



**PENGARUH VARIASI *BIAS CUT* DAN TEMPERATUR
PADA SAMBUNGAN *BELT CONVEYOR* METODE
HOT SPLICING TERHADAP KEKUATAN TARIK**

SKRIPSI

Oleh
Gilang Candrabuana
NIM 121910101079

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGARUH VARIASI *BIAS CUT* DAN TEMPERATUR
PADA SAMBUNGAN *BELT CONVEYOR* METODE
HOT SPLICING TERHADAP KEKUATAN TARIK**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
Gilang Candrabuana
NIM 121910101079

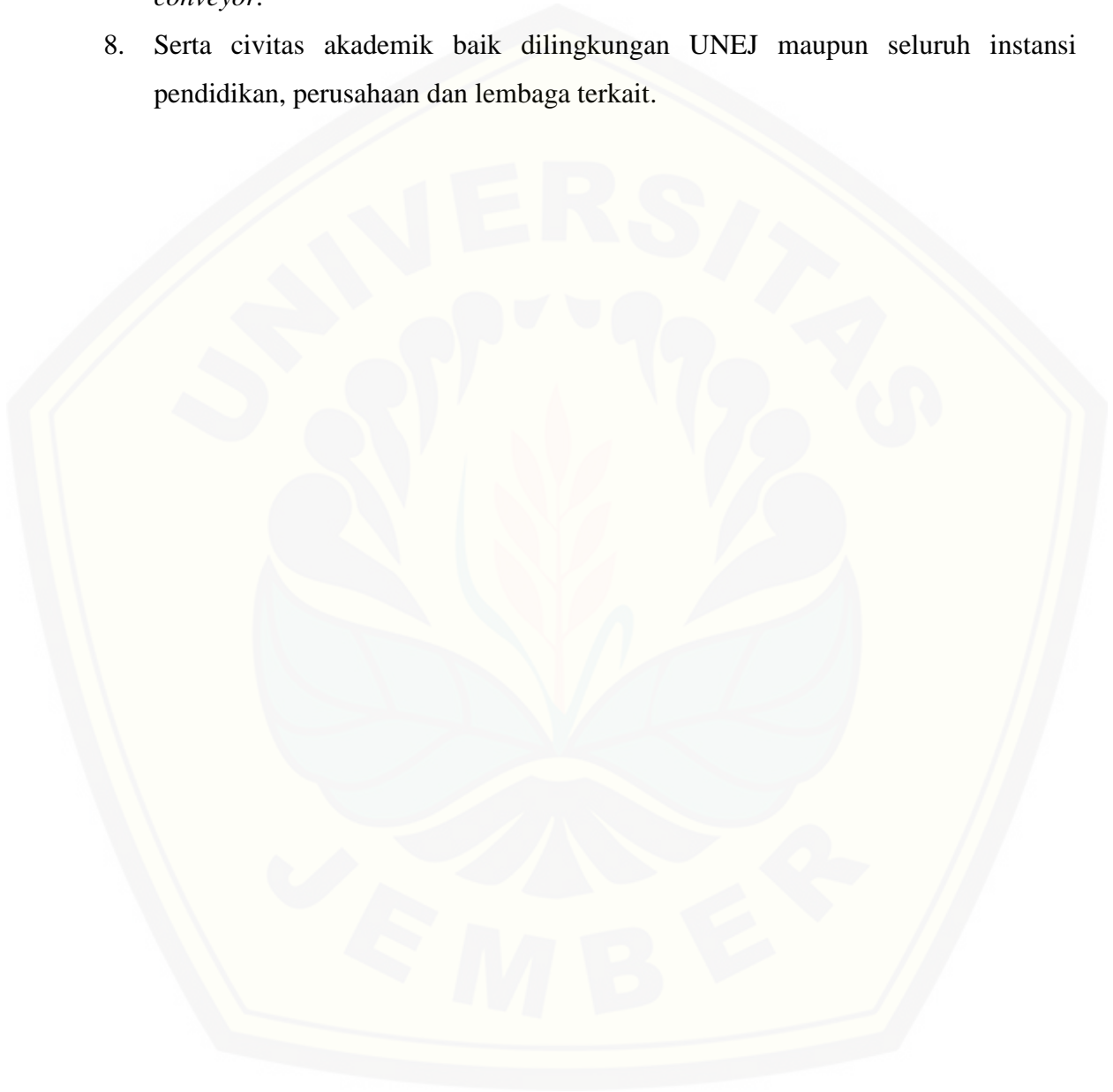
**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayah dan Ibu tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang, dan pengorbanan yang tidak kenal lelah hingga saat ini serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Adikku Rangga Pijar Adhyaksa yang selalu memberi semangat lewat senyum mereka.
3. Sahabat – sahabat baikku ku dari SMP sampai saat ini: Bayu, Bastian, Bimo, Pampam A.Md , Riski, Tajri, Candra, S.E , Felix, Faizal A.Md dan Vevin, S.H yang selalu memberiku semangat walau dari jauh.
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Dr. R. Koekoeh K.W , S.T , M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama, bapak Dedi Dwilaksana., S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak M. Fahrur Rozy H S.T, M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Dr. Agus Triono S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang telah banyak sekali saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Debrina Anggraeni yang selalu senantiasa memberikan dorongan dan semangatnya untukku walau dari jauh.
6. Saudaraku Team Belt Conveyor Aris, Alisa, Arum, Febri dan seluruh saudara saudaraku Teknik Mesin UNEJ 2012 yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu dan Saudaraku Teknik UNEJ yang memberikan kebahagiaan, emosi, kesedihan, pengertian dan semangatnya untukku.

7. Bapak Moh. Ma'ruf Ali, Mas Amril, Mas Muslih, Mas Agus Feryanto yang memberikan kesempatan untuk menimba ilmu mengenai sambungan *belt conveyor*.
8. Serta civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.



MOTTO

“Visi tanpa tindakan hanyalah sebuah mimpi. Tindakan tanpa visi hanyalah membuang waktu. Visi dengan tindakan akan mengubah dunia”
(Joel Arthur Barker)

"Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antarmu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat."
(terjemahan Surat Al-Mujadalah ayat 11)^{**)}

"People who never make mistakes are those who never make mistakes are those who never try new things."
(Albert Einstein)^{***)}

^{**)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo

^{***)} Albert Einstein. 2014. *TEDGlobal2012*. Inggris: *Theguardian Winner Of The Pulitzer Price 2014*.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Gilang Candrabuana

NIM : 121910101079

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PENGARUH VARIASI *BIAS CUT* DAN TEMPERATUR PADA SAMBUNGAN *BELT CONVEYOR* METODE *HOT SPLICING* TERHADAP KEKUATAN TARIK” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2016

Yang menyatakan,

(Gilang Candrabuana)

NIM 121910101079

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI *BIAS CUT* DAN TEMPERATUR
PADA SAMBUNGAN *BELT CONVEYOR* METODE
HOT SPLICING TERHADAP KEKUATAN TARIK**

Oleh

Gilang Candrabuana
NIM 121910101079

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. R. Koekoeh K.W ., S.T. , M.Eng

Dosen Pembimbing Anggota : Dedi Dwilaksana., S.T., M.T.

PENGESAHAN

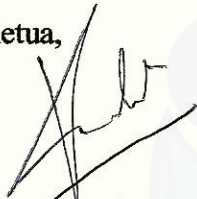
Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Bias Cut dan Temperatur pada Sambungan Belt Conveyor Metode Hot Splicing terhadap Kekuatan Tarik” telah diuji dan disahkan pada

hari, tanggal : Rabu, 22 Juni 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,



Dr. R. Koekoeh K. W., S.T., M.Eng
NIP 19670708 199412 1 001

Sekretaris,



Dedi Dwilaksana., S.T., M.T.
NIP 19691201 199602 1 001

Anggota I,



M. Fahrur Rozy H S.T., M.T.
NIP 19800307 201212 1 003

Anggota II,



Dr. Agus Triono., S.T., M.T
NIP 19700807 200212 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi *Bias Cut* Dan Temperatur Pada Sambungan Belt Conveyor Metode *Hot Splicing* Terhadap Kekuatan Tarik; Gilang Candrabuana, 121910101079; 2016; 96 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Belt conveyor adalah peralatan pemindah bahan yang menggunakan *belt* atau sabuk untuk memindahkan material atau bahan. Salah satu kerusakan pada *belt conveyor* adalah sobek pada *belt*. Untuk mengatasi kerusakan pada *belt* tersebut dilakukan penyambungan *belt conveyor* dengan sistem panas atau dengan metode *hot splicing*. Selain mengatasi kerusakan pada *belt* penyambungan ini juga dapat digunakan pada *belt* baru yang akan disambung sesuai permintaan perusahaan pengguna *belt*.

Dalam penelitian ini digunakan *belt* dengan tipe *EP 100 2P*. Variasi yang digunakan adalah *Bias Cut* 0,5BW ; 0,6BW dan 0,7BW dan Temperatur Vulkanisasi 90⁰ C , 100⁰ C dan 110⁰ C dan penelitian ini difokuskan pada peningkatan kekuatan tarik sambungan *belt conveyor*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Uji dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Jember untuk pengujian kekuatan tarik.

Dari hasil penelitian diperoleh data rata-rata hasil pengujian tarik tertinggi sebesar 1,67 MPa yaitu pada pengujian tarik sambungan *belt* dengan *bias cut* 0,5 BW dengan temperatur vulkanisasi 110⁰C, sedangkan rata-rata hasil pengujian tarik terendah sebesar 0,96 MPa diperoleh dari sambungan *belt* dengan *bias cut* 0,5 BW dengan temperature vulkanisasi 90⁰C.

SUMMARY

Effect of Bias Cut and Temperature Variation in Splicing Belt Conveyor Method of Hot Splicing Tensile Strength Gilang Candrabuana, 121910101079; 96 Pages; Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.

Belt conveyor is a material handling equipment that use belt or belt for moving material or materials. One of damage to the conveyor belt is ripped on the belt . One of damage to the conveyor belt is ripped on the belt . To overcome the damage done on the belt conveyor belt splicing system with heat or with hot splicing method. Besides overcome damage to the belt splicing may also be used on a new belt to be joined on-demand corporate users of belt

This research use belt with the type of EP 100 2P. Variations used is Bias Cut 0,5BW; 0,6BW and 0,7BW and Vulcanization temperature 90⁰ C , 100⁰ C and 110⁰ C and this research is focused on improving the tensile strength of the splicing belt conveyor. This research was conducted at the Laboratory of Testing and Materials Engineering Faculty University of Jember for testing the tensile strength.

From the results of the research data showed on average the highest tensile testing results of 1.67 MPa tensile testing is in the splicing with the belt bias cut of 0.5 BW with temperature vulcanizing 110⁰C. while the average low tensile testing results of 0.96 MPa was obtained from belt the splicing with the bias cut of 0.5 BW with temperature vulcanization 90⁰C.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “*Pengaruh Variasi Bias Cut dan Temperatur Pada Sambungan Belt Conveyor Metode Hot Splicing Terhadap Kekuatan Tarik*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dapat penulis rasakan setiap detik dalam hidup ini.
2. Ayah dan Ibu tercinta Guntur Arief W , S.H dan Dra. Sudarti Pujimawarni yang selalu mengajarkan pelajaran hidup yang tidak kenal lelah, kasih sayang, perhatian, materi, serta yang utama adalah doa yang selalu beliau haturkan setiap saat.
3. Adikku Rangga Pijar Adhyaksa yang selalu memberi semangat .
4. Sahabat – sahabat baikku ku dari SMP sampai saat ini: Bayu, Bastian, Bimo, Pampam A.Md , Riski, Tajri, Candra, S.E , Felix, Faizal A.Md dan Vevin, S.H yang selalu memberiku semangat walau dari jauh.
5. Bapak Bapak Dr. R. Koekoeh K.W , S.T , M.Eng .selaku Dosen Pembimbing Utama, bapak Dedi Dwilaksana., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak M. Fahrur Rozy H S.T, M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Dr. Agus Triono S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini.

7. Debrina Anggraeni yang selalu senantiasa memberikan dorongan dan semangatnya untukku walau dari jauh.
8. Saudaraku Team Belt Conveyor Aris, Alisa, Arum, Febri dan seluruh saudara saudaraku Teknik Mesin UNEJ 2012 dan Saudaraku Teknik UJ yang memberikan kebahagiaan, emosi, kesedihan, pengertian dan semangatnya untukku;
9. Bapak Moh. Ma'ruf Ali, Mas Amril, Mas Muslih, Mas Agus Feryanto yang memberikan kesempatan untuk menimba ilmu mengenai sambungan *belt conveyor*.
10. Teman-teman UKM REOG "Sardulo Anorogo" Unej P. Jarkasi, Mak Ndon, Dimas & Danang, Teman-teman UKM Go-Kart Srek, Kenthung, Sul dll yang selalu memberikan semangat dan dorongan untukku.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Material Handling</i>	5
2.2 <i>Belt Conveyor</i>	6
2.3 Prinsip Kerja <i>Belt Conveyor</i>	6
2.4 Bagian-Bagian <i>Belt Conveyor</i>	7
2.4.1 <i>Belt</i>	7
2.4.2 <i>Roller Idler</i>	11
2.4.3 Unit Penggerak (<i>Drive Unit</i>)	13
2.5 Permasalahan Pada <i>Belt Conveyor</i>	14
2.6 Penyambungan <i>Belt Conveyor</i>	15
2.6.1 <i>Belt Splicing</i>	15
2.6.2 Tipe Sambungan.....	16
2.6.3 Perbedaan Mendasar <i>Cold</i> dan <i>Hot Splice</i>	17
2.6.4 <i>Cold Splicing</i>	17
2.6.5 <i>Hot Splicing</i>	17
2.6.6 <i>Bias Cut</i>	19
2.7 Sambungan Adhesive.....	21

2.7.1	Faktor-Faktor yang Menentukan Kekuatan Ikatan Perekat	21
2.8	Pengujian Tarik	23
2.9	Hipotesis	25
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1	Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian	26
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	26
3.3.1	Alat	26
3.3.2	Bahan	29
3.4	Variabel Penelitian	31
3.4.1	Penetapan Variabel Bebas dan Terikat	32
3.5	Pengambilan Data	40
3.6	Analisis Pengolahan data dan Rancangan Percobaan	42
3.6.1	Analisis Data dengan Eksperimen 2 Faktorial	42
3.6.2	Uji Hipotesis	43
3.6.3	Metode Sidik Ragam	45
3.6.4	Prosedur Uji Anova	47
3.7	Hasil Pengujian	48
3.8	Diagram Alir	49
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1	Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik	50
4.2	Analisis Data	53
4.3	Pembahasan	54
BAB 5	PENUTUP	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		69

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
2.1 Prinsip Kerja <i>Belt Conveyor</i>	6
2.2 Bagian-Bagian <i>Belt Conveyor</i>	7
2.3 <i>Fabric Belt</i>	9
2.4 Perbedaan <i>Fabric Belt</i> dan <i>Steel Cord Belt Conveyor</i>	9
2.5 Lapisan Penguat <i>Fabric</i> dan <i>Steel Cord belt</i>	10
2.6 <i>Carrying Idler</i>	11
2.7 <i>Impact Idler</i>	12
2.8 <i>Tracking Idler</i>	13
2.9 <i>Return Idler</i>	13
2.10 Panjang Sambungan	17
2.11 Proses vulkanisasi	19
2.12 Cara Penyambungan <i>Belt Conveyor</i>	20
2.13 Penentuan <i>Bias Cut</i>	20
2.14 Struktur Sambungan Perekat.....	22
2.15 Kegagalan Ikatan Perekat.....	22
2.16 Standar Sampel Uji ASTM D3039	24
3.1 <i>Thermocontrol</i>	25
3.2 <i>Thermocouple</i>	26
3.3 <i>Heater</i>	26
3.4 <i>Tang</i>	27
3.5 Dongkrak & <i>Pressure Gauge</i>	27
3.6 Alat Press	28
3.7 Dimensi Spesimen.....	29
3.8 Tebal Dimensi Spesimen.....	29
3.9 Perekat STL – RF4 (<i>Rema Tip Top</i>)	29

3.10 <i>Tie Rubber</i>	30
3.11 Contoh Panjang <i>step</i> dan sudut bias 0,6 X BW	32
3.12 Pemotongan <i>bias cut</i>	32
3.13 Proses pengupasan <i>Top Cover</i>	33
3.14 Pemotongan permukaan <i>belt</i> kedua	33
3.15 Proses Matching <i>belt</i> pertama dengan kedua	34
3.16 Proses pengasaran karet yang terdapat <i>fabric</i>	34
3.17 Pengepasan sambungan <i>belt</i>	34
3.18 Proses pengeleman pertama	35
3.19 Proses pengeleman kedua	35
3.20 Proses penyatuan kedua <i>belt</i>	36
3.21 Proses perekatan <i>belt</i> dengan bantuan palu karet.....	36
3.22 Proses perekatan sambungan <i>belt</i> dengan palu karet	37
3.23 Spesimen diatas <i>heater</i> (pemanas)	37
3.24 <i>Belt</i> di jepit di antara dua <i>heater</i> (pemanas).....	38
3.25 Pembebanan diatas <i>heater</i> (pemanas)	38
3.26 Pengujian Tarik	39
3.27 Alat Bantu Penyortiran.....	40
3.28 Diagram Alir Penelitian	48
4.1 Grafik kalibrasi pegas	51
4.2 Grafik hubungan antara <i>bias cut</i> dengan temperatur vulkanisasi terhadap kekuatan tarik	53
4.3 Grafik hubungan antara Temperatur vulkanisasi dengan <i>bias cut</i> terhadap kekuatan tarik.....	52
4.4 Kegagalan Kohesif Pada Sambungan	57
4.5 Kegagalan adhesif pada sambungan	58
4.6 Sambungan Terputus.....	59
4.7 <i>Belt</i> Asli (tanpa sambungan) setelah dilakukan uji tarik.	60

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
2.1 Standard Sambungan DIN 22102	16
2.2 Spesimen geometri yang dibutuhkan (ASTM D3039)	24
2.3 Geometri spesimen yang direkomendasikan (ASTM D3039).....	24
2.4 Geometri spesimen yang direkomendasikan	25
3.1 Spesifikasi Perkat STL RF 4	30
3.2 Tabel Anova.....	44
3.3 Hasil pengujian tarik <i>belt</i>	47
4.1 Tabel Pengambilan Data Pengujian Tarik (Display)	49
4.2 Hasil pengukuran panjang pegas.....	50
4.3 Nilai pada display yang sudah terkalibrasi.....	51
4.4 Nilai Kekuatan Tarik Sambungan <i>Belt Conveyor</i>	51
4.5 Anova Pengujian Kekuatan Tarik Sambungan <i>Belt Conveyor</i>	52
4.6 Nilai F_{max} (N) Belt asli	61
4.7 Nilai F_{max} (N) Belt asli sesudah kalibrasi	61
4.8 Nilai Kekuatan Tarik (Mpa) Belt asli.....	61
4.9 Nilai F_{max} (N) Belt dengan sambungan	61

DAFTAR LAMPIRAN

HALAMAN

A. Data Hasil Pengujian

Tabel A1. Tabel Pengambilan Data Pengujian Tarik (Display).....	64
Tabel A2. Hasil pengukuran panjang pegas.....	65
Tabel A3. Nilai pada display yang sudah terkalibrasi.....	66
Tabel A4. Nilai Kekuatan Tarik Sambungan <i>Belt Conveyor</i>	66
Tabel A5. Output data SPSS.....	67
Tabel A6. F_{max} belt tanpa sambungan.....	67
Tabel A7. F_{max} belt tanpa sambungan yang sudah terkalibrasi.....	68
Tabel A8. Nilai kekuatan tarik belt tanpa sambungan.....	68
Gambar A1 Grafik kalibrasi pegas.....	68

B. Gambar Proses Pembuatan Spesimen.....	68
---	-----------

C. Gambar Proses Vulkanisasi.....	72
--	-----------

D. Gambar Pengujian Spesimen.....	75
--	-----------

E. Gambar Spesimen Uji.....	77
------------------------------------	-----------

F. Pengujian ASTM D 3039.....	80
--------------------------------------	-----------



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi dan industri manufaktur di Indonesia saat ini berkembang sangat pesat. Hal ini mengakibatkan semakin ketatnya persaingan ekonomi dan bisnis secara global. Agar dapat tetap bisa bertahan, setiap perusahaan manufaktur harus bisa mengontrol produktifitas dari barang yang akan di produksi tersebut. Dalam rangka meningkatkan produktifitas, suatu perusahaan yang bergerak di bidang maufaktur sangat diperlukan tenaga-tenaga yang ahli di bidang manufaktur. Namun karena lemahnya produktifitas dalam negeri, industri dalam negeri tidak mampu memenuhi permintaan masyarakat. Sehingga harus melalui proses impor.

Dalam rangka meningkatkan produktifitas suatu perusahaan perlu adanya manajemen industri yang sangat baik dan pemilihan alat pemindah barang atau *material handling* yang tepat. *Material Handling* sangat berfungsi dalam meningkatkan produktifitas suatu perusahaan karena berfungsi memindahkan material dari suatu proses ke proses selanjutnya tanpa menggunakan tenaga manusia sebagai pemindahanya. Melainkan hanya sebagai operator.

Salah satu contoh alat pemindah barang atau *material handling* adalah *conveyor*. Peningkatan produktifitas perusahaan dapat ditingkatkan dengan menggunakan *conveyor* karena dapat melakukan pemindahan barang dengan cepat. Selain itu *conveyor* adalah alat pemindah barang di suatu industri yang paling tepat guna. *Converyor* berfungsi memindahkan barang dari suatu proses ke proses selanjutya. Terdapat berbagai jenis *conveyor* salah satunya adalah *belt conveyor*.

Belt Conveyor adalah peralatan yang cukup sederhana yang digunakan untuk mengangkut material dengan kapasitas yang cukup besar. Alat tersebut terdiri dari sabuk yang tahan terhadap pengangkutan benda padat. Pemilihan belt conveyor terhadap suatu industri adalah konstruksi yang sederhana, dapat menghemat biaya produksi suatu perusahaan dan perawatanya yang mudah.

Menurut Asyari (2007), pemeliharaan setelah terjadi kerusakan (*breakdown maintenance*) pemeliharaan ini dilakukan ketika terjadinya kerusakan pada peralatan, dan untuk memperbaikinya harus disiapkan suku cadang, alat-alat dan tenaga kerjanya. Sobek atau putus sambungan pada *belt* adalah kerusakan yang terjadi secara tiba-tiba dan tidak bisa di prediksi. Sehingga apabila terjadi kerusakan pada *belt conveyor* akan menghambat produktifitas kinerja suatu perusahaan yang berdampak kerugian pada suatu perusahaan.

Untuk menghindari dari kerusakan sobek pada *belt conveyor* tersebut perlu adanya perawatan dan salah satunya penyambungan pada *belt conveyor* tersebut agar *belt conveyor* dapat digunakan seperti semula dan tidak menghambat produktifitas dari suatu perusahaan. Untuk menyambung *belt conveyor* salah satu metode yang digunakan adalah metode *hot splicing* (*Summa Learning Center*). Untuk mengetahui kekuatan tarik dari penyambungan *hot splicing* pada *belt conveyor* tersebut maka dilakukan pengujian dengan menggunakan uji tarik.

Metode *Hot Splicing* adalah proses penyambungan *belt conveyor* yang proses vulkanisasinya dengan cara dipanaskan dengan menggunakan 1 set *heating platten* dengan *pressure bag* atau dengan modul *hydraulic*. (*Summa Learning Center*). Dengan menggunakan pengujian tarik dan bervariasi suhu dan *bias cut* dapat diketahui kekuatan tarik dari *belt conveyor* tersebut. Sehingga pada pengaplikasiannya dapat menentukan berapa suhu dan *bias cut* yang tepat untuk mencapai kekuatan tarik paling optimum.

Menurut Amril (2015), nilai kekuatan tarik sambungan *belt conveyor* tertinggi pada suhu 130⁰C pada waktu pemanasan 40 menit, yaitu sebesar 0,638 Mpa. Sedangkan kekuatan tarik mengalami penurunan yang tajam pada suhu 170⁰C pada waktu pemanasan 20 menit, dengan nilai kekuatan tarik sebesar 0,099 Mpa. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk jenis *belt* yang akan disambung, guna mengetahui suhu, waktu dan variasi *bias cut* yang tepat pada proses penyambungan *hot splicing*. Penelitian tentang sambungan *belt conveyor* perlu dikembangkan, guna

meningkatkan lama pakai dari sambungan tersebut, mengingat pentingnya *belt conveyor* dalam dunia industri.

Menurut Nurrudin (2015). dari percobaan yang telah dilakukan diperoleh data hasil pengujian tarik tertinggi sebesar 34,20 MPa yaitu pada pengujian tarik sambungan *belt* dengan *bias cut* 0,5 BW, sedangkan hasil pengujian tarik terendah sebesar 24,04 MPa diperoleh dari sambungan *belt* dengan *bias cut* 0,2 BW. Semakin meningkat nilai *bias cut* sampai pada 0,5BW, maka kekuatan tariknya akan semakin meningkat. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh variasi *bias cut* dan temperatur pemanasan terhadap kekuatan tarik belt conveyor 2-ply 1-step dengan metode *hot splicing*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi *bias cut* sambungan *belt conveyor* terhadap kekutan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu pemanasan penyambungan *belt conveyor* terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi *bias cut* sambungan *belt conveyor* terhadap kekutan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pemanasan penyambungan *belt conveyor* terhadap kekutan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari Penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi *bias cut* sambungan *belt conveyor* terhadap kekutan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*.

2. Dapat mengetahui pengaruh variasi suhu pemanasan penyambungan *belt conveyor* terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*.
3. Dapat mengaplikasikan dan menerapkan hasil penelitian penyambungan *belt conveyor* dengan metode penyambungan *hot splicing*.
4. Menambah literatur, pengetahuan dan wacana untuk pengembangan dan penelitian yang lebih lanjut dari hasil penelitian ini.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penyambungan *belt conveyor* menggunakan metode *hot splicing* dengan variasi suhu pemanasan dan *bias cut*.
2. Metode Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik.
3. Tidak membahas struktur kimia lem yang digunakan.
4. Standart pengujian tarik yang digunakan dalam penelitian adalah ASTM (*American Society of Testing and Material*).
5. Penulis tidak membahas luasan sambungan *belt conveyor*.
6. Tidak membahas struktur mikro sambungan belt sebelum atau sesudah pengujian.
7. Temperatur vulkanisasi penyambungan belt conveyor yang digunakan adalah 90⁰ C, 100⁰ C, dan 110⁰ C
8. Hanya membahas *belt conveyor* dengan penguat yang berasal dari *fabric nylon*.
9. Bahan yang di gunakan untuk spesimen uji adalah *belt conveyor* 2 ply.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Material Handling*

Istilah *material handling* sebenarnya kurang tepat kalau diterjemahkan sekedar “memindahkan” material. Berdasarkan perumusan yang dibuat oleh *American Material Handling Society* (AMHS), pengertian mengenai *material handling* dinyatakan sebagai seni dan ilmu yang meliputi penanganan (*handling*), Pemindahan (*moving*), pembungkusan/pengepakan (*packaging*), penyimpanan (*storage*) sekaligus pengendalian/pengawasan (*controlling*) dari bahan atau *material* dengan segala bentuknya. Kaitanya dengan proses pemindahan, maka proses pemindahan bahan ini akan dilaksanakan dari satu lokasi ke lokasi lain baik secara *vertical*, *horizontal* maupun lintasan yang membentuk kurva (Wignjosoebroto, 1996).

Mesin pemindah bahan (*material handling equipment*) dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu:

1. Peralatan pengangkat, yaitu peralatan yang ditujukan untuk memindahkan muatan satuan dalam satu batch, misalnya *crane*, dongkrak, dan *elevator*.
2. Peralatan pemindah (*conveyor*), yaitu peralatan yang ditujukan untuk memindahkan muatan curah (banyak partikel, homogen) maupun muatan satuan secara kontinu, misalnya *screw conveyor*, *belt conveyor*, dan sebagainya.
3. Peralatan permukaan dan *overhead*, yaitu peralatan yang ditujukan untuk memindahkan muatan curah dan satuan, baik *batch* maupun kontinu, misalnya *scraper*, *excavator*, *bulldozer*, dan lain-lain (Zainuri, 2006).

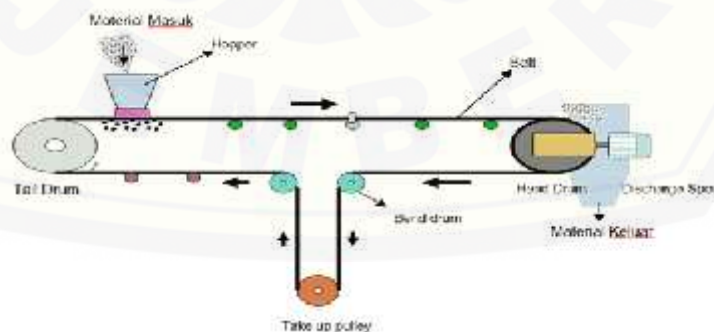
2.2 Belt Conveyor

pada dasarnya merupakan peralatan yang cukup sederhana. Alat tersebut terdiri dari sabuk yang tahan terhadap pengangkutan benda padat. Sabuk yang digunakan pada *belt conveyor* ini dapat dibuat dari berbagai jenis bahan misalnya dari karet, plastik, kulit ataupun logam yang tergantung dari jenis dan sifat bahan yang akan diangkut. Untuk mengangkut bahan-bahan yang panas, sabuk yang digunakan terbuat dari logam yang tahan terhadap panas.

Karakteristik dan performa dari *belt conveyor* yaitu dapat beroperasi secara mendatar maupun miring dengan sudut maksimum sampai dengan 18° , sabuk disanggah oleh roller untuk membawa bahan, berkapasitas tinggi, serba guna, dapat beroperasi secara kontinyu, kapasitas dapat diatur, kecepatannya sampai dengan 600 ft/m, dapat naik turun dan perawatannya mudah. Sedangkan untuk kelemahan dari *belt conveyor* adalah sudut inklinasi terbatas dan biaya relatif mahal (Siregar, 2004).

2.3 Prinsip Kerja Belt conveyor

Prinsip kerja dari *belt conveyor* adalah dimulai dari *drive* atau *motor* penggerak akan memutar *head drum (pulley)* akan menarik *belt* yang ditumpu (ditopang) oleh berbagai *idler* atau *roll*, material yang diumpangkan melalui *hopper* kemudian dibawa oleh *belt* yang berjalan disepanjang *roll* dan dikeluarkan melalui *discharge spout* Seperti pada Gambar 2.1 (Ilyandi, 2012).

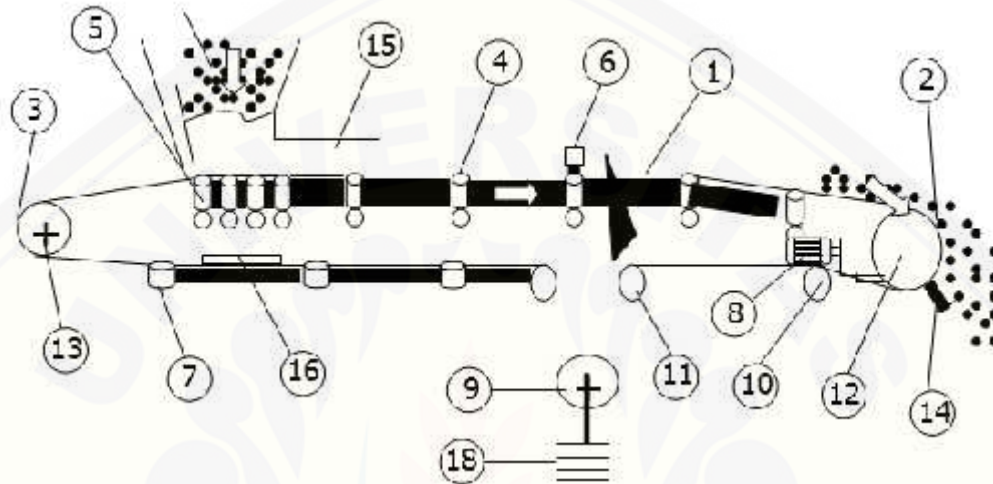


Gambar 2.1 Prinsip Kerja *Belt Conveyor*

(Sumber: Ilyandi, 2012)

2.4 Bagian-Bagian *Belt Conveyor*

Belt conveyor mampu berjalan karena adanya sistem yang menjalankannya, adapun bagian-bagian utama dari sistem tersebut seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bagian-Bagian *Belt Conveyor*

(Sumber: Ilyandi, 2012)

Keterangan :

- | | | |
|--|---------------------------|--------------------------|
| 1. <i>Belt</i> | 7. <i>Return Roll</i> | 13. <i>Tail Drum</i> |
| 2. <i>Ujung Depan Belt Conveyor</i> | 8. <i>Motor Penggerak</i> | 14. <i>Scraper</i> |
| 3. <i>Ujung Belakang Belt Conveyor</i> | 9. <i>Take-up Pulley</i> | 15. <i>Skirt board</i> |
| 4. <i>Carrying Idler</i> | 10. <i>Snub Pulley</i> | 16. <i>Blade Scraper</i> |
| 5. <i>Impact Roll</i> | 11. <i>Bend Pulley</i> | 17. <i>Hopper</i> |
| 6. <i>Training Roll</i> | 12. <i>Head Drum</i> | 18. <i>Couter Weight</i> |

2.4.1 *Belt*

Belt adalah elemen mesin yang menghubungkan dua buah *pulley* yang digunakan untuk mentransmisi daya ataupun sebagai alat angkut bahan padatan. *Belt* biasanya terbuat dari tekstil, plat baja dan anyaman dari plat baja. Tetapi yang biasa

digunakan dalam industri adalah *belt* yang terbuat dari karet berlapis textil (Nurrudin, 2015).

Dalam proses perawatan *belt conveyor*, sebelumnya perlu dipahami spesifikasi atau cara pembacaan *spec belt* dan kapasitas angkut *belt* itu sendiri.

Contoh Spesifikasi *belt* (Ilyandi, 2012) :

16 meter EP-315, 800 x 3P x 5 x 1,5 mm T210°C

Keterangan :

16 meter	:	Panjang <i>belt conveyor</i>
Ep	:	Tipe Carcase (EP : Poliester)
315	:	<i>Tensile Strength</i> (kg/cm/ply)
800	:	Lebar <i>Belt</i> (mm)
3P	:	Jumlah <i>ply</i> (3 <i>ply</i>)
5	:	Tebal <i>Top Cover</i> (mm)
1,5	:	Tebal <i>Bottom Cover</i> (mm)
T210°C	:	Temperatur maksimum
Type <i>belt</i>	:	<i>High Temperature Resistances</i>

Fabric Belt adalah *belt* dengan penguat yang disebut Ply yang terbuat dari serat tekstil (serat buatan). Lapisan tersebut disebut *carcass* (Ilyandi, 2012). *Carcass fabric* adalah lapisan dari satu atau beberapa lapis tenunan yang di resapi karet, di antara lapisan tenunan terdapat lapisan (*Skim Rubber*) Lapisan Perekat (Gambar 2.3) (Summa Learning Center).



Gambar 2.3 *Fabric Belt*

(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

Jenis carcass yang sering dipakai :

- Nylon atau Polymide*
- Polyester* (Serat Sintetis)
- Cotton* (Serat alam / katun)
- Vinyon fabric*
- Aramide fibre*

Steel cord belt seperti pada Gambar 2.4 merupakan jenis *belt* yang penerapannya menggunakan penguat dengan jenis sling baja, sehingga *belt* jenis ini cenderung memiliki kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan dengan jenis *fabric belt*. *Carcass* jenis sling baja (*Steel Cord*) adalah kesatuan dari deretan sling di resapi karet, di antara lapisan tenunan terdapat lapisan perekat (*skim rubber*)



Gambar 2.4 Perbedaan *Fabric Belt* dan *Steel Cord Belt Conveyor*

(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

Adapun bagian-bagian penyusun *belt* seperti pada Gambar 2.4 adalah:

- a. *Top cover* (karet atas) adalah lapisan yang langsung bersentuhan dengan material atau biasa disebut *carry cover*.

Tebal *top cover*:

- Untuk *fabric belt* adalah 1 mm s/d 8 mm.
- Untuk *steel cord belt* adalah 5 mm s/d 8 mm.

- b. *Bottom cover* (karet bawah), adalah karet lapisan bawah yang berhadapan dengan *pulley* dan *roll* pembawa atau biasa disebut sebagai *pulley cover*.

Tebal *bottom cover*:

- Untuk *fabric belt* adalah 1 mm s/d 8 mm.
- Untuk *steel cord belt* adalah 5 mm s/d 8 mm.

- c. *Reinforcement* (Lapisan penguat) adalah lapisan yang terdapat di bagian dalam ban berjalan yang terbuat dari *fabric* dan *steel cord*. Lapisan penguat dari *fabric* adalah kesatuan dari satu atau beberapa lapis tenunan yang diresapi karet, diantara lapisan tenunan terdapat lapisan *skim rubber* atau lapisan perekat. *Fabric* yang umum dipakai adalah nylon (polyamideI), polyester, cotton, kevlar. Sedangkan lapisan penguat bahan *steel cord* adalah kesatuan dari deretan sling diresapi karet, diantara lapisan tenunan terdapat lapisan *skim rubber* (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Lapisan Penguat *Fabric* dan *Steel Cord belt*.

(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

Lapisan penguat mempunyai fungsi sebagai berikut:

- Memberikan kekuatan tarik (*tensile strength*) yang dibutuhkan untuk membawa muatan.
- Menahan benturan saat pemberian muatan.
- Memberikan kekakuan untuk menopang muatan.
- Memberikan kekuatan yang memadai untuk menahan sambungan mekanika

2.4.2 *Roller Idler*

Roller idler merupakan *roller* yang berfungsi untuk menunjang *belt* supaya *belt* tetap dalam keadaan lurus. *Roller idler* terbagi dalam beberapa tipe, yaitu:

1. *Idler Atas (Carrying Idler)*

Carrying idler atau yang biasa disebut roll pembawa merupakan salah satu jenis *idler* yang fungsinya sebagai *roll* penunjang *belt* bermuatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Carrying Idler*

(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

2. *Idler* Penahan (*Impact Idler*)

Impact idler atau yang biasa disebut *roll* penahan muatan merupakan salah satu jenis dari *idler* yang berfungsi sebagai *roll* penunjang *belt* pada daerah muat. Bentuk dari *impact idler* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Impact Idler*

(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

3. *Idler* Penengah (*Tracking Idler*)

Tracking idler merupakan salah satu dari jenis *idler* yang berfungsi untuk menjajaki agar *belt* tidak bergeser dari jalur yang seharusnya. Gambaran dari *tracking idler* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Tracking Idler*

(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

4. *Idler Bawah (Return Idler)*

Return idler merupakan salah satu jenis *idler* yang berfungsi sebagai *roller* penunjang *belt* pada daerah yang tidak bermuatan dan berada pada bagian bawah *frame*. Untuk lebih jelasnya gambaran dari *return idler* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Return Idler*

(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

2.4.3 Unit Penggerak (*Drive Unit*)

Unit penggerak atau *drive unit* merupakan sistem penggerak dari *belt conveyor*. Unit penggerak ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

- Sumber daya (motor) merupakan penggerak mula untuk menggerakkan seluruh bagian *belt conveyor*.
- Transmisi (*gear box* dan *coupling*) merupakan perangkat yang menyatukan sumber daya ke *pulley* penggerak untuk menggerakkan *belt* pada kecepatan yang diinginkan.
- *Pulley* merupakan bagian yang menggerakkan *belt*. Terdapat beberapa *pulley* utama pada *belt conveyor*.
 1. *Drive pulley*, merupakan *pulley* yang dihubungkan secara langsung atau tidak langsung ke sumber daya (power unit).
 2. *Head pulley*, merupakan *pulley* yang terpasang pada ujung depan *conveyor*.
 3. *Tail pulley*, merupakan *pulley* terakhir pada ujung belakang *conveyor* (Summa Learning Center).

2.5 Permasalahan Pada *Belt Conveyor*

Pada kenyataannya banyak sekali permasalahan-permasalahan yang harus dihadapi ketika menggunakan *belt conveyor* ini. Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan ini tentunya dilakukan berbagai perawatan (*maintenance*), Sebab sistem perawatan yang baik terhadap akan mempengaruhi usia dari *belt* dan menjamin kualitas dan kemampuan *belt* dalam menyalurkan material secara berkesinambungan dan terus menerus. Maka pentingnya perawatan preventive terhadap *belt* tidak dapat dipungkiri lagi.

Pada dasarnya *belt conveyor* adalah alat transportasi material yang didesain untuk pemakaian jangka panjang, namun seiring dengan perawatan yang kurang

tepat dan peningkatan kapasitas produksi, maka *belt conveyor* yang seharusnya bisa digunakan untuk waktu yang lama sering mengalami berbagai kendala atau masalah. Diantara masalah yang sering terjadi pada *belt conveyor* adalah:

a. Sobek Memanjang

Sobek memanjang searah jalannya *belt*, baik kerusakan terjadi pada *cover rubber* saja atau terkena *ply* sehingga terbelah dua.

b. Sobek Melintang

Sobek melintang, baik kerusakan terjadi pada *cover rubber* maupun tembus terkena *ply*, untuk kerusakan tembus *ply*, apakah *ply* pertama atau semua *ply* maka kerusakan ini harus dikerjakan sedemikian rupa sehingga tidak ada kekuatan yang hilang pada daerah kerusakan yaitu dengan menyisipkan *ply* yang utuh.

c. Sobek Pinggir *Belt*

Sobek yang terjadi pada pinggiran *belt* biasanya disebabkan karena mistracking atau ketidak lurusan jalannya *belt conveyor* sehingga terjadi pergeseran antara *body hopper* dengan pinggiran *belt* (Kurniawan, 2011).

2.6 Penyambungan *Belt Conveyor*

Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan pada *belt conveyor* tentunya dilakukan dengan penyambungan dan *repair* pada bagian-bagian *belt* yang mengalami kerusakan tersebut. Adapun Penyambungan *belt conveyor* antara lain :

2.6.1 *Belt Splicing*

Splicing rubber adalah sistem penyambungan rubber *belt* yang dipakai dalam menyatukan 2 bagian ujung dari rubber *belt* yang terputus atau akan

disambungkan atau disatukan.

Membentuk kekuatan pengeleman (adhesi) antara 2 bagian *rubber belt* yang akan disatukan atau disambungkan secara bersamaan.

Panjang sambungan, konfigurasi atau urutan penyambungan, ukuran sambungan, desain sambungan sangat berpengaruh untuk mendapatkan hasil “*Splicing*” yang baik, Kemampuan dalam menerima tegangan secara terus menerus dan mampu membagi tegangan tarikan pada seluruh bagian sambungan *belt* saat operasional adalah bagian terpenting dari suatu pekerjaan *splicing*.

Sebelum menentukan sistem dingin atau system panas dalam suatu rencana penyambungan, sangat penting untuk mengetahui referensi dari *fabricant* (Pabrik) pembuat *belt* atau Standard Internasional dalam menentukan panjang sambungan.

Panjang sambungan adalah panjang total dari suatu sambungan antara *belt* yang satu dengan *belt* lainnya. Panjang sambungan sangat menentukan kekuatan saat menerima beban tarik. Mengurangi panjang sambungan sama dengan beresiko mengurangi kemampuan beban tarik pada Sambungan. Oleh karena itu kekuatan sambungan biasanya merujuk dari Standard DIN 22102 untuk panjang sambungan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di Tabel 2.1 (Summa Learning Centre).

Tabel 2.1 Standard Sambungan DIN 22102

Carcass	Type	No. of Plies	Thickness of cover		Width (mm)
			Top	Bottom	
EP	80	2-8	3.0 - 6.0	1.5 - 4.5	300 - 2600
	100				
	125				
	150				
	200				
	250	3-6			
	300				
	315				
	400				
	500				
600	3-5				

(Sumber : Summa Learning Centre, 2001)

Data *belt strength* akan menentukan “Panjang *Step*” dari masing - masing *ply* dan total panjang penyambungan.



Gambar 2.10 Panjang Sambungan
(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

2.6.2 Tipe Sambungan

Dalam melakukan penyambungan seperti pada Gambar 2.10, secara umum tipe atau model penyambungan dapat dibagi dua yaitu:

1. *Endless Splice* :

a. *Cold Splice* (Penyambungan System Dingin)

Penyambungan dengan sistem dingin adalah proses penyambungan *belt conveyor* yang proses vulkanisasinya dengan cara kimiawi, yaitu dengan menggunakan lem yang menyatu dengan karet.

b. *Hot Splice* (Penyambungan System Panas)

Hot splice sering disebut juga sebagai penyambungan vulkanisasi, karena pekerjaan ini menggunakan material yang harus di aplikasikan dengan menggunakan mesin vulkanisasi.

2. *Mechanical Splice*

1. *Fastener* (Semua Penyambungan Mechanic)
2. *Super Screw* (Kombinasi antara Rubber dan Fastener)

Secara umum, penyambungan sistem panas adalah sama dengan penyambungan sistem dingin, yang membedakan hanyalah pada jenis “Material - *Splice*”- nya saja (Summa Learning Centre).

2.6.3 Perbedaan Mendasar *Cold* dan *Hot Splice*

Pada dasarnya langkah pekerjaan sambungan dingin maupun panas memiliki langkah pekerjaan yang sama, yang membedakan dari kedua pekerjaan ini adalah hanya pada langkah aplikasinya, karena menggunakan material dan tambahan alat kerja yang berbeda.

2.6.4 *Cold Splicing* (Penyambungan Dingin)

Penyambungan dengan sistem dingin adalah proses penyambungan *belt conveyor* yang proses vulkanisasinya dengan cara kimiawi. Yaitu dengan menggunakan lem yang menyatu dengan karet.

2.6.5 *Hot Splicing* (Penyambungan Panas)

Hot splice sering disebut juga sebagai penyambungan vulkanisasi, karena pekerjaan ini menggunakan material yang harus di aplikasikan dengan menggunakan mesin vulkanisasi.

Vulkanisasi merupakan proses pembentukan ikatan silang belerang dengan karet untuk membentuk struktur jaringan tiga dimensi. Ikatan silang menjadikan karet tidak lengket serta meningkatkan kekuatan tariknya (Kumar dan Nijasure, 1997).

Temperatur yang terlalu rendah atau terlalu tinggi mengakibatkan kekuatan tarik dari barang jadi karet tidak sempurna, ini disebabkan karena karet merupakan konduktor yang tidak baik dan sukar mengangkut panas. Oleh karena itu, temperatur

vulkanisasi sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik (*Tensile Strength*).

Hot splice dilaksanakan dengan menggunakan 1 set *heating platen* dengan *pressure bag* atau menggunakan modul *hydraulic*. *Hot splice* membutuhkan keterampilan khusus dari teknisi dalam penegerjaanya dan yang mampu juga mengoperasikan mesin vulkanisasi. Proses vulkanisasi dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Amril, 2015).

- a) Kebutuhan persiapan dilapangan untuk pekerjaan *hot splice* seperti dibawah ini:
1. *Electrical source* (Sumber Listrik),
 2. *Vulcanizing Equipment* (Perlengkapan vulkanisasi yang di sesuaikan dengan *belt widh* dan panjang sambungan,
 3. Material yang selalu tersimpan baik didalam *cold stororage* ($5 - 15^{\circ}\text{C}$)
 4. Operator yang terampil untuk mengoperasikan *vulcanizing machine*,
 5. Membutuhkan banyak pekerja yang terampil saat mengoperasikan machine dan saat pembongkarannya juga.
- b) Yang diperlukan dalam proses vulkanisasi sebagai berikut :
1. *Pressure* : 8 – 15 bar
 2. *Curing temperature* : $130^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
 3. *Curing time* : 3 menit per mm tebal *belt*
 4. *Minimum curing time* : 30 menit

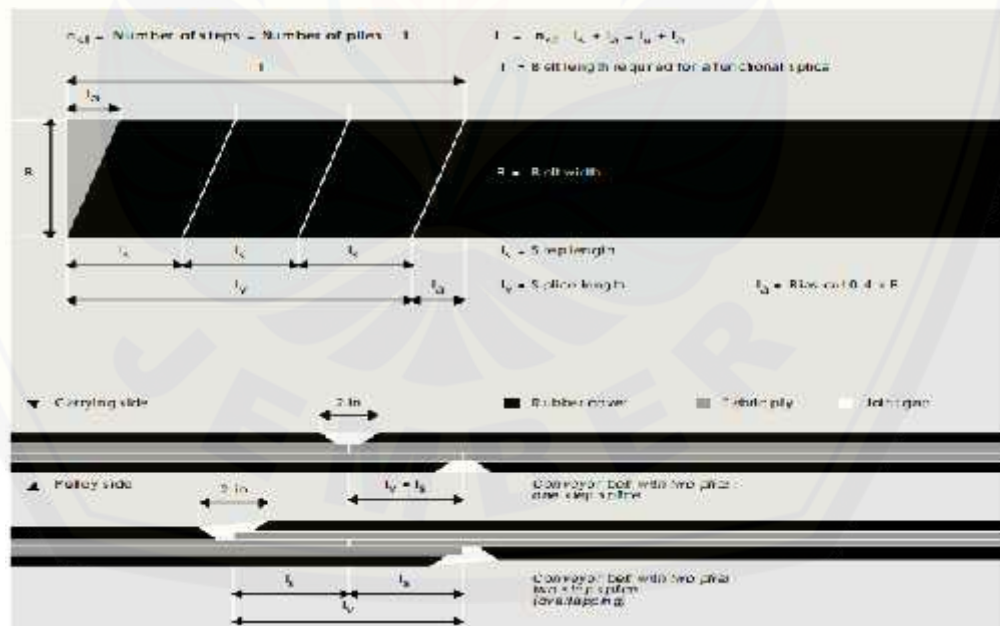


Gambar 2.11 Proses vulkanisasi
(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

- c) Yang di butuhkan setelah proses vulkanisasi :
1. Mematikan *power supply / switch – off* setelah selesai *curing time*,
 2. *Cooling down /* dinginkan dengan menggunakan air atau didinginkan secara alami sampai dengan $40^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$,
 3. Mengukur ulang *center line* terhadap kelurusan sambungan,
 4. Melepas *upper traverse bars, platen* dan *belt clamps*,
 5. Memasang kembali *idler set* dan bersihkan *belt conveyor*,
 6. Menurunkan kembali *counter weight*,
 7. *Belt* siap untuk uji coba,

2.6.6 Bias Cut

Bias Cut adalah sudut pemotongan pada saat akan menyambungkan *belt conveyor* baik metode *hot splicing* maupun *cold splicing*.



Gambar 2.12 Cara Penyambungan *Belt Conveyor*

(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

Dari Gambar 2.12 dapat dilihat bahwa untuk melakukan penyambungan *belt*

conveyor harus menggunakan *bias cut* (sudut sambungan) dalam proses penyambungannya.



Gambar 2.13 Penentuan *Bias Cut*

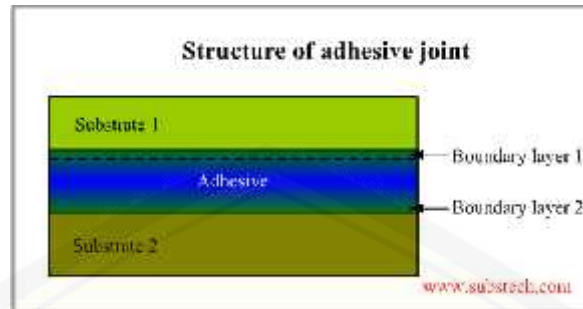
(Sumber: Summa Learning Center, 2001)

Sedangkan untuk penentuan *bias cut* berdasarkan Summa Learning Center adalah $0,3 \times \text{belt width}$. *Bias cut* pada gambar di atas dijelaskan dengan simbol l_v (Gambar 2.13).

2.7 Sambungan *Adhesive*

Sambungan *adhesive* atau ikatan perekat adalah proses bergabungnya dua bahan atau lebih bagian bahan padat dengan zat perekat, bahan dari bagian yang akan direkat mungkin sama atau mirip. Bahan lapisan perekat umumnya adalah polimer (alami atau sintesis) dan ketebalan lapisan perekat biasanya tidak melebihi 0.02" atau 0,5mm (Kopeliovich, 2014).

1. *Adhesive* adalah suatu bahan yang digunakan untuk menyatukan atau menyambungkan suatu bahan yang sama ataupun berbeda jenis materialnya, baik itu logam dengan logam, logam dengan kayu, logam dengan karet dan sebagainya (Gambar 2.14).
2. Sambungan *adhesive* adalah penyambungan suatu bahan baik sama maupun berbeda jenis materialnya dengan memanfaatkan kontak permukaan ditambah *adhesive* (lem) sebagai media penyambungannya.



Gambar 2.14 Struktur Sambungan Perekat

(Sumber: Kopeliovich, 2014)

- Keterangan :
- *Subsrat* adalah bahan yang akan disambung
 - *Boundary* adalah batasan ikatan perekat

2.7.1 Faktor-Faktor yang Menentukan Kekuatan Ikatan Perekat:

1) Faktor mekanis menyediakan ikatan adhesi yang kuat karena :

- luas antar muka yang lebih luas
- *Interlocking* bahan pada permukaan *micro-void*

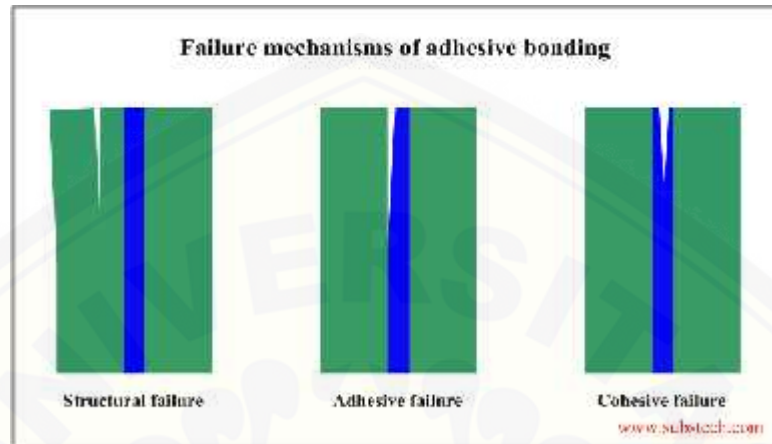
2) Faktor kimia :

- Ikatan antar ion : Ikatan ion terbentuk ketika sebuah atom menyumbangkan elektron ke atom lain. Sebagai hasil dari transisi elektron, dua ion membentuk (bermuatan positif kation dan anion bermuatan negatif). Kekuatan tarik elektrostatis antara dua ion membentuk ikatan ion. Ikatan ion dapat terbentuk antara dua bahan dengan elektronegativitas yang berbeda.

Ikatan kimia : Ikatan dimana masing-masing atom logam memberikan kontribusi elektron valensi untuk kisi kristal, membentuk awan elektron atau elektron "gas", sekitar ion logam positif. Elektron bebas milik seluruh logam kristal dan terus bersama-sama atom logam.

Adapun jeni-jenis dari kegagalan ikatan perekat dalam sambungan *adhesive*. Ada beberapa faktor yang bisa berkontribusi pada kegagalan dua

permukaan. Dapat dilihat pada Gambar 2.15. Jenis kegagalan adalah sebagai berikut :



Gambar 2.15 Kegagalan Ikatan Perekat

(Sumber: Kopeliovich, 2014)

Ada tiga mekanisme kemungkinan kegagalan ikatan perekat :

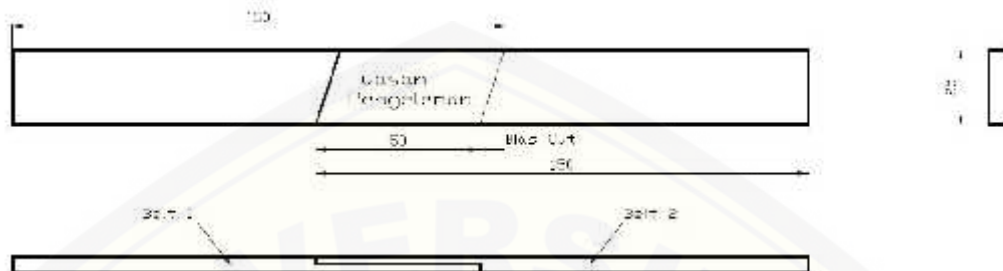
- Kegagalan struktural : kegagalan internal dari bahan substrat di daerah dekat sendi.
- Kegagalan Adhesive : kegagalan antarmuka mengakibatkan pemisahan salah satu substrat dari lapisan perekat.
- Kegagalan kohesif : kegagalan internal dari lapisan perekat.

2.8 Penguian Tarik

Untuk mengetahui kekuatan tarik dari *belt conveyor* yang telah dilakukan penyambungan adalah dengan dilakukan pengujian tarik. Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang dilakukan pada material untuk mengetahui karakteristik dan sifat mekanik material terutama kekuatan dan ketahanan terhadap beban tarik.

ASTM D 3039 merupakan standard pengujian sifat tarik pada Komposit bermatrik polimer seperti pada Gambar 2.16 (Arisyabana, 2015). Material komposit terbatas pada serat kontinyu maupun serat diskontinyu dengan laminate yang seimbang dan simetris. Berdasarkan ASTM D 3039 terdapat standard spesimen geometri yang dibutuhkan seperti pada Tabel 2.2 serta geometri spesimen yang

dibutuhkan seperti pada Tabel 2.3 (Nasiruddin, 2014).



Gambar 2.16 Standar Sampel Uji ASTM D3039

(Sumber: Arisyabana, 2015.)

Tabel 2.2 Spesimen geometri yang dibutuhkan

Parameter	Kebutuhan
<i>Spesifikasi :</i>	
Bentuk	Constant rectangular cross-section
Panjang minimal	Gripping + 2 times width + gage length
Lebar spesimen	As needed
Toleransi lebar spesimen	± 1% dari lebar
Ketebalan spesimen	As needed
Toleransi ketebalan spesimen	± 4% dari tebal
Kerataan spesimen	Flat with light finger pressure

(Sumber : ASTM Organization D30-39)

Tabel 2.3 Geometri spesimen yang direkomendasikan

Fiber orientation	Width (mm)	Overall length (mm)	Thickness (mm)	Tab Length (mm)	Tab Thickness (mm)	Tab Bevel Angle
0° unidirectional	15	250	1.0	56	1.5	7 or 90
90° unidirectional	25	175	2.0	25	1.5	90
Balanced & symmetric	25	250	2.5	Emery cloth	-	-
Random-discontinuous	25	250	2.5	Emery cloth	-	-

(Sumber : ASTM Organization D30-39)

Perhitungan *ultimate tensile strength* menggunakan persamaan (ASTM D30-39) dibawah ini:

$$t_u = F_{\max} / A$$

$$i = P_i / A$$

dimana :

t_u = kekuatan tarik *ultimate* MPa [psi];

F_{\max} = beban maksimum sebelum kegagalan, N [lbf];

i = tegangan tarik pada data yang ke-, MPa [psi];

P_i = beban pada data yang ke-, N [lbf];

A = luasan seksi silang rata-rata dari lebar x panjang, $\text{mm}^2[\text{in}^2]$, sebesar 1250mm^2

2.9 Hipotesis

Hipotesis yang dapat diperoleh berdasarkan hasil referensi yang didapat adalah semakin meningkat *bias cut* pada sambungan *belt conveyor* maka nilai kekuatan tariknya semakin meningkat. Suhu vulkanisasi penyambungan *belt conveyor* sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan pada metode *hot splicing*, dalam hipotesis ini juga diberikan semakin optimum suhu dan *bias cut* maka akan semakin meningkatkan kekuatan tarik pada spesimen uji.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penggabungan percobaan yang ada di lapangan dengan pegkajian literatur yang telah didapatkan baik dari jurnal maupun dari katalog perusahaan yang juga melakukan penyambungan *belt conveyor*. Dalam penelitian ini mencakup bagaimana pengaruh variasi *bias cut* dan temperatur vulkanisasi terhadap kekuatan tarik *belt conveyor 2-ply 1-step* menggunakan metode *hot splicing*. Rancangan penelitian dengan menggunakan penelitian faktorial dimana penelitian ini berdasarkan faktor *bias cut* dan temperatur vulkanisasi pada penyambungan *belt conveyor* dengan metode *hot splicing*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Desain dan Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Penelitian dilakukan selama 3 bulan yaitu bulan April - Juni 2016.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan selama penelitian ini berlangsung antara lain:

1. Universal Machine Testing Merk ESSOM TM 113 30 kN.
2. *Thermocontrol* Merk WILHI max temp. 110⁰ C (Gambar 3.1)



Gambar 3.1 *Thermocontrol*

3. *Thermocouple* (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 *Thermocouple*

4. *Heater* (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 *Heater*

5. Mistar/Penggaris.
6. Kamera
7. *Tang / Pincer* (Gambar 3.4)



Gambar 3.4 *Pincer / Tang*

- 8. *Cutter* dan Gunting
- 9. *Sprit* (Alat Suntik)
- 10. Dongkrak & Pressure Gauge (Gambar 3.5)



Gambar 3.5 *Dongkrak & Pressure Gauge*

- 11. Gerinda
- 12. Kuas
- 13. Timbangan Digital
- 14. Palu karet
- 15. Termometer Laser
- 16. Aluminium foil
- 17. Alat Press (Gambar 3.6)



Gambar 3.6 Alat Press

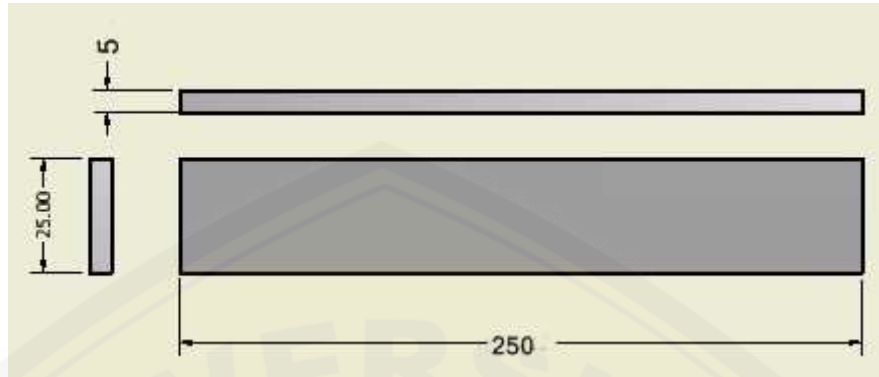
3.3.2 Bahan :

1. *Fabric belt* dengan spesifikasi 400 x EP 100 x 2P x 1,5 x 1,5

Keterangan:

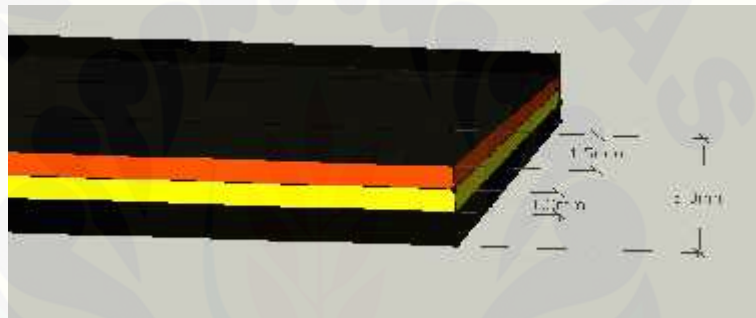
Lebar <i>belt</i>	: 400 mm
Tipe <i>carcass</i>	: <i>Polyester</i>
Kekuatan tarik	: 100 kg/cm
<i>Top cover</i>	: 1,5 mm
<i>Bottom cover</i>	: 1,5 mm

Untuk penelitian ini, berdasarkan standar ASTM D3039 ukuran spesimen yang disarankan adalah 250 mm x 25 mm x 5 mm (Gambar 3.7 dan Gambar 3.8)



Gambar 3.7 Dimensi Spesimen

(Sumber: Amril, 2015)



Gambar 3.8 Tebal Dimensi Spesimen

(Sumber: Amril, 2015)

2. Perekat STL – RF4 (*Rema Tip Top*) (Gambar 3.9)



Gambar 3.9 Perekat STL – RF4 (*Rema Tip Top*)

(Sumber: Indonetwork, 2015)

dengan spesifikasi yang ditampilkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Perekat STL RF 4

EC-No.	CAS-No.	Chemical name	Quantity	Classification
285-51-9	84742-49-0	Nazonia (perborate)	< 85 %	F, N, Xi, Xn R11-36-51-53-65-67
215-222-6	1314-13-2	zinc oxide	< 1 %	N R50-53
215-267-0	1317-38-8	Lead(II)-oxide	< 0,3 %	Repr. Cat. 1, Repr. Cat. 3, Xn, N R61-62-20-22-33-60-53

(Sumber : Amril 2015)

Naphtha (petroleum) adalah cairan berwarna kuning gelap hingga coklat atau hijau kehitaman, berbau ringan. Titik didih 86 – 460°F (30 – 238°C).

3. Kompon karet vulkanisir (*Tie rubber*) (Gambar 3.10)



Gambar 3.10 *Tie Rubber*

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Penetapan Variabel Terikat dan Variabel Bebas

Pada penelitian ini terdapat banyak variabel proses atau faktor yang berpengaruh terhadap proses pembuatan spesimen. Dalam hal ini terdapat dua jenis variabel yaitu meliputi:

1) Variabel Bebas

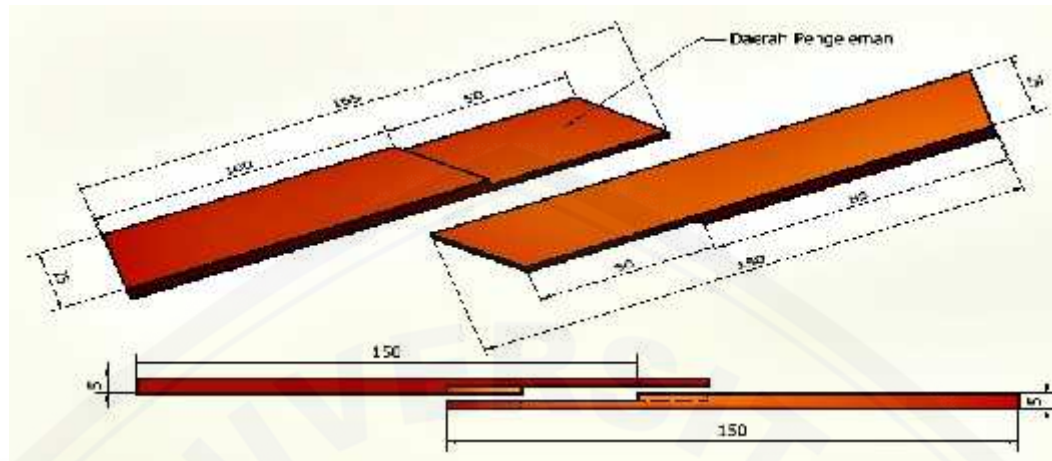
Merupakan variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan eksperimen. Variabel bebas pada percobaan ini adalah variasi *bias cut* 0,5BW; 0,6BW; 0,7BW dan temperatur penyambungan dari 90⁰C, 100⁰C, dan 110⁰C.

2) Variabel Terikat

Merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil dari kekuatan tarik sambungan *belt conveyor*.

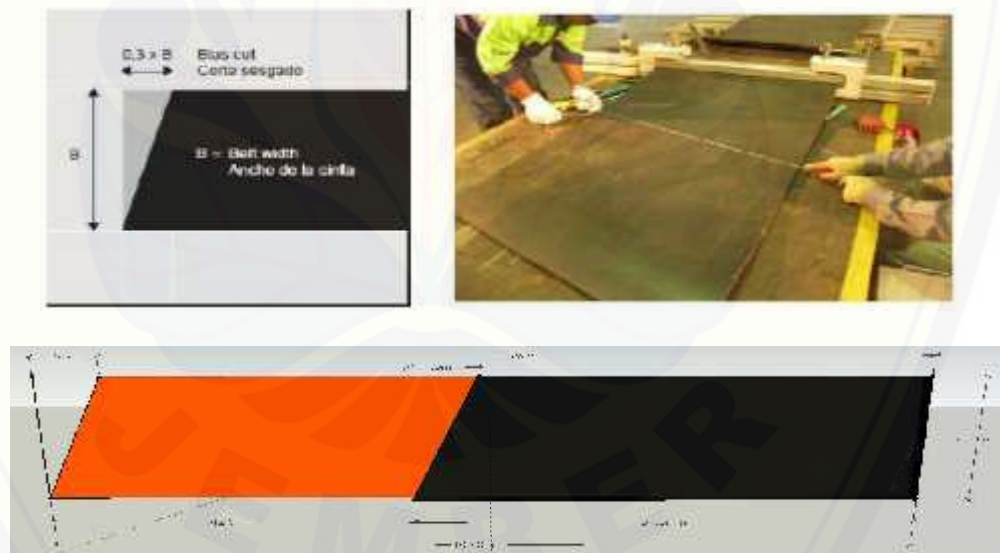
3.5 Prosedur Penelitian

1. Persiapan *fabric belt*, serta alat pendukung untuk membuat sampel.
2. Pemotongan *belt* menggunakan *cutter*, dengan ukuran p x l x t (250 x 25 x 5mm). (Gambar 3.7 dan Gambar 3.8).
3. Pemberian tanda sudut bias (0,5; 0,6; 0,7 x lebar *belt*) pada bagian permukaan *belt* untuk mengetahui besar *bias cut* yang akan digunakan. Seperti pada Gambar 2.13.
4. Penggambaran Panjang *Step* (S) dan sudut biasnya, Demikian pula dengan bagian ujung *belt* yang lainnya (Gambar 3.11).



Gambar 3.11 Contoh Panjang *step* dan sudut bias 0,6 X BW

5. Pemotongan kedua ujung *belt* sepanjang sudut sambungan (0,5; 0,6; 0,7 x BW) Seperti terlihat pada Gambar 3.12.

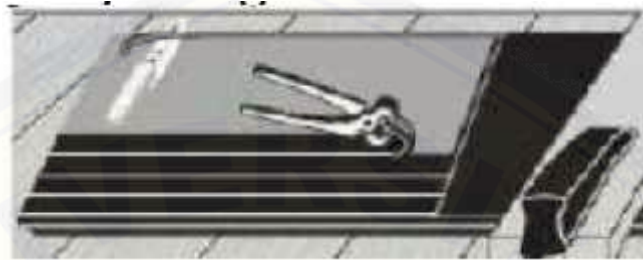


Gambar 3.12 Pemotongan *bias cut*

(Sumber: Summa Learning Centre, 2001)

6. Pemotongan bagian karet *top cover* dan *ply* pertama pada kedua tepi *belt* hingga bertemu dengan *ply* kedua,

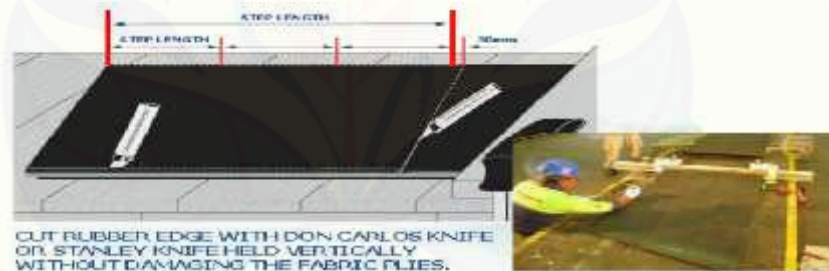
7. Pemotongan pada *top cover* dan *ply* pertama dengan menggunakan *cutter*.
8. Pelepasan bagian *top cover* dan *ply* pertama dengan bantuan *pincer*, (Gambar 3.13)



Gambar 3.13 Proses pengupasan *Top Cover*

(Sumber: Summa Learning Centre, 2001)

9. Pemotongan pada bagian permukaan *belt* kedua pada sambungan dengan menggunakan *cutter*, (Gambar 3.14)



Gambar 3.14 Pemotongan permukaan *belt* kedua

(Sumber: Summa Learning Centre, 2001)

10. Lakukan pekerjaan yang sama untuk ujung *belt* yang lainnya.
11. Temukan kedua ujung tersebut dan periksalah apakah bagian – bagian tersebut pas antara yang satu dengan yang lainnya, (Gambar 3.15)



Gambar 3.15 Proses Matching *belt* pertama dengan kedua

(Sumber: Amril, 2015)

12. Lakukan pengasaran (*buffing*) pada permukaan karet yang terdapat *fabric*, (Gambar 3.16).



Gambar 3.16 Proses pengasaran karet yang terdapat *fabric*

(Sumber: Summa Learning Centre, 2001)

13. Pembersihan permukaan sambungan dari debu karet,
14. Penerapan atau sesuaikan kedua bagian *belt* (*upper & lower*) secara bersamaan untuk mendapatkan hasil yang “*Match*”. (Gambar 3.17)



Gambar 3.17 Pengepasan sambungan *belt*

(Sumber: Summa Learning Centre, 2001)

15. Penimbangan STL – RF4 seberat 0.6 gr 2 kali menggunakan timbangan digital.
16. Kuaskan STL – RF4 tersebut 1 kali pada masing masing permukaan seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Proses pengeleman pertama

(Sumber: Summa Learning Centre, 2001)

17. Keringkan STL – RF4, tunggu selama 2 menit.
18. Setelah pengeleman pertama selesai, kemudian lakukan pengeleman ke 2 sebelum penyatuan *belt* dilaksanakan. (Total pengeleman tiap spesimen 1.2gr) terlihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Proses pengeleman kedua

(Sumber: Summa Learning Centre, 2001)

19. Pemberian *tie rubber* (kompon karet) seluas permukaan sambungan.
20. Penyatuan kedua ujung *belt* secara bersamaan, *check* ujung tepian *fabric* dari masing – masing *belt* hingga posisi *ply* benar – benar *match* tanpa adanya *overlapping* (Gambar 3.20).



Gambar 3.20 Proses penyatuan kedua *belt*

(Sumber: Summa Learning Centre, 2001)

21. Gunakan palu karet dari arah tengah ke tepian sambungan untuk menghindari terjadinya udara terjebak dan memperkecil terbentuknya udara *blister*, sebanyak 6 kali seperti pada Gambar 3.21



Gambar 3.21 Proses perekatan *belt*

22. Gunakan palu karet untuk memukul bagian sambungan *belt*, agar sambungan tersebut lebih merekat, sebanyak 6 kali pemukulan (Gambar 3.22)



Gambar 3.22 Proses perekatan sambungan *belt* dengan palu karet

(Sumber: Amril, 2015)

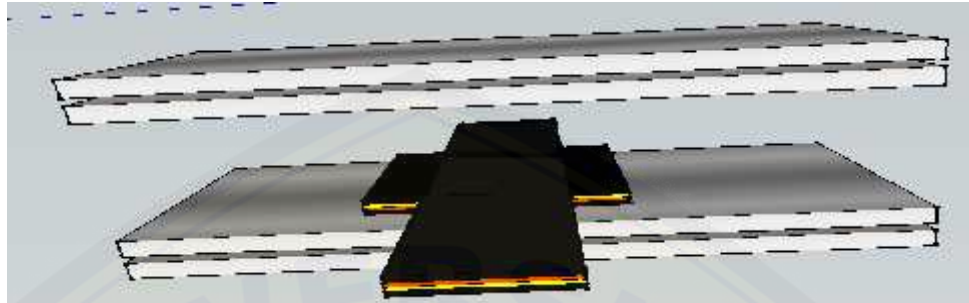
23. Panaskan terlebih dahulu pemanas (*heater*) sesuai dengan suhu yang diinginkan, sebelum spesimen diletakkan diatas pemanas (*heater*).
24. Setelah *heater* benar –benar sudah mencapai suhu yang diinginkan, matikan heater terlebih dahulu sebelum menempatkan spesimen yang sudah jadi di atas *heater* (pemanas). Jangan lupa beri aluminium foil agar *belt* tidak rusak, serta damping pada bagian samping sambungan *belt*, agar saat proses vulkanisasi lem tidak meluber keluar (Gambar 3.23)



Gambar 3.23 Spesimen diatas *heater* (pemanas)

(Sumber: Amril, 2015)

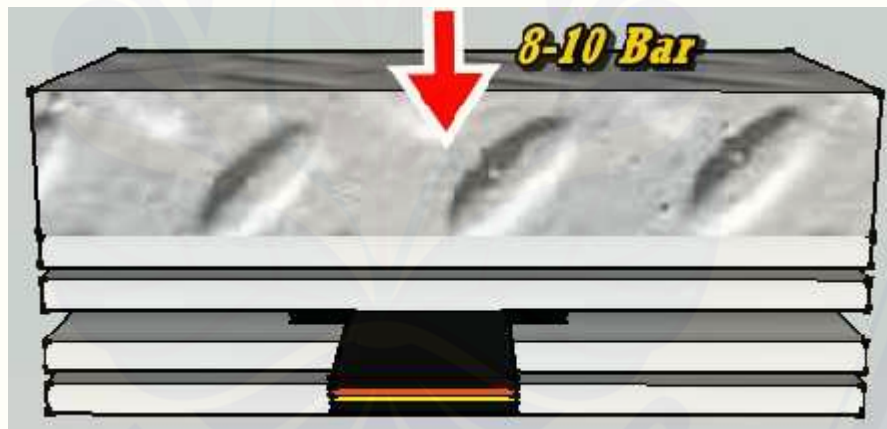
25. Tutup bagian atas *belt* dengan *heter* yang ke dua (Gambar 3.24).



Gambar 3.24 *Belt* di jepit di antara dua *heater* (pemanas)

(Sumber: Amril, 2015)

26. Beri tekanan atau beban di atas *heater* dengan beban 8-10 bar seperti pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Pembebanan diatas *heater* (pemanas)

(Sumber: Amril, 2015)

27. Start vulkanisasi dengan variasi suhu. Suhu pada pemanas diukur dengan *thermocouple* dan diatur suhunya menggunakan termokontrol untuk menjaga agar suhu dalam kondisi tetap. Panas secara konduksi tersebut dilakukan selama 30 menit, dengan suhu (90°C , 100°C , dan 110°C). Toleransi suhu $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

28. Dinginkan spesimen uji secara perlahan, dengan cara mendinginkan *belt* dalam posisi masih terjepit *heater* selama 20 Menit dan diamkan selama 2 Jam pada suhu ruang.

3.5 Pengambilan Data

Dalam melakukan pengolahan, data diambil dari proses uji tarik pada spesimen-spesimen dengan menggunakan Universal Machine Testing Merk ESSOM TM 113 30 KN yang terdapat pada laboratorium desain dan uji bahan Fakultas Teknik Universitas Jember seperti pada Gambar 3.26. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan panduan ASTM D3039 yang merupakan standard pengujian kekuatan tarik pada komposit bermatrik polimer.



Gambar 3.26 Pengujian Tarik

(Sumber: Nasiruddin, 2014)

Perhitungan ultimate tensile strength menggunakan persamaan dibawah ini:

$$t_u = F_{\max} / A$$

$$i = P_i / A$$

dimana :

t_u = kekuatan tarik ultimate MPa [psi];

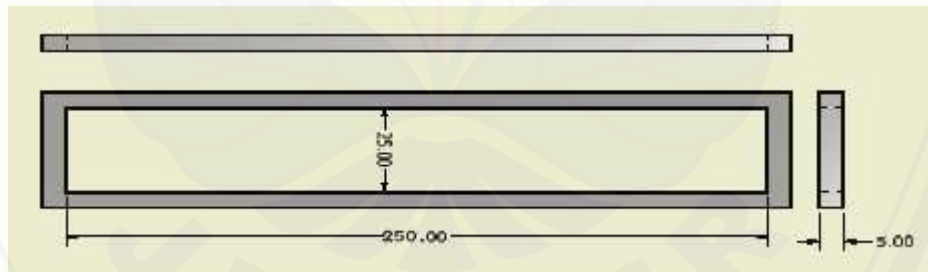
F_{\max} = beban maksimum sebelum kegagalan, N [lbf];

i = tegangan tarik pada data yang ke-, MPa [psi];

P_i = beban pada data yang ke-, N [lbf];

A = luasan seksi silang rata-rata dari lebar x panjang , mm^2 [in^2],

Sebelum melakukan pengujian tarik, dilakukan penandaan dan pengecekan dimensi terhadap spesimen-spesimen yang telah dibuat. Hal ini bertujuan agar spesimen yang diuji sudah seragam dan tidak berbeda jauh dari yang disarankan pada ASTM D3039. Pengecekan dimensi spesimen dilakukan dengan cara meletakkan spesimen pada alat bantu penyortiran seperti pada Gambar 3.27, dimana jika spesimen tidak sesuai atau jauh dari dimensi yang disarankan, maka harus diganti dengan spesimen yang baru (Nasiruddin, 2014).



Gambar 3.27 Alat Bantu Penyortiran

(Sumber: Nasiruddin, 2014)

Langkah langkah penggunaan alat uji tarik :

1. Siapkan material yang akan diuji (material harus memenuhi standart ASTM yang tersedia).
2. Hidupkan pembaca nilai kekuatan dan pertambahan panjang pada mesin uji tarik.

3. Pastikan dongkrak/hidrolik pada posisi awal (longgarkan pemutar pada hidrolik yang digunakan untuk memastikan pada posisi awal kemudian kembalikan pada posisi awal agar hidrolik dapat berfungsi dengan baik).
4. Cekam material pada pencekam yang tersedia (usahakan tercekam dengan baik agar data atau nilai yang dihasilkan valid).
5. Setelah tercekam dengan baik, pompa hidrolik naik turun menggunakan tuas yang ada hingga material patah.
6. Kemudian catat nilai yang tertera pada alat pembaca.
7. Setelah selesai menggunakan, longgarkan pemutar hidrolik sehingga ada pada posisi semula.
8. Jangan lupa matikan alat pembaca setelah menggunakan uji tarik.

3.6 Analisa Pengolahan Data dan Rancangan Percobaan

3.6.1 Analisis Data dengan Eksperimen 2 Faktorial

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Uji statistik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah eksperimen faktorial. Penggunaan eksperimen faktorial ini, karena terdapat lebih dari satu faktor yang mempengaruhi sesuatu yang diamati. Seperti yang ada dalam penelitian ini yaitu pengaruh *Bias Cut* dan Temperatur Uji (Sastrosupadi, 2000). Bentuk Eksperimen Faktorial model Rancangan Acak Lengkap dari data hasil percobaan Y_{ijk} dapat dinyatakan dengan model matematis:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad \text{Dengan, } i = 1, 2 \text{ dan } 3$$

$$j = 1, 2, \text{ dan } 3$$

$$k = 1, 2, 3, 4$$

Dimana :

Y_{ijk} : Pengamatan pada faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j dan ulangan ke-k

μ : Rataan umum

- μ_i : Pengaruh faktor A taraf ke-i
- μ_j : Pengaruh faktor B taraf ke-j
- $(\mu)_{ij}$: Pengaruh interaksi dari faktor A taraf ke-i dan faktor B taraf ke j
- ϵ_{ijk} : Pengaruh acak pada faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j dan ulangan ke-k

Model matematik tersebut memperlihatkan bahwa data Y_{ijk} merupakan nilai – nilai rata-rata (μ) yang bervariasi sebagai akibat adanya pengaruh perlakuan (μ_i), perlakuan (μ_j), dan galat (ϵ_{ijk}) akibat adanya ulangan. Asumsi untuk model acak ialah : $\mu_i \sim N(0, \sigma^2)$, $\mu_j \sim N(0, \sigma^2)$, $(\mu)_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Model Acak merupakan model dimana perlakuan-perlakuan yang dicobakan merupakan sampel acak dari populasi perlakuan dan kesimpulan yang diperoleh berlaku secara umum untuk seluruh populasi perlakuan.

3.6.2 Uji Hipotesis

Hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti disimpulkan bahwa hipotesis salah, dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi sebesar 5% atau 0,05 dengan artian ada kemungkinan lima diantara seratus keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru (Sastrosupadi, 2000). Model acak untuk membuktikan hipotesis bahwa uji F dilakukan untuk membandingkan besaran pengaruh perlakuan (KTP) atau pengaruh kontrol lokal (pengelompokan) dengan efek kondisi (galat) (KTG). Model acak untuk membuktikan Hipotesis bahwa :

1. Hipotesis pengaruh utama faktor A

H_0 : Faktor A tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati

H_1 : Faktor A berpengaruh positif terhadap respon yang diamati

- Jika nilai sig (A) > , maka H_0 diterima, H_1 ditolak
- Jika nilai sig (A) < , maka H_0 ditolak, H_1 diterima

2. Hipotesis pengaruh utama faktor B

H_0 : Faktor B tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati

H_1 : Faktor B berpengaruh positif terhadap respon yang diamati

- Jika nilai sig (B) > , maka H_0 diterima, H_1 ditolak
- Jika nilai sig (B) < , maka H_0 ditolak, H_1 diterima

3. Hipotesis pengaruh interaksi

H_0 : Faktor A dengan faktor B tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati

H_1 : Faktor A dengan faktor B berpengaruh positif terhadap respon yang diamati

- Jika nilai sig (A*B) > , maka H_0 diterima, H_1 ditolak
- Jika nilai sig (A*B) < , maka H_0 ditolak, H_1 diterima

Uji F dilakukan untuk membandingkan besaran pengaruh perlakuan (KTP) atau pengaruh kontrol lokal (pengelompokan) dengan efek kondisi (galat) (KTG).

Kriteria keputusan : H_0 ditolak jika $F_{hit} > F_{a-1, a(r-1)}$

Kriteria Pengambilan Keputusan :

1. Jika $F_{hitung} < F_{tabel 5\%}$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa *bias cut* dan temperature uji tidak berpengaruh terhadap kekuatan tarik *belt* atau dengan kata lain Terima H_0 dan Tolak H_1
2. Jika $F_{hitung} > F_{tabel 5\%}$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa *bias cut* dan temperature uji berpengaruh terhadap kekuatan tarik *belt* atau dengan kata lain Tolak H_0 dan Terima H_1

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan *bias cut* (faktor A) terhadap kekuatan tarik *belt*. Faktor *bias cut* tersebut dilakukan dengan beberapa yaitu (0,5;0,6;0,7) BW dengan variasi temperatur penyambungan (faktor B) yaitu 90°C, 100°C, dan 110°C. Rancangan yang digunakan adalah Percobaan Faktorial dengan 3 kali ulangan (r) (Sastrosupadi, 2000).

3.6.3 Metode Sidik Ragam

Pada Rancangan acak lengkap ada dua sumber keragaman yaitu sumber keragaman perlakuan dan sumber keragaman galat. Besar nilai kedua komponen sumber keragaman inilah yang menentukan perbedaan antar perlakuan. Dalam penelitian ini menggunakan Metode Sidik Ragam ulangan sama yaitu bila jumlah perlakuan sama (p) dan setiap perlakuan diulang (n) kali level maka, dapat dibuat tabel hasil pengamatan dengan pola Sidik Ragam Rancangan Acak Lengkap (RAL) (Sastrosupadi, 2000). Yang disajikan dalam tabel 3.2 yaitu tabel Anova sebagai berikut.

Tabel 3.2 Tabel Anova

Sumber Variasi	Derajat Bebas (DB)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Rataan (KR)	F hitung	F tabel 5%
Perlakuan	AB-1	$\frac{\sum(\sum y_j)^2}{r} - FK$	JK P/DBP	KTP/KTG	
Faktor A	A-1	$\frac{\sum(\sum y_i)^2}{rB} - FK$	JK A/DBA	KTA/KTG	
Faktor B	B-1	$\frac{\sum(\sum y_j)^2}{rA} - FK$	JK B/DBB	KTB/KTG	
Interaksi AB	(A-1)(B-1)	JK P - JK A - JK B	JK AB/DBAB	KTAB/KTG	
Galat	AB(r-1)	JK T - JK P	JK G/DBG		
Total	(ABr-1)	$\sum(\sum_{ijk})^2 - FK$			

Keterangan:

- Perlakuan faktor A = A
- Perlakuan faktor B = B
- Jumlah ulangan = r
- Derajat bebas perlakuan (DBP) = AB - 1

e. Derajat bebas faktor A (DBA)	= A - 1
f. Derajat bebas faktor B (DBB)	= B - 1
g. Derajat bebas faktor AB (DBAB)	= (A - 1) (B - 1)
h. Derajat bebas galat (DBG)	= AB (r - 1)
i. Derajat bebas total (DBT)	= (ABr - 1)
j. Faktor koreksi (FK)	= $\frac{(\sum y_i)^2}{A \times B \times r}$
k. Jumlah kwadrat total (JKT)	= $(\sum_{ijk})^2 - FK$
l. Jumlah kwadrat perlakuan (JKP)	= $\frac{\sum (\sum y_i)^2}{r} - FK$
Jumlah kwadrat faktor A (JKA)	= $\frac{\sum (\sum y_i)^2}{rB} - FK$
m. Jumlah kwadrat faktor B (JK faktor B)	= $\frac{\sum (\sum y_i)^2}{rA} - FK$
n. Jumlah kwadrat faktor AB (JK faktor AB)	= JKP - JKA - JKB
o. Jumlah kwadrat galat (JKG)	= JKT - JKP
p. Kwadrat tengah perlakuan (KTP)	= JKP / DBP
q. Kwadrat tengah faktor A (KTA)	= JKP / DBA
r. Kwadrat tengah faktor A (KTB)	= JKP / DBB
s. Kwadrat tengah faktor AB (KTAB)	= JKP / DBAB
t. Kwadrat tengah galat (KTG)	= JKG / DBG

3.6.4 Prosedur Uji Anova

Secara umum prosedur uji anova mengikuti prosedur uji hipotesis sebagaimana yang telah dibahas pada uji-uji hipotesis sebelumnya (Harinaldi, 2005).

- a. Pernyataan Hipotesis Nol dan Hipotesis Alternatif
- b. Pemilihan Tingkat Kepentingan (*Level Of Significance*),
- c. Penentuan Distribusi yang Digunakan
- d. Pendefinisian Daerah-Daerah Penolakan atau Kritis
- e. Pernyataan Aturan Keputusan (*Decision Rule*)
- f. Pengambilan Keputusan secara Statistik

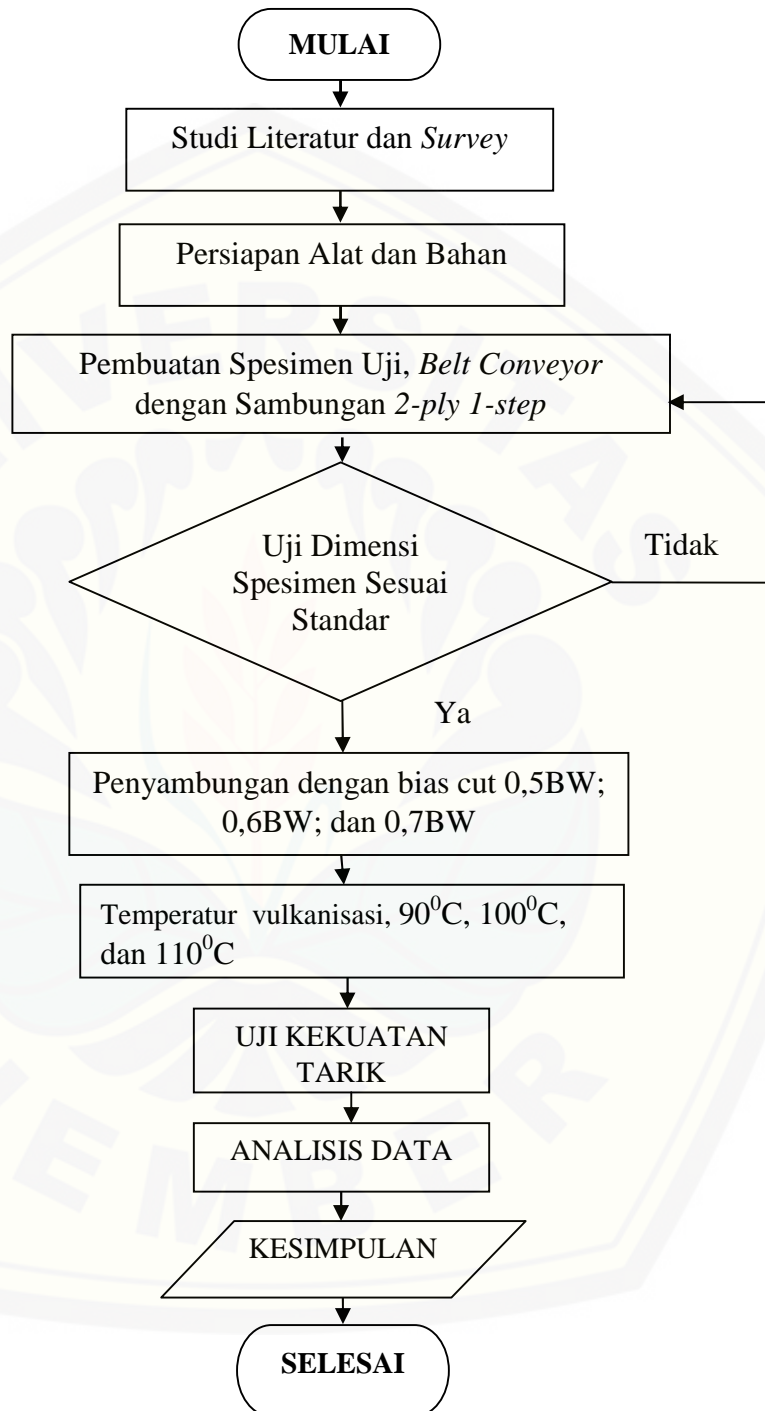
3.7 Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada penelitian ini disajikan ke dala tabel. Adapun tabel pengujian pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Hasil pengujian tarik *belt*

No	Suhu Pemanasan <i>Belt</i> (°C)	<i>Bias Cut</i>	Perhitungan Kekuatan Tarik (MPa)			Rata – rata (MPa)
			Pengulangan 1	Pengulangan 2	Pengulangan 3	
1	90	0,5BW				
2		0,6BW				
3		0,7BW				
4	100	0,5BW				
5		0,6BW				
6		0,7BW				
7	110	0,5BW				
8		0,6BW				
9		0,7BW				

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.28 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Temperatur vulkanisasi berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan belt conveyor. Dari variasi temperatur vulkanisasi antara 90⁰ C, 100⁰ C dan 110⁰ C didapatkan rata-rata nilai kekuatan tarik tertinggi pada suhu vulkanisasi 110⁰ C yaitu sebesar 1,64 Mpa. Sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada suhu vulkanisasi 90⁰ C yaitu sebesar 0,96 Mpa. Dikarenakan pada temperatur 90⁰ C *interlocking* belum terbentuk dan pada temperatur 110⁰ C sudah terbentuk *interlocking* antara *tie gum*, perekat dan permukaan *belt*. Suhu paling optimum adalah 110⁰ C.
2. Besar *bias cut* berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekuatan tarik pada suhu vulkanisasi 90⁰ C, 100⁰ C dan 110⁰ C yaitu pada suhu 90⁰ C *bias cut* 0,5BW sebesar 0,96 Mpa dan 0,7 BW meningkat menjadi 1,33 Mpa. Pada suhu 100⁰ C *bias cut* 0,5BW sebesar 1,29 Mpa dan 0,7 BW meningkat menjadi 1,55 Mpa. Dan pada suhu 110⁰ C *bias cut* 0,5 BW sebesar 1,34 Mpa dan 0,7 BW meningkat menjadi 1,64 Mpa.
3. Secara keseluruhan semakin tinggi nilai *bias cut* maka semakin meningkatkan kekuatan tarik dan semakin optimum suhu vulkanisasi juga semakin meningkatkan nilai kekuatan tarik sambungan *belt conveyor*.
4. Berdasarkan pengamatan uji makro yang sudah dilakukan terdapat 3 kegagalan yang terjadi. Yang pertama yaitu adhesif failure atau terlepasnya sambungan lem pada salah satu sisi sambungan. Kedua yaitu kohesif failure atau sambungan lem terlepas pada kedua sisi *top cover* dan *bottom cover* belt serta terputusnya sambungan *belt* di ujung sambungan.

5.2 Saran

1. Penelitian tentang sambungan *belt conveyor* perlu dikembangkan, guna meningkatkan nilai kekuatan tarik paling optimum dari sambungan tersebut, mengingat pentingnya proses penyambungan *belt conveyor* dalam dunia industri.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk jenis *belt*, jenis lem, dan jumlah *ply belt* yang akan disambung dengan metode *hot splicing* guna mengoptimumkan nilai kekuatan tarik dari sambungan belt.
3. Dalam melakukan penyambungan *belt conveyor* dengan metode *hot splicing*, pastikan bahwa perlakuan untuk setiap spesimen yang akan diuji benar-benar sama.
4. Dalam melakukan pemotongan dan pengupasan spesimen *belt* pastikan semua belt terpotong dengan baik dan benar agar pada saat dilakukan penyambungan tidak mempengaruhi kekuatan tarik pada saat di uji tarik.
5. Perlu adanya pengawasan untuk mastikan tekanan yang tertera pada *pressure gauge* adalah konstan karena suhu berpengaruh terhadap viskositas fluida yang terdapat di dalam dongkrak yang dapat mengubah indikator tekanan di *pressure gauge*.
6. Perlu adanya penambahan jumlah spesimen untuk pengulangan pada saat pengujian agar data yang didapatkan setelah diuji benar-benar valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Amril Nurman. 2015. *Pengaruh Variasi Waktu Dan Suhu Terhadap Kekuatan Tarik Belt Conveyor (2-Ply 1-Step) Pada Penyambungan Sistem Panas*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember : Universitas Jember
- Arisyabana Moch. 2015. *Analisis Pengaruh Variasi Bias Cut Sambungan Belt Conveyor 2 Ply Terhadap Kekuatan Tarik Dengan Menggunakan Metode Cold Spicing*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember : Universitas Jember
- ASTM Organization. 2000. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹ - ASTM D3039*, Annual Book of ASTM Standard. United States.
- Asyari, Darius 2007, *Diktat Manajemen Pemeliharaan Mesin*, Jakarta: Badan Penerbit Universitas Darma Persada.
- Dezzain. 2016, *Kenapa Memilih Timbangan Digital*. Diperoleh dari www.cosarosta.com [2 Februari 2016].
- Harinaldi. 2005. *Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik Dan Sains*. Jakarta: Erlangga.
- Ilyandi, Rifki. 2012. *Analisa Sambungan Belt Conveyor Pada Pabrik Semen*. Riau: Badan Penerbit Universitas Riau.
- Indonetwork. 2016 , *Platform Adhesive Terbesar di Indonseia*. Diperoleh dari www.indonetwork.co.id/alloffers/kimia/45/lem.html [12 Januari 2016]
- Kopeliovich, Dmitri. 2014. *Fundamentals of adhesive bonding*. diperoleh dari http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=fundamentals_of_adhesive_bonding [4 April 2016].
- Kumar, Ch. S. S. R., dan Nijasure, A. M. (1997). *Vulcanization of Rubber.General/Article*, Resonance : 55-59.
- Kurniawan. 2011. *Analisa Kekuatan Sambungan Belt Conveyor Dengan Metode Cold Splicing Di Pabrik PT Semen Gresik Tuban*. Surabaya: ITS
- Nasiruddin. 2014. *Analisis Termal-Mekanis Komposit Matrik Polyester Dengan Aditif Partikel Montmorillonite Berpenguat Serat Kenaf Anyam*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember : Universitas Jember

- Nuruddin Hamid. 2015. *Pengaruh Variasi Bias Cut Pada Sambungan Belt Conveyor 2-Ply 1-Step Terhadap Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Cold Splicing Dengan Pengujian Tarik Sistem Panas*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember : Universitas Jember.
- Ompusunggu, M. 1987. *Pengetahuan Lateks Havea*. Sungei Putih, Medan : Lembaga Pendidikan Perkebunan LPP
- Raos, Pero (2006). *Stress-Strain Analysis of Single Lap Tensile Loaded Adhesive*
- Summa Learning Center. 2001. *Pengetahuan Dasar Rubber Splice*. Jakarta.
- Summa Learning Center. 2001. *Conveyor System Ops. & Maintenance*. Jakarta.
- Sastrosupadi, Adji. 2000. *Rancangan Percobaan Praktis Bidang Pertanian*. Yogyakarta: Kanisius.
- Siregar, Fauzi. 2004. *Alat Transportasi Benda Padat*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Universitas Jember. 2011. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember: Jember University Press.
- Wignjosoebroto, Sritomo. 1996. *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*. Surabaya : Penerbit Guna Widya.
- Zainuri Muhib Ach, ST. 2006. *Material Handling and Equipment*. Edisi Pertama, CV.Andi Ofset, Yogyakarta.

LAMPIRAN

A. Data Hasil Pengujian

Pengujian tarik dari hasil sambungan *belt conveyor 2-Ply* dengan metode *hot splicing* dengan variasi suhu dan *bias cut* menggunakan mesin uji tarik Universal Machine Testing Merk ESSOM TM 113 30 kN Lab. Berikut adalah tabel yang menyatakan hasil display gaya maksimum kekuatan tarik *belt* setelah penyambungan:

- Gaya tarik menurut display pada alat uji (N)

Tabel A1. Tabel Pengambilan Data Pengujian Tarik (Display)

No	Temperatur Vulkanisasi (°C)	Bias cut	F _{max} (N) Display			Rata-Rata F _{max} (N)
			1	2	3	
1	90	0,5 BW	25	30	31	29
2		0,6 BW	22	44	47	38
3		0,7 BW	68	32	18	39
4	100	0,5 BW	52	25	38	38
5		0,6 BW	48	25	55	43
6		0,7 BW	62	33	42	46
7	110	0,5 BW	36	39	44	40
8		0,6 BW	46	25	58	43
9		0,7 BW	48	36	61	48

Data yang telah diperoleh dari display harus dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Pada kalibrasi alat ini menggunakan pegas sebagai alat bantu kalibrasi yaitu dengan cara menarik pegas yang telah dicekam pada mesin lalu menariknya sampai display menyatakan bahwa gaya tersebut 2N, 3N, 4N, 5N, dan 6N dengan di ukur berapa pertambahan panjangnya. Hasil pengukuran panjang pegas dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel A2. Hasil pengukuran panjang pegas

Display (N)	Pegas(mm)	Linier
2	35,56	30,652
3	72,37	74,297
4	112,42	117,942
5	158,78	161,587
6	210,58	205,232

Setelah itu membuat grafik dan mencari garis *trendline* untuk mencari persamaan kalibrasi yang akan dipakai, grafik dapat dilihat pada gambar 4.1:

**Gambar A1.** Grafik kalibrasi pegas

Tahap selanjutnya adalah mengaplikasikan nilai yang tertera pada display uji tarik pada hasil persamaan *trendline* :

$$y = 43,645x - 56,638$$

dimana : y = gaya tarik yang sebenarnya (N)

x = nilai yang tertera pada display uji tarik

Maka didapat nilai yang sudah terkalibrasi seperti yang tertera pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel A3. Nilai pada display yang sudah terkalibrasi

No	Temperatur (°C)	Bias cut	F _{max} (N)			Rata-Rata F _{max} (N)
			1	2	3	
1	90	0,5 BW	1034,49	1252,71	1296,36	1194,52
2		0,6 BW	903,55	1863,74	1994,68	1587,32
3		0,7 BW	2911,22	1340,00	728,97	1660,07
4	100	0,5 BW	2212,90	1034,49	1601,87	1616,42
5		0,6 BW	2038,32	1034,49	2343,84	1805,55
6		0,7 BW	2649,35	1383,65	1776,45	1936,48
7	110	0,5 BW	1514,48	1645,42	1863,74	1676,61
8		0,6 BW	1951,03	1034,49	2374,77	1820,10
9		0,7 BW	2038,32	1514,58	2605,71	2052,87

Untuk mencari nilai kekuatan tarik maka digunakan persamaan dimana nilai beban maksimal dibagi luas penampang 1250 mm^2 , ($\sigma = \frac{F}{A}$). Luasan (A) yang digunakan merupakan luas dari penampang sambungan *belt*. dengan lebar penampang sebesar 25 mm dan panjang penampang 50 mm yang hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel A4. Nilai Kekuatan Tarik Sambungan *Belt Conveyor*

No	Temperatur (°C)	Bias cut	σ_{tu} (MPa)			Rata-Rata σ_{tu} (MPa)
			1	2	3	
1	90	0,5 BW	0,83	1,00	1,04	0,96
2		0,6 BW	0,72	1,49	1,60	1,27
3		0,7 BW	2,33	1,07	0,58	1,33
4	100	0,5 BW	1,77	0,83	1,28	1,29
5		0,6 BW	1,63	0,83	1,88	1,44
6		0,7 BW	2,12	1,11	1,42	1,55
7	110	0,5 BW	1,21	1,32	2,49	1,34
8		0,6 BW	1,56	0,83	1,98	1,46
9		0,7 BW	1,63	1,21	2,08	1,64

➤ Data Output Software SPSS 18.0

Tabel A5. Output data SPSS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: KekuatanTarik

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.991 ^a	8	.124	.370	.923
Intercept	51.281	1	51.281	153.152	.000
SuhuVulkanisasi	.512	2	.256	.764	.480
BiasCUt	.028	2	.014	.041	.959
SuhuVulkanisasi * BiasCUt	.451	4	.113	.337	.850
Error	6.027	18	.335		
Total	58.299	27			
Corrected Total	7.018	26			

a. R Squared = .141 (Adjusted R Squared = -.241)

➤ Pengujian Belt Tanpa Sambungan

Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan antara besarnya kekuatan tarik *belt* dengan sambungan dan tanpa adanya sambungan serta mendapatkan nilai efisiensi dari sambungan *belt conveyor*.

Pengujian tarik belt tanpa sambungan dilakukan dengan memotong belt dengan dimensi 250 mm x 25 mm x 5 mm. Berikut data hasil yang sudah dilakukan.

Tabel A6. F_{\max} belt tanpa sambungan

No	F_{\max} (N)			Rata-Rata F_{\max} (N)
	1	2	3	
1	260	251	258	256

Tabel A7. F_{\max} belt tanpa sambungan yang sudah terkalibrasi

No	F_{\max} (N)			Rata-Rata F_{\max} (N)
	1	2	3	
1	11291,06	10898,26	11203,77	11131,03

Dengan menggunakan rumus kekuatan tarik dengan luas penampang sebesar 125 mm². Maka diperoleh nilai kekuatan tarik sebagai berikut.

Tabel A8. Nilai kekuatan tarik belt tanpa sambungan

No	tu (MPa)			Rata-Rata tu (MPa)
	1	2	3	
1	9,03	8,71	8,96	8,90

B. Proses Pembuatan Spesimen

1. Proses Penandaan *bias cut* yang akan dipakai



2. Proses Pemotongan spesimen sesuai *bias cut*.



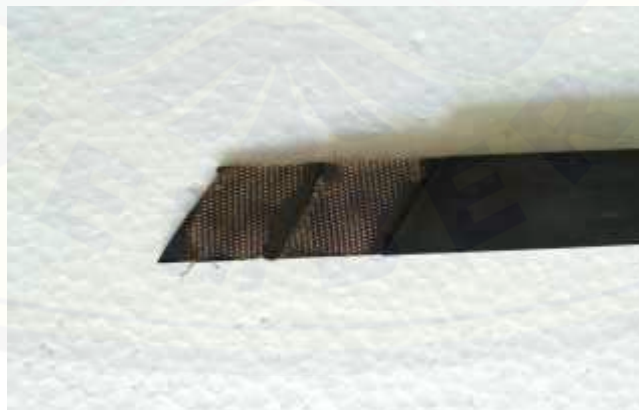
3. Proses Pengupasan belt



4. Proses Penggreindaan belt



a. Sebelum digerinda



b. Sesudah digerinda

5. Proses Pengeleman belt



a. Proses Penimbangan lem



b. Proses Pengeleman dan Penambahan Material berupa *Tie Rubber*



c. Proses Pengepasan antara *top cover* dan *bottom cover*



d. Proses Pengepresan dengan menggunakan palu karet agar udara tidak terjebak di dalam belt

C. Proses Vulkanisasi

1. Proses Pre Heating dan Persiapan



a. Proses Pemanasan Heater



b. Proses setting temperatur

2. Proses Peletakan spesimen di atas alat vulkanisasi



3. Proses Pemberian tekanan pada spesimen dengan menggunakan dongkrak sebesar 8 bar



4. Proses vulkanisasi dengan variasi suhu 90, 100, 110 derajat celcius.



5. Proses Pengangkatan Spesimen.



D. Pengujian Spesimen

1. Proses Kalibrasi alat uji tarik





2. Proses Pengujian Spesimen





E. Gambar Spesimen Uji

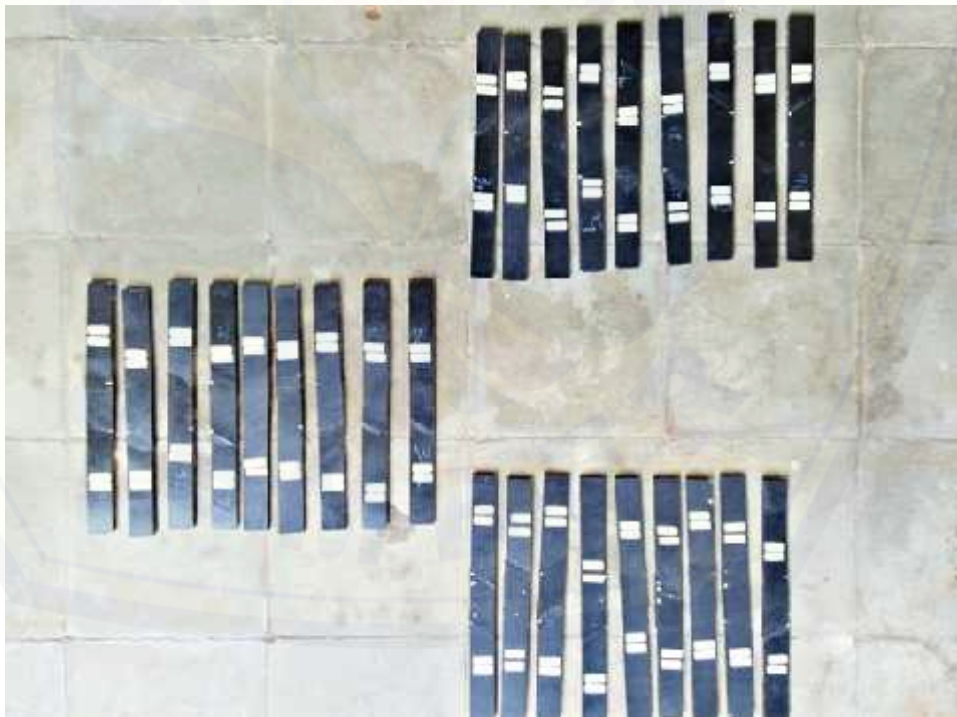
1. Gambar Spesimen Uji Sebelum Penyambungan














Perbedaan Bias Cut 0,5BW ; 0,6BW ; 0,7BW

2. Gambar Spesimen Uji Setelah Penyambungan



3. Gambar Spesimen Setelah pengujian

	Bias Cut 0,5 x BW	Bias Cut 0,6 x BW	Bias Cut 0,7 x BW
Suhu 90° C			
Suhu 100° C			
Suhu 110° C			

F. Pengujian ASTM D 3039



Designation: D 3039/D 3039M – 00

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is located under the final designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript symbol (²) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

1.3 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents, therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*
 D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement²
 D 883 Terminology Relating to Plastics²
 D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins²
 D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics³
 D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials⁴
 D 3878 Terminology for Composite Materials⁴
 D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Ma-

- trix Composite Materials⁴
 E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
 E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
 E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
 E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵
 E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶
 E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature²
 E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶
 E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁶
 E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶
 E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
 E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁷
 E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁷

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental dimensions, shown within square brackets: [M] for mass, [L] for length, [T] for time, [Θ] for thermodynamic temperature,

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-10 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D10.04 on Laminas and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published in D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 55a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 10.05.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.02.

 D 3039/D 3039M

and $[nd]$ for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *nominal value, n* —a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region, n* —a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain, $\epsilon^{\text{transition}}$ $[nd]$, n* —the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile loading and ply delamination.

3.3 *Symbols:*

3.3.1 A —minimum cross-sectional area of a coupon.

3.3.2 B_y —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about y axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3 B_z —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about z axis of the specimen (about the wide direction).

3.3.4 CV —coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6 F^m —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7 F^s —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 t —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

3.3.10 L_{min} —minimum required bonded tab length.

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

3.3.13 P^f —load carried by test coupon at failure.

3.3.14 P^{max} —maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15 s_x —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16 w —coupon width.

3.3.17 x_i —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18 \bar{x} —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19 δ —extensional displacement.

3.3.20 ϵ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength.

5.1.2 Ultimate tensile strain.

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity.

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

6.1 *Material and Specimen Preparation*—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 *Gripping*—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 *System Alignment*—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 *Edge Effects in Angle Ply Laminates*—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant 0° plies, the effect is not as significant.

7. Apparatus

7.1 *Micrometer*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of

D 3039/D 3039M

the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $\pm 25 \mu\text{m}$ [$\pm 0.001 \text{ in.}$] is adequate for width measurement.

7.2 Testing Machine—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

7.2.1 Testing Machine Heads—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

7.2.2 Drive Mechanism—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

7.2.3 Load Indicator—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within $\pm 1 \%$ of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

Note 1—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

7.2.4 Grips—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of load applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

Note 2—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in uniaxial coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with other hydraulic grips or an energy cloth interface, or both.

7.2.5 System Alignment—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain

gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (E_x) and width plane (E_y) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

7.2.5.2 When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top-back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer) and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq. 1-3 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon and the total percent bending B_{total} . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate

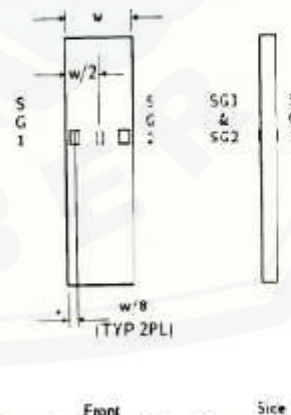


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

 D 3039/D 3039M

strain levels ($>1000 \mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_1 = \frac{\epsilon_{xx} - \epsilon_1}{\epsilon_{xx}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_2 = \frac{4\Delta(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{xx}} \times 100 \quad (2)$$

where:

B_1 = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %

B_2 = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %

ϵ_1 , ϵ_2 , and ϵ_3 = indicated longitudinal strains displayed by Gauges 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

ϵ_{avg} = $(|\epsilon_1| + |\epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$.

The total bending component is:

$$\bar{B}_{tot} = |B_1| + |B_2| \quad (3)$$

7.3 Strain-Indicating Device—Load-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].⁷ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.⁸

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

⁷ A typical gage would have a 3.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal stability.

⁸ Tuttle, H. E. and Brinson, H. P., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol. 24, No. 1, March 1984, pp. 54-60; strain noted in Vol. 26, No. 2, June 1986, pp. 131-134.

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 11.

7.3.2 Extensometers—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

Note 3—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage lengths as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

7.4 Conditioning Chamber—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vapor-level-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required relative vapor level to within $\pm 3\%$. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.5 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.

8. Sampling and Test Specimens

8.1 Sampling—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

Note 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to

D 3039/D 3039M

equilibrium, and any of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimen being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 *General Requirements*

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (see 11.10).

8.2.2 *Specific Recommendations*

8.2.2.1 *Width, Thickness, and Length*—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage

section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and tolerated coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated sawedge grips are used with cant, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.⁶

8.2.2.5 *Tab Material*—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]s laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed ^a
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 30°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^aSee 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

⁶E-G Plus Material K224 cloth, Grl E20-1, available from Norton Company, Troy, NY (2011), has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

D 3039/D 3039M

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^a

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, ^b
0° unidirectional	5 [0.2]	200 [10.0]	1.0 [0.040]	50 [2.25]	1.5 [0.060]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.060]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	200 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	200 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^aDimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied to long as the requirements of Table 1 are met.

have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 Bonded Tab Length—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{min} = F^{0.5} / 2F^m \tag{4}$$

where:

- L_{min} = minimum required bonded tab length, mm [in.],
- $F^{0.5}$ = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- h = coupon thickness, mm [in.], and
- F^m = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

8.2.3 Detailed Examples—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed but satisfy the requirements of Table 2 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

8.3 Specimen Preparation:

8.3.1 Panel Fabrication—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

8.3.2 Machining Methods—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

8.3.3 Labeling—Label the coupons so that they will be

distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

10. Conditioning

10.1 *Standard Conditioning Procedure*—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10% relative humidity).

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

Note 5—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test. For proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as $A = w \times h$, at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm² (in²).

D 3039/D 3039M

- FIGURE 2 TENSION TEST SPECIMEN DRAWING (SI)**
1. REFERENCE DRAWING: BLACK HEADERS WITH AND WITHOUT GAGE MARKETS TO BE FOLLOWED
 2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
NO DECIMAL: ± 0.1
ONE DECIMAL: ± 0.05
TWO DECIMALS: ± 0.02
 3. ALL ANGLES MUST BE PLANES OF 90°
 4. SURF ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO \perp WITHIN $\pm 1^\circ$
 5. FINISH ON MACHINE EDGES: NOT TO EXCEED 16 μ (SYMBOLICALLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1 WITH ROUGHNESS SYMBOLS TO BE SHOWN) (NOTE 2)
 6. TABS ARE TO BE PROVIDED FOR THE JOINTS, SUBJECT TO ANY SPACE REQUIREMENTS OF THE TYPE OF TESTING MACHINE. JOINT ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO (A) OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COMPEN THICKNESS, TAB WIDTH, TAB LENGTH, TAB HEIGHT, TAB BEVEL, AND TAB ANGLES
 7. SEE DIMENSIONAL FORM TO BE USED TO READ TABS

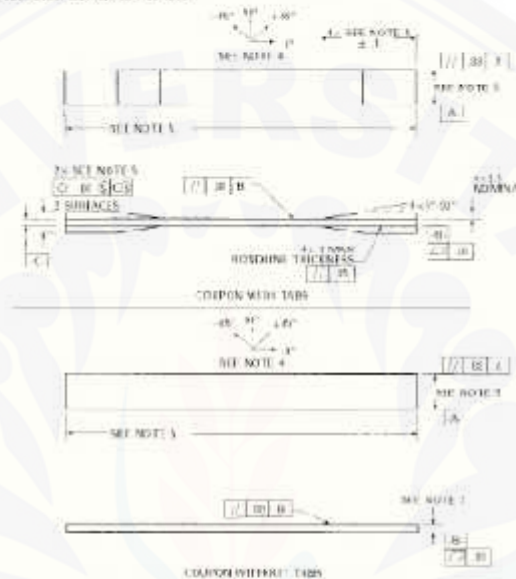


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min^{-1} .

11.3.2 *Constant Load-Speed Tests*—A standard load displacement rate of 2 mm/min (0.05 in./min).

Note 6—Use of a fixed load speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by load speed have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as elevated temperature testing of a moist specimen pose unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Flare the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

Note 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment.

D 3039/D 3039M

DRAWING NOTES

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.1M 1993, SUBJECT TO THE FOLLOWING.
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

0.1	±.01	±.01
0.001	±.001	±.001
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±5'.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A], WITHIN ±5°.
5. FINISH OR MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 44.7 (SYMBOLICALLY IN ACCORDANCE WITH ASA D-1.1 WITH ROUNDNESS SYMBOL INSTEAD OF RPS).
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY ANGLES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, CORPION LENGTHS, TAB MATERIAL, TAB ORIENTATION, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

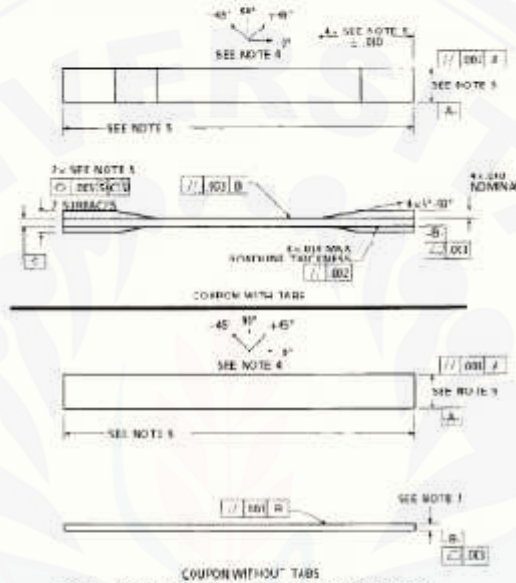


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

that results in premature failure of the specimen at the grip. When using untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a scratch grip on the specimen without jaw marking damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm (0.5 in.) past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tabs since because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the percent bending is no more than 3%. When bending is greater

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\frac{\mu\epsilon}{1000}^A$	300	200

^ANOTE: $\mu\epsilon = 0.001$ absolute strain.

^BThis strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50% of ultimate is recommended.

than 3% averaged strains from back to back transducers of like kind are recommended.

$$B_p = \frac{\epsilon_f - \epsilon_b}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (5)$$

where:

- ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$
- ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$ and
- B_p = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the load to the specimen at the

D 3039/D 3039M

specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

Note 8. Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load versus time data.

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

$$F^u = P^u/A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (7)$$

where:

F^u = ultimate tensile strength, MPa [psi];

P^u = maximum load before failure, N [lbf];

σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];

P_i = load at i th data point, N [lbf]; and

A = average cross-sectional area from 11.2.3, $\text{mm}^2[\text{in.}^2]$.

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 8 and report the results to

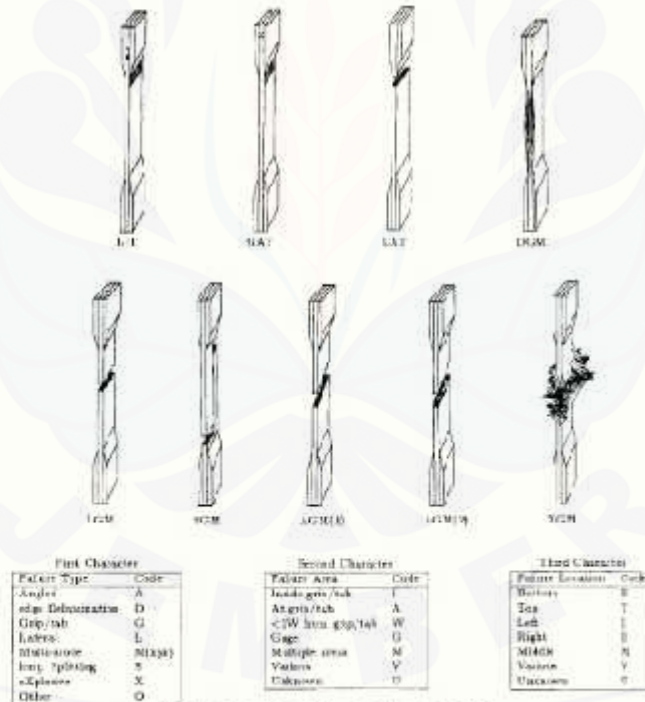


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

D 3039/D 3039M

three significant figures:

$$e_i = \delta_i / L_g \quad (8)$$

where:

- e_i = tensile strain at i th data point, $\mu\epsilon$;
- δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.];
- L_g = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

Note 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 Tensile Chord Modulus of Elasticity—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

12.3.1.1 The calculated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{chord} = \Delta\sigma / \Delta\epsilon \quad (9)$$

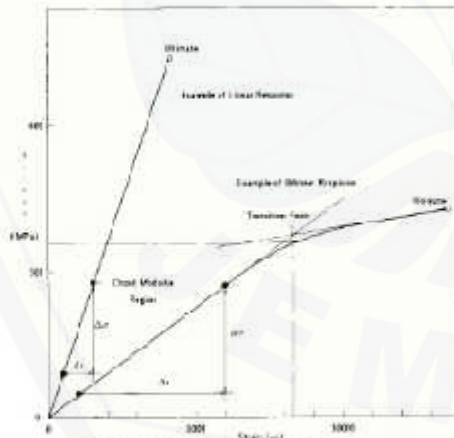


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

where:

- E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.007).

12.3.2 Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions):

Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

Note 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

Note 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 2. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_2 , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_1 , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_2 / \Delta\epsilon_1 \quad (10)$$

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_1$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 2, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta\epsilon_2$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.002).

12.4.2 Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 Transition Strain—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and report this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical

D 3039/D 3039M

example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 **Statistics**—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) / (n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1} / \bar{x} \quad (13)$$

where:

- \bar{x} = sample mean (average);
- s_{n-1} = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- n = number of specimens; and
- x_i = measured or derived property

13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requester):

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).
- 13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.
- 13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.
- 13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.
- 13.1.7 Ply orientation/stacking sequence of the laminate.
- 13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.
- 13.1.9 Average ply thickness of the material.
- 13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.
- 13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.
- 13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.
- 13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.
- 13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.
- 13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travel crs and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine, environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note 1: the failure load was less than the maximum load before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results

D 3039/D 3039M

include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.¹⁰ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material D (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

- A IM-6/250-6 un-bias 90°
- B IM-6/250-6 un-bias 90°a
- C IM-6/250-6 un-bias 90°0°a
- F Glass/epoxy fabric 7731
Guns-Ciba B 779 Epoxy-
vary aligned.

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase I: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5. Tech Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1993.

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{X}	s	S	S_w	$S_x/\bar{X}, \%$	$S_w/\bar{X}, \%$
Strength, ksi						
A	342.09	8.49	10.58	12.78	3.12	3.73
B	6.22	0.22	0.25	0.92	3.54	13.84
C	120.27	3.04	10.50	10.82	2.94	3.94
F	16.10	0.20	1.52	0.42	2.00	3.24
G	121.22	1.59	3.22	3.92	2.29	3.29
MODULUS, Msi						
A	23.57	0.65	0.53	0.66	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.34	0.02	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.10	0.08	0.34	0.03	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.22	1.20	2.06
Failure Strain, %						
A	1.30	0.05	0.37	0.08	4.90	5.10
B	0.60	0.04	0.38	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.36	0.06	5.25	5.27
F	2.64	0.10	0.27	0.12	3.79	4.02
G	1.27	0.03	0.30	0.02	3.88	4.12

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_x/\bar{X} and S_w/\bar{X} represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of $S_x/\bar{X}, \%$	Average of $S_w/\bar{X}, \%$
Strength	3.11	3.00
MODULUS	2.62	3.22
Failure strain	3.04	7.52

14.1.9 The consistency of agreement in repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, material and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 Bias—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength