

**STUDI PENGUATAN *PRESSURE LIMIT* PIPA PVC DENGAN
SERAT IJUK**

(Skripsi)

Oleh

BENNY SILALAH



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2016

STUDY OF PRESSURE LIMIT REINFORCEMENT PVC PIPE USING ARENGA PINNATA MERR FIBER

By : Benny Silalahi

Abstrack

Pipe is a construction component that commonly use in industry for fluid distribution. Steel pipe is the kind of pipe that commonly used in industry. Corrosion is one of the many main pipe problem. In this research, developed PVC pipe reinforced arenga pinnata merr fiber as an answer for this problem. PVC pipe was given reinforced arenga pinnata merr fiber with 2 matrix is combine of asphalt – cement and epoxy resin. The winding angle of this research that is used for combine asphalt-cement matrix is 55° and for epoxy resin as matrix used 90° . In this research uses “filament winding technique”. The experimental has been done with split-disk technique (ASTM D2290). The results of experimental shows decreasing pressure limit and hoop tensile strength of the specimen reinforced arenga pinnata merr fiber with combine asphalt-cement as matrix. The value of pressure limit for specimen reinforced arenga pinnata merr fiber with epoxy resin as matrix increases but the hoop tensile strength decreases. This decreasing of tensile strength hoop is caused by degradation PVC. This matrix specimen combined asphalt-cement has tensile strength can't be applicated because selected experimental isn't appropriate, cause there is no behave to arenga pinnata merr fiber before filament wound, and the process filament wound isn't appropriate.

Key Word : Filament winding technique, Split-disk technique, pressure limit, hoop tensile strength.

STUDI PENGUATAN *PRESSURE LIMIT* PIPA PVC DENGAN SERAT IJUK

Oleh : Benny Silalahi

Abstrak

Pipa merupakan komponen konstruksi yang banyak dipakai industri untuk penyaluran fluida. Jenis pipa yang banyak dipakai adalah pipa baja. Salah satu persoalan utama pada pipa adalah korosi. Pada penelitian ini, dikembangkan pipa PVC berpenguat serat ijuk, sebagai jawaban atas persoalan tersebut. Pipa PVC diberi penguat serat ijuk dengan matriks paduan aspal semen dan matriks *epoxy*. Untuk matriks paduan aspal semen sudut pelilitan yang digunakan sebesar 55° dan untuk matriks *epoxy* sudut pelilitan sebesar 90° . Teknik pelilitan menggunakan *Filament Winding Technique* (Teknik Pelilitan Serat). Pengujian yang dilakukan menggunakan *Split-Disk Technique* (ASTM D2290). Hasil pengujian menunjukkan pada spesimen pipa berpenguat serat ijuk matriks paduan aspal semen mengalami penurunan *pressure limit* (tekanan batas) dan kekuatan tarik *hoop*. Pada spesimen pipa berpenguat serat ijuk matriks *epoxy*, nilai *pressure limit* mengalami peningkatan tetapi kekuatan tarik *hoop* mengalami penurunan. Penurunan kekuatan tarik *hoop* ini disebabkan antara lain karena terjadinya degradasi PVC. Pada spesimen bermatriks paduan aspal semen kekuatan tarik ijuk tidak teraplikasi karena pemilihan pengujian yang tidak tepat, tidak adanya perlakuan ijuk sebelum dililitkan, dan proses pelilitan yang kurang tepat.

Kata Kunci : *Filament Winding Technique*, *Split-Disk Technique*, *limit pressure* (tekanan batas), kekuatan tarik *hoop*.

**STUDI PENGUATAN *PRESSURE LIMIT* PIPA PVC DENGAN
SERAT IJUK**

Oleh

BENNY SILALAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi : **STUDI PENGUATAN *PRESSURE LIMIT*
PIPA PVC DENGAN SERAT IJUK**

Nama Mahasiswa : **Benny Silalahi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021013

Jurusan : Teknik Mesin

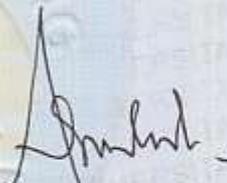
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

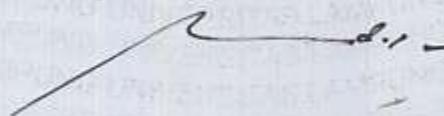


Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.
NIP 19690801 199903 1 002



Dr. Asnawi Lubis, S.T, M.Sc.
NIP 19700412 199703 1 006

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

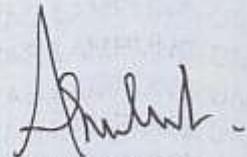
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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


.....

Anggota Penguji : **Dr. Asnawi Lubis, S.T, M.Sc.**


.....

Penguji Utama : **Zulhendri Hasymi, 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 : **28 Juli 2016**

PERNYATAAN PENULIS

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

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



Benny Silalahi
NPM. 1115021013

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lubuk Pakam, Deli Serdang, Sumatera Utara pada tanggal 07 September 1992, sebagai anak ketiga dari 4 bersaudara, dari pasangan Pariaman Silalahi dan Tiurma Sijabat. Pendidikan SD RK Serdang Murni I Lubuk Pakam diselesaikan pada tahun 2005, SMPN 1 Lubuk Pakam diselesaikan pada tahun 2008, SMAN 1 Lubuk Pakam diselesaikan pada tahun 2011,

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

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi Kerohanian (2012 s.d. 2014) dan Forum Komunikasi Mahasiswa Kristiani Fakultas Teknik (FKMK-FT). Penulis juga pernah melakukan kerja praktik di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, LIPI Kawasan PUSPITEK, Tangerang Selatan pada tahun 2014. Pada tahun 2015 penulis melakukan penelitian dengan judul “Studi Penguatan *Pressure Limit* Pipa PVC dengan Serat Ijuk” dibawah bimbingan Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T.,M.T. dan Bapak Dr. Asnawi Lubis, S.T.,M.Sc.

MOTTO

“ Tetapi carilah dahulu Kerajaan Allah dan kebenarannya, maka semuanya itu akan ditambahkan kepadamu “.
(Matius 6:33)

“ If you judge people, you have no time to love them “
(Mother Teresa)

“The future depends on what we do in the present “
(Mahatma Gandhi)

“Walaupun esok merupakan hari kiamat, tetapi lakukan hal terbaik yang bisa engkau lakukan hari ini dan menjadi berkat buat siapa pun”
(Penulis)

SANWACANA

Syalom dan Salam Sejahtera.

Puji syukur buat Tuhan Yesus Kristus karena berkat kasih setiaNya dan anugerahNya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Studi Penguatan *Pressure Limit* Pipa PVC dengan Serat Ijuk“. 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. Penulis terutama ingin mengucapkan terima kasih dengan setulus hati kepada:

1. Kedua orangtuaku, yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi serta dukungan materi kepada penulis agar dapat menyelesaikan skripsi dan kuliah di Teknik Mesin dengan predikat yang membanggakan.
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.
5. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T sebagai pembimbing utama tugas akhir/skripsi atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, saran,dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Dr. Asnawi Lubis, S.T., M.Sc sebagai dosen pembimbing pendamping atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, saran,dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini..
7. Bapak Zuhendri Hasymi, S.T., M.T sebagai dosen pembahas skripsi penulis, yang telah memberikan saran dan masukan guna penyempurnaan dalam penulisan laporan ini.
8. Bapak Mohammad Badaruddin, PH.D selaku dosen Pembimbing Akademik.
9. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun teladan dan motivasi sehingga dapat saya jadikan bekal untuk terjun ke tengah-tengah masyarakat
10. Pdt. Maruli N. Manurung, yang telah menjadi sosok orangtua, teman dan sahabat penulis selama ini dan memberikan banyak arahan, masukan, pemikiran untuk menjadikan penulis menjadi orang yang lebih baik lagi.
11. Seluruh keluarga yang telah membantu penulis selama proses perkuliahan yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

12. Semua teman-teman sekaligus keluarga Forum Komunikasi Mahasiswa Kristiani Fakultas Teknik (FKMK-FT) yang telah mengajarkan betapa berharganya hidup kita di mata Tuhan dan tetaplah menjadi garam dan terang dunia.
13. Teman-teman sekaligus keluarga Teknik Mesin Angkatan 2011, terima kasih atas persahabatannya dan juga bantuannya salam “SOLIDARITY FOREVER” dan teman-teman seperjuangan skripsi Adi Yusuf Setiawan, Beby Theta Dertiny, Tri Susanto dan Joko Pransty.
14. Teman kosan Elvindo yang telah menjadi keluarga kecil selama proses perkuliahan penulis.
15. Sevina Tripuspa Prabawani yang selalu memberikan dukungan, membantu dan mendoakan penulis.
16. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir.skripsi ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penulisan laporan tugas akhir/skripsi ini untuk mencapai suatu kelengkapan dan kesempurnaan. Penulis juga mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis berharap laporan ini memberi manfaat, baik kepada penulis khususnya maupun kepada pembaca pada umumnya. Amin

Bandar Lampung, 1 Agustus 2016

Penulis,

Benny Silalahi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN PENULIS	iv
RIWAYAT HIDUP.....	v
MOTTO	vi
SANWACANA.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
I. Pendahuluan	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sejarah Pipa	4
2.2 Tegangan pada Pipa.....	4
2.2.1 Tegangan Prinsipal pada Pipa	5
2.2.2 Tegangan <i>Circumferensial</i>	9
2.2.3 Tegangan Radial	10
2.2.4 Tegangan Geser	11
2.3 Analisis Kegagalan	12
2.4 Pembebanan pada Pipa	14

2.5	Jenis Pipa dan Ukurannya	16
2.5.1	<i>Schedule</i> (Ketebalan Pipa)	18
2.5.2	Jenis Pipa yang Sering Digunakan	19
2.5.3	Jenis Pipa yang Sudah Mulai Dikembangkan	21
2.6	Teknik Melilit Serat (<i>Filament Winding Technique</i>)	23
2.6.1	Lilitan dan metode pengisian pada <i>filament winding</i>	25
2.6.2	Uji mekanis struktur komposit <i>filament winding</i>	26
2.7	Komposit	28
2.7.1	Jenis – Jenis Material Komposit	29
2.7.2	Ijuk	31
2.8	Polivinil Klorida	32
2.8.1	Pembuatan PVC.....	32
2.8.2	Sifat PVC	33
2.8.3	Kegunaan PVC	34
2.8.4	Degradasi PVC	35
III.	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1	Alur Penelitian	37
3.2	Alat dan Bahan	39
3.3	Penyiapan Spesimen	41
3.3.1	Spesimen dengan Matriks Paduan Aspal-Semen	41
3.3.2	Spesimen dengan Matriks Epoxy	42
3.4	Waktu dan Tempat Penelitian	44
3.5	Teknik Eksperimental	44
3.5.1	Uji <i>Split-Disk</i>	44
3.5.2	Perlengkapan-Perlengkapan Pengujian	46
3.5.3	Prosedur Pengujian	47
3.5.4	Penentuan Sudut	47
3.6	Perhitungan	49
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Data Pengujian	52
4.2	Spesimen Berpenguat Paduan Aspal – Semen	53

4.3	Spesimen Berpenguat Resin <i>Epoxy</i>	57
V.	SIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Simpulan	67
5.2	Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No Tabel	Keterangan Tabel	Halaman
4.1	Kondisi dan Parameter Pengujian	52
4.2	Hasil Pengujian Spesimen Pipa PVC Bermatriks Aspal-Semen	53
4.3	Hasil Pengujian Spesimen Pipa PVC Bermatriks <i>Epoxy</i> Fraksi Ijuk : Resin Sebesar 11,13 % : 88,86%	57
4.4	Hasil Pengujian Spesimen Pipa PVC Bermatriks <i>Epoxy</i> Fraksi Ijuk : Resin Sebesar 17,73 % : 82,262 %	58
4.5	Hasil Pengujian Spesimen Pipa PVC Bermatriks <i>Epoxy</i> Fraksi Ijuk : Resin Sebesar 22,27 % : 77,72 %	59

DAFTAR GAMBAR

No Gambar	Keterangan Gambar	Halaman
2.1	Arah Tegangan pada Pipa.....	5
2.2	Gaya pada Arah Aksial Pipa.....	6
2.3	Arah Tegangan <i>Longitudinal</i> Akibat Tekanan dalam pipa.....	7
2.4	Arah Momen Lentur pada Pipa.....	8
2.5	Arah Tegangan Longitudinal keseluruhan pada Pipa...	9
2.6	Arah Tegangan <i>Hoop (Circumferensial)</i> pada Pipa	10
2.7	Tegangan Radial pada Pipa	10
2.8	Arah Tegangan Akibat Gaya Geser pada Pipa	11
2.9	Arah Momen Puntir pada Pipa	12
2.10	Grafik <i>Von Mises</i>	14
2.11	Teknik <i>Filament Winding</i> (i) Skema Representasi Proses. (ii) Presentasi Pemasangan Lilitan Berbentuk Sekrup Pada Lapisan. (iii) Presentasi Lapisan Lapisan <i>Hoop</i>	24
2. 12	Geometri Spesimen Cincin dan Skematik Uji Cincin.....	27
2.13	Proses Pembuatan PVC	33

3.1	Flowchart Penelitian	38
3.2	Mesin Uji Tarik (BPPT Serpong).....	39
3.3	Alat Uji <i>Split Disk Technique</i>	39
3.4	Dimensi Alat Uji <i>Split Disk Technique</i>	40
3.5	Pipa PVC Merek WAVIN 3 Inchi	40
3.6	Ijuk.....	41
3.7	Paduan Aspal-Semen	41
3.8	Pipa PVC Berpenguat Ijuk dengan Matriks Paduan Aspal-Semen	42
3.9	Spesimen Uji Pipa PVC Berpenguat Ijuk Bermatriks Paduan Aspal-Semen	42
3.10	Proses Penglilitan Pipa PVC Berpenguat Ijuk Matriks <i>Epoxy</i>	43
3.11	Pipa PVC Bepenguat Ijuk Matriks <i>Epoxy</i>	43
3.12	Spesimen Pipa PVC Bepenguat Ijuk Matriks <i>Epoxy</i>	44
3.13	Geometri Uji <i>Split-Disk</i>	45
3.14	Dimensi Spesimen Uji	45
3.15	Perlengkapan Alat Uji yang digunakan pada Uji <i>Split-Disk</i>	46
3.16	Gambar Perlengkapan Alat Uji <i>Split-Disk</i> , yang Dirakit pada Mesin Uji Tarik.....	46

3.17.	Geometri Dasar untuk <i>Netting Analysis</i> , α Ditunjukkan Sebagai Sudut Lilitan, σ_h , σ_a , dan σ_f Merupakan Tegangan pada <i>Hoop</i> , Aksial dan Arah Fiber, Ditunjukkan Secara Berturut	48
3.18.	Geometri dari Silinder ketika Dibelah Penampang dengan Panjang Serat l, dari Panjangnya L, Jari-Jari r.....	48
3.19	Area Uji Spesimen	50
4.1	Hasil Pengujian Spesimen Bermatriks Paduan Aspal-Semen	55
4.2	Grafik Tegangan-Regangan Spesimen dengan Matriks Aspal-Semen.....	56
4.3	Kurva Tegangan – Regangan dari Spesimen Pipa PVC Bermatriks <i>Epoxy</i> Fraksi Ijuk : Resin Sebesar 11,13 % : 88,86.....	58
4.4	Kurva Tegangan – Regangan dari Spesimen Pipa PVC Bermatriks <i>Epoxy</i> Fraksi Ijuk : Resin Sebesar 17,73 % : 82,262 %	59
4.5	Kurva Tegangan – Regangan dari Spesimen Pipa PVC Bermatriks <i>Epoxy</i> Fraksi Ijuk : Resin Sebesar 22,27 % : 77,72 %	60
4.6	Perbandingan Maksimum Pembebanan Spesimen Bermatriks <i>Epoxy</i>	60
4.7	Perbandingan Maksimum Kekuatan Tarik Spesimen Bermatriks <i>Epoxy</i>	61

4.8	Perbedaan Grafik Tegangan-Regangan PVC Biasa Dengan PVC yang Mengalami Degradasi	62
4.9	<i>Void</i> atau Kekosongan pada Spesimen	63
4.10	Spesimen Yang Epoxy Tidaklah Semua Melapisi Ijuk	63
4.11	Perbandingan Modulus Elastisitas Spesimen Bermatriks <i>Epoxy</i>	64
4.12	Perbandingan Regangan Maksimum Spesimen Bermatriks <i>Epoxy</i>	65
4.13	Perbandingan <i>Pressure Limit</i> pipa PVC dengan Spesimen Bermatrik <i>Epoxy</i>	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pipa merupakan salah satu komponen konstruksi yang banyak digunakan di berbagai industri, yang berfungsi sebagai sarana transportasi aliran fluida (berupa air, minyak dan gas). Spesifikasi material yang akan digunakan untuk pipa tergantung kepada: tekanan, temperatur operasi, lingkungan, fluida yang dialirkan, dan lain sebagainya.

Saat ini pipa yang paling banyak digunakan adalah pipa baja. Jenis pipa ini telah terbukti unggul dalam berbagai sifat mekanik dan metode perancangannya pun mudah didapatkan melalui standar/kode. Contoh kode perancangan yang telah dikenal luas adalah *American Society for Testing Material (ASTM)* dan *Japan International Standard (JIS)*.

Salah satu persoalan utama pipa baja yang sering ditemui yaitu korosi (*corrosion*). Korosi pada pipa akan menimbulkan banyak kerugian misalnya, memperpendek umur pipa dan endapannya dapat mengganggu aliran. Beberapa metode penanganan korosi yang dikenal selama ini belum mampu mengatasi permasalahan secara tuntas, tetapi sekedar memperlambat prosesnya saja. Salah satu metode yang lebih efektif adalah membuat pipa dari komposit polimer berpenguat serat (Akmal, 2013).

Di Indonesia, kebutuhan pipa komposit masih harus diimpor dengan harga yang relatif mahal. Pipa komposit biasanya dibuat dari serat fiberglass dan resin epoxy sebagai matriksnya dan memerlukan teknologi tinggi. Sebaliknya pipa PVC bisa diperoleh dengan harga yang jauh lebih murah. Permasalahan

ini menjadi peluang untuk diadakan penelitian tentang memodifikasi pipa PVC menjadi pipa komposit.

Material yang dipilih untuk penguat adalah serat alam (ijuk), dengan paduan aspal-semen dan resin epoxy sebagai perekat (matriks). Serat alam mudah didapat dengan tingkat ketersediaan yang tinggi. Di pasaran serat alam telah dijual dalam bentuk tali sehingga siap digunakan. Demikian juga dengan aspal, semen dan epoxy yang dengan mudah diperoleh di pasaran.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh sifat-sifat mekanik dari pipa PVC berpenguat ijuk dengan matriks paduan aspal-semen dan *epoxy* secara eksperimental.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian itu adalah:

- a. *Winding angle* (sudut pelilitan) pada matriks paduan aspal-semen adalah 55° dan pada matriks *epoxy* adalah 90°
- b. Pengujian eksperimental dilakukan dengan metode *Split-disk Technique*

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

- a. Membuat sampel pipa PVC berpenguat ijuk dengan matriks paduan aspal-semen dan matriks *epoxy*
- b. Membuat spesimen pipa PVC berpenguat ijuk dengan matriks paduan aspal-semen dan matriks *epoxy* yang akan diuji dengan metode *split-disk technique*
- c. Menganalisis *Ultimate Hoop Tensile Strength*

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pada bab I yaitu pendahuluan berisikan tentang uraian latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan sebagai bahasan utama. Selanjutnya, pada bab II yaitu tinjauan pustaka berisikan teori dasar yang mendukung penelitian ini secara singkat dan parameter-parameter yang berhubungan dengan penelitian. Pada bab III yaitu metodologi penelitian berisikan tentang tahapan yang digunakan dalam pemodelan seperti kondisi batas yang digunakan, beban yang diberikan pada model. Selain itu juga pada bab ini dijelaskan bagaimana cara penelitian dan pengambilan data dilakukan. Pada bab IV yaitu hasil dan pembahasan berisikan tentang data-data yang didapat dari hasil penelitian beserta pembahasannya. Pada bab V simpulan dan saran berisikan tentang simpulan yang dapat ditarik serta saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian yang telah dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Pipa

Sistim perpipaan telah dikenal manusia lebih dari 3000 tahun yang lalu. Awal mulanya, sistem perpipaan banyak digunakan oleh masyarakat untuk keperluan pengairan pada pertanian, dengan menggunakan pipa berbahan baku bambu, seperti dilakukan oleh masyarakat di China pada tahun 3000 sampai 2000 sebelum Masehi (Hurst, 2008)

Seiring dengan kemajuan kebudayaan umat manusia, maka semakin luas juga penggunaan pipa dalam berbagai aspek kehidupannya. Selain penduduk di negara China, maka penduduk di daerah *Indus Valley* (saat ini adalah Pakistan dan sebelah utara India) pada tahun 2500 sebelum Masehi menggunakan pipa dalam pembuatan jaringan perpipaan untuk rumah-rumah.

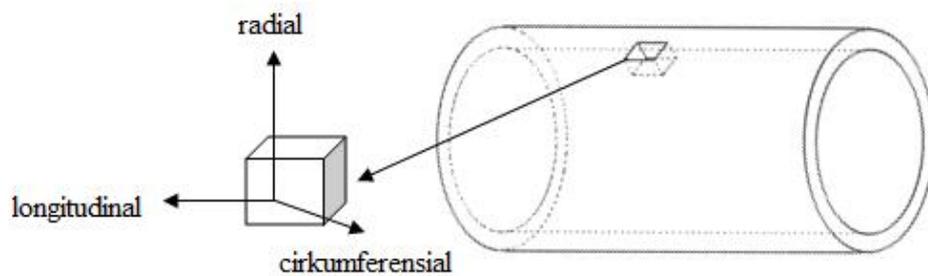
Selain itu, Mesir juga tercatat dalam sejarah ketika penduduknya mengalirkan air dari Sungai Nil untuk mengalir sawah-sawah pertanian mereka dengan menggunakan sistem perpipaan. Diantara semua itu, Roma layak diberi perhatian khusus atas kepiawaiannya dalam hal disain dan konstruksi jaringan perpipaan, khususnya untuk keperluan air minum, mandi, air mancur di tengah kota pada tahun 150 setelah masehi. Pada jaman tersebut, jenis-jenis pipa yang dipakai misalnya: pipa kayu, *bronze* dan pipa perak.

2.2 Tegangan pada Pipa

Dalam kode/standar perancangan pipa, biasanya diatur hubungan antara ukuran, material dan tekanan yang diaplikasikan. Sebuah pipa dinyatakan rusak atau gagal jika tegangan dalam yang terjadi pada pipa melebihi

tegangan batas material yang diijinkan. Tegangan dalam yang terjadi pada pipa biasanya disebabkan oleh tekanan dari dalam pipa, beban luar seperti berat mati dan pemuaian *thermal*. Tegangan ijin ditentukan oleh jenis material dan metode produksinya.

Tegangan adalah besaran vektor yang didefinisikan sebagai gaya (F) per satuan luas (A). Untuk mendefinisikan arah tegangan pada pipa, sebuah sumbu prinsipal pipa dibuat saling tegak lurus seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arah Tegangan pada Pipa

Arah yang terletak di bidang tengah dinding pipa dan salah satu arahnya yang sejajar dengan panjang pipa disebut arah *longitudinal*. Arah yang tegak lurus terhadap dinding pipa dengan arah bergerak dari pusat menuju luar pipa disebut arah *radial*. Arah yang sejajar dengan dinding pipa tapi tegak lurus dengan sumbu aksial disebut arah *tangensial* atau *circumferensial*.

2.2.1 Tegangan Prinsipal Pada Pipa

Tegangan pipa dapat diuraikan berdasarkan arahnya sesuai dengan arah sumbu sebagai berikut :

a. Tegangan *Longitudinal*

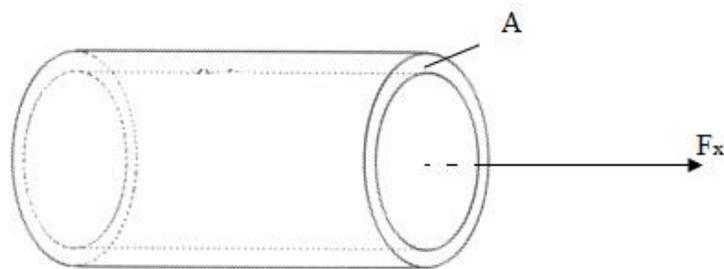
Tegangan yang arahnya sejajar dengan sumbu longitudinal disebut tegangan *longitudinal* (S_L). Nilai tegangan ini dinyatakan positif jika tegangan yang

terjadi adalah tegangan tarik dan negatif jika tegangannya berupa tegangan tekan (kompresi).

Tegangan longitudinal pada sistem pipa disebabkan oleh gaya-gaya aksial, tekanan dalam pipa, dan momen lentur.

i. Akibat gaya pada arah aksial

Tegangan longitudinal akibat gaya pada arah aksial ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Gaya pada Arah Aksial Pipa

$$S_L = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad (2-1)$$

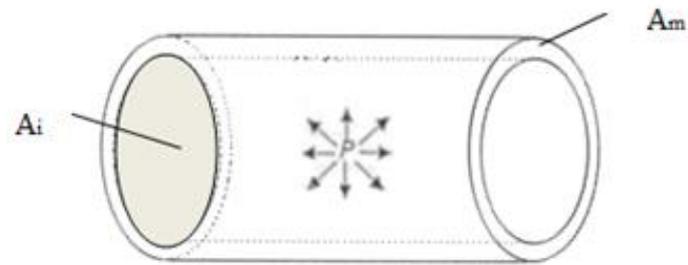
Dimana :

F_{ax} = gaya pada aksial (N/mm²)

A_m = Metal area pipa (mm²) = $\pi \cdot D_m \cdot t$

ii. Akibat tekanan pada pipa

Tegangan longitudinal akibat tekanan dalam pipa ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Arah Tegangan *Longitudinal* akibat Tekanan dalam Pipa

$$S_L = \frac{PA_i}{A_m} \quad (2-2)$$

Dimana :

P = tekanan dalam pipa (N/mm^2)

A_i = luas penampang dalam pipa (mm^2)

$$= \frac{\pi d_i^2}{4}$$

Jadi tegangan *longitudinal* karena tekanan dalam pipa adalah:

$$S_L = \frac{P d_i^2}{4 t d_m} \quad (2-3)$$

Untuk sederhananya, rumus yang terakhir ini ditulis secara konservatif sebagai berikut :

$$S_L = \frac{P d_o}{4 t} \quad (2-4)$$

iii. Akibat Momen Lentur (*Bending Moment*)

$$S_L = \frac{M_b c}{I} \quad (2-5)$$

Dimana :

M_b = momen lentur (N/mm^2)

c = jarak dari sumbu netral ke suatu titik pada pipa (mm)

I = momen inersia penampang pipa

$$= \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4)$$

Tegangan ini disebut sebagai tegangan lentur (*bending stress*). Arah tegangan ini paling besar pada permukaan terluar pipa, yaitu pada $y = R_o$ seperti terlihat pada Gambar 2.4, sehingga :

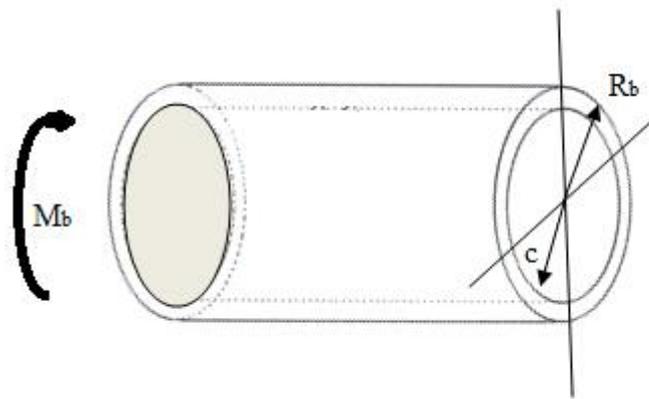
$$\begin{aligned} S_L &= \frac{M_b R_o}{I} \\ &= \frac{M_b}{Z} \end{aligned} \quad (2-6)$$

Dimana :

R_o = jari-jari luar pipa (mm)

Z = Modulus penampang (*section modulus*)

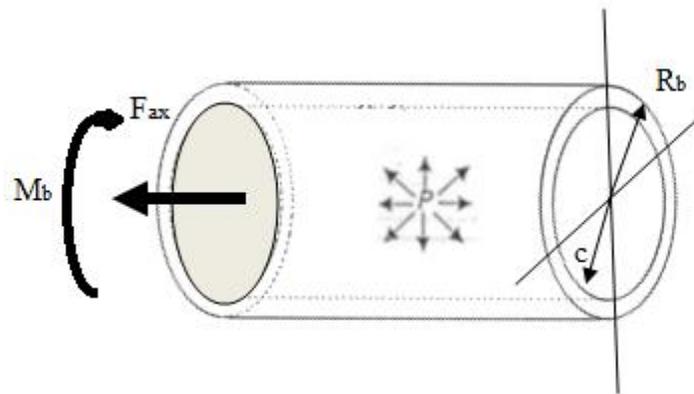
$$= \frac{I}{R_o}$$



Gambar 2.4 Arah Momen Lentur pada Pipa

iv. Tegangan Longitudinal keseluruhan

Tegangan longitudinal keseluruhan ialah penggabungan antara tegangan akibat gaya pada arah aksial, tegangan akibat tekanan dalam pipa dan tegangan akibat momen lentur (*bending moment*). Arah tegangan longitudinal keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Arah Tegangan Longitudinal Keseluruhan pada Pipa

$$S_L = \left(\frac{F_{ax}}{A_m}\right) + \left(\frac{P d_o}{4t}\right) + \left(\frac{M_b}{Z}\right) \quad (2-7)$$

2.2.2 Tegangan Circumferencial

Tegangan *circumferencial*, tegangan tangensial atau tegangan *hoop* (S_H) ialah tegangan yang arahnya sejajar dengan sumbu dinding pipa tapi tegak lurus dengan sumbu aksial seperti terlihat pada Gambar 2.6. Tegangan ini disebabkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tangensial dan besarnya bervariasi tergantung pada tebal dinding pipa, dan bernilai positif jika tegangan cenderung membelah pipa menjadi dua. Besar tegangan ini menurut persamaan *lame* adalah:

$$S_H = \frac{P}{K^2 - 1} \left[1 + \left(\frac{r_o}{r}\right)^2 \right] \quad (2-8)$$

Dimana :

$$K = \frac{r_o}{r_i}$$

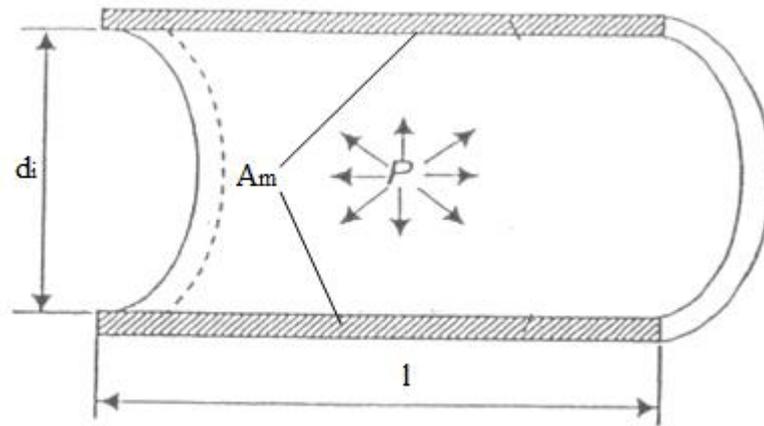
r_o = radius luar pipa

r_i = radius dalam pipa

r = jarak radius ke titik yang sedang diperhatikan

Untuk pipa berdinding tipis digunakan penyederhanaan rumus tegangan pipa tangensial ini dengan mengasumsikan gaya akibat tekanan dalam bekerja sepanjang pipa yaitu $F = p d_i l$ ditahan oleh dinding pipa seluas $A_m = 2tl$ sehingga rumus untuk tegangan tangensial dapat ditulis sebagai berikut :

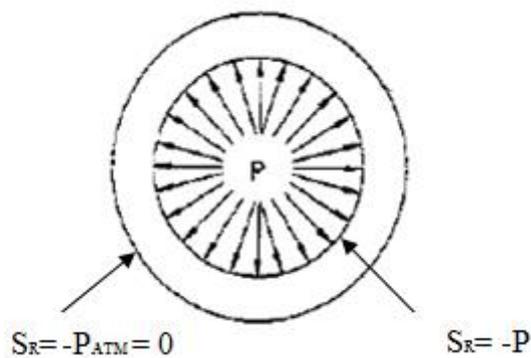
$$S_H = \frac{Pd_o}{2t} \quad (2-9)$$



Gambar 2.6 Arah Tegangan *Hoop* (*Circumferensial*) pada Pipa

2.2.3 Tegangan Radial

Besar tegangan ini bervariasi dari permukaan dalam pipa ke permukaan luarnya. Oleh tekanan internal tegangan radial maksimum terjadi pada permukaan dalam pipa dan tegangan minimum $\sigma_r = 0$ terjadi pada permukaan luarnya seperti terlihat pada Gambar 2.7. Oleh karena itu tegangan ini biasanya diabaikan untuk pipa berdinding tipis.



Gambar 2.7 Tegangan Radial pada Pipa

$$S_r = \frac{P}{K^2 - 1} \left[1 - \left(\frac{r_o}{r} \right)^2 \right] \quad (2-10)$$

Karena jika $r=r_o$ maka $S_r=0$ dan jika $r=r_i$ maka $S_r=-P$ yang artinya tegangan radial=0 pada titik di mana tegangan lentur maksimal, sehingga tegangan ini biasanya diabaikan.

2.2.4 Tegangan Geser

Tegangan geser adalah tegangan yang arahnya paralel dengan penampang pipa. Tegangan ini terjadi jika dua atau lebih tegangan normal yang diuraikan di atas bekerja pada satu titik. Tegangan geser pada sistem pipa antara lain akibat gaya dari tumpuan pipa (*pipe support*) dikombinasikan dengan momen *bending*.

i. Akibat Gaya Geser

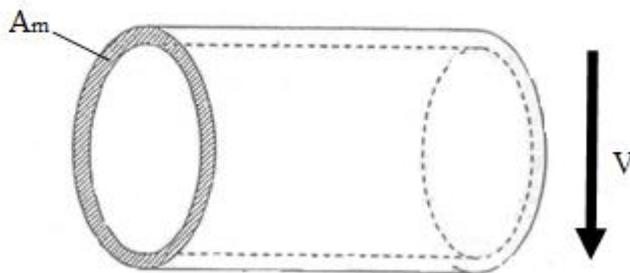
Arah tegangan akibat gaya geser ditunjukkan pada Gambar 2.8

$$\tau_{max} = \frac{4V}{3A} = 1,33 \frac{V}{A} \text{ (Timoshenko, 2004)} \quad (2-11)$$

V = gaya geser/gaya lintang

A = luas penampang

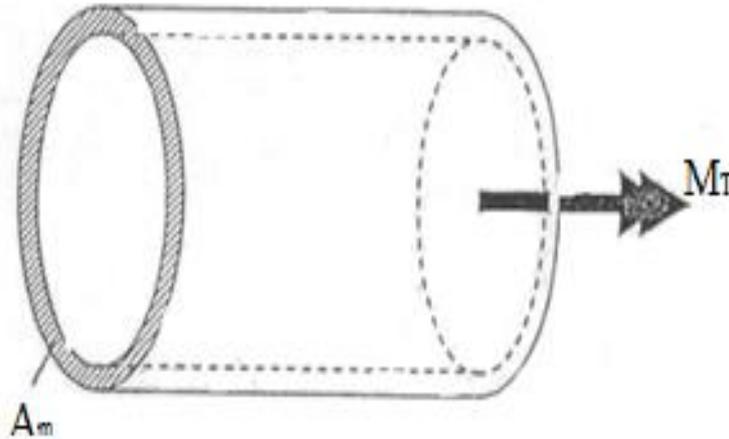
Tegangan ini maksimum di sumbu netral dan nol pada titik dimana tegangan lentur maksimum yaitu pada permukaan luar dinding pipa. Maka tegangan ini biasanya sangat kecil dan biasanya diabaikan.



Gambar 2.8 Arah Tegangan Akibat Gaya Geser pada Pipa

ii. Akibat Momen Puntir ($M_T = \text{Torsional Moment}$)

Arah tegangan geser akibat momen puntir pada pipa ditunjukkan pada Gambar 2.9. Tegangan ini maksimum pada titik yang sama di mana tegangan lentur mencapai maksimal.



Gambar 2.9 Arah Momen Puntir pada Pipa

$$\tau_{max} = \frac{M_T}{2Z} \quad (2-12)$$

2.3 Analisis Kegagalan

Dalam suatu rekayasa teknik, hal yang mendasar adalah menentukan batasan tegangan yang menyebabkan kegagalan dari material tersebut. Dalam menggunakan teori kegagalan yang terpenting adalah menentukan tegangan utama (*principal stress*). Tegangan yang telah dihitung dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan oleh kekuatan material yang didapat dari hasil pengujian. Jika tegangan yang dihitung melebihi tegangan yang diijinkan oleh material, kegagalan dari material akan terjadi. Ada tiga teori kegagalan yang sering digunakan, yaitu :

a. Teori Tegangan Normal Maksimum

Teori ini menyatakan bahwa kegagalan terjadi bila salah satu dari tegangan utama (*principal stress*) sama dengan kekuatan dari material. Sebagai contoh untuk tegangan utama setiap keadaan disusun dalam bentuk :

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

Jika kriteria kegagalan adalah titik luluh (*yield*), teori ini memperkirakan kegagalan akan terjadi bila :

$$\sigma_1 = S_{yt} \text{ atau } \sigma_3 = -S_{yc}$$

Dimana S_{yt} dan S_{yc} adalah kekuatan luluh terhadap gaya tarik dan gaya tekan. Kalau yang dipakai adalah kekuatan akhir, seperti pada bahan yang rapuh, maka kegagalan terjadi jika :

$$\sigma_1 = S_{ut} \text{ atau } \sigma_3 = -S_{uc} \quad (2-13)$$

b. Teori Tegangan Geser Maksimum

Teori ini mengatakan bahwa kegagalan akan terjadi bila tegangan geser maksimum pada setiap elemen mesin sama dengan kekuatan geser dari material. Jika tegangan utama disusun dalam bentuk $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ teori tegangan geser maksimal memperkirakan bahwa kegagalan akan terjadi bila :

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2} \text{ atau } \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y$$

Teori ini menyatakan bahwa kekuatan luluh dan kekuatan geser dinyatakan oleh persamaan :

$$S_{sy} = 0,5 S_y \quad (2-14)$$

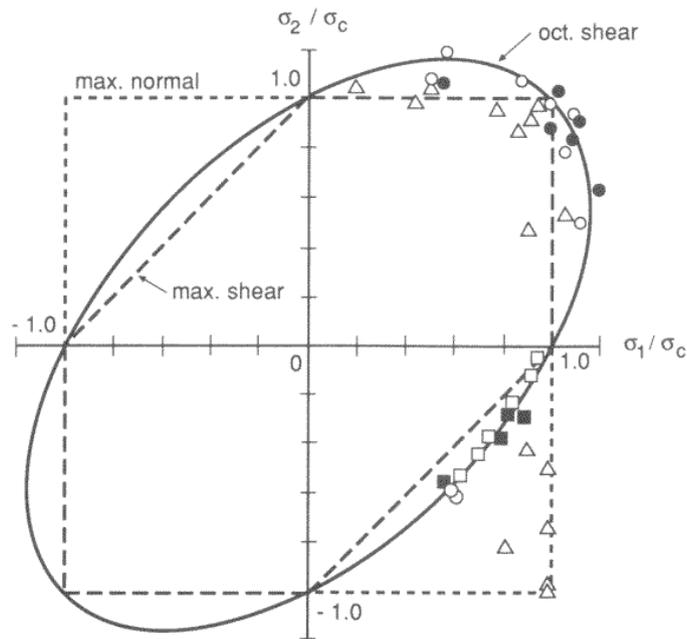
c. Teori Tegangan *Von Misses*

Teori ini memperkirakan suatu kegagalan terjadi dalam tegangan geser yang lebih besar daripada yang diperkirakan oleh teori tegangan geser maksimal. Untuk analisis perancangan akan lebih mudah jika kita menggunakan tegangan *Von Misses* yaitu persamaan yang berkaitan dengan suatu tegangan dalam tiga sumbu. Grafik tegangan *Von Misses* ditunjukkan pada Gambar 2.10.

$$\sigma' = \frac{\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}}{2} \quad (2-15)$$

Hal ini akan terjadi kegagalan jika:

$$\sigma' \geq S_y$$



Gambar 2.10 Grafik *Von Mises* (Henry,1986)

2.4 Pembebanan pada pipa

Dalam pengoperasiannya, sistem perpipaan biasanya menerima banyak jenis pembebanan. Untuk mendapatkan hasil rancangan yang aman, setiap beban tersebut harus diperhatikan. Berikut adalah beban yang terjadi dalam sistem perpipaan.

a) Beban *sustain* (beban tetap)

Beban *sustain* adalah beban yang dialami oleh sistem perpipaan secara terus-menerus selama operasi normal. Beban ini merupakan kombinasi beban yang diakibatkan oleh tekanan internal dan beban berat. Beban berat ini terdiri dari dua macam, yaitu:

- i. Beban mati yang meliputi berat komponen-komponen sistem perpipaan, berat isolasi, dan berat struktur sistem perpipaan itu sendiri.

- ii. Beban berubah yang meliputi berat *fluida* yang mengalir di dalam sistem perpipaan atau *fluida* lain yang digunakan untuk pengujian sistem perpipaan tersebut.

b) Beban *thermal*

Beban *thermal* adalah beban yang timbul akibat adanya ekspansi *thermal* yang terjadi pada sistem perpipaan. Beban *thermal* ini dibagi menjadi:

- i. Beban *thermal* akibat pembatasan gerak oleh tumpuan saat pipa mengalami ekspansi.
- ii. Beban *thermal* akibat perbedaan temperatur yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga menimbulkan tegangan.
- iii. Beban *thermal* akibat perbedaan koefisien ekspansi pipa yang dibuat dari dua logam yang berbeda.

c) Beban *occasional* (beban sewaktu-waktu)

Beban *occasional* adalah beban yang terkadang muncul pada sistem perpipaan selama operasi normal dan berlangsung secara singkat. Tegangan akibat beban *occasional* dikombinasikan dengan beban tetap seperti berikut ini (ASME B31.1)

$$S_L + S_{occ} \leq 1,33 \cdot S_h \quad (2-16)$$

Adapun penyebab munculnya beban *occasional* ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

- i. Beban angin yang ditimbulkan oleh angin yang bertiup ke arah permukaan sistem perpipaan. Kecepatan angin tergantung pada kondisi lokal dan biasanya bervariasi terhadap ketinggian.
- ii. Beban gempa yang ditimbulkan oleh gempa bumi yang terjadi di tempat pemasangan sistem perpipaan. Kriteria seismik dalam perancangan

dapat dimulai dengan mengestimasi potensi terjadinya gempa pada daerah dimana sistem perpipaan akan dipasang.

2.5 Jenis Pipa dan Ukurannya

Secara umum material yang banyak digunakan untuk pipa dan komponennya terbagi atas dua kategori utama yaitu:

- a. *Metallic* (logam)
- b. *Non-metallic* (non-logam).

Khusus untuk bahan metal, bisa dibagi lagi atas dua kelompok utama yaitu *Ferrous* (besi) dan *Non-Ferrous*. Material *Ferrous* contohnya *wrought iron*, *cast iron* dan *Steel*, sedangkan material *Non-Ferrous* contohnya paduan nikel, tembaga dan aluminium.

Beberapa karakteristik material pipa yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

- i. **Komposisi kimia.** Untuk baja elemen utama (besi untuk *Ferrous Metal*), elemen paduan (*nickel, chromium etc*), *impurities*, dan lainnya.
- ii. **Sifat Fisik:** kerapatan (*density*), modulus elastisitas, koefisien thermal ekspansi, dan lain-lain.
- iii. **Struktur Mikro:** struktur atom, phase metalurgi, tipe dan ukuran butir.
- iv. **Sifat Mekanik:** kekuatan (*yield strength, ultimate strength, elongation*) dan ketangguhan (*toughness*).

Ada dua metode yang umum digunakan untuk menamakan ukuran suatu pipa, yaitu:

- a. NPS: *Nominal Pipe Size*, banyak digunakan di Amerika Utara, dengan satuannya Inchi.
- b. DN: *Diameter Nominal*, digunakan oleh negara di daratan eropa, dengan satuan milimeter.

Disamping penamaan ukuran pipa dengan NPS atau DN, dikenal pula istilah Sch atau *Schedule*. *Schedule* adalah penunjukan ukuran ketebalan dinding pipa atau *wall-thickness*. Perlu diperhatikan bahwa tidak selalu ukuran pipa dalam NPS merupakan ukuran diameter luar (OD) yang sebenarnya.

Perbedaan antara NPS dengan OD dimulai dari pipa ukuran NPS ¼” sampai ukuran NPS 12”. Sedangkan untuk pipa dengan NPS diatas 12 inchi, maka NPS yang ditunjukkan adalah sesuai dengan OD dari pipa tersebut. Perbedaan tersebut lebih dikarenakan pada awal pembuatan pipa pada tahun 1930an, pipa dibuat berdasarkan diameter dalam dengan 1/16” tebal dinding, sehingga ukuran diameter luarnya menjadi lebih besar 1/8”.

Seiring dengan perkembangan teknologi perlogaman, mereka pun mampu membuat pipa dengan ketebalan yang lebih tipis, tapi dengan tetap menjaga ukuran diameter luar pipa. Akhirnya, ketika pipa mulai dibuat dengan ukuran yang besar, terjadilah keadaan dimana pipa yang berukuran besar mempunyai diameter dalam yang lebih kecil dari ukuran nominalnya, sedangkan pipa yang berukuran lebih kecil, mempunyai diameter dalam yang lebih besar dari ukuran nominalnya.

Salah satu perbedaan lain yang ada adalah penggunaan huruf “S” setelah nomor *schedule*, misalnya 5S. Hal ini adalah khusus untuk menunjukan bahwa *schedule* tersebut untuk material *stainless steel*, sedangkan *schedule* tanpa huruf “S” adalah untuk pipa selain *stainless steel*. Namun, hal ini sepertinya tidak konsisten juga, karena ada material pipa dari *stainless steel* tapi tidak menggunakan penamaan dengan tambahan huruf “S”. Akhirnya, disepakati bahwa penamaan huruf “S” pada angka 10, misalnya, adalah lebih untuk membedakan antara pipa yang dihitung berdasarkan ASME B36.19M dengan ASME B36.10M. Kita tahu bahwa dimensi dan ukuran serta *schedule* pipa adalah berdasarkan ASME B36.10M untuk pipa baja biasa (*wrought steel pipe*), dan berdasarkan ASME B36.19M untuk pipa baja *stainless* (*stainless steel pipe*). Pada dua Standart tersebut pada kolom *Schedule* ditampilkan penamaan dengan huruf “S” untuk pipa *stainless steel* dan tanpa huruf “S” untuk pipa bukan *stainless steel*.

Pipa yang ada dipasaran dan sering digunakan di industri migas dikelompokkan dalam ukuran sebagai berikut:

- i. **Large Bore Pipe:** yaitu pipa yang mempunyai ukuran lebih besar dari 2 inchi.
- ii. **Small Bore Pipe:** yaitu pipa yang mempunyai ukuran 2 inchi ke bawah
- iii. **Tubing:** mempunyai ukuran sampai 4 inchi tapi mempunyai ketebalan dinding yang lebih kecil dari *Large Bore* dan *Small Bore*.

Ukuran pipa yang biasanya banyak digunakan pada industri perminyakan dan gas alam serta industri lainnya adalah dimulai dari ukuran NPS $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 inchi dan mempunyai diameter luar (OD) yang sudah distandarkan dan tidaklah sama dengan penamaan NPS nya. Sedangkan pipa 14 inchi keatas mempunyai diameter luar (OD) yang sama dengan NPS nya.

2.5.1 *Schedule* (Ketebalan Pipa)

Seperti sudah dikemukakan diatas, bahwa pipa diproduksi dalam berbagai macam ketebalan yang sudah distandarkan. Setiap ketebalan tertentu pada pipa diberi penamaan dalam bentuk *schedule number* bukan dalam bentuk ketebalan pipa sebenarnya.

Awalnya, ketebalan pipa hanya ada tiga kelompok, yaitu:

- i. *Standard*
- ii. *Extra Strong (XS)*
- iii. *Double Extra Strong (XXS)*

Saat ini penamaan sudah diganti dengan memberikan *schedule number* tertentu, yang dimulai dari 5 dan 5S, kemudian diikuti dengan 10 dan 10S, seterusnya dalam kelipatan 10 sampai *Schedule 40* (20, 30, 40), dan selanjutnya mempunyai kelipatan 20, yaitu 60, 80, 100, 120, 140, 160. Pada umumnya, ketebalan pipa yang mempunyai *schedule 40* dengan *schedule STD* adalah sama untuk pipa ukuran $\frac{1}{8}$ sampai pipa ukuran 10 inchi. Demikian juga, *schedule 80* adalah sama dengan *schedule XS* untuk pipa ukuran $\frac{1}{8}$ sampai 10 inchi.

Satu hal yang perlu diperhatikan disini adalah bahwa penggunaan pipa yang mempunyai *schedule* 5 dan 10 lebih banyak digunakan pada pipa *stainless steel*. Sedangkan pipa yang tergolong *small bore*, biasanya mempunyai ketebalan minimal yaitu *schedule* 80, walaupun boleh saja mempunyai ketebalan yang lebih dari itu, hanya saja akan membuat pipanya menjadi berlebihan kekuatan daripada yang dibutuhkan.

Pipa biasanya diproduksi dengan mempunyai panjang yang berbeda tergantung kepada material, ukuran dan *schedule*. Namun pada umumnya pipa-pipa diproduksi dengan mempunyai rata-rata panjang 20 ft atau 6 meter untuk pipa *carbon steel*. Panjang ini disebut juga dengan istilah *random length*. Adakalanya pipa yang mempunyai ukuran panjang dua kali dari *random length* tersebut juga banyak tersedia dan termasuk disukai terutama untuk penggunaan di *pipe rack*. Ukuran ini disebut juga dengan istilah *double random length*, atau sama dengan 12 meter.

2.5.2 Jenis Pipa yang Sering Digunakan

a. *Carbon Steel*:

Pipa *carbon steel* adalah pipa yang paling banyak digunakan dalam industri migas maupun industri lainnya. Hampir seluruh material pipa ini mempunyai spesifikasi yang dikeluarkan oleh *ASTM* (*American Society for Testing Materials*) dan *ASME* (*American Society of Mechanical Engineers*).

Ada tiga tipe *carbon steel* yang paling banyak digunakan, yaitu:

- i. ***ASTM A106***: yang mempunyai tiga grade, yaitu *Grade A*, *B*, dan *C*. *Grade* ini merujuk kepada besarnya kekuatan tarik dari material tersebut.

Besarnya kekuatan tarik dari *ASTM A106* adalah:

- a. *Grade A* : 48 ksi
- b. *Grade B* : 60 ksi
- c. *Grade C*: 70 ksi

Diantara ketiga grade tersebut, yang biasa digunakan adalah *ASTM A106 Grade B*.

ii. **ASTM A 53:** material ini juga sering digunakan yaitu pipa yang dilapisi oleh unsur *zinc* (*galvanized*), atau sering juga digunakan sebagai alternative untuk tipe A106.

A53 mempunyai tiga *Grade*, yaitu *Grade A*, *B*, dan *C*. Disamping itu, A53 juga mempunyai tiga tipe yaitu:

a. *Tipe E: Electric Resistance Weld*

b. *Tipe F: Furnace Butt Weld*

c. *Tipe S: Seamless*

A53 *Grade A* dan *B* mempunyai kekuatan tarik yang sama dengan ASTM A106 *Grade A* dan *B*.

iii. **ASTM A 333:** material ini sering digunakan pada fluida yang mempunyai temperatur yang rendah, mulai dari -50°F .

b. *Stainless Steel:*

Pipa yang sering dikategorikan didalam *stainless steel* sebenarnya mempunyai nama lengkap *austenitic stainless steel*. Namun lebih sering dikenal dengan nama *stainless steel*. *Stainless steel* mempunyai 18 *Grade*, namun yang sering digunakan adalah tipe 304L. Pada intinya, Tipe 304 adalah tipe yang mempunyai kadar karbon yang rendah dengan tujuan memperkuat kemampuan menahan korosi. Dengan penambahan huruf L dibelakang namanya, menjadi 304L, menunjukkan bahwa tipe tersebut mempunyai kadar karbon konten yang semakin rendah, jauh lebih rendah dari hanya 304 saja (Agustinus, 2008).

Dengan demikian dalam aplikasinya, ada dua tipe *stainless steel* yang umum dikenal dan digunakan di industri migas, yaitu :

i. **ASTM A312:** standard ini digunakan untuk pipa ukuran 8 inchi kebawah.

ii. **ASTM A358:** standard ini digunakan untuk pipa ukuran diatas 8 inchi.

Masih banyak lagi jenis material pipa yang cukup sering digunakan seperti:

a. *Chrome-Moly Pipe:* yaitu *Chromium-Molybdenum Alloy Pipe*, yang terdiri dari 10 grades, dan merujuk ke ASTM A335.

- b. *Nickel* dan *Nickel Alloy Pipe*: contoh yang banyak digunakan adalah *Inconel*, *Incoloy* dan *Monel*.
- c. *Cast iron Piping*, *Cooper Piping*
- d. *Plastic Pipe*, *concrete pipe*

2.5.3 Jenis pipa yang sudah mulai dikembangkan

Pembuatan pipa sekarang ini sudah mulai berkembang tidak terbatas hanya pada besi atau baja. Sudah mulai merambah bidang komposit pada pengembangan bagian pembuatan pipa. Ada beberapa yang kita kenal pada pembuatan pipanya yaitu

A. Fiberglass Reinforced Pipe

Fibreglass atau serat gelas adalah kaca cair yang ditarik menjadi serat yang sangat tipis dengan garis tengah sekitar 0,005 mm - 0,01 mm. *Fibreglass* atau serat gelas dapat dipintal menjadi benang atau ditenun menjadi kain, Apabila Bahan *Fibreglass* dicampurkan / dilapisi dengan Resin maka bahan ini akan menjadi bahan yang kuat dan tahan terhadap korosi dan dapat di buat berbagai macam produk

Fiberglass reinforced pipe sebaiknya menggunakan bahan dari jenis komposit material karena lebih bagus, kuat dan tahan terhadap korosi. Memang komposit material ini adalah konstruksi masa depan yang tepat guna; bisa untuk pesawat, kapal, konstruksi bangunan gedung dan alat transportasi lainnya dan terbukti perusahaan-perusahaan Eropa sudah mulai banyak dalam penggunaan komposit material. Keunggulan dari material komposit ini sebagai berikut :

1. Kekuatan bisa diatur (*tailorability*).
2. Kekuatan lelah (*fatigue*) baik.
3. Kekuatan jenis (*strength/weight*) tinggi.
4. Tahan korosi.

5. Berat lebih ringan dari *carbon steel*
6. Tahanan/friksi komposit: 0.00017 ft lebih kecil dibanding *carbon steel roughness* : 0.0015 ft,
7. Bahan komposit bukan tempat tumbuh yang 'nyaman' bagi organisme seperti ganggang, lumut.
8. Tahan api; tidak memerlukan *fire blanket*.
9. Komposit adalah penghantar panas yang buruk sehingga temperatur fluida dalam sistem cenderung 'stabil'.
10. Konstruksi (pemasangannya) relatif lebih cepat dan lebih murah daripada pipa *carbon steel* (tidak perlu *welding*, *X-Ray*, dsb).
11. *Internal pipe roughness*-nya lebih kecil/rendah daripada pipa *carbon steel* sehingga bisa pakai diameter yang lebih kecil
12. Untuk desain jangka panjang (misal *lifetime* 20 tahun) *overall cost*-nya lebih rendah daripada pipa *carbon steel*. Investasinya memang lebih tinggi tapi *maintenance free*.

Kekurangan dari material komposit ini sebagai berikut :

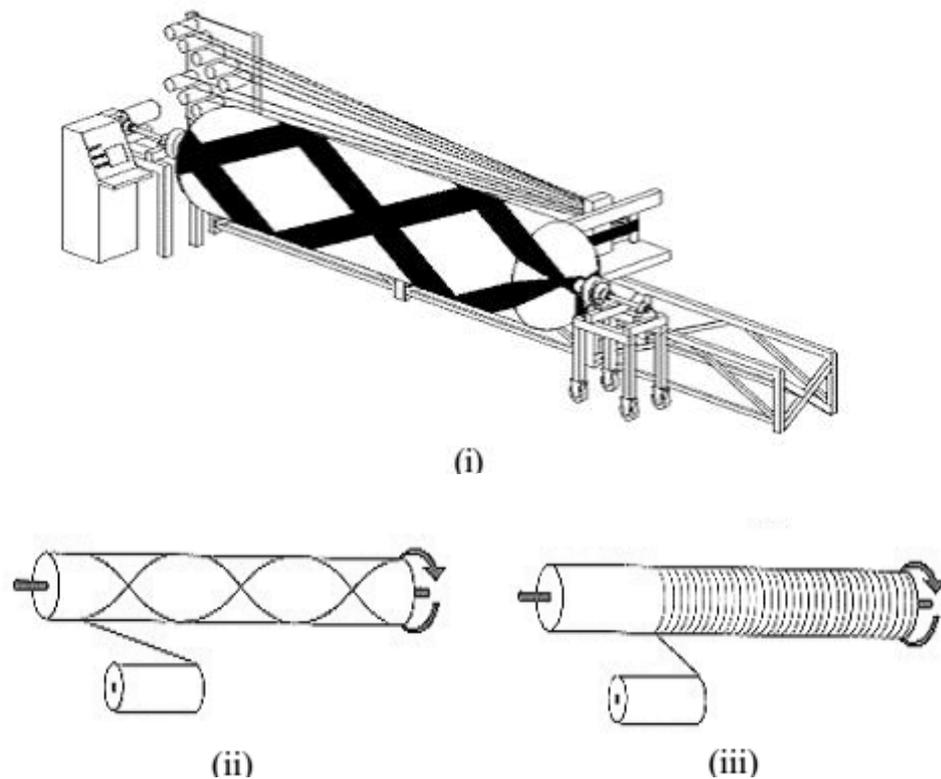
1. Cukup mahal untuk diproduksi, sehingga hanya komponen atau bagian tertentu saja yang dibuat dari komposit.
2. Sensitif terhadap higrotermal.
3. Teknik desain sistem komposit lebih sulit dibanding sistem *carbon steel*. Desain yang tidak tepat dapat membuat sistem berfungsi tidak sesuai harapan.
4. *Operating pressure* lebih rendah dibandingkan *carbon steel*. Aplikasi komposit pipe untuk industri *chemical* : *Piping* untuk brine, ClO₂, Gas Klorin, HCl, H₂O₂, NaClO₃, NaOH, H₂SO₄..

B. Fiberglass reinforced epoxy pipe

Ini merupakan pengembangan dari *fiberglass reinforced pipe* dimana *epoxy* digunakan sebagai penguat yang lebih baik lagi. Secara umum, *epoxy* dikenal karena sangat baik pada sifat kimia, adhesi, sifat mekanik dan sifat isolasi listrik dan tahan panas. Banyak sifat *epoxy* dapat dimodifikasi. Kekurangan dari *epoxy* ini adalah risiko utama yang terkait dengan penggunaan *epoxy* yaitu sensitisasi ke penguas yang dalam jangka panjang dapat menimbulkan reaksi alergi. Ini adalah sumber utama asma, kerja antara penggunaan dari plastik. *Bisphenol A*, yang digunakan dalam resin *epoxy*, adalah pengganggu endokrin dikenal.

2.6 Teknik Melilit Serat (*Filament Winding Technique*)

Filament winding merupakan teknik pembuatan pipa komposit berpenguat serat, yang resinnya dipenuhi kumpulan serat kontinyu yang dililitkan pada mandrel berputar. Pada proses *Filament winding*, Serat kontinyu yang telah dibasahi dengan resin diumpangkan terhadap silinder yang berputar melalui gerbong pengumpang (*moving carriage*). Parameter-parameter yang perlu diatur dalam pembuatan pipa komposit adalah sudut pelilitan, tegangan serat dan jumlah kandungan resin. Skema representasi teknik ditunjukkan pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Teknik *Filament Winding* (i) Skema Representasi Proses. (ii) Presentasi Pemasangan Lilitan Berbentuk Sekrup Pada Lapisan. (iii) Presentasi Lapisan Lapisan *Hoop* (Erdiller,2004)

Masing-masing lapisan berpenguat dapat bervariasi dalam tegangan pelilitannya, sudut lilitan, atau kandungan matriks. Dengan memvariasikan sudut lilitan terhadap sumbu mandrel, arah kekuatan dapat dihasilkan dengan mempertimbangkan beban, yang akan dioperasikan pada produk yang telah selesai dibuat. Pemasangan lilitan berbentuk sekrup pada lapisan ($\pm\theta$) biasanya dipilih seperti pada Gambar 2.11 (ii), sedangkan lilitan *hoop* (sudut lilitan sangat dekat dengan 90° seperti pada Gambar 2.11 (iii)) dapat juga digunakan dalam kombinasi dengan lapisan helical. Keuntungan lain teknik *filament winding* adalah tingginya kekuatan spesifik, modulus spesifik dan persentase volume serat produk dan kemampuan pengulangan proses pembuatan (pembuatan dapat diulang berturut-turut, untuk menghasilkan sifat-sifat yang sama pada produk).

Keterbatasan utama teknik *filament winding* adalah kesulitan pada pembuatan bentuk kompleks sesuai kebutuhan disain mandrel yang sangat kompleks. Selain itu, pembuatan bagian lekukan balik tidak mungkin menggunakan teknik ini. Kelemahan ini membatasi area aplikasi teknik pembuatan terutama pada silinder, biasanya asimetris, bagian-bagian berlubang. Area aplikasi utama teknik ini adalah jalur perpipaan, *shaft*, tangki bertekanan, kotak motor roket, pipa luncur roket, dan tangki gas.

2.6.1 Lilitan dan metode pengisian pada *filament winding*

Penggabungan penguat dan sistem resin disebut impregnasi. Dalam *filament winding*, utamanya ada 2 metode impregnasi yang dilakukan yaitu lilitan kering dan lilitan basah. Pada metode lilitan kering, sebelum impregnasi serat dililit secara langsung pada permukaan mandrel. Aplikasi teknik ini menyebabkan pembuatan menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik pada produk. Tetapi karena harga material tinggi, metode ini biasanya hanya digunakan pada aplikasi berperforma tinggi. Pada metoda lilitan basah, serat diletakan dari tempat resin sebelum operasi lilitan dilakukan impregnasi serat.

Metode impregnasi ini secara komersial paling umum dan melibatkan variable proses tambahan dibandingkan teknik lilitan kering, seperti viskositas resin, dan tegangan serat. Viskositas serat berperan penting dalam teknik *filament winding*. Jika viskositas terlalu tinggi, dapat mengakibatkan lapisan yang tidak merata, sedangkan pada keadaan ekstrim lain, jika viskositas terlalu rendah, resin dapat mengalir keluar ketika proses lilitan terjadi, yang dapat mengakibatkan penurunan persen berat resin pada produk secara relatif. Karena serat berpenguat kontinyu dikemas dalam bentuk roll dalam teknik lilitan basah, pengaturan tegangan harus dikontrol sebelum proses impregnasi. Hal ini dapat diperoleh dengan membuat tegangan pada roll, dengan bantuan alat pengatur tegangan. Pengaturan tegangan juga memiliki efek pada performa mekanis produk, dan karenanya harus diterima sebagai variable desain dalam teknik lilitan.

Serat lilitan dalam *filament winding* dapat dilakukan dengan menggunakan teknik lilitan heliks atau polar. Pada lilitan heliks, mandrel berotasi secara kontinyu ketika wadah umpan serat bergerak searah sumbu mandrel. Pada lilitan polar, berbeda dengan lilitan heliks, mandrel tetap statis, sedangkan wadah umpan serat berotasi sepanjang sumbu longitudinal mandrel dan bergerak searah sumbu mandrel.

2.6.2 Uji mekanis struktur komposit *filament Winding*

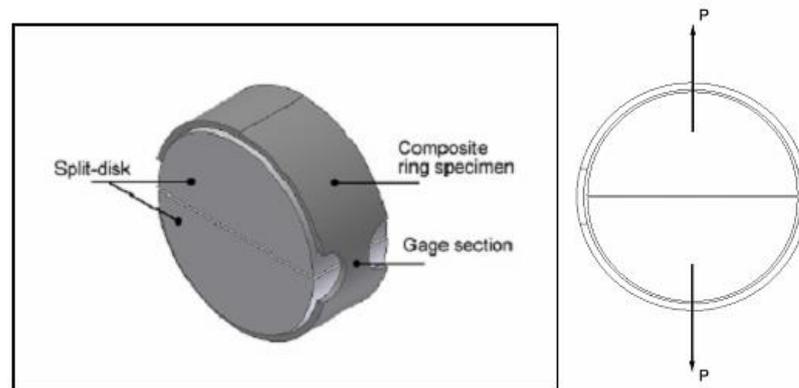
Struktur komposit *filament winding* telah diuji oleh Erdiller pada tahun 2004 secara ekstensif, terutama untuk memenuhi dua persyaratan utama:

1. Menyediakan data material penting dan kekuatan untuk tujuan desain.
2. Memverifikasi keakuratan studi disain yang telah dilakukan.

Untuk tujuan yang dinyatakan diatas, konfigurasi uji spesimen harus dipilih berdasarkan hal tersebut. Hasil uji harus menyediakan sifat-sifat material yang bermanfaat untuk tahap disain. Tiga jenis uji geometri yang secara umum digunakan pada pengujian struktur komposit *filament winding*, adalah spesimen datar, spesimen cincin seperti terlihat pada Gambar 2.12, dan spesimen pipa. Respon uji geometry aksial (tegangan), gaya geser, dan lekukan dapat ditentukan dengan mengaplikasikan beban yang sesuai pada spesimen. Pengujian melibatkan uji spesimen beban berporos ganda/kombinasi dapat dilakukan juga.

Cohen (1997) melakukan sebuah studi eksperimen untuk meneliti efek tegangan lilitan, rangkaian tumpukan, tegangan tinggi lilitan, waktu lilitan pada tegangan *hoop*, kekakuan *hoop*, distribusi fraksi volume serat dan kekosongan melalui ketebalan, dan kuat geser interlaminer spesimen cincin *filament winding* berpenguat serat karbon. Kekuatan *hoop*, dan kekakuan *hoop* spesimen dihasilkan dengan melakukan uji tekan pada spesimen cincin *filament winding*. Kekuatan geser interlaminer komposit ditentukan dengan melakukan uji *short-beam shear* (SBS), sesuai ASTM D2344-88. Ditunjukkan bahwa kekuatan komposit meningkat pada silinder, lilitan tanpa

gradient lilitan, lilitan pada waktu yang singkat, dengan tegangan lilitan tinggi. Akan tetapi, juga dinyatakan bahwa efek variable ini pada kekuatannya relatif kecil, karena efek terbesar adalah tegangan lilitan.



Gambar 2. 12 Geometri Spesimen Cincin dan Skematik Uji Cincin
(Erdiller,2004)

Wang, dkk (2002) melakukan uji *hoop* cincin pada sampel cincin, dengan pengurangan tunggal luas area bagian. Melibatkan perbaikan modifikasi uji, untuk menentukan kurva tegangan regangan *hoop*, dan disimpulkan bahwa uji tegangan cincin *hoop* merupakan metode akurat untuk mengukur sifat tegangan *transverse* pada spesimen tubular.

Lee, dkk (1999) melakukan uji poros ganda pada lapisan silang *tube* komposit karbon/*epoxy* dalam kombinasi torsi dan tegangan/tekanan aksial sampai terjadi kegagalan, meneliti efek rasio beban poros ganda dan mekanisme kerusakan. Pada studi tersebut, disimpulkan bahwa terdapat interaksi antara tegangan aksial dan tegangan geser pada kerusakan.

Jinbo, dkk (1997) melakukan sebuah studi eksperimen untuk meneliti perilaku mekanis pipa resin *epoxy* berpenguat *fiberglass filament winding* pada $\pm 55^{\circ}$. Serangkaian uji dilakukan dalam variasi kombinasi tegangan *hoop* dan aksial, untuk mengevaluasi perilaku mekanis pipa *filament winding* dalam beban tarik aksial, tekanan internal, dan dalam beban kombinasi. Pengamatan pada spesimen, dibebankan pada 20-50% kekuatan tarik akhir,

menunjukkan bahwa mekanisme kerusakan utama inisiasi merupakan *microcracking* dan delaminasi.

Carroll, dkk (1995) melakukan studi eksperimental lain mengenai pemberian sudut $\pm 55^{\circ}$ pipa komposit *filament winding*. Pipa *fiberglass/epoxy* dengan sudut lilitan $\pm 55^{\circ}$ diuji dalam sebuah mesin uji berporos ganda dengan variasi rasio tegangan aksial sampai tegangan *hoop*. Kurva tegangan regangan yang dihasilkan dianalisa dan kerusakan poros ganda dibuat dalam suatu hubungan tegangan dan regangan, mendemonstrasikan kekompleksan perilaku pipa. Ditunjukkan bahwa laju dan rasio beban poros ganda berpengaruh pada kekuatan kerusakan *monotonic*, akumulasi kerusakan dan cara kerusakan.

Dalam studi Ayril (2001), pengaruh arah serat dalam sifat mekanis komposit matriks *termoplastik polieter-eter-ketone (PEEK)* berpenguat serat karbon diteliti dengan melakukan tegangan, kelenturan, *impact*, dan uji *plane shear*. Selain itu, uji fisik-kimia juga dilakukan untuk menghasilkan serat dan persentase massa matriks, densitas dan ruang kosong pada uji *plane*. Spesimen uji disiapkan menggunakan *autoclave* dan *vacuum bag molding process* (Erdiller, 2004).

2.7 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Pada komposit, material dikombinasikan sebagai sebuah cara untuk bisa membuat penggunaan yang lebih baik dari sifatnya dan memperkecil efek dari segala kelemahannya. Proses ini dipercaya dapat mengeluarkan seorang desainer dari ketidakleluasaan asosiasi dengan pilihan dalam pembuatan dari material konvensional (Harris, 1999).

Pada awalnya, aplikasi komposit mulai masuk pada industri berbeda-beda, sampai dengan *aerospace*, *marine*, dan ilmu elektronik, ilmu kimia/farmasi, transportasi, dan lain sebagainya. Menurut Babu (2009), komposit telah

dibuktikan menjadi alternatif lain yang berguna untuk material tradisional yang bisa dikerjakan pada tekanan tinggi dari proses kimia dan sangat baik pada ketahanan korosi.

Komposit memiliki *properties* yaitu :

- a. Material komposit lebih terang 30–45% dari disain struktur aluminium untuk fungsi keperluan yang sama.
- b. Pipa/silinder dibuat dari komposit, dengan berat lebih kecil dibandingkan dengan satu logam, dapat menahan tekanan dalam yang tinggi.
- c. Penghalang yang tepat/ bahan tambahan dapat memberi *properties* perlambatan nyala api yang sangat baik pada komposit.
- d. Memperbaiki kekakuan torsional dan *properties* ketahanan *impact*.
- e. Lebih tinggi batas ketahanan *fatigue* (sampai 60% dari kekuatan tarik maksimum).
- f. Disain yang fleksibelitas (komposit lebih serbaguna dari logam-logam dan dapat disesuaikan pada kebutuhan yang dibutuhkan dan desain keperluan yang kompleks).
- g. Komposit memperlihatkan kapasitas kelembaban dalam yang lebih tinggi.
- h. Komposit memiliki stabilitas dimensi yang lebih baik pada fluktuasi temperature berlebih dari koefisien lemah ekspansi thermal.
- i. Komposit lebih rendah harga biaya waktu pakainya dibanding dengan logam.
- j. Bagian komposit dapat menghilangkan sambungan/pengancing, dengan penyederhanaan bagian dan penggabungan desain dibandingkan dengan bagian konvensional.
- k. Memperbaiki penampilan dengan permukaan halus.

2.7.1 Jenis – Jenis Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai material yang terdiri dua atau lebih material penyusun yang berbeda, umumnya matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks adalah bagian komposit yang secara kontinyu melingkupi penguat

dan berfungsi mengikat penguat yang satu dengan yang lain serta meneruskan beban yang diterima oleh komposit ke penguat. Sedangkan penguat adalah komponen yang dimasukkan ke dalam matriks yang berfungsi sebagai penerima atau penahan beban utama yang dialami oleh komposit.

Berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi:

- a. Material komposit serat (*fibrinus komposit*), yaitu komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat + resin sebagai bahan perekat, contoh material ini adalah FRP (*Fiber Reinforce Plastic*) plastik diperkuat dengan serat dan banyak digunakan, yang sering disebut *fiberglass*.
- b. Komposit lapis (*laminated komposit*), yaitu komposit yang terdiri dari lapisan dan bahan penguat, contohnya *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya.
- c. Komposit partikel (*particulate komposit*), yaitu komposit yang terdiri dari partikel dan bahan penguat seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton.

Berdasarkan matriksnya, komposit dibagi menjadi:

1. *Metal matrix komposits* (MMC) yaitu komposit yang menggunakan matriks logam.
2. *Ceramic matrix komposits* (CMC) yaitu komposit yang menggunakan matriks keramik.
3. *Polymer matrix komposits* (PMC) yaitu komposit yang menggunakan matriks polimer.

Ditinjau dari matriks yang digunakan, komposit yang paling banyak digunakan adalah komposit bermatriks polimer. Hal ini karena polimer memiliki proses manufaktur yang relatif sederhana, sifat mekanik yang baik, dan membentuk ikatan yang baik dengan sebagian besar penguat. Polimer yang lebih banyak digunakan sebagai matriks komposit adalah polimer termoset, walaupun polimer termoplastik juga dapat digunakan. Penggunaan polimer termoset lebih umum karena proses manufaktur polimer termoset

lebih sederhana. Manufaktur komposit termoset biasanya tidak memerlukan temperatur dan tekanan yang tinggi. Viskositas polimer termoset yang rendah pada suhu kamar juga membuat impregnasi (kemampuan meresap) polimer tersebut ke dalam serat lebih baik dibanding termoplastik. Namun termoset juga memiliki kelemahan antara lain sifatnya yang pada umumnya beracun dan kesulitan pendaur-ulangan polimer termoset (Schwardz, 1984).

2.7.2 Ijuk

Serat ialah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan yang membentuk jaringan memanjang yang utuh ataupun senyawa. Ada dua jenis serat yaitu serat alami dan serat sintetis. Serat alami ialah serat yang berasal dari alam. Beberapa macam serat alam antara lain ; abaca, jute, ramie, ijuk, serat sabut kelapa, pisang dan lain-lain.

Serat ijuk ialah serat yang didapatkan dari bagian pangkal pelepah daun pohon aren yang sudah berusia 4-5 tahun. Serat ijuk adalah serat yang berwarna hitam yang diambil dari pohon aren. Ijuk yang dihasilkan pohon aren mempunyai sifat fisik diantaranya berupa helaian benang (serat) berwarna hitam, berdiameter kurang dari 0,5 mm, bersifat kaku dan ulet (tidak mudah putus). Komposisi penyusun serat pada serat ijuk diantaranya yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin dan kadar abu.

Indonesia mempunyai kekayaan alam yang luar biasa, ketersediaan serat ijuk di alam masih sangat banyak. Pada tahun 2010 luas tanaman aren di Indonesia mencapai sekitar 59.388 ha dengan produksi gula aren sekitar 33,181 ton gula aren (Balitka, 2010).

Serat ijuk memiliki banyak keistimewaan, diantaranya sifatnya yang awet tidak mudah busuk, tahan terhadap segala cuaca. Masa pakai hingga puluhan tahun. Serat ijuk juga memiliki sifat elastis, keras, tahan air dan sulit dicerna oleh organisme perusak. Ijuk bersifat lentur dan tidak mudah rapuh, sangat tahan terhadap genangan asam termasuk genangan air laut yang mengandung garam.

Jika digunakan sebagai atap, serat ini dapat meredam panas matahari, sehingga memberikan suasana yang sejuk pada bangunan yang beratap ijuk. Karena ketersediaan di alam yang sangat banyak pemanfaatan serat ini diharapkan bisa mengurangi biaya produksi sehingga menghasilkan produk yang lebih murah dan ramah lingkungan.

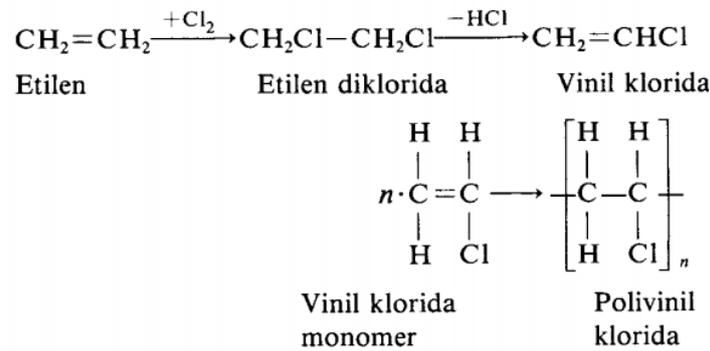
Selama ini pemanfaatan ijuk belum terlalu banyak hanya sebatas sebagai bahan pembuat sapu dan tali tambang. Masih banyak serat ijuk di alam yang belum dimanfaatkan sehingga terbuang percuma. Perkembangan teknologi memungkinkan perluasan pemanfaatan serat ijuk, diantaranya sebagai pengisi bahan bangunan.

2.8 Polivinil Klorida

Polivinil klorida (PVC) adalah polimer termoplastik urutan ketiga dalam jumlah pemakaian di dunia, setelah polietilena dan polipropilena. PVC adalah suatu bahan polimer yang bersifat termoplastik yaitu jika diberi beban akan berubah bentuk dan jika beban dilepaskan tidak akan kembali ke bentuk semula. PVC adalah termasuk bahan polimer yang paling banyak digunakan selain polietilen, polipropilen dan polistiren, dimana menguasai 75% pasaran bahan polimer dunia baik disebabkan karena beragamnya senyawa turunan PVC maupun karena luasnya bidang penggunaannya (Anasagasti, 1999).

2.8.1. Pembuatan PVC

PVC dibuat dengan cara reaksi polimerisasi suspensi atau emulsi monomer vinil klorida ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) pada suhu 20 dan 50°C (Cowd, 1991). Setiap molekul PVC kira-kira mengandung 100 sampai 150 monomer berulang vinil klorida. Untuk menghasilkan PVC yang lebih banyak (lebih dari 80%) digunakan polimerisasi suspensi. Dengan polimerisasi dan emulsi hanya diperoleh PVC dengan kadar rendah (Billmeyer, 1984). Secara sederhana proses pembuatan PVC ditunjukkan pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Proses Pembuatan PVC (Surdia,1999)

2.8.2. Sifat PVC

PVC merupakan tepung putih dengan massa jenis 1,4 g/cm sehingga ketahanannya terhadap air sangat baik. Selain itu juga ketahanan terhadap asam (asam lemak dan kuat), serta terhadap alkali juga baik. Tidak bersifat racun, tidak mudah terbakar, isolasi listriknya baik dan tahan terhadap banyak larutan.

PVC melunak pada 65-85⁰C dan plastis pada 120-150⁰C. Mencair pada suhu diatas 170⁰C dan terurai memberikan asam klorida pada suhu diatas 190⁰C. Akan tetapi sifat-sifat tersebut dapat berubah tergantung pada sistim produksi yang menyangkut keteraturan stereo dari polimer dan derajat polimerisasinya. Derajat polimerisasi yang tinggi dari bahan memberikan sifat mekanik yang baik, tetapi temperatur proses tinggi dan sempit daerahnya. Kalau derajat polimerisasi rendah, maka sebaliknya sifat-sifat mekaniknya menjadi buruk, tetapi pemrosesannya rendah dan bersifat lebih rekat (surdia,1999).

Sifat fisika PVC, jika tidak diberi pemlastis, bentuknya keras dan kaku, kekuatan benturannya baik, sedangkan yang telah diberi pemlastis bentuknya lembut, fleksibel, elastis dan dimensi stabilitasnya baik. PVC mudah terdegradasi akibat panas dan cahaya, dimana warnanya akan berubah, sehingga tidak pernah dijumpai dalam keadaan murni. PVC selalu

ditambahkan zat-zat aditif seperti pewarna, pelembut, pengisi, penguat serta pemantap (Fried, 1995). Sifat-sifat umum kemasan PVC adalah sebagai berikut:

- a. Tembus pandang, ada juga yang keruh.
- b. Permeabilitas terhadap uap air dan gas rendah.
- c. Tahan lemak, minyak, alkohol dan pelarut petroleum.
- d. Kekuatan tarik dan regangan tinggi serta tidak mudah sobek.
- e. Dipengaruhi oleh hidrokarbon aromatik, keton, aldehid, ester, eter aromatik, anhidrat dan molekul-molekul yang mengandung belerang, nitrogen serta posfor.
- f. Densitas 1,35 – 1,4 g/cm.

2.8.3 Kegunaan PVC

Penggunaan PVC sangat luas, mulai sebagai barang-barang lunak sampai pada bahan-bahan konstruksi bangunan yang keras dan kaku. Dengan proses ekstruksi, PVC dapat dipakai untuk pembungkus, busa dan sebagainya. Untuk bahan kaku dan keras biasanya dibuat dengan mencampurkan PVC murni dengan bahan aditif lain. Derajat polimerisasi (DP) PVC dapat menunjukkan sifat mekanik bahan. Jika DP tinggi, akan memberikan sifat mekanik yang baik. Jika DP rendah, maka sifat mekaniknya menjadi buruk. Berdasarkan DP dari PVC, penggunaan PVC dikelompokkan menjadi 6 kelompok, yakni:

- a. PVC dengan DP 2500-3000 dapat digunakan untuk pembuatan selang dan pembungkus.
- b. PVC dengan DP 1300-1700 digunakan sebagai pembungkus kabel listrik.
- c. PVC dengan DP 1000-1300 digunakan untuk membuat film, kulit tiruan, lembaran tipis dan pipa-pipa lunak.
- d. PVC dengan DP 700-800 untuk lembaran kaku dan botol.
- e. PVC dengan DP 400-500 digunakan untuk plat (piringan) gramofon dan
- f. PVC dengan DP lebih kecil dari 400 dipakai untuk pembuatan cat dan perekat.

2.8.4. Degradasi PVC

Masalah yang perlu diatasi pada pemakaian bahan PVC adalah kecenderungannya mengalami degradasi pada proses pengolahan oleh pengaruh panas dan pada pemakaiannya oleh pengaruh cuaca dan sinar matahari serta media penggunaan. Disamping itu, kondisi lingkungan seperti adanya oksigen dan bahan-bahan kimia oksidator turut pula mempengaruhi kecepatan degradasi. Pada proses degradasi akan membebaskan atom Cl dari molekul PVC disamping dehidroklorinasi yang mengakibatkan perubahan warna dan perubahan sifat fisiknya (Wirjosentono, et.al, 1995). Mekanisme umum degradasi PVC oleh pengaruh panas telah dirumuskan oleh Stromberg yang terdiri dari tahap inisiasi, propagasi dan terminasi (Grassie, 1985).

Tahap Inisiasi

Tahap ini dimulai dengan proses dehidroklorinasi oleh pengaruh panas membentuk rantai poliena terkonjugasi. Ini kemudian dapat membentuk makroradikal kloroalkil (sebagai hasil pemutusan rantai pada pengolahan) atau reaksi dengan oksigen.

Tahap Propagasi

Makroradikal yang terbentuk akibat pelepasan atom H atau Cl pada tahap inisiasi akan segera bereaksi dengan oksigen membentuk radikal peroksida. Selanjutnya, ini akan bereaksi dengan molekul PVC membentuk hidroperoksida (ROOH) dan radikal baru, yang selanjutnya dapat bereaksi dengan oksigen kembali secara berulang

Tahap Terminasi

Proses terminasi dapat terjadi dengan cara penggabungan bimolekuler radikal peroksida yang selanjutnya akan membentuk senyawa keton dan alkohol sekunder yang stabil.

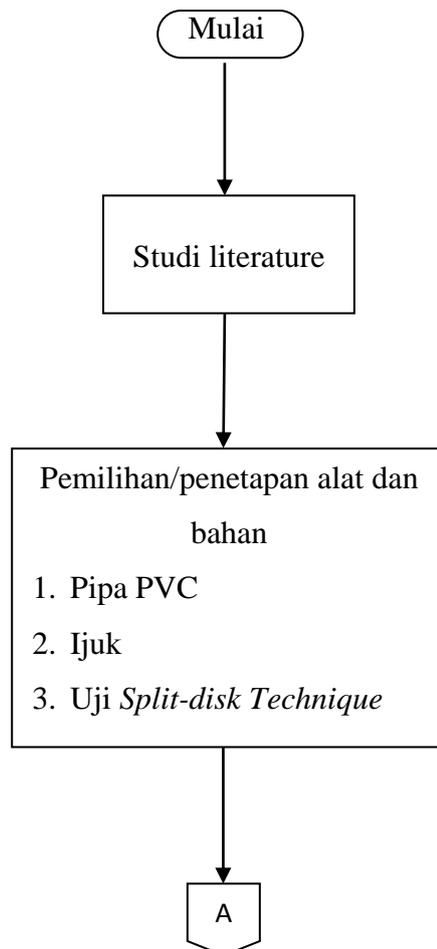
Degradasi PVC melibatkan pelepasan HCl, pembentukan gugus karbonil (aldehid, keton, atau asam), serta pemutusan rantai dan crosslink. Gejala ini

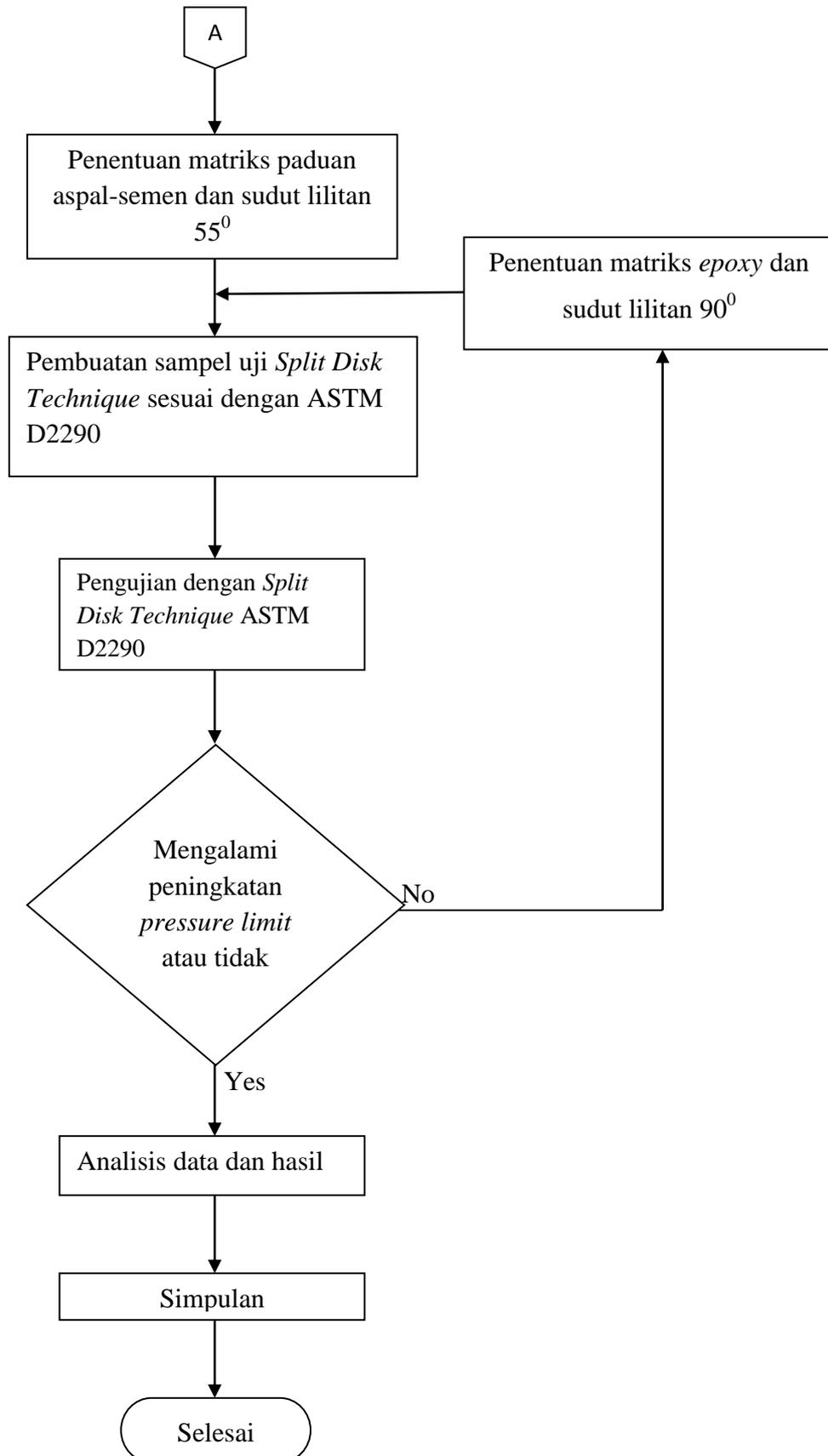
dapat digunakan untuk mengamati jalannya degradasi PVC, melalui teknik gravimetri, spektroskopi infra-merah dan perubahan mekanik (Wirjosentono, et.al, 1995). Secara umum, proses degradasi atau kerusakan/penurunan mutu polimer dapat pula diartikan sebagai reaksi kimia yang melibatkan mekanisme rantai oksidasi. Degradasi polimer juga merupakan reaksi rantai radikal yang menghasilkan suatu hidroperoksida sebagai hasil utama. Sedangkan pada tahap awal, proses degradasi ini diinisiasi oleh pembentukan radikal makro didalam polimer, karena pengaruh gesekan mekanik, panas atau radiasi elektromagnetik (Wirjosentono, et.al, 1995).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Secara garis besar alur pelaksanaan penelitian ini dijelaskan pada flowchart di bawah ini:





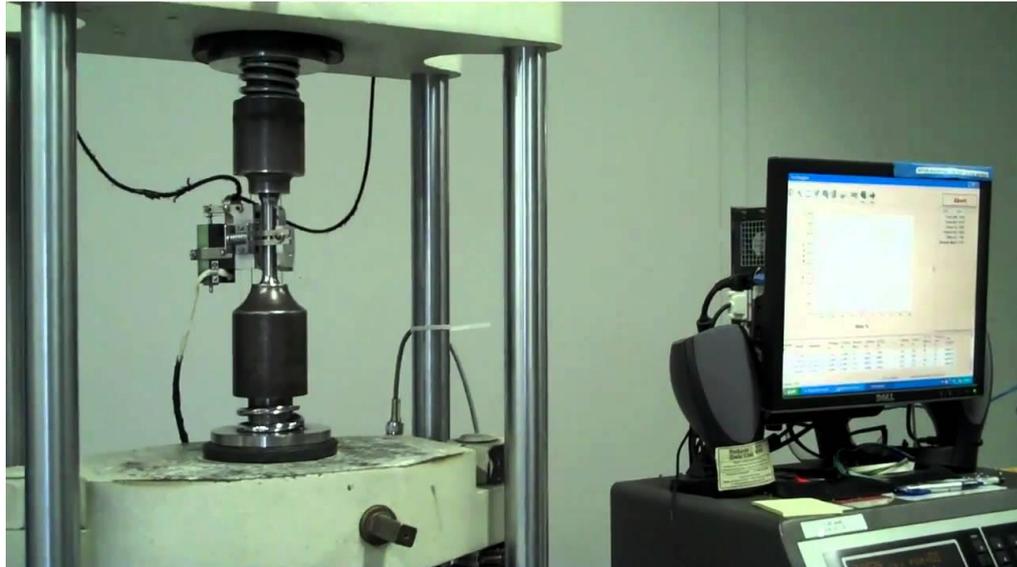
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut

a. Mesin Uji Tarik

Pada pengujian *split disk technique* sesuai dengan ASTM D2290 digunakan mesin uji tarik *Shimadzu AGS Plus -50KN* seperti pada Gambar 3.2



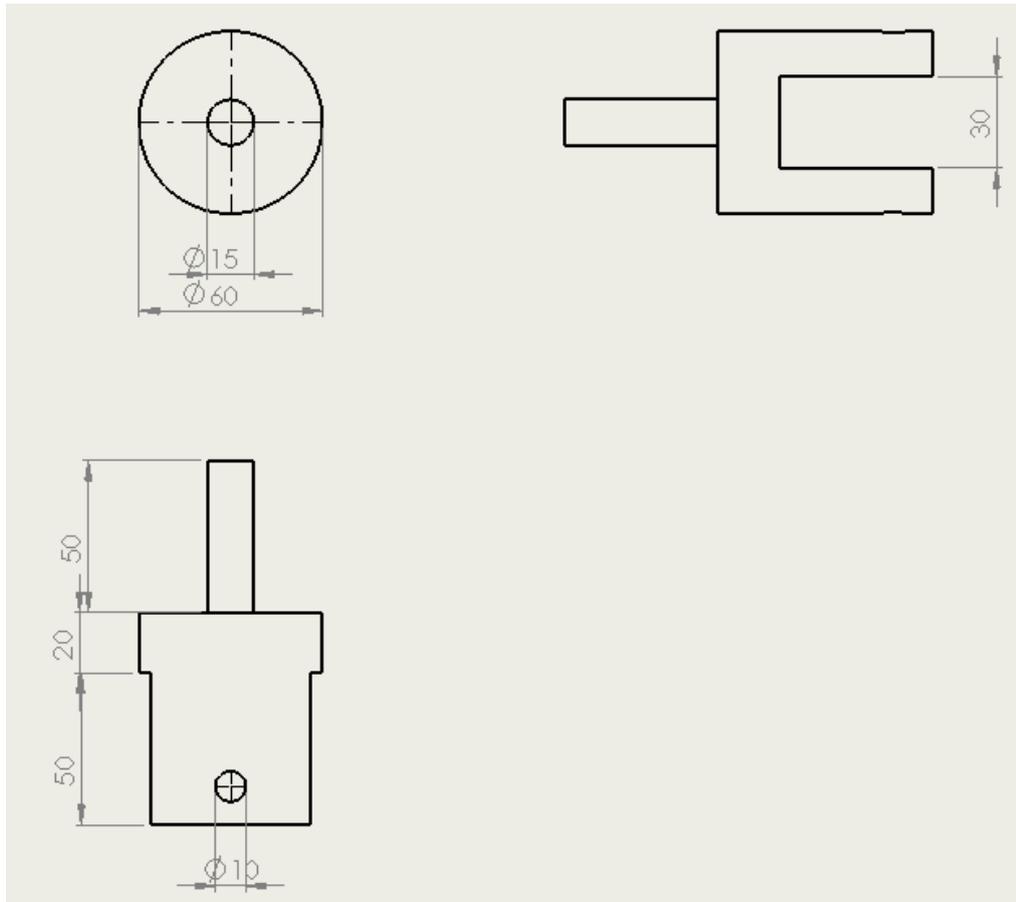
Gambar 3.2 Mesin Uji Tarik (BPPT Serpong)

b. Alat uji *Split Disk Technique*

Split Disk Technique menggunakan suatu alat uji yang berfungsi untuk peletakan spesimen yang nantinya akan dipasang di mesin uji tarik seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat Uji *Split Disk Technique*



Gambar 3.4 Dimensi Alat *Uji Split Disk Technique*

c. Pipa PVC merek WAVIN 3 inchi

Pipa PVC yang digunakan pada penelitian ini adalah pipa PVC dengan merek WAVIN 3 inchi seperti pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Pipa PVC Merek Wavin 3 Inchi

d. Ijuk

Penelitian ini menggunakan serat ijuk (seperti pada Gambar 3.6) sebagai penguat PVC.



Gambar 3.6 Ijuk

3.3 Penyiapan Spesimen

3.3.1 Spesimen dengan Matriks Paduan Aspal-Semen

Penyiapan spesimen dimulai dengan menentukan komposisi paduan aspal-semen sebagai matriksnya. Komposisi paduan aspal-semen yang dipilih adalah 30-70%, 40-60%, 50-50%, 60-40%, 70-30% seperti pada Gambar 3.7. Berdasarkan bentuk fisiknya, komposisi paduan aspal-semen yang terbaik adalah 30-70%. Variasi yang diberikan pada spesimen ini adalah sudut pelilitannya yaitu 35° , 45° , 55° , 65° , 75° . Pembuatan spesimen pipa PVC yang telah diperkuat ijuk matriks aspal-semen ini menggunakan standart ASTM D2290 pada penentuan ukurannya.



Gambar 3.7 Paduan Aspal-Semen



Gambar 3.8 Pipa PVC Berpenguat Ijuk dengan Matriks Paduan Aspal-Semen



Gambar 3.9 Spesimen Uji Pipa PVC Berpenguat Ijuk Bermatriks Paduan Aspal-Semen

3.3.2 Spesimen dengan Matriks *Epoxy*

Penyiapan spesimen dengan matriks *epoxy* ini dilakukan dengan memvariasikan tegangan ijuk. Tegangan ijuk yang divariasikan adalah dengan memberikan pembebanan pada ijuk 100 gr, 500 gr, dan 1000 gr seperti terlihat pada Gambar 3.10. Pembuatan spesimen pipa PVC yang telah diperkuat ijuk matriks aspal-semen ini menggunakan standart ASTM D2290 pada penentuan ukurannya.



Gambar 3.10 Proses Pelilitan Pipa PVC Berpenguat Ijuk Matriks *Epoxy*



Gambar 3.11 Pipa PVC Berpenguat Ijuk Matriks *Epoxy*



Gambar 3.12 Spesimen Uji Pipa PVC Bepenguat Ijuk Matriks *Epoxy*

3.4 Waktu dan Tempat penelitian

Adapun penelitian ini dilakukan mulai dari 10 November 2015 sampai dengan 28 Juli 2016. Penelitian dilakukan di dua tempat yaitu Laboratorium Mekanika Struktur Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung untuk pembuatan spesimen uji dan untuk pengujiannya dilakukan di Sentra Teknologi Polimer Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Serpong, Tangerang Selatan.

3.5 Teknik Eksperimental

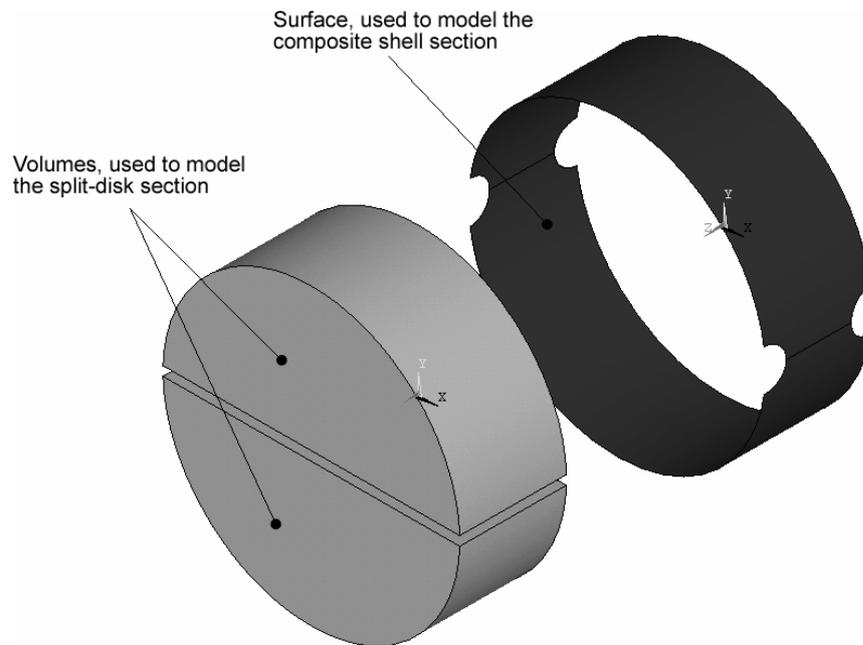
Pada pengujian pipa PVC berpenguat ijuk dengan matriks paduan aspal-semen dan matriks *epoxy* ini digunakan metode uji *Split Disk Technique*.

3.5.1 Uji *Split-Disk*

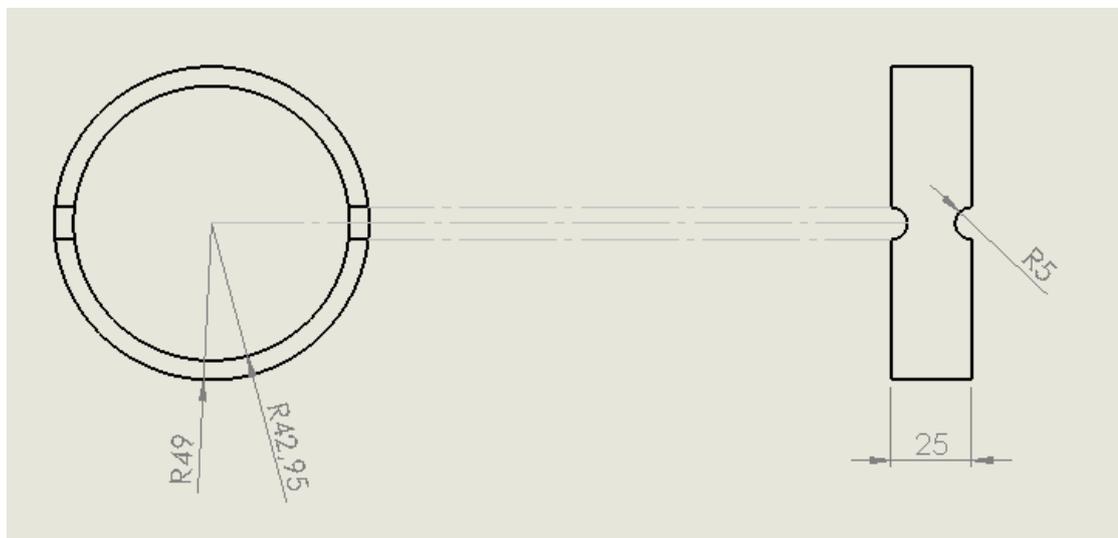
Penentuan sifat tarik *hoop* spesimen komposit tubular *filament winding* dengan metoda *split-disk* merupakan objek utama uji ini. Uji dilakukan sesuai ASTM D 2290, “pengukuran kekuatan tarik *hoop* plastik atau pipa plastik berpenguat dengan metoda *split disk*”. Standart mencakup penentuan perbandingan kekuatan tarik produk plastik dengan memanfaatkan alat uji *split-disk*, ketika diuji dalam kondisi *pre-treatment* tertentu, temperatur, humiditas, dan kecepatan mesin uji. Pengujian juga sesuai untuk komposit berpenguat matriks dengan serat kontinyu dan memanfaatkan alat uji *split-disk*.

Geometri spesimen uji

Spesimen pada uji *split disk technique* ini memiliki ukuran diameter dalam 85,9 mm, dan diameter luar 98 mm. Pembuatan spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14



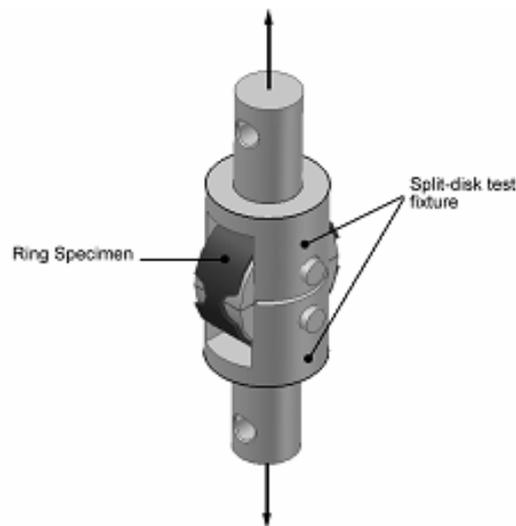
Gambar 3.13 Geometri Uji Split-Disk (Erdiller, 2004)



Gambar 3.14 Dimensi Spesimen Uji

3.5.2 Perlengkapan-Perlengkapan Pengujian

Alat uji terdiri dari dua komponen berbentuk setengah *disk*, yang dikombinasikan pada bagian atas dan bagian bawah menyambungkan lengan penyambungan alat uji. Alat uji *Split disk* terletak antara dua komponen berbentuk setengah disk pada bagian atas dan bagian bawah lengan penyambung. Area uji spesimen (bagian spesimen yang diberi takikan) tegak lurus bidang pada pemisahan dua komponen berbentuk setengah *disk*. Alat pengujian didisain untuk meminimalkan efek momen *bending*. Pembuatan dan gambar alat uji *split-disk* ditunjukkan pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16 secara berturut-turut.



Gambar 3. 15 Perlengkapan Alat Uji yang digunakan pada Uji *Split-Disk* (Erdiller, 2004)



Gambar 3.16 Gambar Perlengkapan Alat Uji *Split-Disk*, yang Dirakit pada Mesin Uji Tarik (Erdiller, 2004)

3.5.3 Prosedur Pengujian

Prosedur yang diikuti selama pengujian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen sebelum pengujian dilakukan dengan mengukur area uji spesimen (bagian spesimen yang diberi takikan) dengan menggunakan digital caliper.
2. Spesimen diletakkan pada alat uji *split-disk*, dimana spesimen pada daerah takikan diletakkan pada bagian tengah *split* alat uji agar pengujian terjadi di daerah uji spesimen.
3. Pengujian diatur dengan kecepatan konstan selama pengujian.
4. Data pembebanan dan tegangan diambil sampai kegagalan (putus) spesimen
5. Perhitungan rata-rata kekuatan tarik *hoop* maksimum dan modulus tarik *hoop* dihitung dan dicatat sebagai nilai rata-rata.
6. Standar deviasi pada pengujian dihitung untuk mengetahui sebaran data yang didapat.

3.5.4 Penentuan Sudut

Sudut lilitan sekitar 55° biasanya diberikan sebagai nilai optimum untuk lilitan serat pada pipa dan bejana tekan. Penurunan secara biasa berdasarkan *netting analysis* dan secara penggunaan sederhana untuk tekanan dalam silinder. Perbandingan dari tegangan *hoop*/tegangan aksial (σ_h/σ_a) adalah 2. *Netting analysis* mengabaikan pengaruh dari matriks dan hanya mempertimbangkan tegangan pada arah serat (σ_a). Untuk sebuah sudut lilitan α seperti pada Gambar 3.17, penyelesaian dari tegangan diberikan (Grove,1999) :

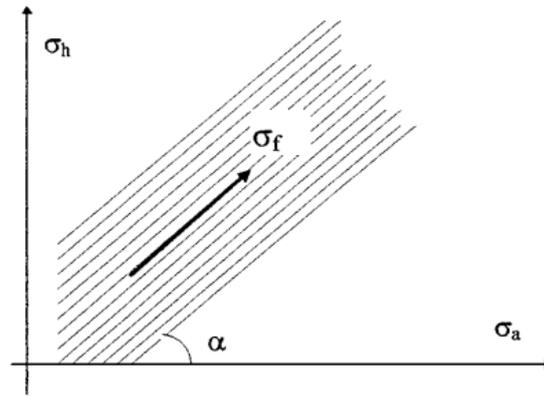
$$\sigma_h = \sigma_f \sin^2 \alpha \quad (3-1)$$

$$\sigma_a = \sigma_f \cos^2 \alpha \quad (3-2)$$

Lalu

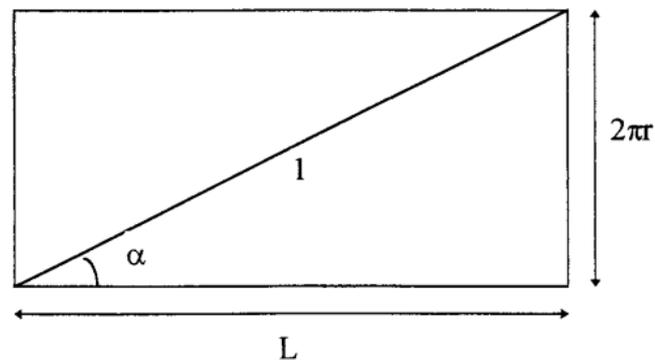
$$\frac{\sigma_h}{\sigma_a} = \tan^2 \alpha \quad (3-3)$$

Jika $\frac{\sigma_h}{\sigma_a} = 2$, kemudian $\alpha = \tan^{-1} \sqrt{2} = 54,7^{\circ}$.



Gambar 3.17. Geometri Dasar untuk *Netting Analysis*, α Ditunjukkan Sebagai Sudut Lilitan, σ_h , σ_a , dan σ_f Merupakan Tegangan pada *Hoop*, Aksial dan Arah Fiber, Ditunjukkan Secara Berturut (Grove,1999)

Penurunan alternatif dari sudut ini diperoleh dengan memperhatikan volume dari sebuah silinder berbentuk spiral, jari-jari r , panjangnya L , panjang serat l , terdiri dari serat-serat yang tidak dapat diperpanjang pada panjangnya. Geometri dari bentuk silinder ketika dibelah penampang seperti itu sangatlah mudah seperti pada Gambar 3.18 (Grove,1999).



Gambar 3.18. Geometri dari Silinder Ketika dibelah Penampang dengan Panjang Serat l , dari Panjang Penampang L , Jari-Jari r (Grove,1999).

Dituliskan dalam bentuk dimensi dari sudut lilitan :

$$r = \frac{\sin \alpha}{2\pi} \quad (3-4)$$

Volume dari silinder adalah

$$v = \pi r^2 L = \frac{\sin^2 \alpha \cos \alpha}{4\pi} \quad (3-5)$$

Volume cenderung 0 pada $\alpha = 0^0$ ($r \rightarrow 0$) dan $\alpha = 90^0$ ($L \rightarrow 0$). Volume maksimum pada $\frac{dV}{d\alpha} = 0$. Dengan menggunakan penurunan matematika $U'V + UV'$ dapat diselesaikan

$$\begin{aligned} \tan^2 \alpha &= 2, \\ \alpha &= 54,7^0 \end{aligned} \quad (3-6)$$

Sudut optimum sekarang sudah diketahui sebagai pemaksimalan volume dari silinder. Dengan kata lain, sebuah peningkatan pada tekanan internal berpeluang paling kecil terjadi pada peningkatan volume silinder, dan tergantung pada penambahan panjangnya atau jari-jarinya.

3.6 Perhitungan

Pengukuran kekuatan tarik *hoop* spesimen dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_{htu} = \frac{F_{max}}{2.A_m} \quad (3-7)$$

Dimana:

σ_{htu} = Kekuatan tarik *hoop* maksimum, MPa

F_{max} = Beban utama maksimum pada keretakan, N

A_m = Area uji spesimen (bagian spesimen yang diberi takikan)

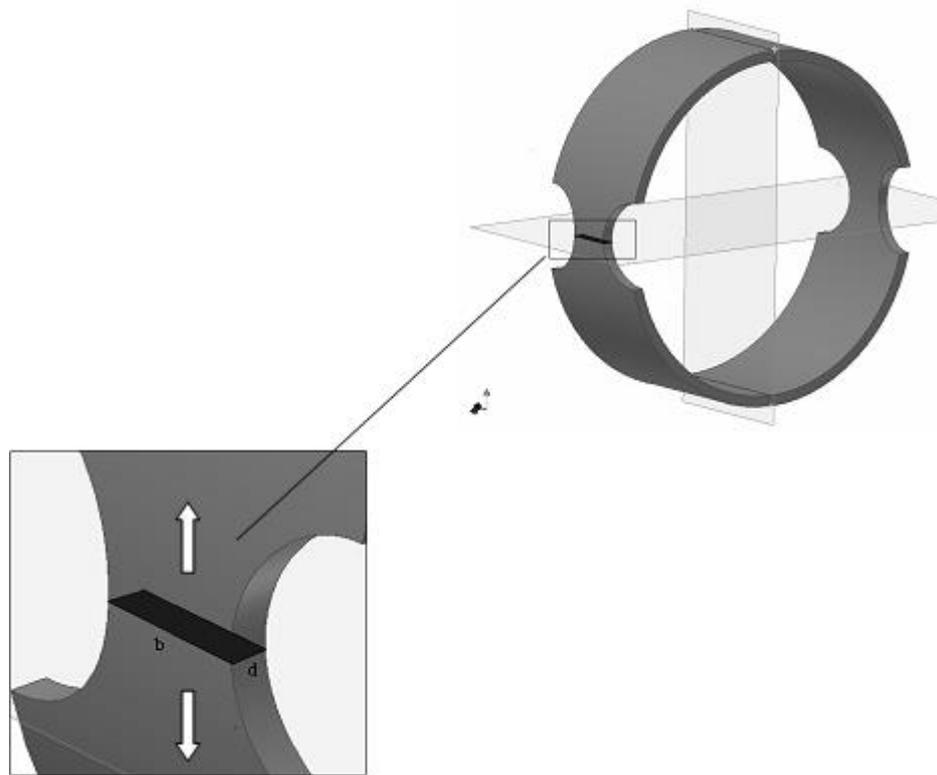
Data perhitungan tegangan dan regangan yang diperoleh kemudian digunakan untuk memplotkan grafik tegangan-regangan spesimen. Grafik ini digunakan untuk menghasilkan modulus elastisitas tarik *hoop* spesimen. Untuk tujuan ini ditentukan slope persamaan linear pada grafik, dengan menarik garis lurus secara tepat pada grafik persamaan linear, dengan metode perkalian. Karenanya:

$$E_h = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (3-8)$$

Dimana:

E_h = modulus elastisitas *hoop* tarik, MPa

$\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ = slope persamaan linear kurva tegangan – regangan



Gambar 3.19 Area Uji Spesimen (Erdiller, 2004)

Setelah kekuatan tarik dan modulus elastisitas pada masing-masing spesimen telah didapat, maka perhitungan rata-rata kekuatan tarik, rata-rata modulus elastisitas, standar deviasi, dan koefisien dari variasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3-9)$$

$$S = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n(n-1)}} \quad (3-10)$$

$$CV = \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) 100 \% \quad (3-11)$$

Dimana :

S = Standart deviasi perkiraan

CV = Koefisien sampel dari variasi, dalam persen

\bar{X} = rata-rata aritmatik pada kumpulan pengamatan

X = Nilai observasi tunggal

N = Jumlah observasi

Menentukan Tekanan batas (*pressure limit*) pada membran pipa yaitu

$$\sigma_H = \frac{P \cdot D}{2t}$$

$$P = \frac{2 \cdot t \cdot \sigma_H}{D} \quad (3-12)$$

Dimana :

P = Tekanan batas (*pressure limit*) (MPa)

σ_H = Tegangan *Hoop* (MPa)

D = Diameter pipa (mm)

t = Tebal pipa (mm)

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Peningkatan tekanan batas (*pressure limit*) terjadi pada spesimen pipa bermatriks *epoxy* sedangkan pada spesimen paduan aspal semen mengalami penurunan.
2. Sudut pelilitan 55^0 tidak bisa dipakai dengan Metode *Split-Disk Technique*
3. Penurunan nilai kekuatan tegangan *hoop* terjadi karena degradasi PVC akibat temperatur aspal.
4. Penurunan nilai kekuatan tegangan *hoop* pada spesimen bermatriks *epoxy* disebabkan ijuk tidak diberikan perlakuan sebelum dilakukannya pelilitan.

5.2 Saran

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

1. Percobaan eksperimental dilakukan sebagai validasi perhitungan secara numerik atau software yang akan dilakukan selanjutnya.
2. Penyempurnaan proses pada pelilitan agar ijuk dan resin membaaur dengan sempurna.
3. Pada sudut lilitan 55° , harus menggunakan lebar spesimen minimal sebesar 216 mm untuk pengujian *split disk technique*.
4. Diperlukan perlakuan terhadap ijuk sebelum dililitkan, agar ijuk merekat dengan sempurna terhadap resin *epoxy*.
5. *Pressure Test* bisa dilaksanakan untuk pengujian selanjutnya.
6. Faktor temperatur perlu diperhatikan agar tidak terjadi degradasi terhadap PVC.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Agustinus, D., 2008, Pengantar Piping Stress Analysis Dengan Caesar II. Jakarta .
Entry Augustino Publisher.
- Akmal, 2013: Studi Distribusi Tegangan, Analisis Kegagalan dan Penguatan Integritas Mekanik Sambungan Adhesif pada Pipa Komposit dengan Beban Tekanan Internal dan Torsi, Laporan Disertasi, ITB.
- Anasagasti, M., M. Hidalgo and C. Mijangos. 1999. *Transesterification and Crosslinking of poly (Vinyl Chloride-co-vinyl acetate) copolymers in the Melt*. J.Appl.polym,sci., 72. 621-630.
- Ayral, A.E., 2001, “ *Tensile, Flexural, Inplane Shear, and Impact Properties of Polyether-Ether-Ketone (PEEK) Matrix Reinforced by Carbon Fiber Composites*”. *M. S. Thesis, Middle East Technical University*.
- Babu, M.S., 2009, *Composite Fabrication by Filamen Winding – An Insight. India : Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC) Departement Of Science and Technology Govt of India*.
- Balitka., 2010, Balai Tanaman Palma. [Online]. Diakses dari <http://balitka.litbang.dptan.go.id>
- Billmeyer, F.W. 1984. *Textbook of Polymer Science*. 3rd Edition. John Willeys & Sons. New York.
- Caroll, M., Ellyin, F., Kujawski, D., dan Chiu, A. S., 1995, “*The Rate Dependent Behaviour of $\pm 55^{\circ}$ Filament-wound Glass fiber/Epoxy Tubes Under Biaxial Loading*”. *Composite Science and Technology* 55, 391 - 403.

- Cohen, D., 1997, "Influence of Filament-winding Parameters on Composite Vessel Quality and Strength". *Composites Part A 28A*, 1035 - 1047.
- Cowd, M.A. 1991. *Kimia Polimer*. Terjemahan Firman, H. ITB. Bandung.
- Erdiller, E.S., 2004, *Experimental Investigation For Mechanical Properties Of Filament Wound Composite Tubes*. Thesis dari The Graduate School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University.
- Fried, J. 1995. *Polymer Science and Technology*. Inc Prentice-Hall Internantional. New Jersey-USA.
- Grassie, N and G. Schoot. 1985. *Polymer Degradation & Stabilisation*. 1 st ed, Cambridge Unversity Press. Cambridge.
- Grove, S., 1999, *Optimum Fiber Orientation in Filament Wound Structures*. *Advanced Composites Manufacturing Centre, Departement of Mechanical and Engineering, University of Plymouth, UK*.
- Harris, B. 1999. *Engineering Composite Materials*. The Institute of Material, London.
- Henry, H.B. 1986, *Pressure Design Handbook 2nd Edition*. Florida
- Hurst, K., 2008, *Prinsip-Prinsip Perancangan Teknik*. Erlangga. Jakarta.
- Jinbo B., Philippe, S., and Bompard, P., 1997, "Mechanical Behaviour of $\pm 55^\circ$ Filament-wound Glass fiber/Epoxy Resin Tubes: I. Microstructural Analyses, Mechanical Behaviour and Damage Mechanism of Composite Tubes Under Pure Tensile Loading, Pure Internal Pressure, and Combined Loading". *Composite Science ad Technology*, 57, 141-153.
- Lee, C.S., Hwang, W., Park, H.C., dan Han, K.S., 1999, "Failure of Carbon/epoxy Composite Tubes under Combined Axial and Torsional Loading I. Experimental Results and Prediction of Biaxial Strength by the use of Neutral Networks". *Composites Science and Technology*, 59, 1779-1788.
- Schwardz M.M. 1984. *Composite Material Handbook*, Mc. Graw Hill. Singapore

- Surdia. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramitha. Jakarta
- Thimoshenko S.P., dan Goodier J.N., 2004, *Mechanics of Material, Sixth edition, New York: Mc Graw – Hill Book Company*.
- Wang, H., Bouchard, R., Eagleson, R., Martin, P., dan Tyson, W. R., 2002, “*Ring Hoop Tension Test (RHTT): A Test for Transverse Tensile Properties of Tubular Materials*”. *Journal of Testing and Evaluation, Vol. 30, No. 5, 382-391*.
- Wirjosentono, B, Surdia, M.N, Bahri, S. 1995. *Peningkatan Pemantap Turunan Serat dan Peran Pemantapnya oleh Pengaruh Panas dalam Matriks PVC*. Laporan Penelitian. Lembaga Penelitian USU. Medan.