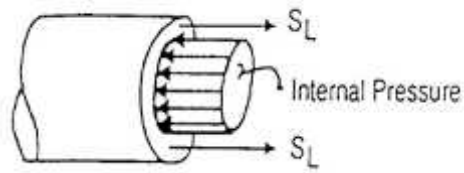
- 3). Tegangan longitudinal tekan  $\sigma_{LP}$  disebabkan oleh tekanan internal ( $P$ ) yang bekerja pada dinding pipa searah sumbu pipa seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Tegangan ini dapat diperoleh melalui persamaan berikut ini:

$$\sigma_{LP} = \frac{P \cdot l}{A_m} = \frac{P \cdot l^2}{(d_o^2 - d_i^2)} = \frac{P d_o}{4t d_m} = \frac{P d_o}{4t} \quad (3)$$

Dimana:  $A_i$  = Luas permukaan dalam pipa

$A_m$  = Luas rata-rata permukaan pipa

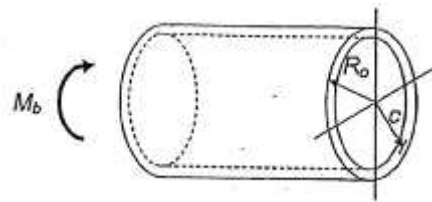
$t$  = tebal pipa



Gambar 2.5 Tegangan *longitudinal Pressure* (Maja, 2010)

Dengan demikian, tegangan longitudinal yang bekerja pada sistem perpipaan seperti pada gambar 2.6 adalah:

$$L = \frac{F}{A} + \frac{M_C}{I} + \frac{Pd_U}{4t} \quad (4)$$



Gambar 2.6 Arah tegangan longitudinal keseluruhan pada pipa (Maja, 2010)

### 1.b Tegangan *Circumferensial*.

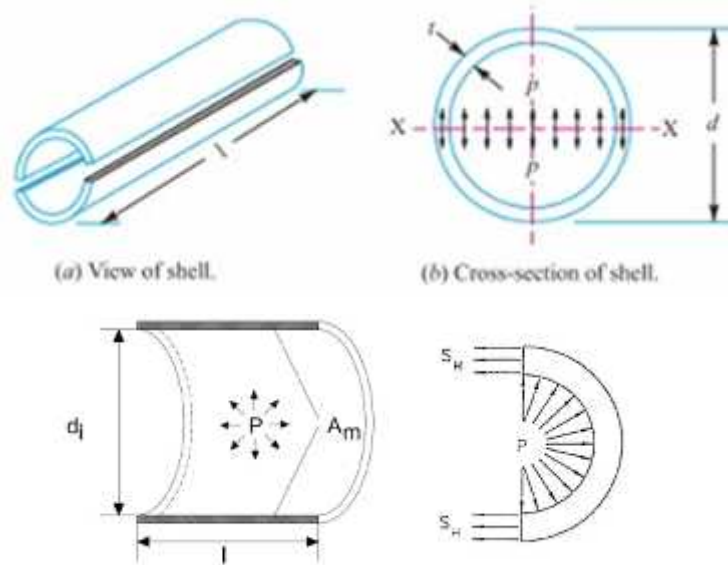
Tegangan *Circumferensial* juga sering disebut dengan istilah Tegangan tangensial atau tegangan keliling atau tegangan *hoop* yaitu tegangan yang searah dengan garis singgung penampang pipa. Tekanan internal yang bekerja secara tangensial yang bervariasi tergantung dari ketebalan dinding pipa. Rumus untuk tegangan tangensial dapat didekati dengan memakai persamaan berikut ini:

$$H = \frac{P(r_i^2 + \frac{r_i^2 r_o^2}{r^2})}{(r_o^2 - r_i^2)} \quad (5)$$

Untuk pipa yang mempunyai dinding tipis dari persamaan (5) di atas dapat disederhanakan menjadi:

$$H = \frac{Pd_i L}{2L} = \frac{Pd_i}{2t} = \frac{Pd_o}{2t} \quad (6)$$

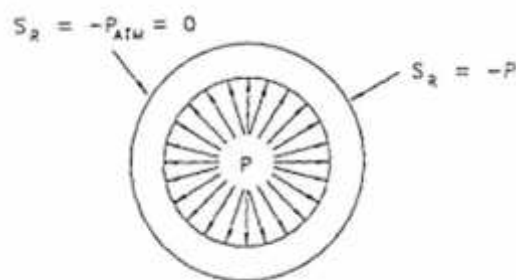




Gambar 2.7. Tegangan *circumferensial* pada pipa (Maja, 2010)

### 1.c Tegangan Radial.

Tegangan radial adalah tegangan yang serah dengan jari-jari penampang. Tegangan radial maksimum terjadi pada permukaan dalam pipa sedangkan tegangan radial minimum pada permukaan luar pipa. Kedua tegangan ini berlawanan dengan tegangan tekuk dan mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan tegangan tekuk, oleh sebab itu tegangan ini dapat diabaikan. Berikut ini adalah gambar 2.8 dari tegangan radial yang ditunjukkan pada gambar .



Gambar 2.8 Tegangan radial (Maja, 2010)

## 2. Tegangan Geser

Tegangan geser disebabkan akibat adanya gaya geser pada pipa. Nilai maksimum yang diperoleh pada sumbu pipa dan minimum pada jarak

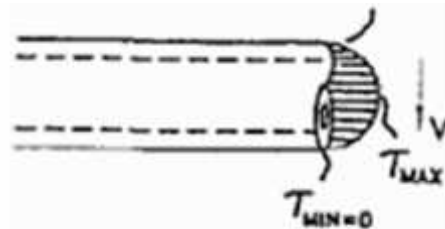
terjauh dari sumbu pipa. Tegangan geser ini juga merupakan kebalikan dari tegangan tekuk. Berikut persamaan yang dapat diperoleh dari tegangan geser.

$$\tau_{\max} = \frac{V}{A} \quad (7)$$

dimana : V = Gaya geser

A = Luas permukaan pipa

Q = Fator bentuk untuk pergeseran (=1.33 untuk penampang lingkaran pejal)



Gambar 2.9 Tegangan geser (Maja, 2010)

### 3. Tegangan Akibat Torsi

Tegangan torsi terjadi akibat suatu puntiran (*twisting*) pada setiap ujungnya. Pergeseran sudut ujung satu dengan ujung lainnya diberikan dengan sudut  $\phi$  (dalam radian) adalah:

$$\phi = \frac{T}{J} \quad 8(a)$$

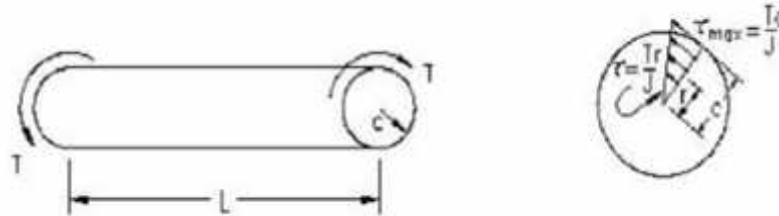
Dengan  $J = \pi c^4/2$  adalah momen inersia polar pada luas permukaan. Maka, tegangan geser torsional pada jarak r dari sumbu poros luas permukaan adalah:

$$\tau = \frac{T}{J} \quad 8(b)$$

Sehingga tegangan geser maksimum pada  $r = c$  adalah  $\tau_m = \frac{T}{J}$ . Untuk poros yang memiliki lubang dan mempunyai jari-jari dalam  $C_i$  dan jari-jari luar  $C_o$  formula diatas dapat menjadi:

$$J = \frac{\pi(C_o^4 - C_i^4)}{2} \quad 8(c)$$

Berikut gambar untuk tegangan torsi yang ditunjukkan pada gambar 2.9



Gambar 2.10 Tegangan torsi (Maja, 2010)

### C. Komposit

Komposit adalah kombinasi dari penguat dan matrik untuk menghasilkan suatu bahan material baru dan mempunyai sifat mekanik yang lebih baik. Umumnya penguat dan matrik adalah bahan material yang berbeda yang dijadikan satu komposisi tertentu. Komposit berbeda dengan paduan. Paduan adalah kombinasi antara dua bahan yang menggunakan proses kimiawi atau peleburan, sedangkan komposit adalah kombinasi antara dua bahan atau lebih yang secara sistematis atau disatukan secara mikroskopis dan dapat dilihat bahan pembentuknya (Widodo, 2008).

Keuntungan dalam pemakaian komposit adalah:

- 1) Mempunyai sifat mekanik yang baik
- 2) Anti korosif
- 3) Mudah diperoleh dan harga yang terjangkau
- 4) Massa jenis rendah
- 5) Sebagai peredam suara yang baik.

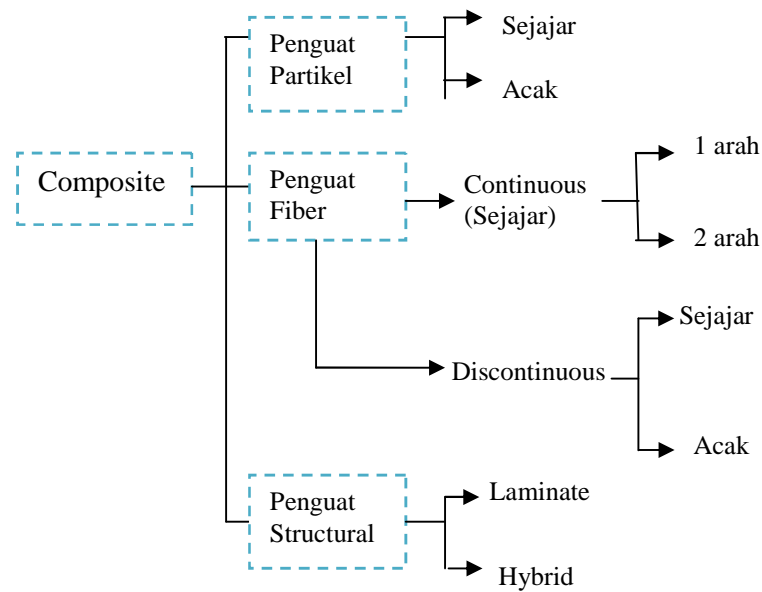
Selain kelebihan yang dimiliki, komposit juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain:

- 1) Tidak tahan terhadap beban *shock* (kejut) dan *crash* (tabrak) jika dibandingkan dengan logam.

2) Lebih sulit dibentuk secara plastis.

## 1. Klasifikasi komposit berdasarkan penguat

Berdasarkan bahan penguat, material komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit serat, komposit laminat, komposit partikel dan komposit serpihan (Wirjosentono, 2011). Gambar 2.11 menunjukkan struktur bagan dari komposit:



Gambar 2.11 Struktur bagan komposit (Wirjosentono, 2011).

### 1.1 Komposit Serpih.

Komposit serat (*Flake*) adalah komposit yang penguatnya berupa serpihan. Pengertian dari serpihan adalah partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang khusus dengan orientasi serat sejajar permukaannya. Gambar 2.12 menunjukkan komposit serpihan.

### 1.2 Komposit Partikel.

Komposit partikel (*particulate*) merupakan komposit yang penguatnya berupa serbuk atau butiran. Keuntungan dari komposit partikel adalah:

- a) Kekuatan lebih seragam pada berbagai arah

- b) Meningkatkan kekuatan dan kekakuan material dengan menghalangi pergerakan dislokasi.

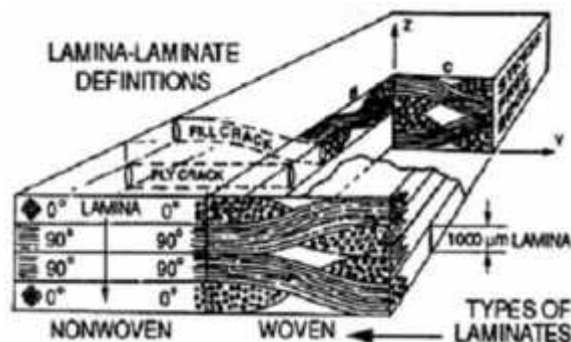
### 1.3 Komposit *Filled*

*Filled (Skeletal)* merupakan komposit yang penguatnya disusun dengan struktur tiga dimensi.

### 1.4 Komposit Laminat

Laminat merupakan komposit yang terdiri dari dua atau lebih lembaran dimana terdapat perbedaan material, bentuk dan susunan atau orientasi penguatnya. Komposit laminat dibedakan menjadi dua bagian yaitu (Widodo, 2008):

- a) *Continuous fiber laminate* adalah susunan serat dalam lembaran tidak terputus-putus yang terdiri dari:
  - *Unidirectional Laminate* (satu arah), semua serat mempunyai arah yang sama.
  - *Crossply Quasi-Isotropic* (silang), susunan serat tegak lurus menyilang antara lamina atau lembaran
  - *Random* atau *Woven*, susunan serat acak.
  
- b) *Discontinuous fiber laminate* adalah komposit yang terdiri dari serat-serat pendek atau terpotong-potong yang terbagi menjadi dua yaitu:
  - *Short aligned fiber*: potongan yang disusun pada arah tertentu tergantung kebutuhan yang diperlukan.
  - *In-Plane Random Fiber*: Serat acak atau tidak teratur.



Gambar 2.12 Mikrostruktur laminat (Courtney, 1999)

## 1.5 Komposit Serat

Komposit serat adalah komposit yang penguatnya berupa serat. Serat yang digunakan terdapat beberapa bagian yaitu serat sintetis (buatan) dan serat alami. Penguat serat berfungsi sebagai:

- a) Penanggung atau penerus beban antara 70% - 90%
- b) Pemberi sifat kaku, kuat, stabilitas panas.
- c) Sebagai konduktivitas listrik, tergantung dari jenis serat yang digunakan.

Dua hal yang menyebabkan serat menahan gaya disebabkan oleh:

- a) Perekat (*bonding*) pada *interval bonding* (serat dan matrik) yang tidak mudah terlepas (*debonding*).
- b) Aspek ratio yaitu perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat.

Kekuatan komposit serat ini dipengaruhi oleh arah serat penguat, panjang serat penguat dan fraksi volume serat. Serat Panjang umumnya lebih kuat jika dibandingkan dengan serat pendek. Selain itu panjang serat dengan diameter serat akan mempengaruhi kekuatan dan modulus komposit. Fraksi volume serat terbagi menjadi tiga bagian yaitu:

- a) Penguat satu dimensi, mempunyai kekuatan dan modulus maksimum pada arah axis serat.
- b) Penguat dua dimensi, mempunyai kekuatan masing-masing arah orientasi serat.
- c) Penguat tiga dimensi, mempunyai sifat isotropik.

Klasifikasi serat berdasarkan penyusunan diantaranya:

- a) *Continous Fiber Composite*. Susunan serat memanjang dan tidak terputus-putus.
- b) *Woven Fiber Composite (bi-directional)*. Susunan lapisan seratnya saling mengikat. Pada komposit ini kekuatan dan kekakuan cenderung melemah akibat serat yang memanjang dan tidak lurus.

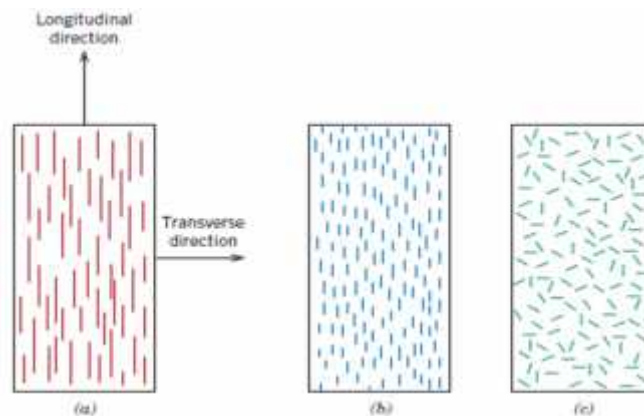
c) *Discontinuous Fiber Composite*. Serat yang digunakan sebagai penguat adalah serat yang terputus-putus yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu:

- *Aligned discontinuous fiber*
- *Off-axis aligned discontinuous fiber*
- *Randomly oriented discontinuous fiber*

d) *Hybrid fiber composite*

*Hybrid* adalah komposit yang terdiri dari serat lurus dan serat acak untuk menutupi kekurangan sifat dari kedua tipe agar menjadi gabungan komposit yang lebih baik.

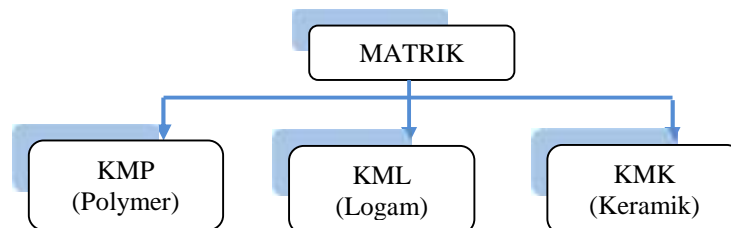
Gambar 2.13 menunjukkan komposit serat dengan orientasi seratnya seperti dibawah ini :



Gambar 2.13 Orientasi fiber dan penyebarannya (a) kontinue dan lurus, (b) putus-putus dan lurus, (c) Putus-putus dan acak (Turnip, 2010).

## 2. Klasifikasi komposit berdasarkan matrik

Berdasarkan matrik maka komposit dapat diklasifikasikan seperti pada gambar 2.14 dibawah ini:



Gambar 2.14 Bagan Klasifikasi komposit berdasarkan matrik

Matrik mempunyai fraksi volume terbesar dalam komposit dimana fungsinya untuk mentransfer tegangan kepada serat, melindungi dan memisahkan serat, tetap stabil setelah proses manufaktur dan membentuk ikatan koheren (Nayiroh, 2015).

### 2.1 Komposit matrik polimer

Matrik polimer mempunyai kelebihan ringan, kekuatan tarik tinggi, tahan lama untuk disimpan, kemampuan mengikuti bentuk, dapat diproduksi massal dan pabrikasi dapat dipersingkat. Matrik polimer ini terbagi menjadi dua yaitu termoset dan termoplast.

### 2.2 Komposit matrik logam (Metal)

Matrik logam ini mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Matrik logam ini dapat mentransfer tegangan dan regangan dengan baik. Selain itu matrik logam dapat tahan terhadap temperatur tinggi, tidak mudah menyerap kelembapan, tidak mudah terbakar dan mempunyai kekuatan tekan dan geser yang baik.

### 2.3 Komposit matrik keramik

Matrik keramik merupakan material dua fasa diantaranya fasa penguat dan fasa matrik. Matrik keramik mempunyai kekuatan dan ketangguhan yang tinggi, tahan temperatur tinggi serta tahan terhadap korosi. Selain itu matrik ini juga mempunyai permukaan yang tahan aus, dimensinya stabil melebihi logam dan stabilitas unsur kimia pada temperatur tinggi. Matrik yang digunakan pada matrik keramik ini adalah: Keramik gelas, gelas anorganik, alumina dan silikon nitrida.

## 3. Serat Kaca (*Glass Fiber Reinforced*)

Pembuatan material menggunakan serat sudah dilakukan sejak tahun 800 SM di Israel yaitu dengan menggunakan jerami sebagai penguat dalam batu bata. Semenjak tahun 1930-an di Amerika Serikat serat gelas pendek mulai dipergunakan untuk campuran semen. Serat kaca mempunyai



permukaan yang licin sehingga mengurangi daya lekat dan kurang tahan terhadap sifat alkali semen sehingga dengan berjalannya waktu serat akan mengalami kerusakan (Adibroto, 2014). Pada tahun 1940-an mulai dikembangkan material dengan matriks resin berpenguat serat. Glass Fiber dibagi menjadi tiga bagian yaitu E-Glass, S-Glass, dan C-Glass. Untuk aplikasi kelistrikan menggunakan serat gelas tipe C. Untuk kekuatan tinggi menggunakan tipe S sedangkan tipe E digunakan untuk ketahanan korosi yang tinggi (Prasetyo, 2012). Berikut kekuatan material glass fiber yang ditunjukkan pada tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.1. Kekuatan serat gelas (Prasetyo, 2012)

Kekuatan material	E-Glass	S-Glass
Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> )	2.60	2.50
Modulus Young (GPa)	72	87
Kekuatan tegangan (GPa)	1.72	2.53
Elongasi	2.4	2.9

Bentuk-bentuk serat kaca dapat dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya adalah:

### 3.1 *Continuous roving*

*Continuous roving* ini umumnya digunakan untuk proses *filament winding* karena serat ini terurai, tidak terputus-putus dan dikemas dalam bentuk silinder. Jenis *roving* terbagi menjadi *roving* 2400 dan 4400.



Gambar 2.15 *continuous roving* (Sulaiman, 2011).

### 3.2 *Woven roving*

*Woven roving* adalah tenunan atau anyaman dari *continuous roving* dan tersedia dalam berbagai ukuran berdasarkan ketebalan dan berat.



Gambar 2.16 *Woven roving* (Sulaiman, 2011).

### 3.3 *Reinforcing mats*

*Reinforcing mats* adalah helaian serat kaca yang diertakan dan dibentuk menyerupai kepingan-kepingan. Mats ini dibedakan menjadi dua jenis yaitu *Chopped Strand Mat* (CSM) dan *Woven Roving Combination Mat* (WRCM).



a

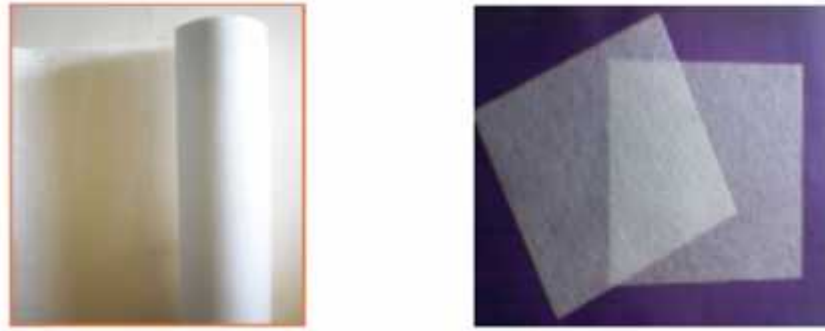


b

Gambar 2.17 *Reinforcing mats* (a)300, (b) 400 (Sulaiman, 2011).

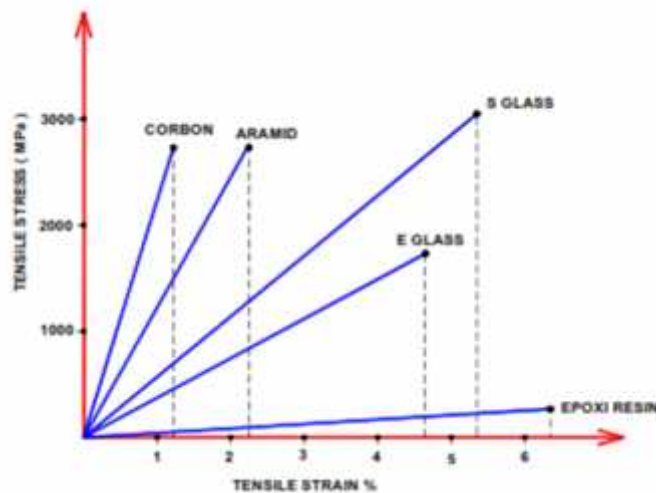
### 3.4 *Surface veil*

*Surface veil* memiliki permukaan yang halus, ringan, memiliki daya tahan terhadap kimia dan memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan. Kekurangan yang dimiliki oleh *veil* ini adalah kekuatan yang rendah.



Gambar 2.18 *Surface Veil* (Sulaiman, 2011).

Berikut ini gambar kurva tegangan-regangan dari beberapa jenis serat yang ditunjukkan pada gambar 2.19.

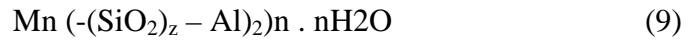


Gambar 2.19 Grafik regangan terhadap kegagalan (Sulaiman, 2011).

#### D. Geopolimer

Pada tahun 1978 Prof. Davidovits adalah seseorang yang pertama kali memperkenalkan geopolimer. Geopolimer adalah bentuk non-organik *alumina-silikat* dari material yang dapat diperoleh dari alam atau hasil sampingan industri (limbah). Geopolimer juga termasuk produk geosintetik dimana dibutuhkan reaksi polimerisasi untuk mengikat senyawa penyusun geopolimer. Reaksi polimerisasi adalah reaksi penggabungan monomer (molekul kecil) yang membentuk molekul besar (Priadi, 2011). Oleh sebab itu untuk

geopolimer berbasis *alumina-silika*, Davitdovit menganjurkan istilah poly(sialate). Sialat adalah singkatan dari silico-oxo-aluminate dimana rumus empiris sialat adalah sebagai berikut:

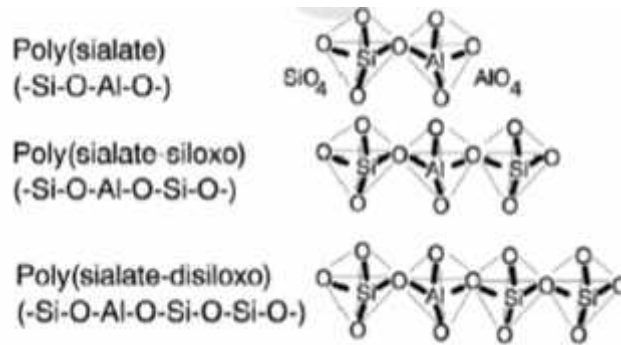


Dimana: M = kation monovalen (Kalium atau natrium)

n = derajat polikondensasi

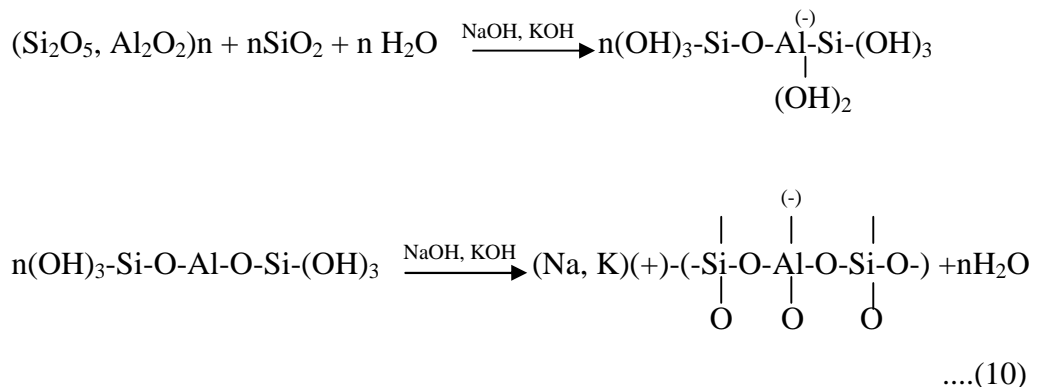
z = bilangan (1,2,3,...dst)

berikut adalah struktur dari polysialate dapat dilihat pada gambar dibawah 2.20 ini.



Gambar 2.20 Struktur kimia polysialate

Geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia dari alumina silikat oksida ( $Si_2O_5$ ,  $Al_2O_2$ ) dengan alkali polisilikat yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Berikut adalah contoh polikondensasi oleh alkali menjadi poly(sialate-siloxo):



Persamaan 10 diatas mengidentifikasi air dilepaskan selama reaksi kimia saat pembuatan geopolimer atau pada saat proses curing (Adisty, 2009). Bahan yang dapat digunakan untuk membuat geopolimer salah satunya adalah abu terbang (*fly ash*) dan larutan alkali sebagai aktivator geopolimer.

### 1. Abu terbang (*fly ash*)

Abu terbang atau yang disebut juga *fly ash* adalah limbah atau hasil pembakaran dari batu bara. Limbah pembakaran batu bara terdiri dari henis yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu berat (*bottom-ash*).

Abu terbang adalah abu yang terbawa oleh aliran gas pembakaran dan dikumpulkan di *economizer air heater* dan penampung atau *precipitator hopper*. Abu terbang umumnya berwarna keabu-abuan dan berbutir halus dengan ukuran antara 0,1 – 200  $\mu\text{m}$  (Nji, 2004).

Pengelompokkan *fly ash* berdasarkan kadar senyawa kimiawi ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kadar kalsium dan kadar karbon.

#### a. *Fly ash* tipe F

*Fly ash* mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batubara (*Bitumminus*). Kadar ( $\text{SiO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) > 70%, Kadar CaO < 10%, Kadar karbon (C) berkisar 5%-10%. *Fly ash* tipe F juga disebut *low-calsium fly ash* yang tidak mempunyai sifat cementitious dan hanya bersifat pozolanic.

#### b. *Fly ash* tipe C

*Fly ash* tipe ini mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batubara. Kadar ( $\text{SiO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 50%, Kadar CaO 10%, Kadar karbon (C) sekitar 2%. Oleh karena *fly ash* tipe C mengandung kadar CaO yang cukup tinggi dan mempunyai sifat cementitious, jika terkena air atau kelembaban, akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit.

c. Fly ash tipe N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chert, shales, tuff dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Balaguru dkk, telah melakukan penelitian karakterisasi komposisi kimia geopolimer dengan memvariasikan rasio Si dan Al. Pada Tabel 2.3 dibawah ini menunjukkan rasio Si-Al dengan perbandingan 3:1 atau >3:1 memenuhi kriteria dalam pembuatan material pipa.

Tabel 2.2 Pengaruh rasio Si-Al terhadap sifat geopolimer dan aplikasinya (Adiputro, 2013).

Rasio Si-Al	
1:1	Kaku, kurang baik untuk adesif: Bata dan Keramik
2:1	Semen Beton
3:1	Kurang kaku: Tahan api
>3:1	Sealants and Adhesive (seperti resin)
20-35:1	Bahan tahan panas: Serat karbon komposit

## 2. Alkali aktivator

Larutan atau alkali aktivator dalam pembuatan beton geopolimer umumnya menggunakan *sodium silikat* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan *sodium hidroksida*. ( $\text{NaOH}$ ) (Arini, 2013).

a. *Sodium silikat* ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Dalam industri kimia, proses produksi yang sederhana, aman dan bahan yang tertua digunakan sebagai alkali aktivator adalah *sodium silikat*. Bentuk dari *sodium silikat* dapat menyerupai padatan dan larutan. Sodium silikat memiliki viskositas tinggi dan berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

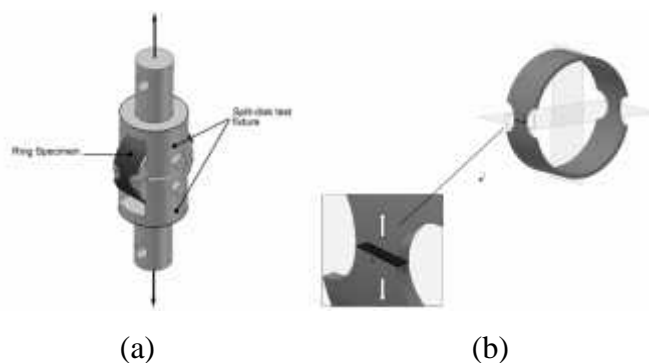
b. *Sodium hidroksida* (NaOH)

NaOH dihasilkan melalui elektrolisis larutan NaCl. *Sodium hidroksida* ini merupakan larutan basa yang kuat. Unsur Na adalah salah satu jenis logam alkali dan terdapat pada golongan 1 yang tertera pada tabel periodik kecuali *hidrogen* dan semua unsur ini sangat reaktif sehingga tidak ditemukan dalam bentuk tunggal secara alami. Fungsi dari NaOH ini adalah untuk membuat unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* dapat bereaksi dan membentuk ikatan polimer yang kuat.

E. Uji *hoop tensile*

Pengujian tarik adalah suatu pengukuran terhadap bahan untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan suatu bahan terhadap tegangan tertentu serta pertambahan panjang yang dialami oleh bahan tersebut. Beban yang diperlukan untuk menghasilkan regangan tersebut, ditentukan dari defleksi suatu balok atau proving ring, yang diukur dengan menggunakan metode hidrolis, optik atau elektro mekanik (syukur, 2012).

Untuk mengetahui kuat tarik tegangan tangensial spesimen material berbentuk silinder atau pipa menggunakan standart uji ASTM D 2290. Dalam pengujian ini umumnya menggunakan alat uji *split-disk* yang dibagi menjadi dua bagian. *Split-disk* akan dipasangkan pada cakram dan kemudian akan ditarik kedua arah. Berikut gambar 2.21 (a) akan menunjukkan alat uji menggunakan *split-disk* dan gambar 2.21 (b) untuk menunjukkan luas takikan pada spesimen.



Gambar 2.21 (a) alat uji dengan *split-disk*, (b) luas daerah takik spesimen (Erdiller, 2004)

Persamaan untuk dapat menghitung tegangan hoop pada material dapat menggunakan persamaan seperti dibawah ini:

$$\sigma_{thu} = \frac{P \cdot m}{2 \cdot A} \quad (12)$$

dimana :  $\sigma_{thu}$  = tegangan *hoop ultimate* (MPa)

P max = Beban maksimal pada failure split-disk (N)

A<sub>m</sub> = luas daerah minimum dari dua bagian, d x b (mm<sup>2</sup>)

Untuk mengetahui modulus hoop dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$E_h = \frac{d}{d} \quad (13)$$

Dimana: E<sub>h</sub> = modulus hoop

$d / d$  = slope dari linear kurva tegangan-regangan

Setelah mengitung tegangan hoop dan modulus hoop dari spesimen dapat dihitung mean, standart deviasi dan coefisien variasi dengan persamaan dibawah ini (Erdiler, 2004):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n X \right) \quad (14)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum X^2 - n \cdot \bar{X}^2}{n-1}} \quad (15)$$

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (16)$$

Dimana : S = Standart deviasi

CV = coefisien variasi

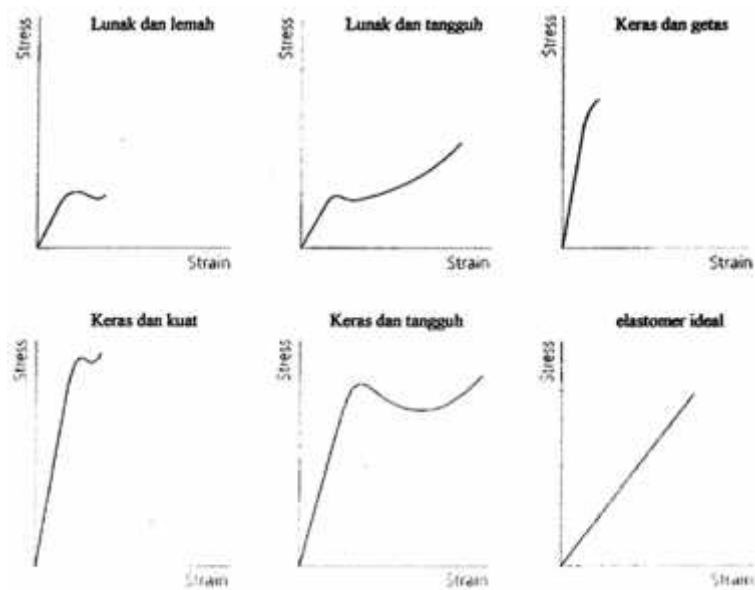
X = data uji



$\bar{X}$  = nilai mean

n = jumlah pengamatan

Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan spesimen uji adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas. Pada umumnya sifat-sifat komposit dapat dilihat dari kurva tegangan-regangan (modulus elastisitas) yang dihasilkan, seperti dapat dilihat pada gambar 2.22 dibawah ini:

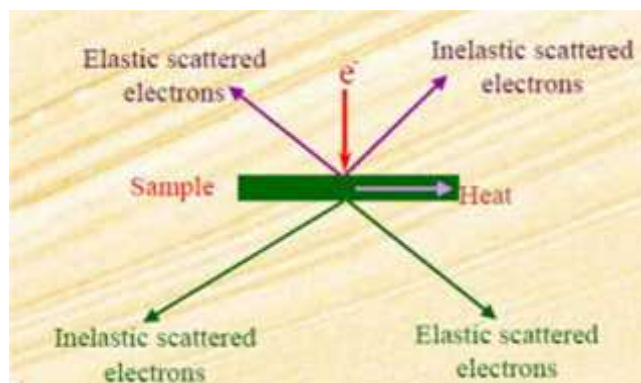


Gambar 2.22 Jenis-jenis kurva tegangan-regangan komposit (Syukur, 2012).

Modulus elastisitas atau *modulus young* menyatakan tingkat kekakuan bahan. Bahan yang diuji tarik akan mengalami deformasi. Deformasi elastis terjadi jika besar tegangan dan regangan proporsional. Besarnya deformasi elastis atau regangan bergantung pada besarnya tegangan. Pada gambar 2.22 terdapat perbedaan sifat bahan yaitu keras dan lunak berdasarkan tinggi dan rendahnya tegangan yang dicapai sebelum mengalami deformasi plastis (tidak dapat kembali ke bentuk sebelumnya).

## F. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

SEM adalah sebuah mikroskop elektron yang dapat melakukan pembesaran 10-3 juta kali, *depth of field* 4-0.4 mm dan resolusi sebesar 1-10 nm. SEM memfokuskan sinar elektron dipermukaan objek dan mengambil gambarnya. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm, sedangkan elektron dapat mencapai resolusi hingga 0.1-0.2 nm. Dengan menggunakan elektron akan mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Pantulan yang dihasilkan terdiri dari pantulan elastis dan non elastis. Pantulan non elastis mendapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar-X, sedangkan pantulan elastis mendapatkan sinyal *backscattered* elektron (widynugroho, 2012). Pantulan elastis dan non elastis dapat dilihat pada gambar 2.23 dibawah ini:



Gambar 2.23 Pantulan elastis dan non elastis (Widynugroho, 2012)

SEM digunakan untuk mengetahui informasi-informasi seperti (Prasetyo, 2011):

- Topografi: Ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dll)
- Morfologi: Bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada chip, dll)
- Komposisi: Data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, karakteristik, kekerasan, dll).

- d. Informasi kristalografi: informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dll).

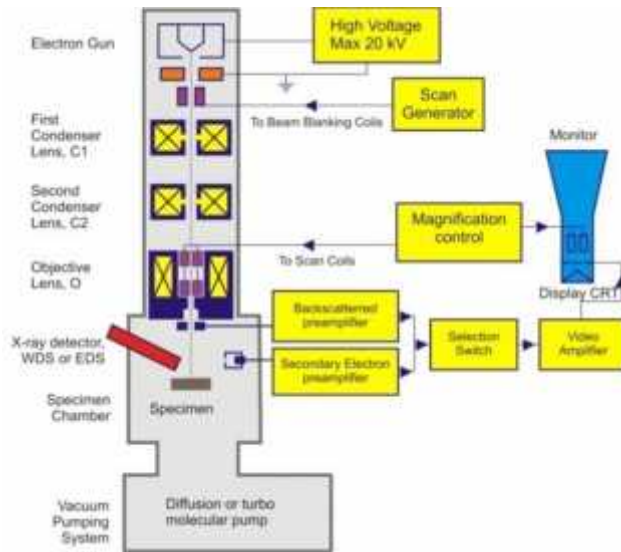
SEM juga diperlengkapi dengan beberapa detektor diantaranya adalah *secondary detector* yang berfungsi untuk menangkap informasi mengenai topografi, kemudian *backscatter detector* berfungsi untuk menangkap informasi tentang nomor atom dan topografi. Selain itu SEM juga memiliki detector EDX (*Energy Dispersion X-ray*) untuk mengkap informasi mengenai komposisi sampel pada skala mikro. EDX mendapatkan informasi dari sinar X yang dihasilkan ketika elektron dari kulit luar berpindah ke kulit yang paling dalam. Selain itu EDX mempunyai kemampuan untuk pemetaan elemen dan menganalisa secara kuantitatif dari presentase masing-masing elemen (Qulub, 2011).

## 1. Prinsip kerja SEM

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut (widynugroho, 2012):

- a. *Electron gun*: Umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Kemudian pemanasan terjadi akibat tegangan yang diberikan pada lilitan. Selanjutnya anoda akan membentuk sebuah gaya yang menarik elektron ke anoda.
- b. Lensa magnetik: Elektron-elektron tersebut difokuskan menuju satu titik permukaan sampel.
- c. Koil pemindai: keseluruhan sampel akan dipindai (*Scan*) melalui sinar elektron yang terfokus oleh koil pemindai.
- d. Monitor CRT (*Cathode ray tube*): Hamburan elektron dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar.

Berikut skema prinsip kerja SEM yang ditunjukkan pada gambar 2.24 dibawah ini:



Gambar 2.24 Skema SEM (Sujatno, 2015)

## 2. Prinsip kerja EDX

EDX merangsang emisi sinar-X dari spesimen untuk dapat memperoleh karakterisasi dari sampel dengan menggunakan balok energi tinggi bermuatan partikel-partikel seperti elektron, proton atau sinar-X. Ketika sinar-X menumbuk detektor akan membentuk sebuah *charge pulse* yang sebanding dengan energi sinar-X. Kemudian *charge-sensitive preamplifier* mengubah *charge pulse* menjadi sebuah tegangan. Pada saat sinyal dikirim ke *multichannel analyzer*, *Pulse* tersebut disortir oleh tegangan. Pengukuran tegangan tersebut dikirim ke komputer untuk mengevaluasi data. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan energi spektrum sinar-X dengan jumlahnya untuk menentukan komposisi unsur dari volume sampel (Octoviawan, 2010).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun penelitian ini dilakukan mulai dari Juni 2016 sampai dengan Maret 2017. Penelitian dilakukan di tiga tempat yaitu Laboratorium Mekanika Struktur dan Laboratorium Komposit Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Pengujian *hoop* dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung. Pengujian SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Biomassa Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Lampung.

#### B. Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Serat kaca sebagai penguat dengan panjang 2 cm.
2. Sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )
3. *Fly ash*

*Fly ash* diperoleh dari PLTU Tarahan sektor III Lampung Selatan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Shirley Savetlana tahun 2015 kadar Quartz ( $\text{SiO}_2$ ) yang terkandung pada *fly ash* ini sebesar 68,15%.

4. Sodium hidroksida (NaOH)
5. Aquades



Gambar 3.1 Bahan yang diperlukan

### C. Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Timbangan digital untuk menimbang
2. Pipa PVC 1 in, 3 in dan 4 in untuk proses pencetakan.
3. Wadah untuk pencampuran geopolimer.
4. Mixer untuk mengaduk bahan pembuatan geopolimer
5. Pengaduk larutan
6. Glass Beker
7. Sarung tangan
8. Gunting
9. Gergaji besi
10. Lem tembak
11. Lilin
12. Cuter
13. Beban dari besi dengan berat 2 Kg
14. Inkubator kaca untuk proses pemanasan spesimen
15. Mesin uji tarik



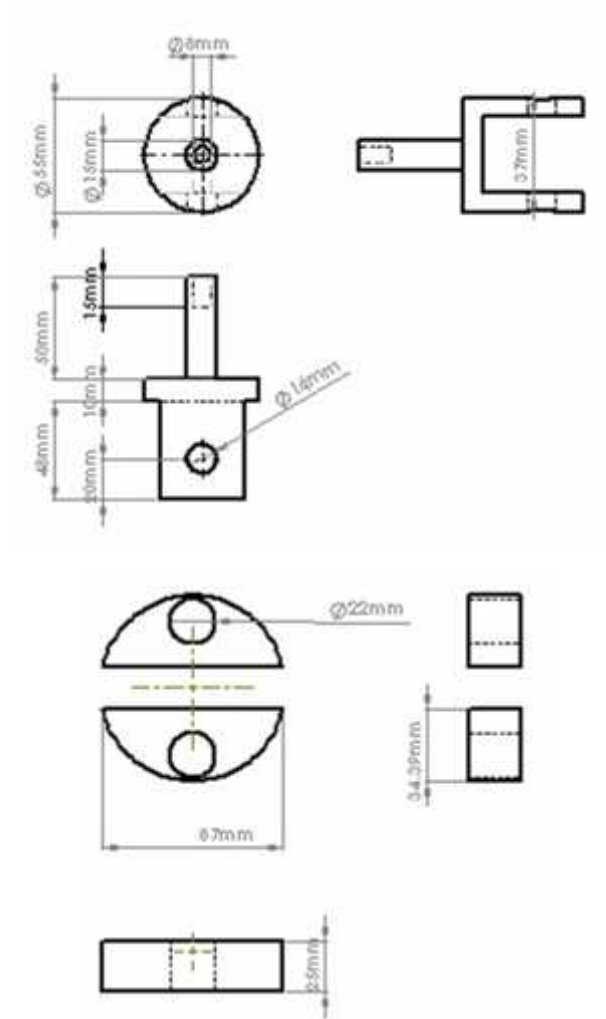
Gambar 3.2 Mesin uji tarik Landmark

16. Media atau alat *Split Disk*

*Split Disk Technique* ini berfungsi sebagai tempat sampel pipa.



Gambar 3.3 Media atau alat uji *Split Disk*



Gambar 3.4 Dimensi alat uji *Split Disk*

#### **D. Prosedur Pembuatan Spesimen**

Prosedur pembuatan spesimen dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu :

##### 1. Survei lapangan dan *study literature*

Pada penelitian ini, proses yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data awal sebagai *study literatur*. *Study literatur* bertujuan untuk mengenal masalah yang dihadapi, serta untuk menyusun rencana kerja yang akan dilakukan. Pada study awal dilakukan langkah-langkah seperti survei lapangan yang berhubungan dengan penelitian yang ingin dilakukan serta mengambil data-data penelitian yang sudah ada sebagai pembandingan terhadap hasil pengujian yang akan dianalisa.

##### 2. Pembuatan cetakan spesimen uji

Dimensi spesimen uji eksperimental menggunakan standar ASTM D 2290. Cetakan spesimen uji ini dibuat menggunakan pipa PVC dengan ukuran 1 in, 3 in dan 4 in. Langkah-langkah pembuatan cetakan sebagai berikut ini:

- a. Potong pipa 3 in dan 4 in dengan panjang 25 mm, kemudian potong pipa 1 in sepanjang 10 mm menggunakan gergaji besi.
- b. Gambar spesimen pada kertas bufallo untuk menandai pipa 1 in seperti gambar 3.5 kemudian potong menggunakan gunting.
- c. Rekatkan pipa pvc 1in, 3 in dan 4 in yang terpotong menggunakan lem tembak seperti gambar 3.5 dibawah ini:





Gambar 3.5 (a) pipa 3 in dan 4 in yang terpotong, (b) Penandaan pada pipa 1 in sebelum dipotong, (c) Pengeleman pipa 1 in dan 3 in, (d) Cetakan pipa

### 3. Pembuatan spesimen uji.

Dalam pembuatan spesimen ini terdapat beberapa langkah sebagai berikut:

#### a. Persiapan serat

Serat kaca atau mat diukur membentuk kubus dengan ukuran 20x20 mm kemudian dipotong menggunakan gunting dan memisahkan serat antar serat yang merekat.

#### b. Persiapan larutan NaOH

Pada penelitian ini, larutan NaOH dibuat dengan konsentrasi 14 M. Larutan NaOH yang dibuat didiamkan selama 24 jam sebelum digunakan untuk pembuatan spesimen.

#### c. Persiapan larutan aktivator

Larutan aktivator dibuat dengan menggunakan larutan NaOH dan sodium silikat atau waterglass. Larutan dibuat dengan perbandingan NaOH : sodium silikat = 0,67. Kemudian larutan diaduk selama 5 menit hingga tercampur dengan merata.

#### d. Pencampuran larutan aktivator dengan fly ash.

Tuangkan larutan aktivator pada fly ash dengan perbandingan 0,43. Selanjutnya diaduk menggunakan mixer hingga tercampur merata dan membentuk pasta geopolimer.

- e. Pencampuran pasta geopolimer dengan serat kaca

Setelah pasta geopolimer terbentuk, campurkan serat kaca sedikit demi sedikit kedalam pasta dan diaduk menggunakan mixer hingga merata.

- f. Pencetakan

Tuangkan pasta geopolimer yang tercampur dengan serat kedalam cetakan, ratakan kemudian lapis cetakan yang terisi dengan plastik lalu taruh beban besi seberat 2 kg.

- g. Variasi komposisi

Spesimen uji dibuat dengan variasi komposisi seperti dibawah ini:

- 1) 100 % geopolimer : 0 % serat kaca
- 2) 80 % geopolimer : 20 % serat kaca
- 3) 70 % geopolimer : 30 % serat kaca

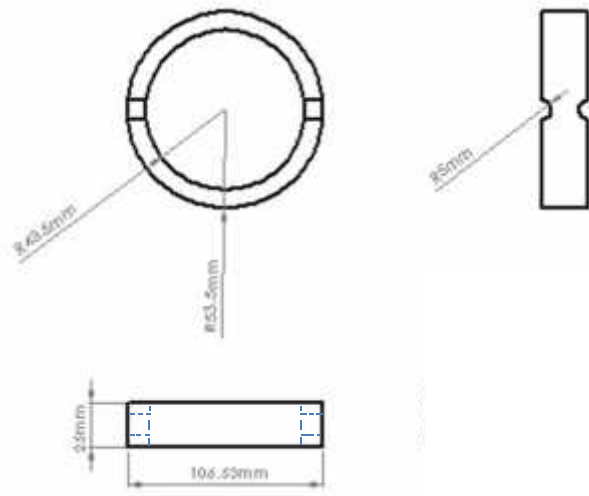
- h. Pembongkaran cetakan

Setelah didiamkan selama 7 hari, spesimen dilepaskan dari cetakan menggunakan lilin untuk memanaskan bagian pipa selama 10 detik kemudian potong dengan cutter.

- i. Curing spesimen

Setelah 60 hari spesimen dicuring dengan suhu 100°C selama 24 jam dengan laju pemanasan 0.5 °C/menit untuk mempercepat proses pengeringan dan menambahkan kekuatan spesimen geopolimer.

- j. Spesimen siap untuk diuji.



Gambar 3.6 Dimensi spesimen uji *hoop tensile* ASTM D 2290

**E. Perhitungan Pembuatan Spesimen**

Perhitungan pembuatan spesimen dilakukan pada beberapa bagian, diantaranya:

**1. Volume spesimen komposit**

$$\begin{aligned}
 V_c &= \pi r^2 \cdot t \dots\dots\dots(17) \\
 &= \pi(D_o - D_i)^2 \cdot t \\
 &= \pi(106.5 - 83.5)^2 \cdot 2.5 \\
 &= 7850 \text{ mm}^3 = 7,85 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

**2. Fraksi volume serat**

a) Fraksi volume serat 20%

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{f \times V}{1} \dots\dots\dots(18) \\
 &= \frac{20 \times 7,85 \text{ cm}^3}{1} \\
 &= 1,57 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa serat} = \rho \times V \dots\dots\dots(19)$$

$$= 2,49 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 1,57 \text{ cm}^3$$

$$= 3,9 \text{ gr} = 4 \text{ gr}$$

b) Fraksi volume serat 30%

$$V_s = \frac{f \times V}{1}$$

$$= \frac{3 \times 7,8 \text{ cm}^3}{1}$$

$$= 2,35 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa serat} = \rho \times V$$

$$= 2,49 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 2,35 \text{ cm}^3$$

$$= 5,85 \text{ gr} = 6 \text{ gr}$$

### 3. Fraksi volume fly ash

Sebelumnya telah dilakukan percobaan pembuatan spesimen dan kemudian spesimen ditimbang. Berat spesimen diketahui sebesar 150 gr kemudian massa jenis geopolimer dapat diketahui seperti dibawah ini:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(20)$$

$$= \frac{1 \text{ g}}{7,8 \text{ cm}^3} = 19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

a) Fraksi volume fly ash 100%

$$V_m = \frac{f \times V}{1} \dots\dots\dots(21)$$

$$= \frac{1 \times 7,8 \text{ cm}^3}{1}$$

$$= 7,85 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa fly ash} = \rho \times V \dots\dots\dots(22)$$

$$= 19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 7,85 \text{ cm}^3$$

$$= 149,15 \text{ gr} = 150 \text{ gr}$$

b) Fraksi volume *fly ash* 80%

$$\begin{aligned}V_m &= \frac{f \times V}{1} \\ &= \frac{8 \times 7,8 \text{ cm}^3}{1} \\ &= 6,28 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa fly ash} &= \rho \times V \\ &= 19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 6,28 \text{ cm}^3 \\ &= 120 \text{ gr}\end{aligned}$$

c) Fraksi volume *fly ash* 70%

$$\begin{aligned}V_m &= \frac{f \times V}{1} \\ &= \frac{7 \times 7,8 \text{ cm}^3}{1} \\ &= 5,49 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa fly ash} &= \rho \times V \\ &= 19 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 5,49 \text{ cm}^3 \\ &= 104 \text{ gr}\end{aligned}$$

#### 4. Larutan NaOH

Untuk membuat larutan NaOH sebanyak 500 ml maka perhitungan massa NaOH seperti dibawah ini:

$$M = \frac{x}{M} \times \frac{1}{V} \dots\dots\dots(23)$$

$$14 M = \frac{x}{4} \times \frac{1}{5 \text{ m}}$$

$$14 \times 40 \times 500 = 1000x$$

$$x = 280 \text{ gr}$$

Dimana: x = massa NaOH untuk membuat larutan

v = volume aquades yang diperlukan

Mr= Molaritas NaOH

## 5. Perhitungan aktivator

Rasio untuk  $\frac{A}{f \cdot A \cdot n} = 0,43$ . Maka perhitungan aktivator sebagai

berikut:

a) *fly ash* 100%

$$\frac{A}{F.A} = 0,43 \longrightarrow 0,43 \times 150 \text{ g} = 64,5 \text{ g} \xrightarrow{\text{ditimbang}} 75 \text{ ml}$$

b) *fly ash* 80%

$$\frac{A}{F.A} = 0,43 \longrightarrow 0,43 \times 120 \text{ g} = 51,6 \text{ g} \xrightarrow{\text{ditimbang}} 50 \text{ ml}$$

c) *fly ash* 70%

$$\frac{A}{F.A} = 0,43 \longrightarrow 0,43 \times 104 \text{ g} = 44,72 \text{ g} \xrightarrow{\text{ditimbang}} 40 \text{ ml}$$

## 6. Perbandingan NaOH dan sodium silikat

Rasio untuk  $\frac{s}{N} \frac{s}{(S)} = 0,67$

a) Untuk aktivator 75 ml

NaOH = 45 ml

SS = 30 ml

b) Untuk aktivator 50 ml

NaOH = 30 ml

SS = 20 ml

c) Untuk aktivator 40 ml

NaOH = 24 ml

SS = 16 ml

## F. Pengukuran Spesimen

Pengukuran spesimen dilakukan menggunakan jangka sorong. Pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui diameter dan luas permukaan takik yang akan dikalkulasikan pada perhitungan data hasil pengujian. Berikut hasil pengukuran yang ditunjukkan pada tabel 3.1 dibawah ini:

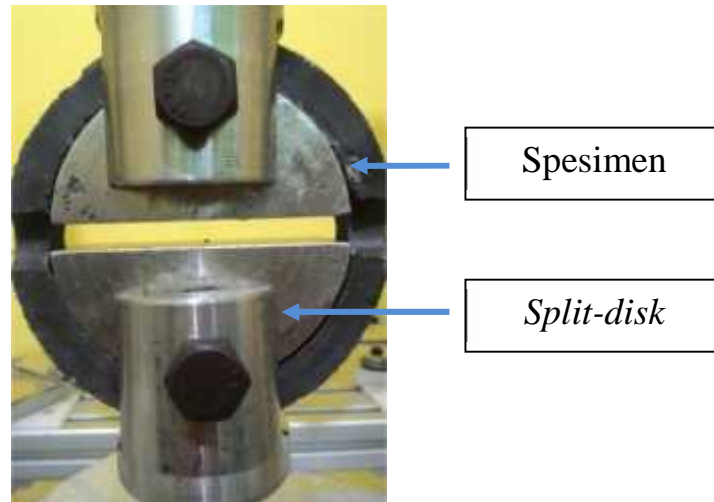
Tabel 3.1 Hasil pengukuran spesimen

Spesimen	Diameter (mm)	Takik (1)		Takik (2)		Total Luas (mm <sup>2</sup> )
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	
NC 0_1	86	15	10	15	10	300
NC 0_2	86	15	10	15	10	300
NC 20_1	86	15	11	14	11	319
NC 20_2	86	14	10	14	10	280
NC 30_1	86	14	10	15	10	290
NC 30_2	86	15	10	17	11	337
C 20_1	86	15	10	17	10	320
C 20_2	86	15	10	15	10	300
C 20_3	86	15	10	14	10	290
C 30_1	86	18	12	17	12	420
C 30_2	86	15	11	17	12	369
C 30_3	86	14	10	15	11	305

## G. Prosedur Pengujian *Hoop Tensile*.

Setelah spesimen uji selesai dibuat, dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan pengujian tarik, pengujian SEM dan EDS. Prosedur yang diikuti selama pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Spesimen diletakkan pada media *split-disk* dimana spesimen pada daerah takikan diletakkan pada bagian tengah *split*, dengan memperhatikan kelurusan spesimen uji pada penyangga spesimen *split-disk* sehingga dipusatkan sepanjang garis penggabungan titik pelekatan alat pada mesin uji seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7.



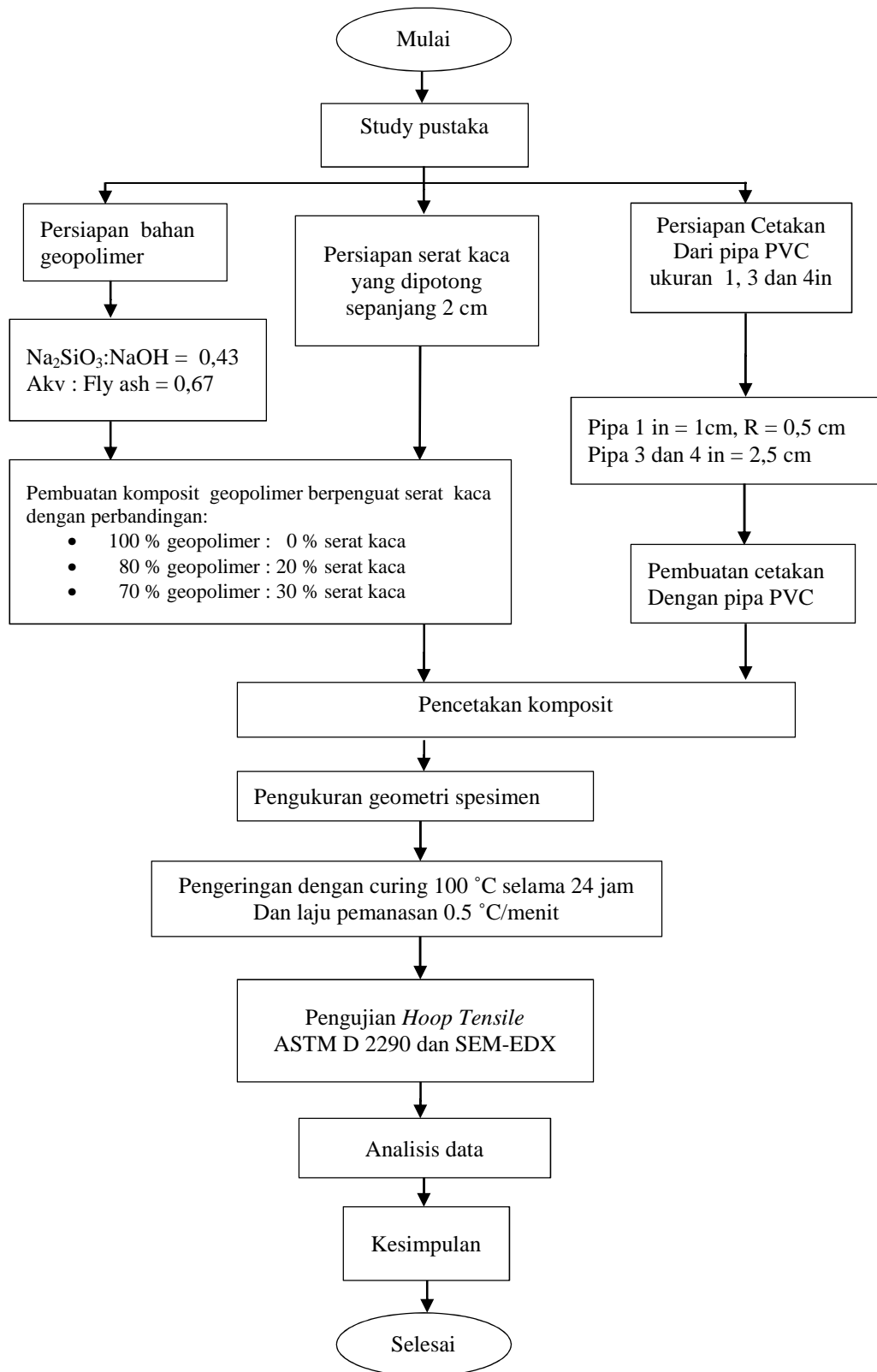
Gambar 3.7 Spesimen yang siap diuji tarik

- b. Kecepatan pengujian diatur sebagai kecepatan konstan yaitu 1 mm/menit kemudian pengujian dapat dilakukan.
- c. Data beban dan tegangan diambil sampai keretakan spesimen hingga mengalami patah.
- d. Perhitungan rata-rata kekuatan tegangan *hoop* maksimum dan modulus *hoop* dikalkulasi dan dilaporkan sebagai nilai rata-rata.
- e. Standar deviasi pada spesimen dikalkulasi.

Spesimen yang akan dilakukan pengujian berjumlah 14 sampel. Dari 14 spesimen tersebut dibagi menjadi dua variasi yaitu spesimen yang dilakukan curing dan yang tidak dilakukan curing. Untuk variasi non curing terdapat 3 (tiga) variasi berdasarkan fraksi serat yaitu 0%, 20%, dan 30% dan untuk masing variasi terdapat 2 (dua) sampel atau spesimen. Sedangkan pada variasi spesimen yang dicuring terdapat tiga variasi berdasarkan fraksi serat yaitu 0%, 20%, 30% dan masing-masing sampel terdapat 3 (tiga) sampel.



## H. Diagram Alir



Gambar 3.8 Diagram alir penelitian

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Data Pengujian

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan dengan metode *split-disk test* sesuai dengan standar ASTM D2290 dengan parameter yang ditunjukkan pada tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1. Parameter pengujian.

Standart Uji	ASTM D2290	
Spesimen Uji	Pipa Geopolimer Serat Kaca diameter 86 mm	
Parameter Uji	Kecepatan tarik : 1 mm/menit	
	Hasil : Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	
	Non Curing	
	Curing : 100°C	Durasi : 24 jam
Alat Uji	MTS Landmark	

Pengujian ini dilakukan dengan variasi fraksi serat kaca sebagai penguat dan variasi curing dengan tujuan mendapatkan perbandingan dari masing-masing variasi. Data yang diperoleh dalam pengujian ini dapat memberikan informasi berupa perhitungan kekuatan tarik hoop maksimum, standar deviasi, koefisien persen, dan modulus elastisitas. Perolehan data tersebut dapat diolah dalam bentuk kurva tegangan-regangan dan grafik perbandingan dari masing-masing variasi.

### B. Non-Curing Pipa Geopolimer Serat Kaca

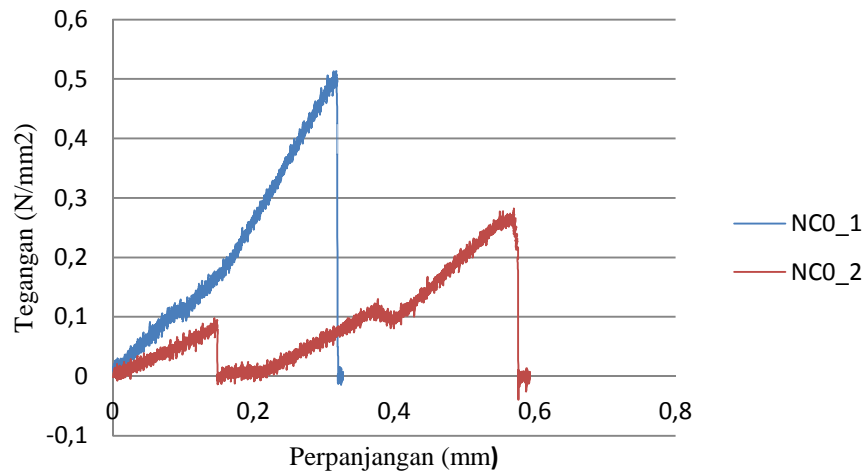
Pada variasi pipa geopolimer non curing (NC) ini terbagi menjadi 3 bagian, yaitu: Pipa geopolimer dengan fraksi serat 0%, 20%, dan 30%. Pada variasi ini spesimen dikeringkan dengan temperatur suhu ruangan selama 60 hari. Setelah 60 hari berlalu, permukaan spesimen masih sedikit lembab atau sedikit basah dikarenakan sodium silikat (*glasswater*) yang digunakan sebagai bahan aktivator belum sepenuhnya kering.

### 1. Non curing pipa geopolimer serat kaca 0%

Berikut ini hasil pengujian pipa geopolimer non curing dengan fraksi serat 0% pada tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.2. Pipa Geopolimer Non Curing serat kaca 0%

Nama Spesimen	Luas Permukaan Takik (mm <sup>2</sup> )		Diameter (mm)	Pembebanan Maksimum (N)	Tegangan Maksimum (N/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan Maksimum (mm)
	A	B				
NC0_1	150	150	86	153,944	0,5131	0,3273
NC0_2	150	150	86	84,719	0,2824	0,5932
Rata-rata ( $\bar{X}$ )	150	150	86	119,331	0,3977	0,4602
Standart Deviasi (S)				34,6	0,12	0,126
Koefisien Variasi (CV)				29 %	30 %	27 %

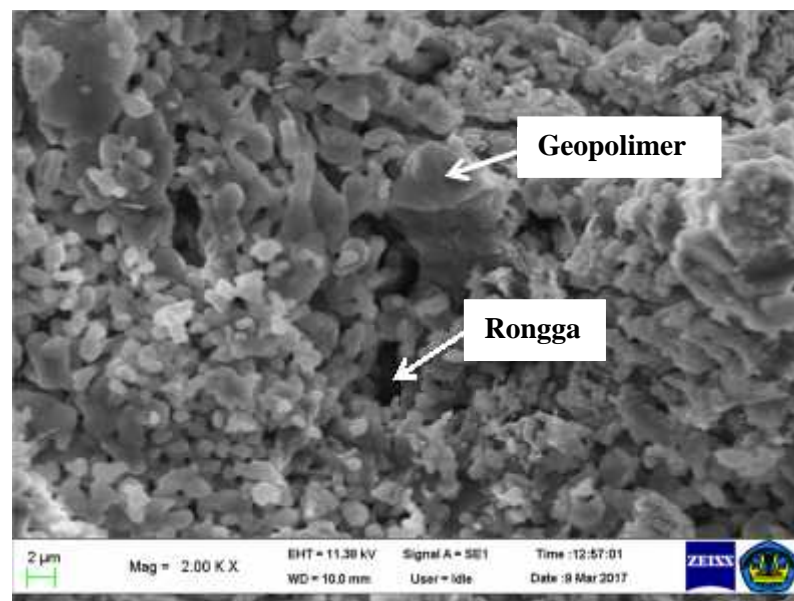


Gambar 4.1 Kurva tegangan-perpanjangan non curing pipa geopolimer serat kaca 0%

Pada gambar 4.1, spesimen pertama (NC0\_1) mengalami perpatahan pada note sebelah kanan saat pembebanan meningkat, hal ini menunjukkan bahwa spesimen memiliki sifat getas. Nilai kuat tarik NC0\_1 sebesar 0,5131 N/mm<sup>2</sup>. Pada spesimen ke dua (NC0\_2) ketika pembebanan mencapai 26,6 N terjadi penurunan tegangan. Penurunan tegangan tersebut disebabkan kurang ratanya permukaan dalam pada spesimen sehingga ketika bagian yang timbul tersebut patah, maka pembebanan split disk berhenti dan memulai kembali dari awal (0). Spesimen NC0\_2 mengalami perpatahan pada kedua note ketika pembebanan meningkat, hal ini

menunjukkan bahwa spesimen NC0\_2 juga bersifat getas. Nilai kuat tarik NC0\_2 mencapai  $0,2828 \text{ N/mm}^2$ .

Berdasarkan hasil pengujian SEM untuk spesimen non curing 0% serat kaca ditunjukkan pada gambar 4.2. Terlihat bahwa spesimen memiliki kerapatan yang rendah dengan banyaknya rongga pada spesimen. Rongga dapat terlihat dengan warna yang lebih gelap dibandingkan dengan padatan geopolimer.



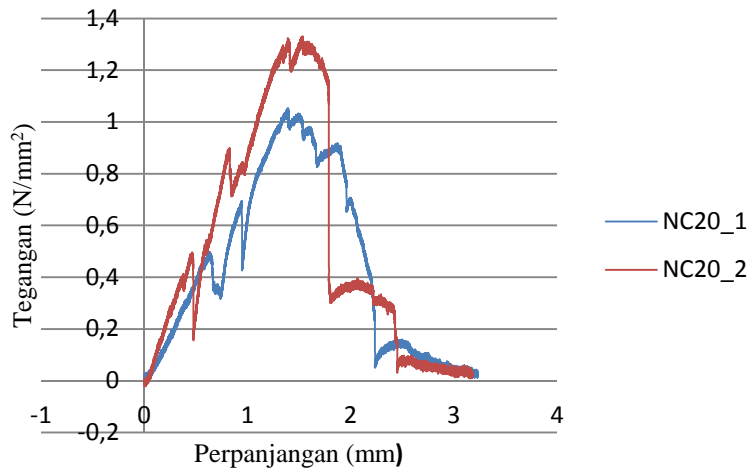
Gambar 4.2 SEM spesimen geopolimer non curing 0% serat

## 2. Non curing pipa Geopolimer serat kaca 20%

Berikut adalah hasil pengujian pipa geopolimer non curing dengan fraksi serat 20% pada tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel. 4.3. Pipa Geopolimer Non Curing Serat Kaca 20%

Nama Spesimen	Luas Permukaan Takik ( $\text{mm}^2$ )		Diameter (mm)	Pembebanan Maksimum (N)	Tegangan Maksimum ( $\text{N/mm}^2$ )	Perpanjangan Maksimum (mm)
	A	B				
NC20_1	165	154	86	336,0155	1,0533	3,2273
NC20_2	140	140	86	372,355	1,3298	3,1807
Rata-rata ( $\bar{X}$ )	152,5	147	86	354,185	1,1915	3,204
Standart Deviasi (S)				18,2	0,1	0,05
Koefisien Variasi (CV)				5 %	8 %	1,5 %



Gambar 4.3 Kurva tegangan-perpanjangan non curing pipa geopolimer serat kaca 20%.

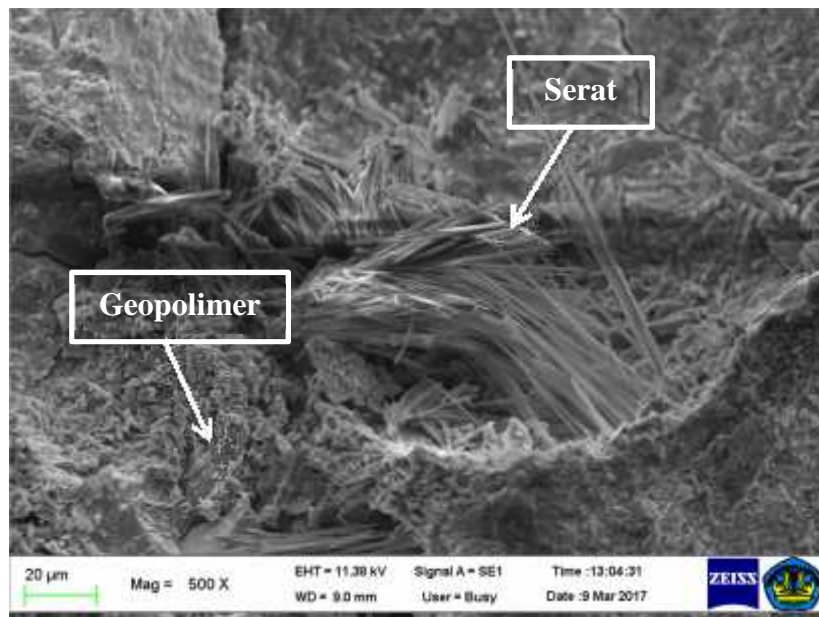
Pada gambar 4.3, kurva tegangan-perpanjangan membentuk parabola, hal ini disebabkan adanya serat yang menanggung beban. Ketika matrik atau padatan geopolimer tidak dapat menanggung beban, beban tersebut akan diteruskan pada serat hingga akhirnya spesimen patah. Pada spesimen pertama (NC20\_1), geopolimer bersifat elastis hingga tegangan mencapai  $0,47 \text{ N/mm}^2$ , kemudian pembebanan ditanggung oleh serat hingga mencapai tegangan maksimum sebesar  $1,05 \text{ N/mm}^2$ . Ketika serat sudah tidak dapat menanggung beban, serat dan geopolimer meregang hingga akhirnya spesimen patah. Pada patahan tersebut terdapat serat-serat yang masih menyambung atau dikenal dengan istilah jembatan serat (*fiber brushing*) dan beban masih dapat ditanggung serat sebesar  $0,18 \text{ N/mm}^2$  hingga akhirnya serat terputus.

Pada spesimen ke dua (NC20\_2), geopolimer bersifat elastis hingga tegangan mencapai  $0,46 \text{ N/mm}^2$  kemudian pembebanan diteruskan pada serat hingga mencapai tegangan maksimum sebesar  $1,3298 \text{ N/mm}^2$ . Pada patahan spesimen terdapat jembatan serat, hingga serat terputus pada tegangan mencapai  $0,37 \text{ N/mm}^2$ . Perpatahan dan jembatan serat kedua spesimen berada pada bagian atas spesimen, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah ini.

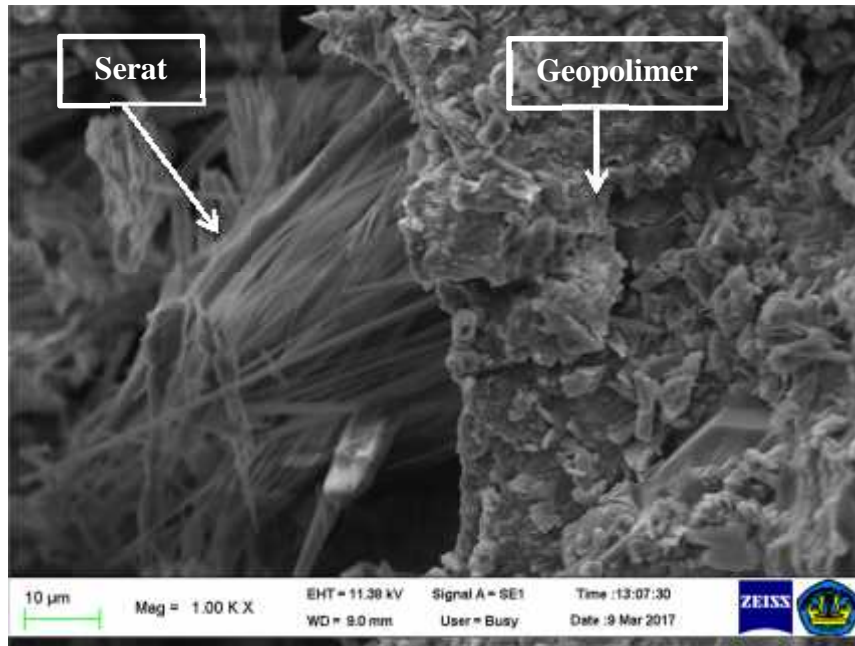


Gambar 4.4 Perpatahan pada spesimen

Berdasarkan hasil pengujian SEM yang ditunjukkan pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa serat kaca dengan geopolimer sebagai matrik tidak mengikat dengan baik. Rendahnya daya ikat dan distribusi serat ini menjadi salah satu penyebab rendahnya nilai kuat tarik spesimen.



(a)



(b)

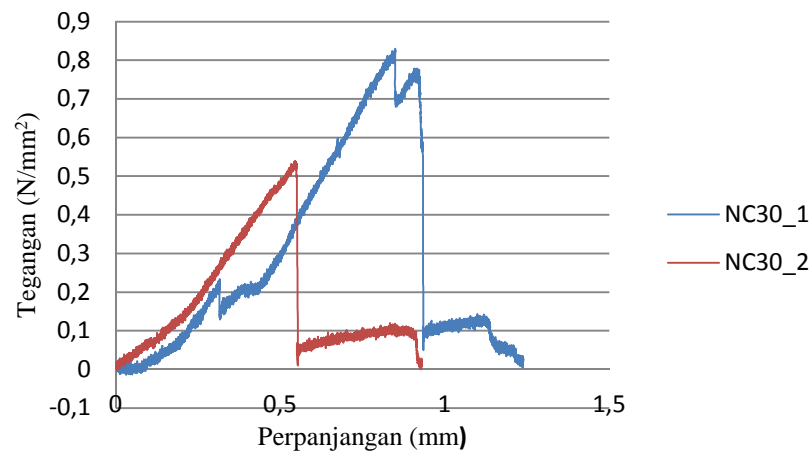
Gambar 4.5 SEM spesimen geopolimer non curing 20% serat  
(a) 500X, (b) 1 KX

### 3. Non curing pipa Geopolimer serat kaca 30%

Berikut adalah hasil pengujian pipa geopolimer non curing dengan fraksi serat 30% pada tabel 4.4 di bawah ini:

Tabel 4.4. Pipa Geopolimer Non Curing Serat Kaca 30%

Nama Spesimen	Luas Permukaan Takik (mm <sup>2</sup> )		Diameter (mm)	Pebebanan Maksimum (N)	Tegangan Maksimum (N/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan Maksimum (mm)
	A	B				
NC30_1	140	150	86	240,169	0,828	1,2387
NC30_2	150	187	86	181,537	0,538	0,9306
Rata-rata ( $\bar{X}$ )	145	168,5	86	210,853	0,683	1,0846
Standart Deviasi (S)				29,315	0,143	0,16
Koefisien Variasi (CV)				11,2 %	21 %	14,7 %



Gambar 4.6 Kurva tegangan-perpanjangan non curing pipa geopolimer serat kaca 30%.

Pada spesimen pertama (NC30\_1) mengalami keretakan pada saat tegangan menapai 0,212 N/mm<sup>2</sup>, namun pembebanan masih dapat ditanggung oleh serat hingga mencapai tegangan maksimum sebesar 0,828 N/mm<sup>2</sup>. Pada spesimen ke dua (NC30\_2) pembebanan naik secara konstan hingga mencapai tegangan maksimum sebesar 0,538 N/mm<sup>2</sup> dan terjadi patah dan terdapat jembatan serat. Jembatan serat dapat mencapai tegangan 0,1 N/mm<sup>2</sup> kemudian jembatan serat terputus. Pada spesimen NC30\_2 ini berdasarkan kurva menunjukkan bahwa serat tidak dapat meneruskan beban dengan baik.

### C. Curing Pipa Geopolimer Serat Kaca

Pada variasi pipa geopolimer curing (C) ini terbagi menjadi 3 bagian, yaitu: Pipa geopolimer dengan fraksi serat 0%, 20%, dan 30%. Pada variasi ini spesimen dikeringkan dengan temperatur suhu ruangan selama 60 hari. Untuk membuat spesimen benar-benar kering dilakukan curing 100°C selama 24 jam. Setelah dilakukan curing terjadi penyusutan pada spesimen dengan variasi 0% serat sebesar 7,5%. Oleh sebab itu pada pengujian fraksi 0% serat ini tidak dilakukan.

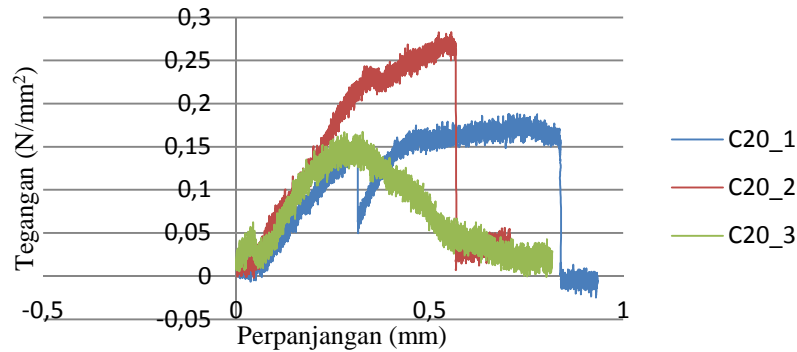


## 1. Curing pipa Geopolimer serat kaca 20%

Berikut ini hasil pengujian pipa geopolimer curing dengan fraksi serat 20% pada tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.5. Pipa Geopolimer Curing Serat Kaca 20%

Nama Spesimen	Luas Permukaan Takik (mm <sup>2</sup> )		Diameter (mm)	Pembebanan maksimum (N)	Tegangan maksimum (N/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan Maksimum (mm)
	A	B				
C20_1	150	170	86	60,2896	0,1884	0,9333
C20_2	150	150	86	84,8566	0,2828	0,7064
C20_3	150	140	86	48,4714	0,1671	0,8164
Rata-rata ( $\bar{X}$ )	150	153,3	86	64,5392	0,2127	0,8187
Standart Deviasi (S)				7,57	0,023	0,0458
Koefisien Variasi (CV)				11,7 %	10,8 %	5,5 %



Gambar 4.7 Kurva tegangan-perpanjangan curing pipa geopolimer serat kaca 20%.

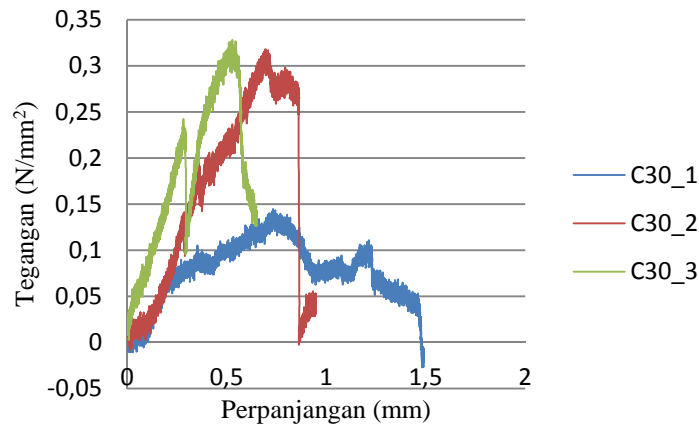
Pada spesimen pertama (C20\_1), spesimen mengalami perpatahan dan jembatan serat pada note saat tegangan mencapai 0,15 N/mm<sup>2</sup>, namun pembebanan masih dapat ditanggung oleh serat hingga mencapai tegangan sebesar 0,188 N/mm<sup>2</sup>. Pada spesimen ke dua (C20\_2) pembebanan naik secara konstan hingga mencapai tegangan maksimum sebesar 0,2828 N/mm<sup>2</sup> dan kemudian patah pada note. Pada spesimen ke tiga (C20\_3) geopolimer mengalami perpatahan pada note saat tegangan mencapai 0,0624 N/mm<sup>2</sup>. Kemudian pembebanan diteruskan pada serat hingga mencapai tegangan maksimum 0,167 N/mm<sup>2</sup> dan spesimen meregang hingga serat terputus.

## 2. Curing pipa Geopolimer serat kaca 30%

Berikut ini hasil pengujian pipa geopolimer curing dengan fraksi serat 30% pada tabel 4.6 di bawah ini:

Tabel 4.6. Pipa Geopolimer Curing Serat Kaca 30%

Nama Spesimen	Luas Permukaan Takik (mm <sup>2</sup> )		Diameter (mm)	Pembebanan Maksimum (N)	Tegangan Maksimum (N/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan Maksimum (mm)
	A	B				
C30_1	216	204	86	60,7614	0,1446	1,4874
C30_2	165	204	86	117,2879	0,3178	0,9485
C30_3	140	165	86	99,9636	0,3277	0,6508
Rata-rata ( $\bar{X}$ )	173,6	191	86	92,671	0,263	1,0289
Standart Deviasi (S)				11,823	0,0408	0,173
Koefisien Variasi (CV)				12,45 %	15,5 %	16,8 %



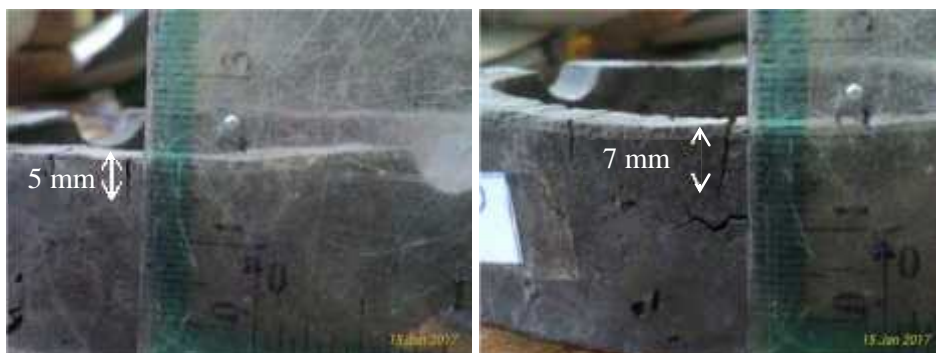
Gambar 4.8 Kurva tegangan-perpanjangan curing pipa geopolimer serat kaca 30%.

Pada Spesimen pertama (C30\_1) kuat tarik maksimum sebesar 0,1446 N/mm<sup>2</sup> dan perpatahan terjadi pada 4 bagian yaitu kedua notte, atas, dan bawah spesimen. Pada spesimen ke dua (C30\_2) perpatahan terjadi pada note saat tegangan mencapai 0,2 N/mm<sup>2</sup> kemudian pembebanan diteruskan pada serat hingga tegangan maksimum mencapai 0,3178 N/mm<sup>2</sup>. Pada spesimen ke tiga (C30\_3) terdapat banyak retakan pada permukaan spesimen akibat proses curing, panjang retakan mencapai 5 mm sampai 7 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.10. Pada saat pengujian uji tarik terjadi

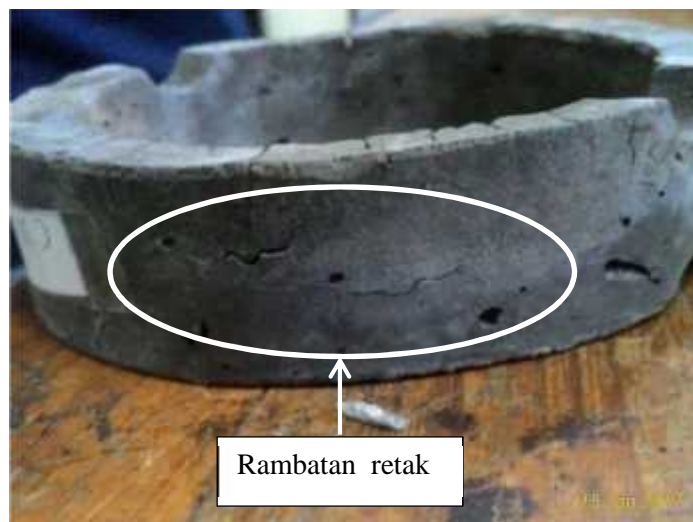
rambanan retak pada bagian tengah spesimen hingga mencapai tegangan maksimum sebesar  $0,3277 \text{ N/mm}^2$  dan spesimen tidak mengalami perpatahan.



Gambar 4.9 Retakan pada permukaan spesimen C30\_3

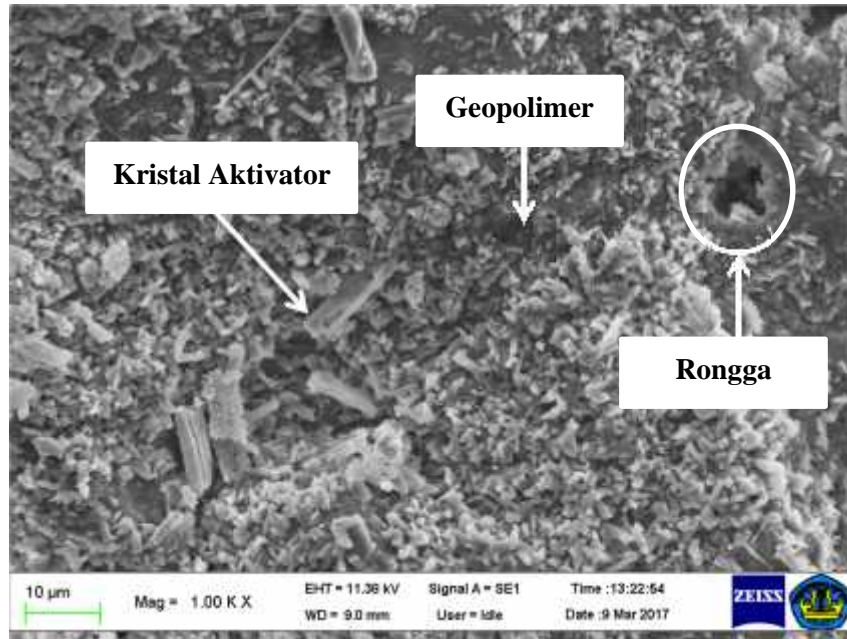


Gambar 4.10 Ukuran keretakan sebelum pengujian

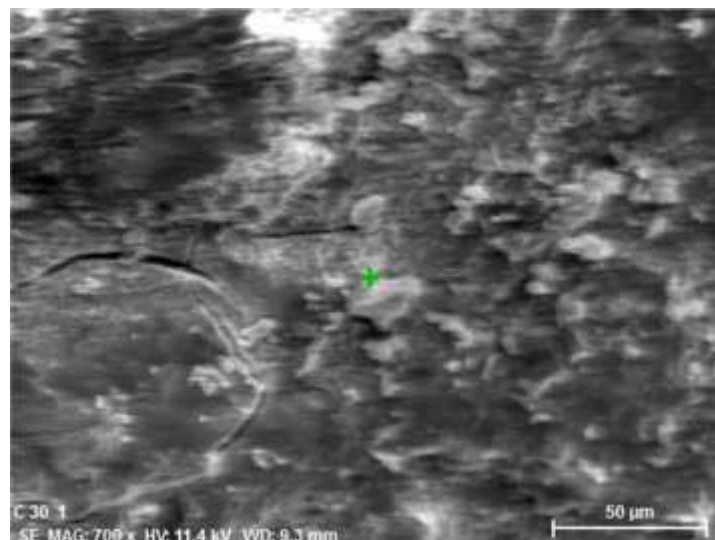


Gambar 4.11 Rambatan retak setelah pengujian

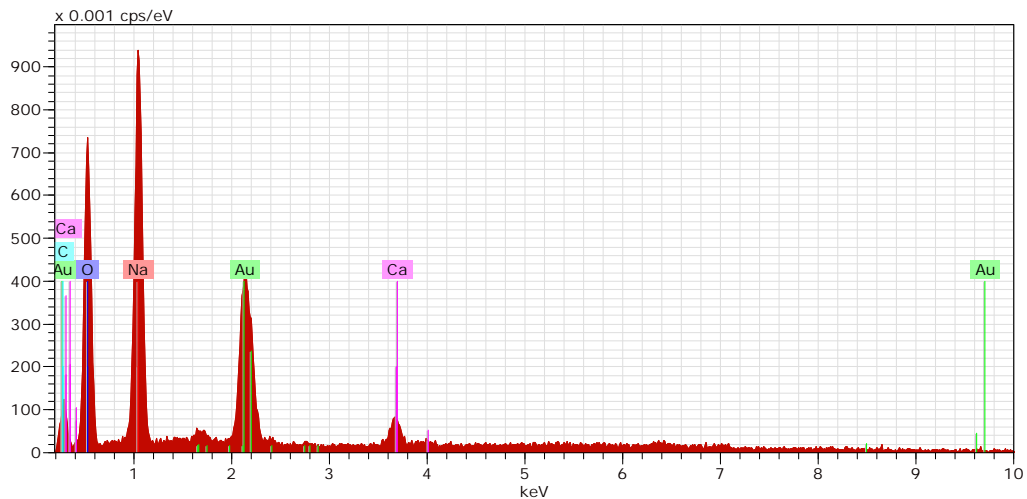
Pada pengujian SEM -EDX spesimen geopolimer curing 30% serat terlihat banyaknya kristal aktivator seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.12. Hal ini didukung dengan hasil uji EDX yang menunjukkan kadar natrium sebagai aktivator sebesar 32,47% yang ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.12 SEM spesimen geopolimer curing 30% serat



(a)



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Na	11	K-series	30.86	32.47	36.83	1.93
Au	79	M-series	29.34	30.87	4.09	1.20
O	8	K-series	26.31	27.68	45.12	3.88
C	6	K-series	5.07	5.34	11.59	1.19
Ca	20	K-series	3.47	3.65	2.37	0.19
Total:			95.06	100.00	100.00	

(b)

Gambar 4.13 EDX spesimen geopolimer curing 30% serat: (a) SEM C30, (b) Pemetaan EDX

Pada gambar 4.13 terdapat beberapa unsur logam dan non logam diantaranya kalsium (Ca), karbon (C), natrium (Na), Oksigen (O), dan Emas (Au). Unsur yang terbesar adalah natrium (*sodium*).

#### D. Perbandingan Spesimen

Dari data yang diperoleh, untuk spesimen non curing hanya sebagai informasi dikarenakan kurangnya sampel data. Untuk perbandingan data hanya digunakan pada spesimen pipa geopolimer yang di curing. Hasil yang diperoleh curing pipa geopolimer dengan fraksi 30% serat kaca memiliki nilai tertinggi pada pembebanan, tegangan dan perpanjangan dibandingkan dengan variasi serat lainnya. Berikut tabel perbandingan seperti di bawah ini:

Tabel 4.7 Perbandingan hasil data

Persentase Serat	Pembebanan (N)	Tegangan ( )	Pemanjangan (mm)
20	64.539	0.2127	0.8187
30	92.671	0.263	1.0289

Menurut hasil perhitungan, kekuatan tarik yang diperoleh sangat kecil. Rendahnya nilai kuat tarik yang diperoleh tersebut diduga disebabkan oleh faktor proses pembuatan spesimen. Faktor proses pembuatan yang menyebabkan rendahnya kekuatan tarik disebabkan kerapatan atau kepadatan yang rendah pada geopolimer sehingga terdapat banyak rongga di dalam spesimen. Selain itu juga terjadi penyusutan dan keretakan pada permukaan setelah proses curing. Selain itu juga rendahnya nilai kuat tarik disebabkan oleh daya ikat serat dan distribusi serat yang tidak merata pada saat pencetakan spesimen.

Meskipun demikian tidak menutup kemungkinan bahwa kekuatan tarik hoop pipa geopolimer berpenguat serat dapat lebih ditingkatkan kembali dengan menggunakan penguat selain serat kaca. Selain dengan mengganti jenis serat, peningkatan juga bisa dilakukan dengan peningkatan kerapatan massa atau kepadatan pada spesimen.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kurva tegangan-perpanjangan adanya penambahan serat membuat spesimen memiliki sifat ulet dibandingkan dengan spesimen tanpa serat.
2. Nilai kekuatan tarik hoop tertinggi diperoleh pada spesimen curing 30% serat sebesar 0.263 MPa.
3. Rendahnya nilai kekuatan tarik hoop disebabkan oleh kerapatan spesimen yang rendah yang ditunjukkan pada gambar SEM non curing 0% serat. Selain kerapatan yang rendah, berdasarkan gambar SEM non curing 20% serat rendahnya nilai tarik hoop juga disebabkan oleh daya ikat yang rendah pada serat kaca dan distribusi serat yang tidak merata.
4. Berdasarkan hasil uji SEM-EDX curing 30% serat, banyaknya kadar Na yang dihasilkan dari reaksi aktivator Sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).
5. Berdasarkan hasil perbandingan spesimen dapat disimpulkan bahwa penambahan serat kaca tidak mempengaruhi nilai kuat tarik hoop akibatnya kurang daya ikat dan distribusi serat yang tidak merata.

## **B. Saran**

Dari penelitian yang dilakukan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pembuatan cetakan yang presisi dan dapat digunakan untuk penggunaan mesin press hidrolik agar spesimen dapat dipadatkan.
2. Peningkatan kekuatan spesimen dapat dilakukan dengan memberikan bahan-bahan penguat yang lain berupa serat ataupun partikel dan pembuatan spesimen menggunakan mesin press agar spesimen dapat menjadi lebih padat.
3. Berdasarkan pengamatan visual, permukaan spesimen selalu basah sebelum dicuring, maka untuk mengurangi permukaan yang basah dapat dilakukan percobaan selanjutnya dengan menganalisa larutan aktivator.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, Fauna. 2014. Pengaruh Penambahan Berbagai Jenis Serat Pada Kuat Tekan Paving Blok. VOL 10 No.1 Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang.
- Adiputro, Susanto Triyogo. 2013. Campuran Geopolimer *Fly Ash* Sebagai Material Mortar Perbaikan Gedung. Politeknik Bandung. Hal. 25
- Adisty, Dian. 2009. Sintetis Geopolimer Berbahan Batu Abu Terbang ASTM kelas C. UI. 15 hal.
- Antaki, Geoge A. 2003. Piping and Pipeline Engineering: Marcel Dekker, INC. New York
- ASTM D2290. 2004. *Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe by Split Disk Method.*
- Arini, R.N., Triwulan, dan Ekaputri J.J. 2013. Pasta Ringan Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Bakar Sidoarjo dan Fly Ash Perbandingan 3:1 dengan Tambahan Aluminium Powder dan Serat Alam. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, 2013, 1-5.
- Courtney, H.T. 1999. *Mechanical Behavior of Materials. Mc. Graw Hill International Edition.*
- Ekaputri, J.J., dan Triwulan. 2013. Sodium Sebagai Aktifator Fly Ash, Trass, dan Lumpur Sidoarjo Dalam Beton Geopolimer. ITS. Surabaya. 10 hal.
- Erdiller, E.S. 2004. *Eksperimental Invertigation For Mechanical Propertief Of Filament Wound Composite Tube.* Middle East Technical University. Hal. 12-32
- Gibson, R.F. 1994. *Priciples of Composite Material Mechanics: Mc. Graw-Hill, New York.*
- Hanjitsuwan, S. 2013. *Effect of NaOH Concentration on Physical and Electrical Properties of High Calsium Fly Ash Geopolimer Paste.* Khon Kaen University, Thailand.

- Himawan, Naja. 2010. Analisis Perbandingan Perancangan pada *Onshore Pipeline* Menggunakan Material *Glass-Reinforced Polymer (GRP)* dan *Carbon Steel* Berbasis Tekno Ekonomik. ITS. 30 hal.
- Maja, M. A. 2010. *Pipe Stress Analysis on RCC Off Gas to Propylene Project (ROPP) Turbine of Pertamina Balongan by Using The Caesar II 5.10 Software*. ITS, Surabaya.
- Nayiroh, Nurun. 2015. Teknologi Material Komposit. UIN Malang. 21 hal.
- Nji, Lauw Tjun. 2004. Fly ash Overview. [Http://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash-overview/brosur.html](http://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash-overview/brosur.html). 19 Hal. Diunduh pada tanggal 8 Oktober 2016
- Oktoviawan, N. 2010. *Energy Dispersion X-Ray*.  
<http://nurazizoctoviawan.blogspot.co.id/2010/05/pendahuluan-energy-dispersion-x-ray.html>. 6 hal. Tanggal akses 23 januari 2017.
- Prasetyo, Yudi. 2012. *Glass Fiber Reinforced Polymer* dan Aplikasinya: diakses pada:<https://yudiprasetyo53.wordpress.com/2012/03/24/glass-fiber-reinforced-polymer-dan-aplikasinya-komponen-struktural/>. hal. Tanggal 23 Desember 2015 pukul 20:00
- Prasetyo, Yudi. 2011. *Scanning Elektron Microscope dan Optical Emission Spectroscopy*. <https://yudiprasetyo53.wordpress.com/2011/11/07/scanning-electron-microscope-sem-dan-optical-emission-spectroscopy-oes/>. 2 hal. Tanggal akses 23 januari 2017.
- Priadi, Mirrya. 2011. Bab 5. Mikro molekul. Diunduh pada <http://Mirryapriadi.wordpress.com/kimia-xii> pada tanggal 10 juli 2017.
- Qulub, Munawirul. 2011. *Scanning Electron Microscope & Energy dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS)*. <http://munawirul-q.blogspot.co.id/2011/03/scanning-electron-microscope-energy.html>. 5 hal. Tanggal akses 23 januari 2017.
- Raya, indah. 2016. Semen Cepat Geopolimer dan Metode Pembuatannya. <http://www.Unhas.ac.id/lppm/HaKI/index.php/> . Tanggal Akses 5 September 2016.
- Risdanareni, P., Triwulan, dan Ekaputri J.J. 2014. Pengaruh Molaritas Aktifator Alkalin Terhadap Kuat Mekanik Beton Geopolimer Dengan Trass Sebagai Pengisi. SEMNAS X-2014 Teknik Sipil ITS Surabaya Inovasi Struktur dalam Menunjang Konektifitas Pulau di Indonesia. 10 hal.
- Saptadji, Nenny. 2009. Sekilas Tentang Panas Bumi. ITB. 15 hal.

- Savetlana, Shirley dan ,G. 2015. .Material Science Forum Vol.827 (2015) pp 371-374.
- Sujatno, A., Salam, R. Bandriyana dan Dinyati, A. 2015. *Study Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium*. Jurnal Forum Nuklir (JFN), Vol. 9, no. 2, Nov. 2015. 7 hal.
- Syukur, M. 2012. Pembuatan dan Karakterisasi Genteng Komposit Polimer dan Campuran Resin Polyester, Aspal, Styrofoam Bekas dan Serat Panjang Ijuk .USU
- Timings, L.R. 1998. *Engineering Materials*. Adisson Wesles Longman Limited: Singapura
- Tofik. 2009. Jenis-Jenis dan Macam Pipa: <https://opik7th.wordpress.com> diunduh pada 23 agustus 2015 pukul 15:00
- Turnip, R. 2010. Penggunaan Komposit Epoksi Berpenguat Serat Kevlar Sebagai Bahan Alternatif Mengatasi kebocoran Pipa .Fakultas Teknik UI
- Widodo, Basuki. 2008. Analisa sifat Mekanik Komposit *Epoxy* dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (*Random*). Jurusan Teknik Mesin ITN Malang: Malang
- Widynugroho, Anita. 2012. *Scanning Electron Microscope*. <http://anita-widynugroho.blogspot.co.id/2012/04/scanning-electron-microscope-sem.html> tanggal akses 23 januari 2017.
- Wirjosentono, B. 2011. Analisis Pengaruh Penambahan Serat Ijuk Aren Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisis Gypsum Profil Dengan Perekat Lateks Akrilik. USU