



**PENGARUH VARIASI TEKANAN DAN TEMPERATUR
TERHADAP KEKUATAN TARIK BELT CONVEYOR PADA
PENYAMBUNGAN METODE HOT SPLICING**

PROPOSAL

Oleh
Rahmat Febrianto
NIM 121910101120

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



**PENGARUH VARIASI TEKANAN DAN TEMPERATUR
TERHADAP KEKUATAN TARIK BELT CONVEYOR PADA
PENYAMBUNGAN METODE HOT SPLICING**

PROPOSAL

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

Oleh
Rahmat Febrianto
NIM 121910101120

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

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Kusyadi dan Ibu Nur Hidayati yang tercinta yang senantiasa memberikan kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, serta doa yang senantiasa beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Kakek Abd. Rahman dan nenek Rohkirwati dan seluruh keluargaku yang tercinta, yang selalu mendukung dan memberi pelajaran-pelajaran berharga;
3. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang memberikan waktu dan ilmunya, serta membantu penulis dalam menyelesaikan studi S1 ini. Semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari;
4. Saudaraku Warga Teknik Mesin, khususnya MESINROLAS yang selali mendukung dalam aktivitas akademik maupun non akademik;
5. Kepada seluruh civitas akademik yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membantu penulis;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTO

“Man Jadda Wa Jadda (siapa yang bersungguh-sungguh akan berhasil), Man Shabara Zhafira (siapa yang bersabar akan beruntung), Man Sara Darbi Ala Washala (siapa yang berjalan di jalur-nya akan sampai)”

(Anonim)

“Orang tidak peduli seberapa hebat kita, orang juga tidak peduli seberapa kaya kita, orang juga tidak peduli seberapa pintar kita, yang mereka pedulikan hanya satu, apakah keberadaan kita memberikan manfaat untuk mereka”

(Dr. Gamal Albinsaid)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rahmat Febrianto

NIM : 121910101120

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Variasi Tekanan dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik *Belt Conveyor* Pada Penyambungan Metode *Hot Splicing*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Juni 2016

Yang menyatakan,

(Rahmat Febrianto)

NIM 121910101120

SKRIPSI

Pengaruh Variasi Tekanan dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik *Belt Conveyor* Pada Penyambungan Metode *Hot Splicing*

Oleh

Rahmat Febrianto

NIM 121910101120

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

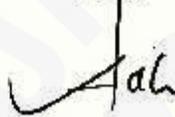
Skripsi berjudul "Pengaruh Varasi Tekanan dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik Belt Conveyor Pada Penyambungan Metode Hot Splicing" telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Selasa, 28 Juni 2015

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

DPU,

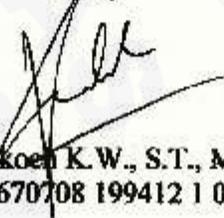


M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.
NIP 19800307 201212 1 003

Penguji I,

Hari Arbiantara S.T., M.T.
NIP 19670924 199412 1 001

DPA,



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

Penguji II,



Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T.
NIP 19751006 200212 1 002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Tekanan dan Temperatur terhadap Kekuatan Tarik *Belt Conveyor* pada Penyambungan Metode *Hot Splicing* ; Rahmat Febrianto, 121910101120; 2016; 89 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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.

Dalam penelitian ini digunakan belt dengan tipe *EP 100 2P*. Variasi yang digunakan adalah dengan tekanan 5 Bar, 6 Bar, dan 7 Bar dan Temperatur Vulkanisasi 120°C , 130°C dan 140°C dan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui 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 2,49 MPa yaitu pada pengujian tarik sambungan *belt* dengan tekanan 5 Bar dengan temperatur vulkanisasi 120°C , sedangkan rata-rata hasil pengujian tarik terendah sebesar 1,11 MPa diperoleh dari sambungan *belt* dengan Tekanan 6 Bar dengan temperature vulkanisasi 140°C .

SUMMARY

Effect of Pressure and Temperature Variation Of Conveyor Belt Tensile Strength at Hot Splicing Method ; Rahmat Febrianto, 121910101120; 89 Pages; Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.

Belt conveyor is basically a fairly simple equipment . The tool consists of a belt that is resistant to the transport of solid objects . Belt used on this conveyor belt can be made from various types of materials eg rubber , plastics , leather or metal depending on the type and nature of the material to be transported . For transporting hot materials , belt use is made of metal that is resistant to heat.

This research use belt with the type of EP 100 2P. Variation is used with the pressure of 5 bar, 6 bar, and 7 bar and Temperature Vulcanization 120⁰ C , 130⁰ C and 140⁰ C and this study was conducted to determine the increase in tensile strength conveyor belt connection . 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 2.49 MPa tensile testing is in connection with a pressure of 5 bar belt with temperature vulcanization 120⁰ C, while the average results of tensile test a low of 1.11 MPa was obtained from belt connection with pressure of 6 bar with temperature vulcanization 140⁰ C.

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala nikmat hidup dan kesempatan menuntut ilmu, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Tekanan dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik *Belt Conveyor* Pada Penyambungan Metode *Hot Splicing*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana Teknik. Dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak dibantu, dibimbing, dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

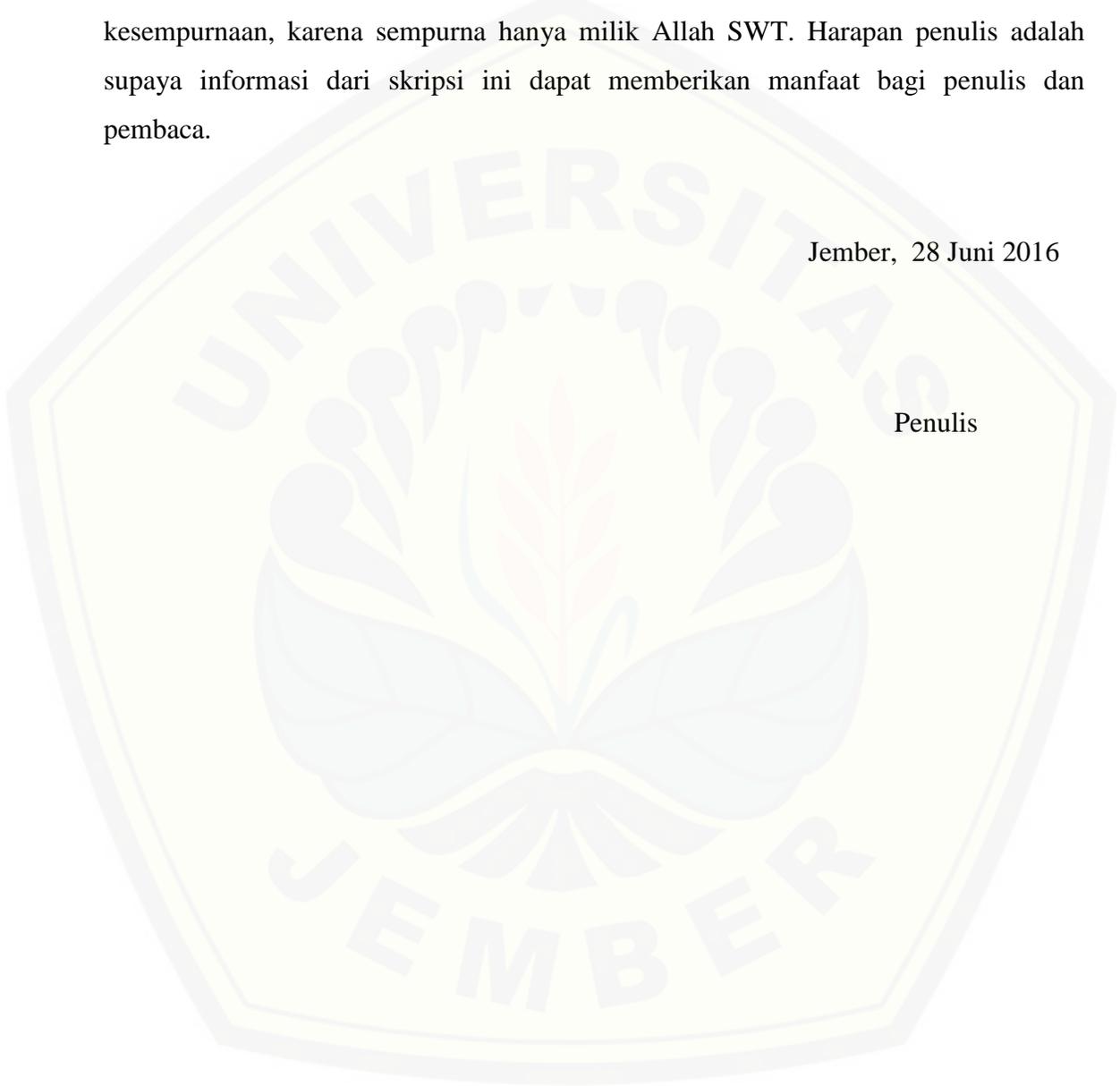
1. Kedua orangtua saya, Bapak Kusyadi dan Ibu Nur Hidayati, terima kasih atas dukungan moril dan materil sehingga saya dapat menyelesaikan studi S1;
2. Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Dr. R. Koekoeh K.W., S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini;
3. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T. selaku dosen penguji I, dan Bapak Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini;
4. Seluruh keluarga besar dari Bapak dan Ibu saya yang selalu memberi dukungan kepada saya agar selalu semangat;
5. Saudara Teknik Mesin 2012 yang selalu memotivasi saya untuk terus semangat, salam Solidarity Forever;
6. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
7. Kepada seluruh civitas akademik yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membantu penulis;

8. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir;

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena sempurna hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 28 Juni 2016

Penulis

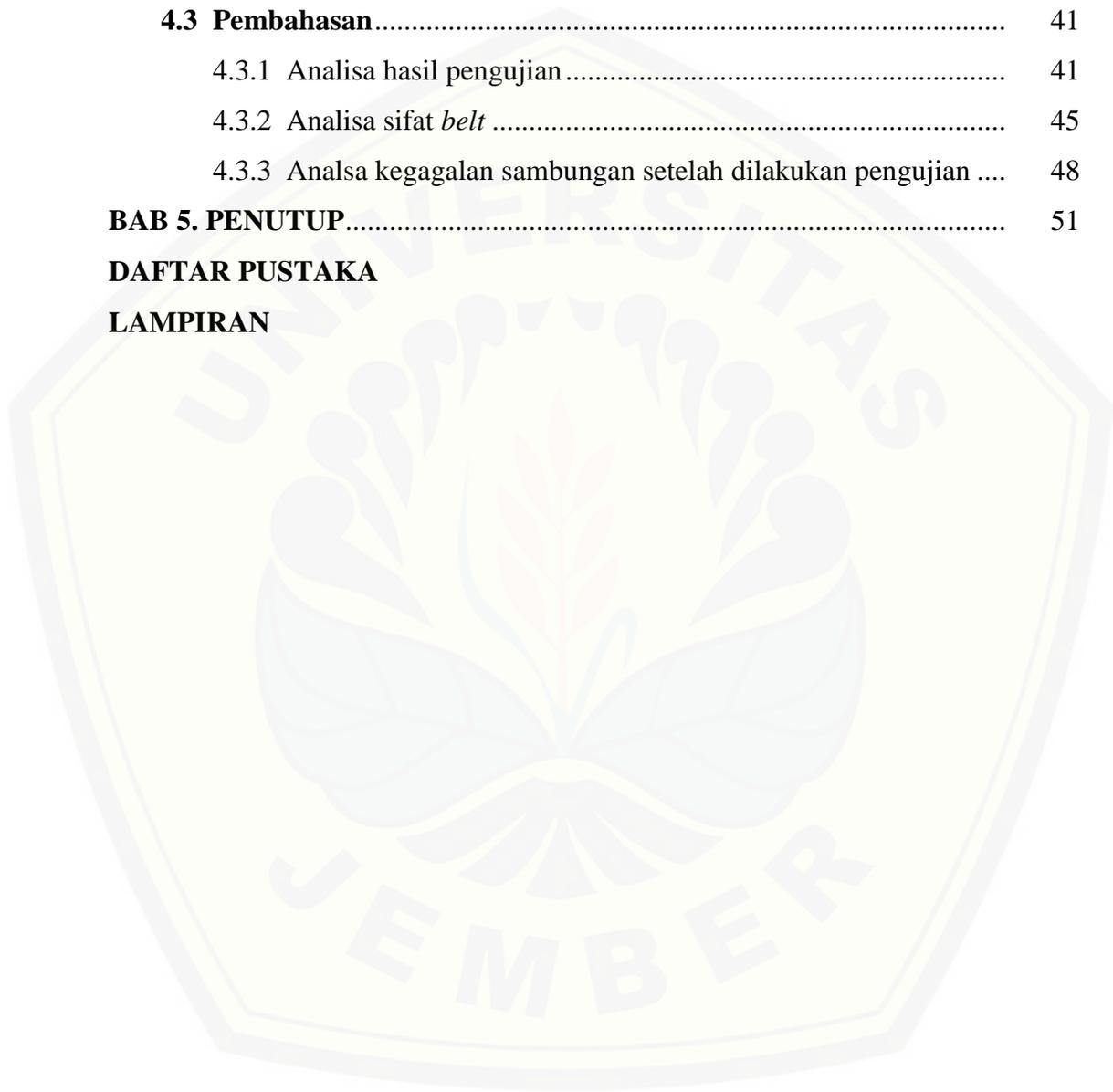


DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBNG	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
<i>SUMMARY</i>	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	4
1.5 Hipotesa.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Belt Conveyor</i>	5
2.2 Prinsip Kerja <i>Belt Conveyor</i>.....	6

	HALAMAN
2.3 Bagian-Bagian <i>Belt Conveyor</i>	7
2.3.1 <i>Belt</i>	7
2.4 Sambungan <i>Adhesive</i>	13
2.4.1 Teori perekatan	13
2.4.2 Faktor-faktor yang menentukan kekuatan ikatan perekat....	15
2.4.3 Kelebihan dan kekurangan pada sambungan <i>Adhesive</i>	15
2.5 Penyambungan <i>Belt Conveyor</i>	17
2.5.1 <i>Belt Splicing</i>	17
2.5.2 Panjang sambungan	18
2.5.3 Tipe penyambungan.....	20
2.5.4 Perbedaan mendasar <i>cold splicing</i> dan <i>hot splicing</i>	21
2.5.5 <i>Cold splicing</i>	21
2.5.6 <i>Hot splicing</i>	21
2.6 Foto Makro Spesimen dan Hasil Uji Tarik Tanpa Sambungan.	22
2.6.1 Foto makro spesimen <i>belt conveyor</i>	22
2.6.2 Hasil Uji tarik <i>belt</i> tanpa sambungan.....	24
2.7 Uji Tarik	24
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3.1 Alat.....	27
3.3.2 Bahan	28
3.4 Variabel penelitian	30
3.4.1 Penetapan variabel terikat dan variabel bebas	30
3.5 Prosedur pembuatan spesimen	30
3.6 Proses pengujian spesimen	35
3.7 Analisis Data	37
3.8 Diagram alir penelitian	38

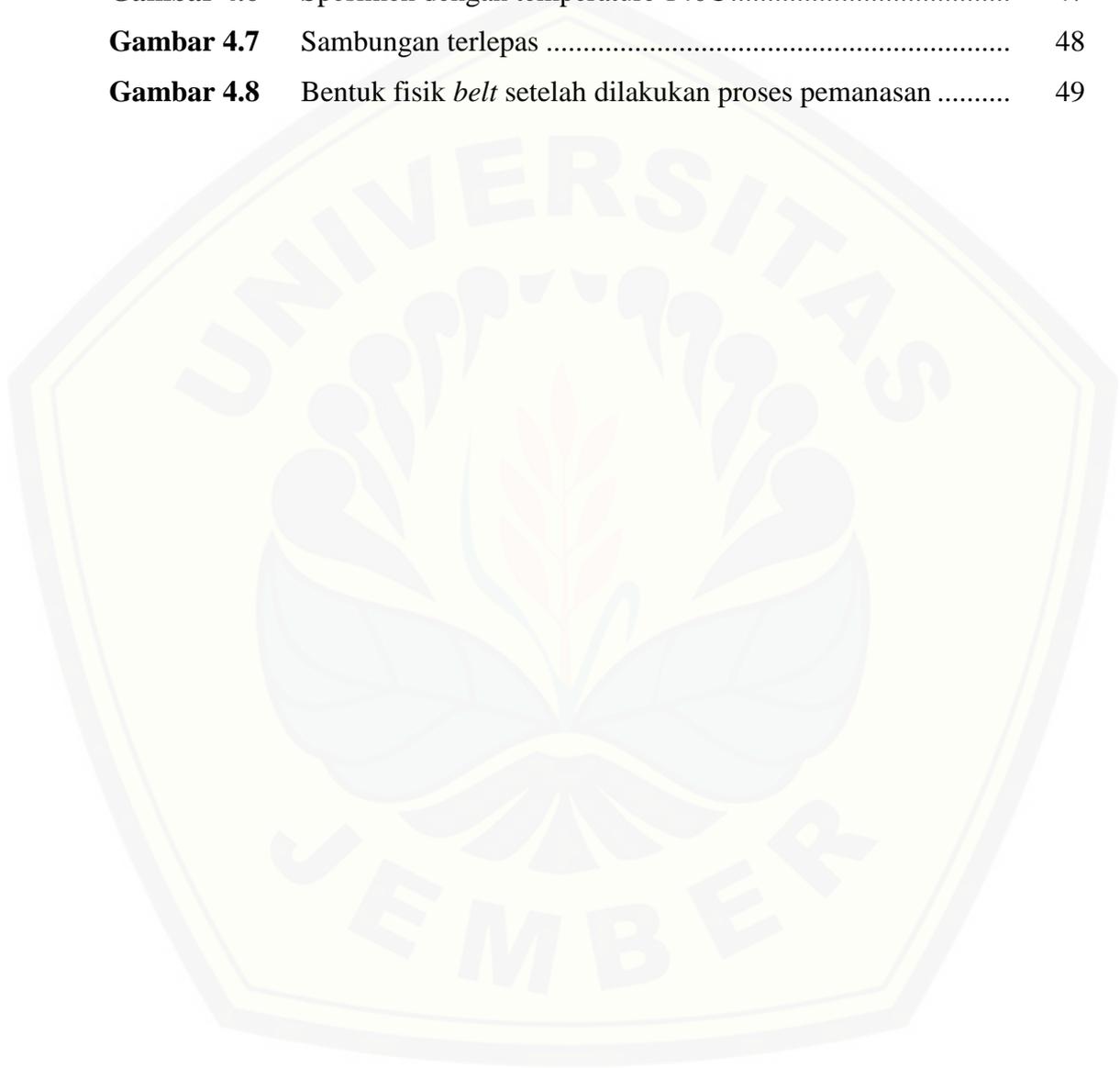
	HALAMAN
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Data hasil pengujian kekuatan tarik sambungan <i>belt</i>	39
4.2 Analisa dan pembahasan	40
4.3 Pembahasan	41
4.3.1 Analisa hasil pengujian	41
4.3.2 Analisa sifat <i>belt</i>	45
4.3.3 Analsa kegagalan sambungan setelah dilakukan pengujian	48
BAB 5. PENUTUP	51
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

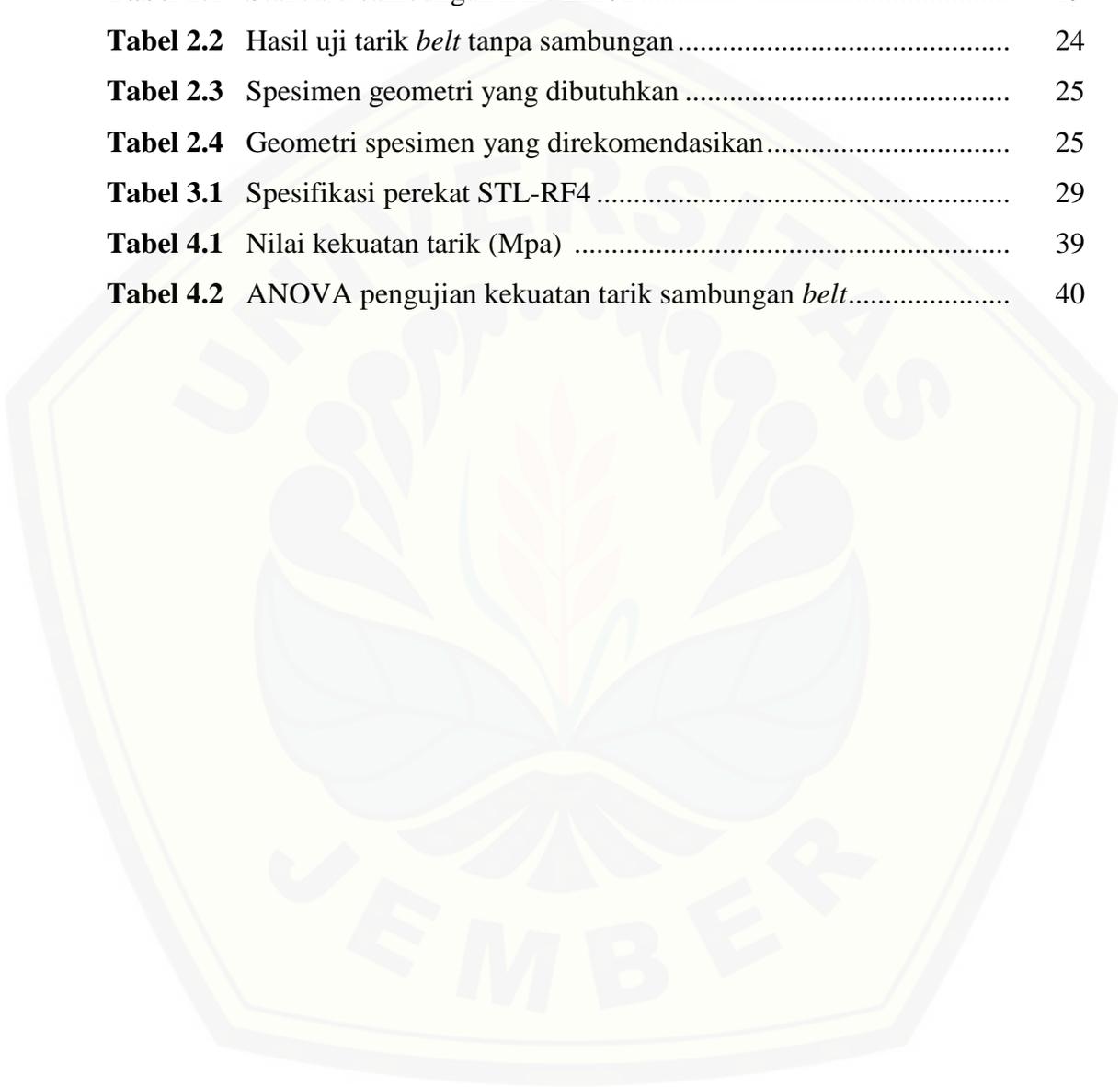
	HALAMAN
Gambar 2.1 Prinsip kerja <i>belt conveyor</i>	6
Gambar 2.2 Bagian-bagian <i>belt conveyor</i>	7
Gambar 2.3 <i>Fabric Belt</i>	8
Gambar 2.4 <i>Steel cord belt</i>	9
Gambar 2.5 Bagian-bagian <i>belt</i>	10
Gambar 2.6 Struktur sambungan perekat.....	13
Gambar 2.7 Teori perekatan.....	14
Gambar 2.8 Kegagalan ikatan perekatan	16
Gambar 2.9 Jumlah <i>ply</i> dan cara penyambungannya.....	19
Gambar 2.10 Cara penyambungan.....	20
Gambar 2.11 Foto makro sambungan <i>belt</i>	23
Gambar 2.12 Hasil uji tarik <i>belt</i> tanpa sambungan.....	24
Gambar 2.13 Standart sampel uji ASTM D3039	25
Gambar 3.1 Dimensi Spesimen.....	29
Gambar 3.2 <i>Bias cut</i>	31
Gambar 3.3 Penggambaran panjang step dan garis potong	31
Gambar 3.4 Pemotongan <i>bias cut</i>	31
Gambar 3.5 Proses <i>Matching</i>	32
Gambar 3.6 Proses perekatan <i>belt</i> dengan bantuan palu.....	33
Gambar 3.7 Proses perekatan sambungan belt dengan palu karet	33
Gambar 3.8 <i>Belt</i> dijepit diantara dua <i>heater</i>	34
Gambar 3.9 Pembebanan diatas <i>heater</i>	34
Gambar 3.10 Pengujian tarik	35
Gambar 3.11 Alat bantu uji dimensi spesimen	36
Gambar 3.12 Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 4.1 Grafik hubungan tekanan terhadap kekuatan tarik.....	41
Gambar 4.2 Hubungan temperatur terhadap kekuatan tarik	43

	HALAMAN
Gambar 4.3 Spesimen dengan temperatur 120C.....	45
Gambar 4.4 Perekat meluber keluar.....	46
Gambar 4.5 Spesimen dengan temperature 130C.....	46
Gambar 4.6 Spesimen dengan temperature 140C.....	47
Gambar 4.7 Sambungan terlepas	48
Gambar 4.8 Bentuk fisik <i>belt</i> setelah dilakukan proses pemanasan	49



DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Standard sambungan DIN 22102	19
Tabel 2.2 Hasil uji tarik <i>belt</i> tanpa sambungan	24
Tabel 2.3 Spesimen geometri yang dibutuhkan	25
Tabel 2.4 Geometri spesimen yang direkomendasikan	25
Tabel 3.1 Spesifikasi perekat STL-RF4	29
Tabel 4.1 Nilai kekuatan tarik (Mpa)	39
Tabel 4.2 ANOVA pengujian kekuatan tarik sambungan <i>belt</i>	40



DAFTAR LAMPIRAN

	HALAMAN
Lampiran A. Perhitungan ANOVA.....	52
Lampiran B. Alat yang digunakan	57
Lampiran C. Bahan yang digunakan.....	58
Lampiran D. Cara penyambungan	59
Lampiran E. Kalibrasi data	61
Lampiran F. Foto makro hasil uji <i>belt</i>	64
Lampiran G. Spesifikasi <i>Belt</i>	65
Lampiran H. Aplikasi bidang manufaktur	67
Lampiran I. Tingkat kepercayaan (0,05)	69
Lampiran J. ASTM D3039	70
Lampiran K. Proses pengerjaan	82

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan manufaktur di Indonesia dalam era globalisasi selayaknya berusaha untuk memproduksi barang berkualitas tinggi dengan biaya rendah dalam rangka meningkatkan daya saing baik di pasar domestik maupun pasar global. Situasi ini mendorong mereka untuk mengadaptasi sistem manufaktur yang dapat mempercepat proses penciptaan nilai tambah, antara lain dengan melakukan hubungan kontraktual dengan para pemasok dan investor (Chou, 2016).

Dalam meningkatkan produktivitas suatu industri, diperlukan manajemen industri yang baik, salah satunya dalam pemilihan *material handling* yang tepat. Salah satu pertimbangan pemilihan *material handling* yaitu dalam hal pemindahan atau yang biasa disebut *material transport* demi memperlancar kinerja suatu industri dalam hal pemindahan barang atau *loading*. *Material transport* merupakan hal yang penting dalam operasi perusahaan. Biaya yang cukup tinggi dari *material transport*, memicu pesatnya perkembangan teknologi demi memenuhi kebutuhan sistem operasi terbaru, salah satu contoh *material transport* adalah *belt conveyor* (Chou, 2016).

Salah satu contoh alat pemindah barang atau *material handling* adalah *conveyor*. Peningkatan produktivitas 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. *Conveyor* berfungsi memindahkan barang dari suatu proses ke proses selanjutnya. Terdapat berbagai jenis *conveyor* salah satunya adalah *belt conveyor*.

Belt conveyor adalah salah satu komponen dari *belt conveyor* sistem yang berfungsi untuk membawa material dan meneruskan gaya putar. Dipilihnya *belt*

conveyor sistem sebagai saran transportasi material adalah karena tuntutan untuk meningkatkan produktivitas, menurunkan biaya produksi dan juga kebutuhan optimasi dalam rangka mempertinggi efisiensi kerja. Prinsip kerja *belt conveyor* adalah mentransport material yang ada diatas *belt*, dimana umpan atau inlet pada sisi tail dengan menggunakan *chute* dan setelah sampai di *head* material ditumpahkan akibat *belt* berbalik arah. *Belt* digerakkan oleh *drive/head pulley* dengan menggunakan motor penggerak. *Head pulley* menarik *belt* dengan prinsip adanya gesekan antara permukaan drum dengan *belt*, sehingga kapasitas tergantung gaya gesek tersebut (Siregar, 2004).

Metode manajemen pemeliharaan dilihat dari permohonan pemeliharaan, permintaan pemeliharaan atau perbaikan, dan kartu permintaan pemeliharaan atau perbaikan. Oleh karena itu pemeliharaan terhadap *belt* yang merupakan salah satu komponen utama *belt conveyor* perlu dilakukan agar tidak terjadi sobek dan putusnya *belt*. Untuk menangani permasalahan tersebut dilakukan penyambungan *belt conveyor*, guna mengetahui variasi tekanan dan temperature pada sambungan *belt conveyor* 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. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan dan temperatur sambungan terhadap kekuatan tarik *belt conveyor 2-ply 1-step* dengan metode *hot splicing* (Siregar, 2004).

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 (Amril, 2015).

Oleh karena itu pada penelitian ini akan mencari temperatur sambungan maksimum dengan variasi 120⁰C, 130⁰C, dan 140⁰C. Dari modul rema tip top dengan

petunjuk operasi dari tekanan vulkanisir sekitar 100-125 (Psi), dan juga pada penelitian ini akan mencari tekanan maksimum dengan variasi 5 bar, 6 bar, 7 bar.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi tekanan sambungan *belt conveyor* terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur penyambungan terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing* pada *belt conveyor*?
3. Bagaimana hasil analisa sambungan setelah dilakukan pengujian tarik?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penyambungan *belt conveyor* menggunakan metode *hot splicing* dengan variasi tekanan dan variasi temperatur sambungan.
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 D3039 (*American Society of Testing and Material*).

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan sambungan *belt conveyor* terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur sambungan *belt conveyor* terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*.
3. Mengetahui hasil analisa spesimen sambungan setelah dilakukan pengujian tarik

1.4.2 Manfaat

Adapun Manfaat dari Penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi tekanan sambungan *belt conveyor* terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing*.
2. Dapat mengetahui pengaruh variasi temperatur sambungan terhadap kekuatan tarik dengan menggunakan metode *hot splicing* pada *belt conveyor*.
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 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini adalah variasi tekanan penyambungan berpengaruh terhadap besarnya gaya yang mampu diterima oleh sambungan *belt conveyor*. Hal ini disebabkan oleh pemberian tekanan ketika vulkanisasi agar rekatannya semakin kuat dan juga mempengaruhi udara yang keluar dari proses vulkanisasi. Menurut Contitech (2016), untuk pemberian tekanan pada proses penyambungan *belt* disarankan pada metode *hot splicing*. Agar spesimen merekat baik, pada proses penyambungan diberikan tekanan yang cukup *selama* vulkanisasi.

Temperatur vulkanisir penyambungan *belt conveyor* juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik dari hasil penyambungan pada metode *hot splicing* karena sifat mekanik *belt* tergantung dari vulkanisasi. Menurut Ompusunggu (1987), karet alam memiliki temperatur penggunaan yang paling tinggi sekitar 99⁰C, melunak pada suhu 130⁰C dan terurai sekitar 200⁰C.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Belt Conveyor*

Transportasi material padat adalah permintaan industri. Karena kenyataannya bahwa *belt conveyor* konstruksinya sederhana, fleksibel dalam konfigurasi, dan serbaguna, biasanya digunakan untuk mentransport bahan baku (seperti biji dan butir) dengan jarak yang dekat maupun jarak yang jauh. Dibandingkan dengan kabel baja *belt conveyor*, keunggulan dari *belt conveyor* adalah biaya murah dan mudah dalam perawatannya, *belt* merupakan komponen penting dalam sistem *belt conveyor*. Uji substansial dapat mempengaruhi keselamatan dan kinerja sistem *belt conveyor* misalnya, tiba-tiba robeknya *belt conveyor* akan menyebabkan jatuhnya material yang diangkut, mungkin tidak hanya membahayakan pekerja tetapi juga menyebabkan kecelakaan bencana yang akan mengakibatkan kerugian besar bagi perusahaan. Karena itu, penelitian tentang sistem *belt conveyor* telah menarik cukup perhatian (Chou, 2016).

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 (Nurrudin, 2015).

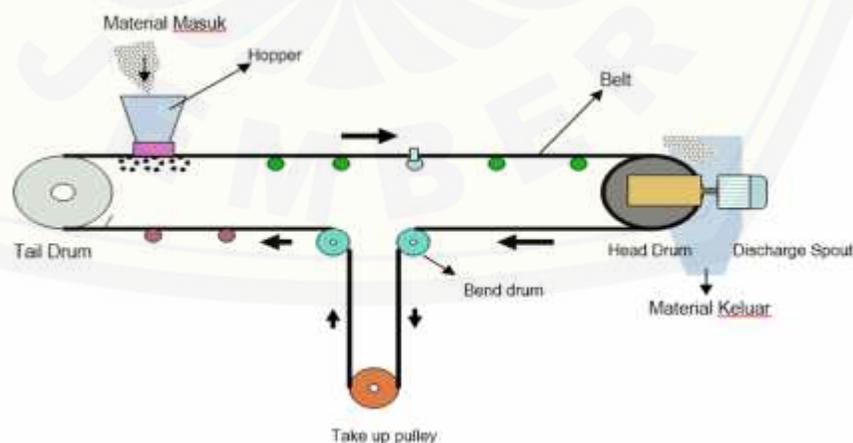
Karakteristik dan *performance* dari *belt conveyor* adalah dapat beroperasi secara mendatar maupun miring dengan sudut maksimum sampai dengan 18° , sabuk disanglah oleh *roll* untuk membawa bahan, kapasitas tinggi, serba guna, dapat beroperasi secara kontinyu, kapasitas dapat diatur, kecepatannya sampai dengan 600 ft/m, dapat naik turun.

Sistem *belt conveyor* secara luas digunakan untuk mentransport dengan besarnya volum material dengan jumlah yang besar pada jarak yang jauh. *Belt conveyor* meliputi antara lain *drive* dan *pulley*, membawa banyaknya material dengan gerakan *idlers*. Sabuk primar mekanik berfungsi untuk membawa material selama proses pengangkutan. Akibatnya, distribusi tekanan yang tinggi disebabkan oleh banyaknya material.

Teori analisis dari distribusi tekanan disebabkan oleh banyaknya material pada *belt conveyor*. Karena siklik yang rumit pada tekanan aktif dan pasif dalam banyaknya material. Beberapa peneliti memiliki kontribusi terhadap perhitungan teoritis tekanan distribusi pada *belt conveyor* (Liu dan Lodewijks, 2016).

2.2 Prinsip Kerja Belt Conveyor

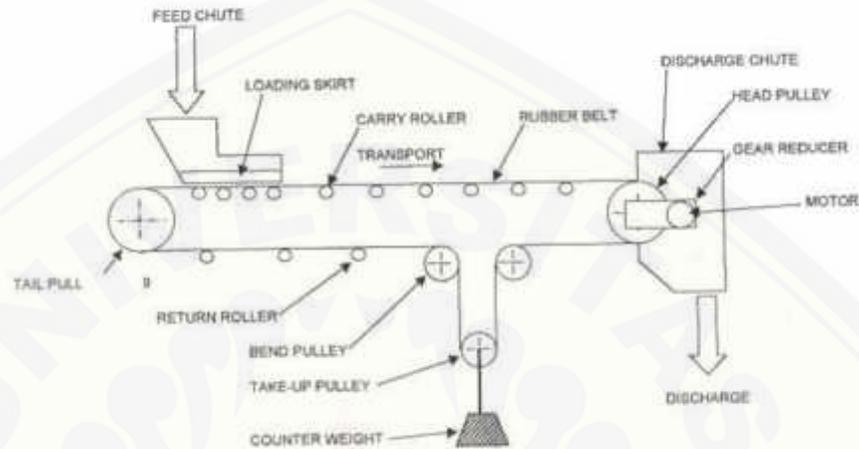
Prinsip kerja *belt conveyor* adalah mentransport material yang ada diatas belt, dimana umpan atau inlet pada sisi tail dengan menggunakan chute dan setelah sampai di head material ditumpahkan akibat *belt* berbalik arah. *Belt* digerakkan oleh *drive/head pulley* dengan menggunakan motor penggerak. *Head pulley* menarik belt dengan prinsip adanya gesekan antara permukaan drum dengan belt, sehingga kapasitas tergantung gaya gesek tersebut. Prinsip kerja tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Prinsip Kerja *Belt Conveyor* (Ilyandi, 2012)

2.3 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* (Ilyandi, 2012)

2.3.1 Belt

Belt adalah elemen mesin yang menghubungkan dua buah puli 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 tekstil.

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

Contoh Spesifikasi *belt* :

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

Keterangan :

- 16 meter : Panjang *belt conveyor*
- EP : Tipe Carcase (EP : Poliester)
- 315 : *Tensile Strength* (kg/cm/ply)
- 800 : Lebar *Belt* (mm)

- 3P : Jumlah *ply* (3 *ply*)
 5 : Tebal *Top Cover* (mm)
 1,5 : Tebal *Bottom Cover* (mm)
 T210°C : Temperatur maksimum
 Type *belt* : *High Temperature Resistances*

Adapun beberapa jenis *belt* yang biasa digunakan pada suatu industri adalah *fabric belt* dan *steel cord belt*. *Fabric Belt* seperti pada Gambar 2.3 adalah *belt* dengan penguat yang terbuat dari serat tekstil (serat buatan) yang biasa disebut *carcass*. *Carcass fabric* adalah lapisan dari satu atau beberapa lapis tenunan yang di resapi karet dan di antara lapisan tenunan terdapat lapisan perekat (*skim rubbe*).



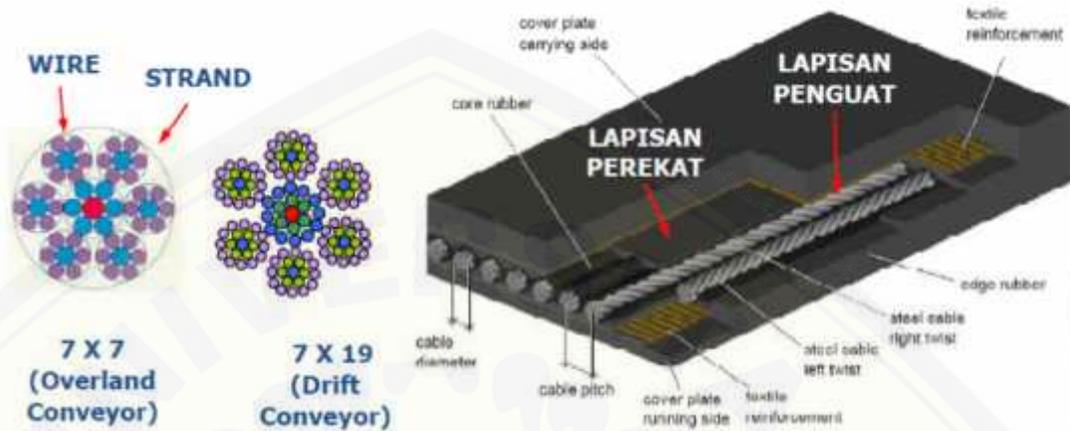
Gambar 2.3 *Fabric Belt* (SummA Learning Center, 2001)

Jenis carcass yang sering dipakai :

- a. *Nylon* atau *Polymide*
- b. *Polyester* (Serat Sintetis)
- c. *Cotton* (Serat alam / katun)
- d. *Vinylon fabric*
- e. *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 *Steel Cord Belt* (SummA Learning Center, 2001)

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

a. *Cover Rubber*

Fungsi utama *cover rubber* adalah sebagai pelindung lapisan penguat dari curahan, gesekan dan benturan material pada saat muat agar *ply* tidak sobek atau rusak.

Cover Rubber terdiri atas (SummA Learning Center. *Conveyor System Ops. & Maintenance*):

- *Top Cover* : lapisan yang langsung bersentuhan dengan material

Tebal *top cover* :

untuk jenis *fabric belt* : 1 mm s/d 8 mm

untuk jenis *steel cord belt* : 5 mm s/d 18 mm

- *Bottom cover* : karet lapisan bawah yang berhadapan dengan permukaan puli dan roll pembawa.

Tebal *bottom cover* :

untuk jenis *fabric belt* : 1 mm s/d 4 mm

untuk jenis *steel cord belt* : 5 mm s/d 8 mm

b. Reinforcement

Kekuatan *belt conveyor* bukan dilihat berdasarkan ketebalannya melainkan pada jumlah lapisan penguat (*ply*) dan tegangan tarik per *ply* (*tensile strenght*). Kekuatan atau tegangan pada *belt conveyor* tergantung pada jenis *reinforcement* serta kekuatan *reinforcement* yang dipakai. Pada umumnya *reinforcement* terbuat dari serat (*carcass*) dan sling baja (*steel cord*).

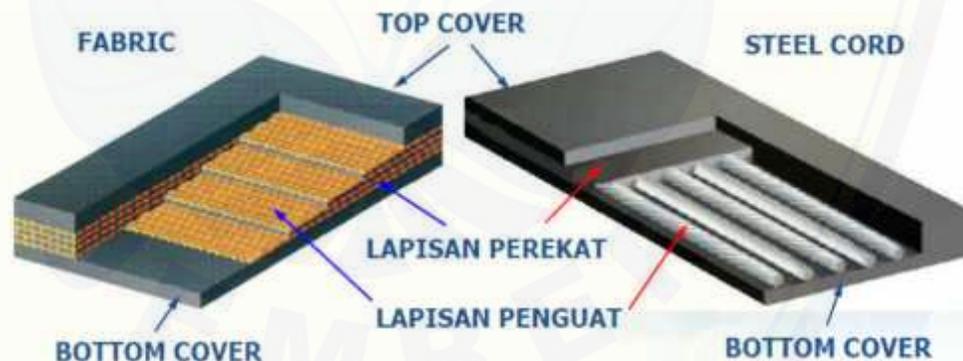
c. Tie Rubber

Tie rubber adalah lapisan karet diantara *ply* yang fungsinya untuk melekatkan lapisan *ply* satu dengan yang lainnya pada *fabric belt* sedangkan pada *steel cord belt* untuk melekatkan sling baja dengan *cover rubber*. Bagian-bagian belt dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Tebal *tie rubber* :

untuk jenis *fabric belt* : 0.5 mm – 1 mm

untuk jenis *steel cord belt* : 2 mm



Gambar 2.5 Bagian-Bagian *Belt* (SummA Learning Center, 2001)

Dalam realitanya sering terjadi permasalahan pada sistem *belt conveyor* jika perawatannya tidak baik. Permasalahan yang muncul dalam perawatan *belt* merupakan permasalahan yang sangat kompleks dan beragam. Perawatan yang baik akan mempengaruhi usia dari *belt* juga menjamin kualitas dan kemampuan *belt* dalam

menyalurkan material secara berkesinambungan dan terus menerus. Maka pentingnya perawatan *preventive* terhadap *belt* tidak bisa dipungkiri lagi.

Persentase biaya *belt* dalam peralatan industri terutama biaya peralatan total dalam sistem tersebut berada antara 50% - 60%. Konsumsi *belt* menghabiskan bagian terbesar biaya operasi. Maka bisa dibayangkan jika *belt* tidak dapat dijaga dalam kondisi kerja terbaik sepanjang waktu, akan bisa menyebabkan pengeluaran biaya pemeliharaan yang akan membengkak lebih banyak.

Gangguan dapat timbul karena ketersediaan informasi yang diperlukan tidak mencukupi pada waktu desain, kegagalan memenuhi kondisi pengoperasian yang baik, cacatnya peralatan *conveyor* atau praktek perawatan yang tidak benar.

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/ 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. Hal ini perlu dilakukan mengingat arah kerusakan adalah melintang dimana arah ini selalu dalam keadaan tegang dan cenderung untuk memperbesar sobekan. Jika lebar sobekan melampaui 20% dari lebar *belt* sebaiknya dipotong dan disambung kembali.

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*.

d. *Belt Aus Karena Skirt Board*

Penggunaan *rubber Skirt* dalam sistem *belt conveyor* sangat penting. Sebab keseimbangan material terhadap *belt* sangat tergantung oleh *rubber skirt* tersebut. Akan tetapi penggunaan *rubber skirt* yang terbuat dari bahan karet sangatlah perlu diperhatikan. Kesalahan pemilihan dalam penggunaan *rubber skirt* akan berdampak seperti permasalahan diatas yaitu *belt* akan cepat aus.

Dalam pemasangan *skirt board* ini harus memperhatikan *gab* (jarak) antara ujung *skirt bord* dengan permukaan *belt*. Sebab jika ada celah maka itu nanti akan membuat material menempel pada *skirt board* tersebut dan nantinya akan bisa membuat *belt* sobek karena terkena material yang menempel dan mengeras tersebut.

e. *Belt Aus Karena Scrapper*

Scrapper merupakan alat yang digunakan untuk membersihkan material yang menempel pada *belt*, namun kebanyakan *belt* juga aus karena disebabkan oleh *scrapper*.

Dalam sistem ban berjalan pemilihan *scrapper* yang baik merupakan hal yang paling penting. Sebab jika kita salah dalam mamilh *scrapper* maka akan mudah terjadi kerusakan atau sobek pada *belt*. Walaupun hampir semua *blade scrapper* terbuat dari bahan karet, namun tidak semua jenis karet dapat dipakai sebagai *scrapper*.

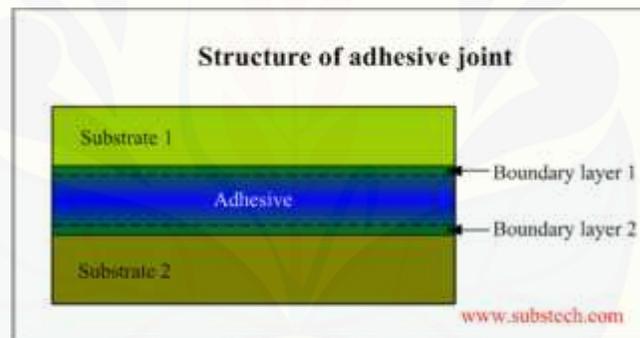
f. *Belt Kurang Kencang*

Belt conveyor seiring dengan pengoperasiannya akan mengalami mulur sebagai akibat dari sifat serat karet dan juga *stress* yang dialaminya sehingga menyebabkan *belt* kurang kencang.

2.4 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 sintetis) dan ketebalan lapisan perekat biasanya tidak melebihi 0,02" atau 0,5mm. Struktur sambungan perekat dapat dilihat pada gambar 2.6.

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.
2. Sambungan *adhesive* adalah penyambungan suatu bahan baik sama maupun berbeda jenis materialnya dengan memanfaatkan kontak permukaan ditambah *adhesive* (lem) sebagai media penyambungannya.



Gambar 2.6 Struktur Sambungan Perekat (Kopeliovich,2014)

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

2.4.1 Teori Perekatan

Melakukan analisis perekatan dengan cara memecahnya ke dalam gaya-gaya yang mampu dikeluarkan oleh satu atau beberapa molekul bila berdekatan atau berjauhan dengan molekul yang lain. Gaya-gaya ini dikenal sebagai gaya adhesi dan gaya kohesi pada suatu sistem ikatan fisika kimia molekul. Pada sistem ini garis

perekat diuraikan menjadi 5 buah garis gaya yang saling berkaitan. Teori perekat dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Teori perekatan (Anon I , 2015)

Keterangan :

- 1 dan 5 adalah gaya kohesi substrat kayu merupakan gaya kohesi antara molekul-molekul kayu yang memegang peranan penting untuk menjaga keutuhan bentuk fisik bahan (kayu).
- 2 dan 4 adalah gaya adhesi atau gaya tarik-menarik molekul yang berbeda. Gaya adhesi antara molekul kayu di permukaan dengan molekul perekat sangat menonjol dan berperan penting dalam menjaga keutuhan ikatan antara kedua bahan. Bila gaya adhesi ini gagal dalam melakukan tugasnya, maka kedua substrat yaitu kayu satu dengan yang lain akan berpisah dengan melemahnya ikatan antara kayu dengan perekat yang menyatukannya, dan perekatan gagal.
- 3 adalah gaya kohesi antara molekul-molekul perekat memegang peranan kuat dan menjaga agar garis perekat tetap utuh dan dapat dipertahankan sehingga keseluruhan sistem tetap bersatu.

Dari gambaran di atas jelas bahwa perekatan yang berhasil memerlukan analisis yang teliti pada setiap lingkaran gaya penyusun yang menentukan keberhasilan perekatan. Teori ini dapat dipertimbangkan sebagai analisis ilmiah pertama dalam perekatan dan kemudian teknologi perekatan dapat dikembangkan dari titik tolak analisis tersebut.

2.4.2 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.

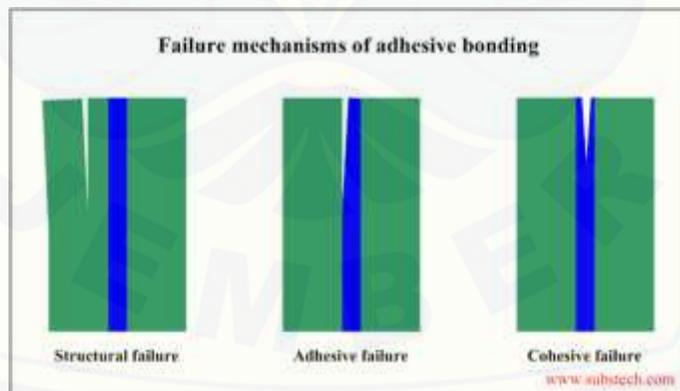
2.4.3 Kelebihan dan Kekurangan pada sambungan *adhesive*

1) Kelebihan sambungan *adhesive* :

- Beban merata
- Dapat digunakan untuk menyambung dua bahan yang berbeda dan keadaan dan bentuk apapun
- Dapat diproses pada temperatur yang rendah
- Sebagai isolator panas dan listrik

- Tidak terjadi konsentrasi tegangan
 - Tidak terjadi korosi
 - Mengurangi berat bagian alat sambungan (Dengan pengelolaan yang tepat)
 - Kemampuan penyegelan
 - Mengurangi banyak perhitungan komponen
 - Mengurangi waktu perakitan
- 2) Kekurangan sambungan *adhesive* :
- Membutuhkan waktu yang lama untuk persiapan dan proses penyatuan sambungan
 - Sukar untuk dibuka
 - Tahanan panas yang terbatas
 - Tahanan kejut yang rendah
 - Penggunaan permanen

Adapun jenis-jenis dari kegagalan ikatan perekat dalam sambungan *adhesive*. Ada beberapa faktor yang bisa berkontribusi pada kegagalan dua permukaan dapat dilihat pada gambar 2.8. Jenis kegagalan adalah sebagai berikut :



Gambar 2.8 Kegagalan Ikatan Perekat (Kopeliovich, 2014)

Ada tiga mekanisme kemungkinan kegagalan ikatan perekat :

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

Adapun untuk pengaruh perubahan temperatur, berdasarkan (Burchardt, 1979) menerangkan bahwa ketahanan temperatur pada perekat elastis tergolong rendah jika dibandingkan teknik rangkaian mekanik. Hal tersebut bisa dibandingkan dengan ketahanan temperatur pada termoplastik dan cukup memadai untuk kebanyakan aplikasi pada kondisi dibawah tekanan normal (contoh: aplikasi *outdoor* tanpa pembongkaran pada sumber panas tambahan ataupun perekat). Bagaimanapun juga, efek-efek yg memungkinkan dari pemanasan berlebih pada bahan perekat (seperti pada api) harus ditambahkan pada catatan dalam proses desain. Jika terdapat resiko kegagalan pada sambungan perekat oleh pemanasan berlebih dapat menyebabkan kerusakan personal atau kerusakan yang sejajar, pengaman mekanik tambahan harus ditambahkan pada desain. Pada temperatur dingin, perekat elastis akan mengeras dan proses pemanjangan akan terhenti. Hal ini akan mengarahkan pada tekanan tambahan yang dapat mengurangi perekatan (Nurrudin, 2015).

2.5 Penyambungan Belt Conveyor

Pada umumnya penanganan masalah pada *belt conveyor* adalah dilakukan dengan penyambungan dan *repair* pada bagian-bagian *belt* yang mengalami kerusakan. Penyambungan *belt conveyor* antara lain :

2.5.1 Belt Splicing

- a) *Splicing rubber* adalah sistem penyambungan *rubber belt* yang dipakai dalam menyatukan 2 bagian ujung dari *rubber belt* yang terputus atau akan disatukan.
- b) Membentuk kekuatan pengeleman (adhesi) antara 2 bagian *rubber belt* yang akan disatukan atau disambungkan secara bersamaan.

c) 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*.

2.5.2 Panjang Sambungan

Menurut Niemann (1986), besarnya gaya tarik yang dialami oleh sambungan perekat tergantung kepada panjangnya *belt* yang direkatkan. Dalam hal ini besarnya gaya tarik yang dialami oleh sambungan dapat dihitung dengan rumus :

$$F = b \times L_s \times \text{izin} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- F = gaya tarik *belt* (N)
- b = panjang *belt* yang direkatkan (mm)
- Ls = panjang langkah penyambungan (mm)
- izin = tegangan tarik izin (N/m²)

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.

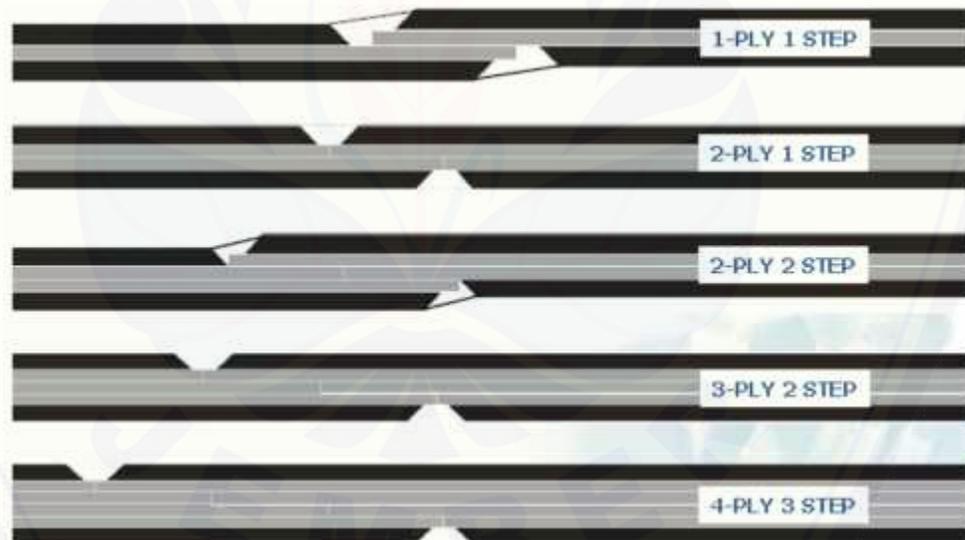
Panjang sambungan adalah panjang total dari suatu sambungan antara *belt* yang satu dengan *belt* lainnya. Panjang sambungan sangat menentukan kekuatan saat menerima beban tarik. Mengurangi panjang sambungan sama dengan beresiko mengurangi kemampuan beban tarik pada sambungan. Oleh karena itu kekuatan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

Tabel 2.1 Standard Sambungan DIN 22102 (Anon 2 ,2016)

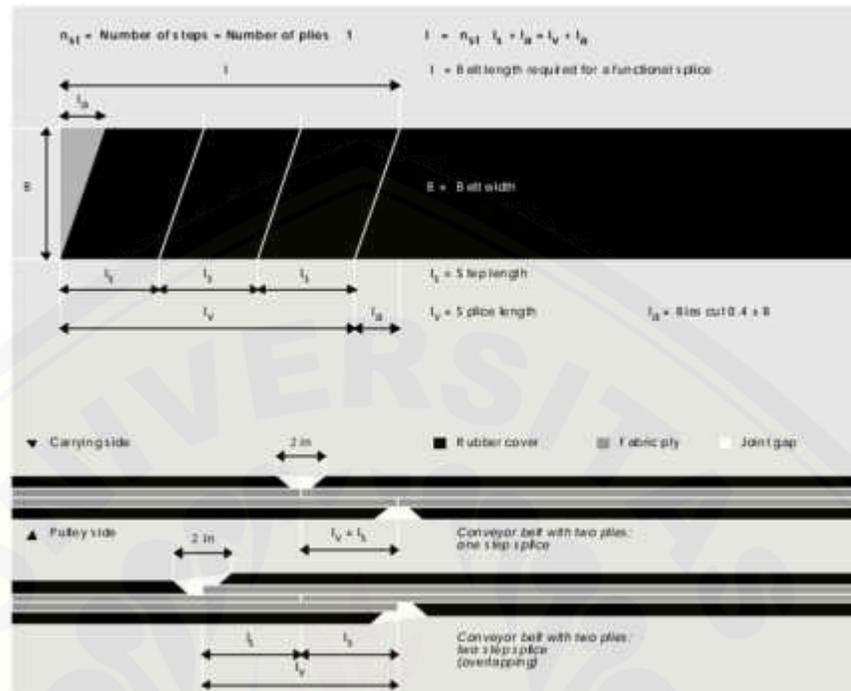
Carcass	Type	No. of Piles	Thickness of cover		Width (mm)
			Top	Bottom	
EP	80	2-8	3,0 - 6,0	1,5 - 4,5	300 - 2600
	100				
	125				
	150				
	200	3-6			
	250				
	300	3-5			
	315				
	400				
	500				
600					

Sumber: Ambelt forderbander belt (2016)

Data *belt strength* akan menentukan “Panjang *Step*” dari masing - masing *ply* dan total panjang penyambungan dapat dilihat pada gambar 2.9, gambar 2.10,



Gambar 2.9 Jumlah Ply dan Cara Penyambungannya
(Summa Learning Center,2001)



Gambar 2.10 Cara Penyambungan (*Summa Learning Center, 2001*)

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa untuk melakukan penyambungan *belt conveyor* harus menggunakan *bias cut* (sudut sambungan) dalam proses penyambungannya.

2.5.3 Tipe Penyambungan

Secara umum tipe atau model penyambungan dapat dibagi dua yaitu *Endless splice* dan *mechanical splice* :

a) *Endless splice* :

1. *Cold splice* (Penyambungan sistem dingin atau Vulkanisasi secara Kimiawi)
2. *Hot splice* (Penyambungan sistem panas atau Vulkanisasi Panas)

b) *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.

“*Endless Splice*” memiliki banyak keuntungan :

- a. Tidak menyebabkan kerusakan *part conveyor* lainnya,
- b. Tidak menyebabkan (*spillage*),
- c. Umur sambungan lebih awet,
- d. Mengurangi kans pekerjaan (*re-splice*) dan (*down time*).

2.5.4 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.

2.5.5 *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.

2.5.6 *Hot Splicing* (Penyambungan Panas)

Hot splice sering disebut juga sebagai penyambungan vulkanisasi, karena pekerjaan ini menggunakan material yang harus diaplikasikan 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.

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.

Umumnya pekerjaan penyambungan untuk sistem panas dan dingin memiliki sistem pekerjaan yang sama, yang membedakan hanyalah pada material penyambungannya.

a) Kebutuhan persiapan di lapangan untuk pekerjaan *hot splice* seperti dibawah ini :

1. *Electrical source* (Sumber Listrik),
2. *Vulcanizing Equipment* (Perlengkapan vulkanisasi yang di sesuaikan dengan *belt width* dan panjang sambungan,
3. Material yang selalu tersimpan baik didalam *cold storage* ($5 - 15^{\circ}\text{C}$)
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* : 100 Psi-125 Psi (6,89 Bar-8,61 Bar)
2. *Curing temperature* : $300^{\circ}\text{F} \pm 5^{\circ}\text{F}$ ($148,89^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
3. *Curing time* : 5 menit per mm tebal *belt*
4. *Minimum curing time* : 30 menit

2.6 Foto Makro Spesimen *Belt Conveyor* dan Hasil Uji Tarik *Belt* Tanpa Sambungan

2.6.1 Foto Makro Spesimen *Belt Conveyor*



Gambar 2.11 Foto Makro sambungan *belt conveyor*



Gambar 2.11 Foto Makro sambungan *belt conveyor*

Sifat mekaniknya tergantung dari derajat vulkanisasi, sehingga dapat dihasilkan banyak jenis sampai jenis yang kaku seperti ebonite. Temperatur penggunaan yang paling tinggi sekitar 99°C , melunak pada suhu 130°C dan terurai sekitar 200°C . Sifat isolasi listriknya berbeda karena pencampuran dengan adiktif. Namun demikian, karakteristik listrik pada frekuensi tinggi sangat jelek. Zat tersebut dapat larut dalam hidrokarbon, ester asam asetat. (Ompungunggu, 1987)

Dapat dilihat dari gambar makro *belt conveyor* kemungkinan faktor-faktor yang terjadi kegagalan pada gambar diatas meliputi (a) proses pengeleman dan pemukulan sambungan yang kurang merata, (b) proses pemanasan yang kurang matang, (c) suhu pemanasan penyambungan yang terlalu tinggi.

2.6.2 Hasil Uji Tarik *belt* tanpa Sambungan



Gambar 2.12 Hasil uji tarik *belt* tanpa sambungan

Tabel 2.2 Hasil uji tarik *belt* tanpa sambungan

No	tu (MPa)			Rata-Rata tu (MPa)
	1	2	3	
1	9,312178	8,68369	9.137598	9,04

Dari table 2.2 diketahui nilai kekuatan tarik *belt* tanpa sambungan sebesar 9,04 MPa

2.7 Uji 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 tarik pada sifat komposit bermatrik polimer. 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 2.1 serta geometri spesimen yang dibutuhkan seperti pada Tabel 2.3 (Nasiruddin, 2014).



Gambar 2.13 Standar Sampel Uji ASTM D3039 (Nasiruddin, 2014)

Tabel 2.3 Spesimen geometri yang dibutuhkan (ASTM Organization D3039)

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	$\pm 1\%$ dari lebar
Ketebalan spesimen	As needed
Toleransi ketebalan spesimen	$\pm 4\%$ dari tebal
Kerataan spesimen	Flat with light finger pressure

Sumber: Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials (2000).

Tabel 2.4 Geometri spesimen yang direkomendasikan (ASTM Organization D3039)

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: Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials (2000).

Perhitungan *ultimate tensile strength* menggunakan persamaan (ASTM D3039) dibawah ini:

$$t_u = F_{\max} / A \dots\dots\dots (2.2)$$

$$P_i = P_i / A \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

- t_u = kekuatan tarik *ultimate* MPa [psi];
- F_{\max} = beban maksimum sebelum kegagalan, N [lbf];
- P_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 panjang x lebar, mm^2 [in²],

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian

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

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 4 bulan yaitu bulan Maret-Juni 2016.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan selama penelitian ini berlangsung antara lain:

1. Mesin Uji tarik (Universal Machine Testing Merk ESSOM TM 113 30 kN).
2. *Thermocontrol* Tipe E5CWL
3. *Thermocouple*
4. Penggaris
5. *Timbangan digital*
6. Kamera
7. *Pincer*

8. *Cutter*
9. *Spuit*
10. Spidol
11. Amplas
12. Kuas
13. Heater
14. Palu karet
15. Termometer Laser
16. Alat Bantu Uji Spesimen
17. Dongkrak botol dan *pressure gauge*

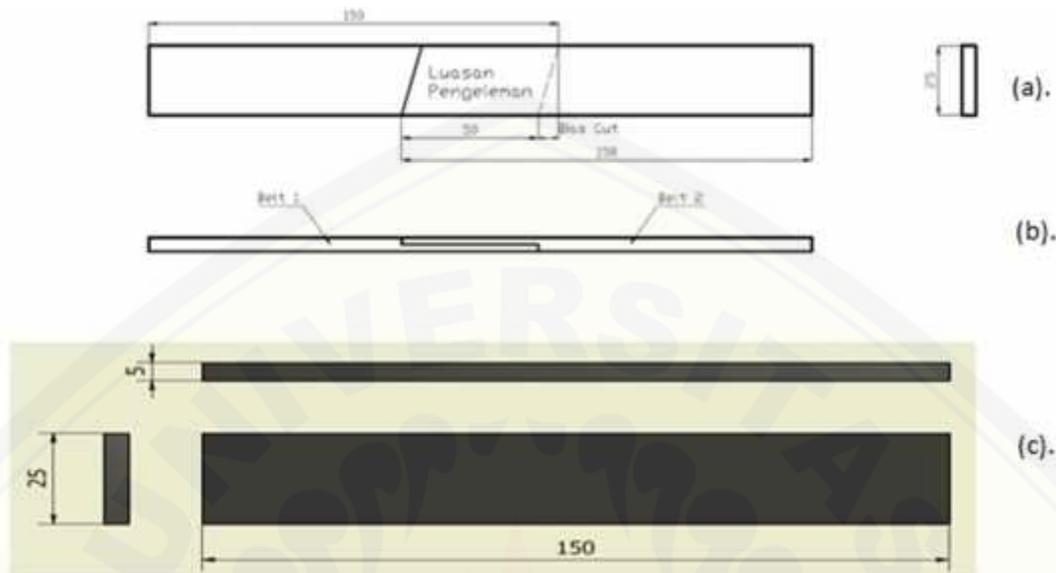
3.3.2 Bahan :

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

Keterangan:

- Lebar belt* : 400 mm
Tipe carcass : *Polyester*
Kekuatan tarik/ply : 100 kg/cm
Top cover : 1,5 mm
Bottom cover : 1,5 mm

Untuk penelitian ini, berdasarkan standar ASTM D 3039 ukuran spesimen yang disarankan adalah 250 mm x 25 mm x 5 mm (Gambar 3.1)



Gambar 3.1 a). Dimensi spesimen, b). Dimensi tampak samping, c). Dimensi tampak bawah (Amril, 2015)

2. Perekat STL – RF4

dengan spesifikasi yang ditampilkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Perekat STL-RF4 (Amril,2015)

EC-No.	CAS-No.	Chemical name	Quantity	Classification
265-151-9	64742-49-0	Naphtha (petroleum)	< 85 %	F, N, Xi, Xn R11-38-51-53-65-67
215-222-5	1314-13-2	zinc oxide	< 1 %	N R50-53
215-267-0	1317-36-8	Lead(II)-oxide	< 0,3 %	Repr. Cat. 1, Repr. Cat. 3, Xn, N R61-62-20/22-33-50-53

Sumber: TIP TOP HEATING SOLUTION STL-RF4 (2010).

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 ru*

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 Bias cut 0,4 BW (standarisasi dari REMA TIP TOP), minimum curing time 30 menit (standarisasi dari REMA TIP TOP), variasi tekanan 5 Bar, 6 Bar, 7 Bar dengan Variasi temperatur penyambungan 120⁰C, 130⁰C, 140⁰C terhadap kekuatan tarik.

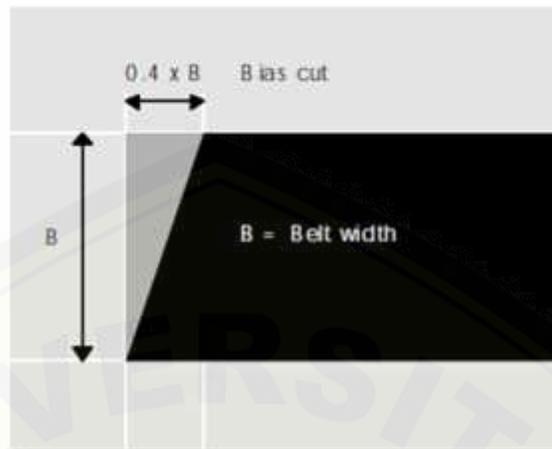
2) Variabel Terikat

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 Pembuatan Spesimen

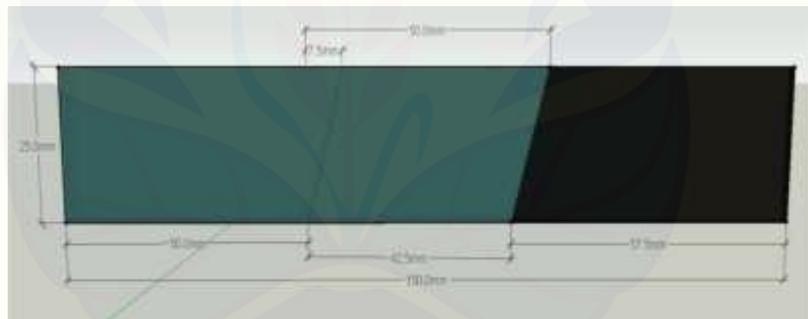
Adapun langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

1. Persiapan *Fabric belt*, serta alat pendukung untuk membuat spesimen.
2. Pemberian tanda garis potong (0,4 x lebar *belt*) dengan spidol (Gambar 3.2).



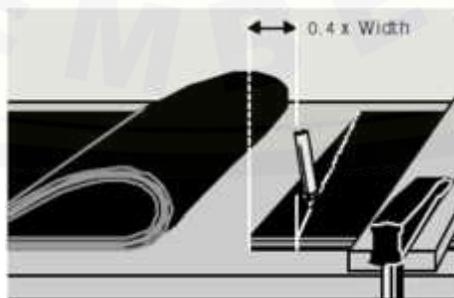
Gambar 3.2 *Bias Cut* (REMA TIP TOP, 2016)

3. Pelurusan dari Area sambungan terhadap *belt*,
4. Penggambaran Panjang *Step* dan garis potongnya, Demikian pula dengan bagian ujung *belt* yang lainnya (Gambar 3.3).



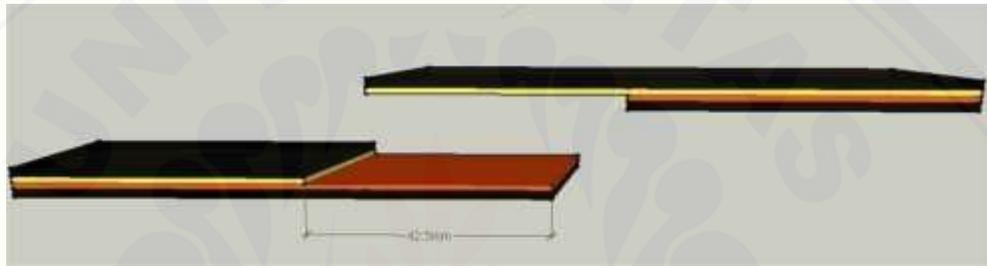
Gambar 3.3 Penggambaran Panjang *Step* dan Garis potong (Nurrudin, 2015)

5. Pemotong kedua ujung *belt* sepanjang sudut sambungan ($0,4 \times BW$)



Gambar 3.4 Pemotongan *Bias Cut* (REMA TIP TOP, 2016)

6. Pemotong bagian karet *Top Cover* pada kedua *belt* yang akan disambungkan hingga bertemu dengan *Ply* pertama
7. Pemotong *Ply* pertama dengan menggunakan *cutter* sampai terlihat *ply* kedua,
8. pengupasan sedikit bagian *ply* pertama dengan bantuan *pincer*,
9. Pertemuan kedua ujung *belt* yang akan disambungkan dan periksalah apakah bagian – bagian tersebut *match* antara yang satu dengan yang lainnya (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Proses *Matching* (Nurrudin, 2015)

10. Proses pengasaran (*Buffing*) dengan menggunakan gerinda pada permukaan *carcass* yang terdapat karet,
11. pembersihan permukaan sambungan dari debu karet,
12. Penerapan atau sesuaikan kedua bagian *belt* (*upper & lower*) secara bersamaan untuk mendapatkan hasil yang “*Match*”
13. penimbangan STL – RF4 seberat 0,6 gr 2 kali menggunakan timbangan digital.
14. Pengkuasan STL – RF4 tersebut 1 kali pada masing masing permukaan
15. Pengeringan STL – RF4, tunggu selama 2 menit.
16. Setelah pengeleman pertama selesai, kemudian dilakukan pengeleman ke 2 sebelum penyatuan *belt* dilaksanakan. (Total pengeleman tiap spesimen 1,2gr).

17. Pemberian *tie rubber* (kompon karet) seluas permukaan sambungan.
18. Penyatuan kedua ujung *belt* secara bersamaan, *check* ujung tepian *fabric* dari masing – masing *belt* hingga posisi *ply* benar – benar *match* tanpa adanya *overlapping*
19. Penggunaan palu karet dari arah tengah ke tepian sambungan untuk menghindari terjadinya udara terjebak dan memperkecil terbentuknya udara *blister*, sebanyak 6 kali.



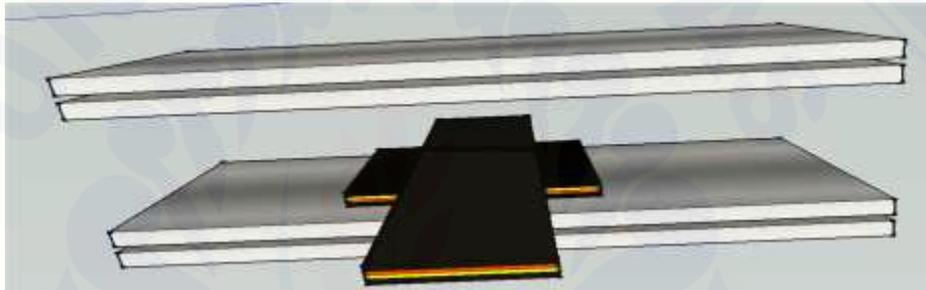
Gambar 3.6 Proses perekatan *belt* dengan bantuan palu karet (Amril, 2015)

20. penggunaan palu karet untuk memukul bagian sambungan *belt*, agar sambungan tersebut lebih merekat, sebanyak 6 kali pemukulan (Gambar 3.7).



Gambar 3.7 Proses perekatan sambungan *belt* dengan palu karet (Amril, 2015)

21. Pemanasan terlebih dahulu pemanas (*heater*) sesuai dengan suhu yang diinginkan, sebelum spesimen diletakkan diatas pemanas (*heater*).
22. Setelah *heater* benar –benar sudah mencapai suhu yang diinginkan, heater dimatikan terlebih dahulu sebelum menempatkan spesimen yang sudah jadi di atas *heater* (pemanas). Pemberian aluminium foil agar *belt* tidak rusak, serta damping pada bagian samping sambungan *belt*, agar saat proses vulkanisasi lem tidak meluber keluar (Gambar 3.8)
23. Penutupan bagian atas *belt* dengan *heter* yang ke dua (Gambar 3.8).



Gambar 3.8 Belt di jepit di antara dua *heater* (pemanas) (Amril, 2015)

24. Penekanan atau pembebanan di atas *heater* dengan beban variasi (5 Bar, 6 Bar, 7 Bar) seperti pada Gambar 3.9.

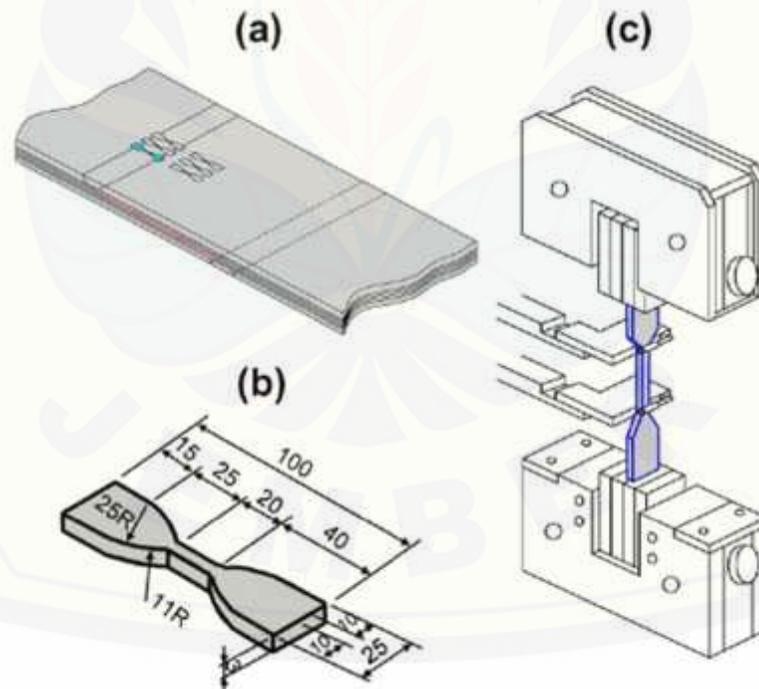


Gambar 3.9 Pembebanan diatas *heater* (pemanas)

25. Start vulkanisasi dengan temperature yang ditentukan. 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 variasi temperatur 120°C, 130°C, 140°C. Toleransi suhu $\pm 5^{\circ}\text{C}$.
26. Pendinginan spesimen uji secara perlahan, dengan cara mendinginkan *belt* dalam posisi masih terjepit *heater* selama 30 menit.

3.6 Prosedur Pengujian Spesimen

Dalam melakukan pengolahan data diambil dari proses uji tarik pada spesimen-spesimen dengan menggunakan Universal Machine Testing Merk ESSOM TM 113 . Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan panduan ASTM D 3039 yang merupakan standard pengujian kekuatan tarik pada komposit bermatrik polimer.

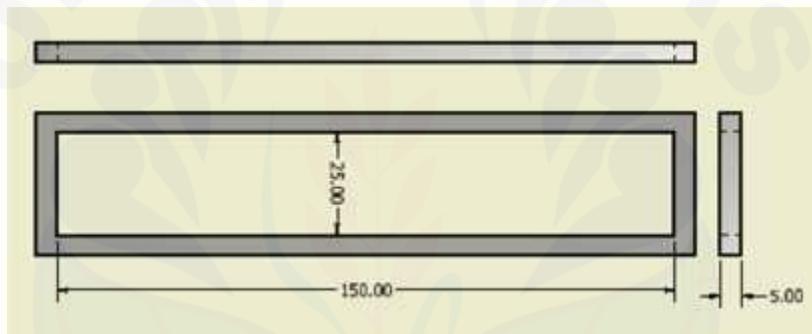


Gambar 3.10 a). skema sambungan, b). contoh dimensi, c). skema mesin uji tarik
(Chou,2016)

Keterangan gambar:

- (a) Skematis dari sambungan *fabric belt conveyor*.
- (b) Dimensi potongan uji dengan bentuk dumb-bell
- (c) Skematis dari mesin uji tarik

Sebelum melakukan pengujian tarik, dilakukan pengecekan terhadap spesimen-spesimen yang telah dibuat. Hal ini bertujuan agar spesimen yang diuji sudah seragam seperti yang disarankan pada ASTM D 3039. Pengecekan dilakukan dengan cara meletakkan spesimen pada alat bantu uji dimensi seperti pada Gambar 3.11, dimana jika spesimen tidak sesuai seperti dimensi yang disarankan, maka harus diganti dengan spesimen yang baru (Nasiruddin, 2014).



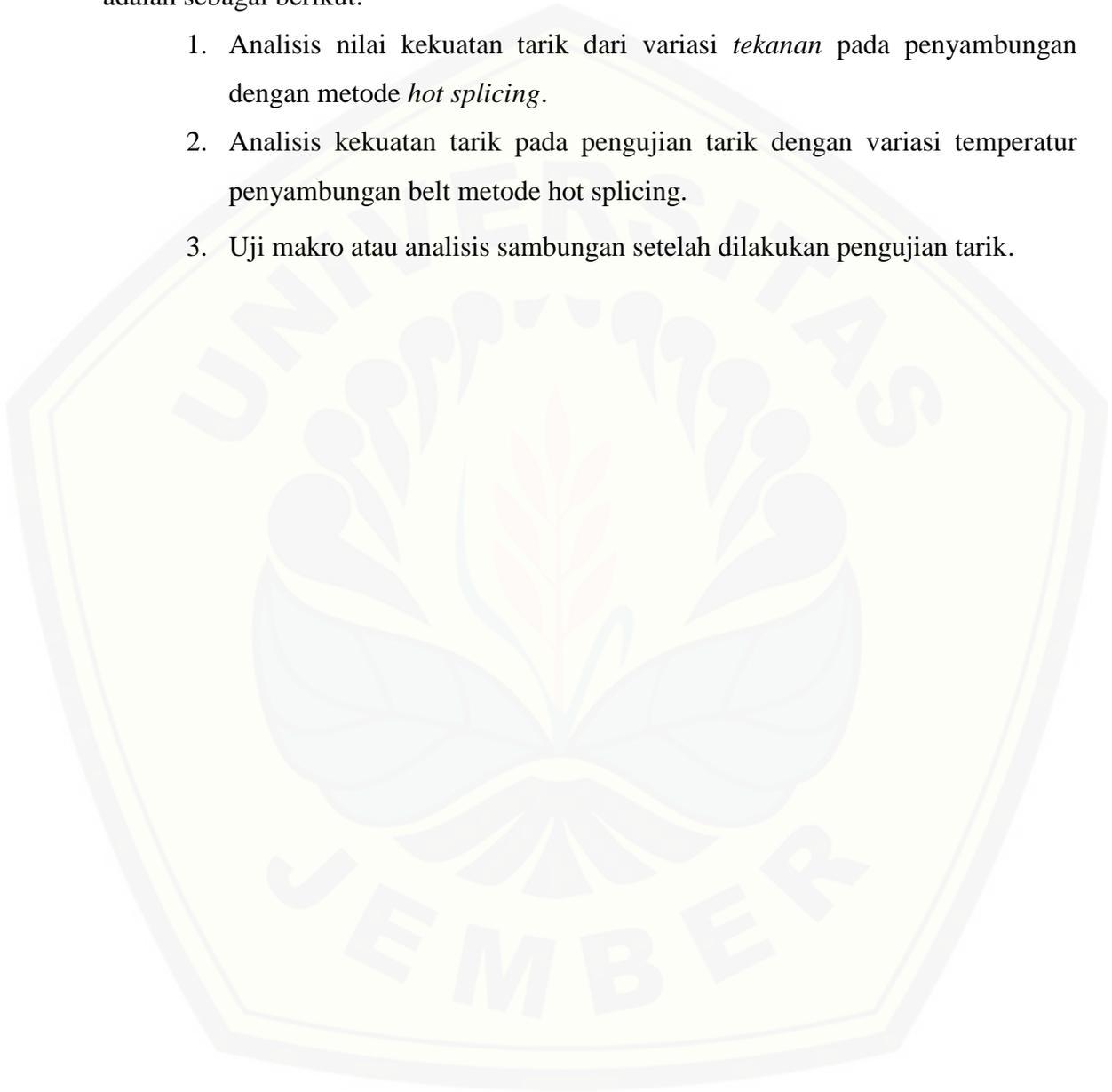
Gambar 3.11 Alat Bantu Uji Dimensi Spesimen (Nasiruddin, 2014)

Ketika pengujian tarik siap dilakukan, penyetelan penanda *displacement* dengan meletakkan ujung dasarnya ke dasar mesin uji tarik. Saat penanda *displacement* tidak lagi menyentuh dasar mesin uji tarik, dilakukan penyetelan ulang dengan mengendorkan pengikatnya dan meletakkan ke dasar mesin uji tarik. Hal ini dimaksudkan agar penanda *displacement* dapat bekerja dengan baik. Peresetan *display* saat akan melakukan pengujian tarik. Proses pengujian dilakukan oleh dua orang, orang pertama memegang pencekam sedangkan yang lainnya mengungkit dengan tuas yang disediakan. Selama proses, selali dilakukan pengecekan pada *display* mesin uji tarik. Pencacatan beban maksimal sebelum kegagalan untuk perhitungan kekuatan tarik dari spesimen-spesimen uji (Nasiruddin, 2014).

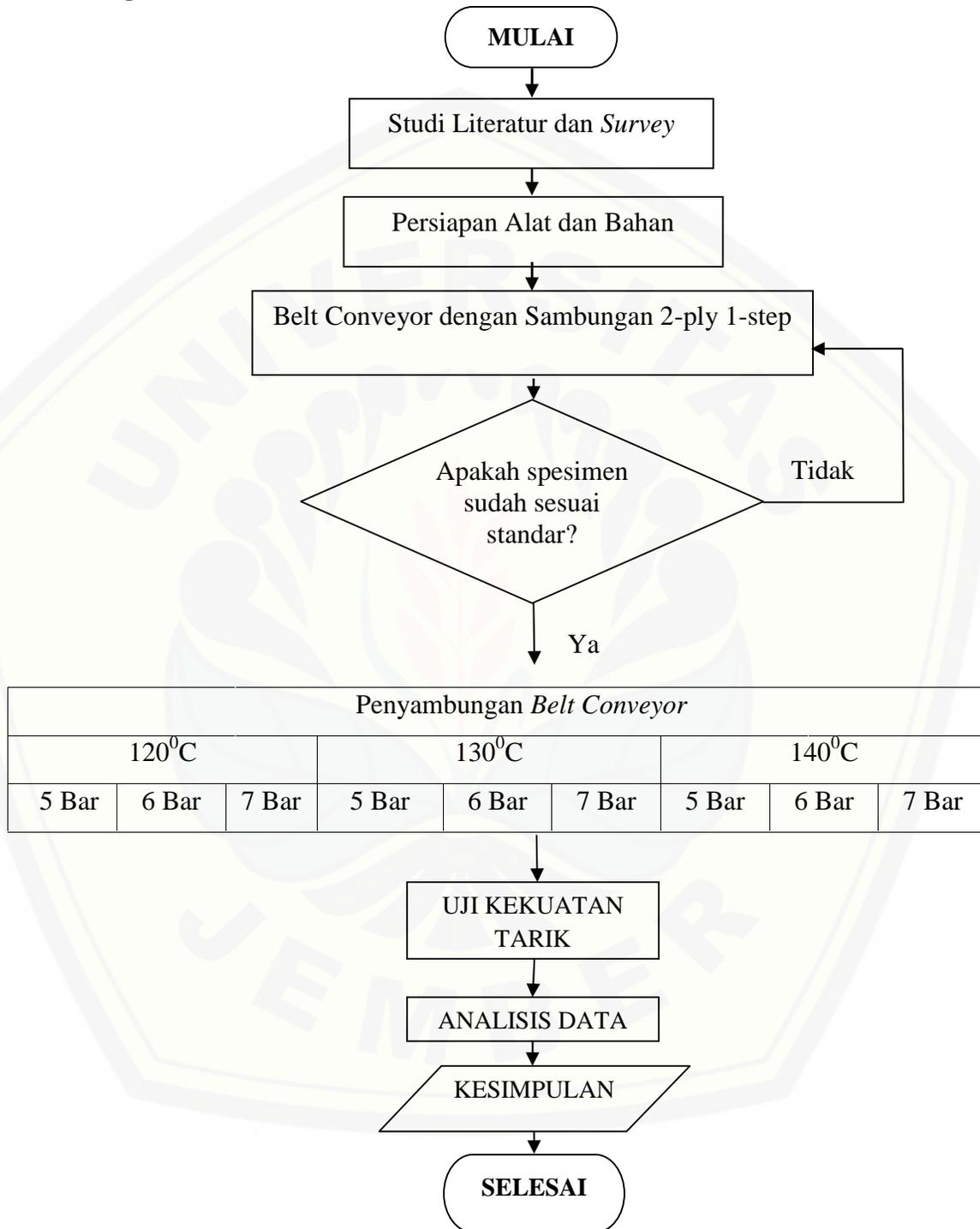
3.7 Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian kekuatan tarik adalah sebagai berikut:

1. Analisis nilai kekuatan tarik dari variasi *tekanan* pada penyambungan dengan metode *hot splicing*.
2. Analisis kekuatan tarik pada pengujian tarik dengan variasi temperatur penyambungan belt metode hot splicing.
3. Uji makro atau analisis sambungan setelah dilakukan pengujian tarik.



3.8 Diagram Alir Penelitian (Gambar 3.12)



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan, pengujian dan analisis data yang telah dilakukan oleh penulis, maka dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Nilai kekuatan tarik sambungan *belt conveyor* tertinggi pada tekanan 5 Bar sebesar 2,49 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah pada tekanan 6 Bar sebesar 1,11 MPa.
2. Nilai kekuatan tarik sambungan *belt conveyor* tertinggi berada pada temperatur penyambungan 120⁰C sebesar 2,49MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah pada temperatur penyambungan 140⁰C sebesar 1,11 MPa.
3. Kegagalan yang ditemukan dalam analisa ini adalah kegagalan gaya adhesi *belt* dengan perekat dan kegagalan gaya kohesi substat *belt*.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti sampaikan agar penelitian berikutnya dapat menghasilkan produk yang lebih baik lagi adalah sebagai berikut:

1. Dalam melakukan penyambungan *belt conveyor* dengan metode *hot spicing*, Penulis menyarankan untuk memakai acuan dengan tekanan 5 bar dan temperatur penyambungan 120⁰C.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk jenis *belt* dan jumlah *ply* yang akan disambung dengan metode *hot splicing*.
3. Sebelum penelitian dilakukan agar meninjau kembali literatur pendapat dari Ompusunggu (1987), mengenai temperatur penggunaan dan pada saat karet melunak dan mulai terurai.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambelt. 2016. Conveyor belts, wear protection, conveyor components, repair material. Jerman. Diperoleh www.ambelt.com
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2000. *Standard Test Methods for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. ASTM D 3039.
- Amril, Ahmad. 2015. *Pengaruh Variasi Waktu Dan Suhu Terhadap Kekuatan Tarik Belt Conveyor (2-Ply 1-Step) Pada Penyambungan Sistem Panas*. Jember: Badan Penerbit Universitas Jember.
- Anonimus 1. 2015. Gorillaglu product. Diperoleh <http://www.gorillaglu.com/> ditulis kembali di diexpertwannabe.blogspot.com (27 Maret 2016).
- Anonimus 2. 2016. Ambelt forderbänderbelt. diperoleh dari <http://goo.gl/NzP8Uy> (4 April 2016)
- ASTM Organization. 2000. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹ - ASTM D3039*, Annual Book of ASTM Standard. United States.
- Burchardt, B. R., dan P. W. Merz. 1979. *Elastic Bonding and Sealing in Industry*. University of Freiburg.
- Chou, liu, chuang. 2012. Optimum conditions for vulcanizing a fabric conveyor belt with better adhesive strength and less abrasion. Diperoleh dari [sciencedirect](http://sciencedirect.com). [23 April 2016]
- Contitech. 2016. Installing and Splicing Textile Conveyor Belts. Diperoleh dari http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt2814_cbg_montage_textile_en.pdf [19 Jun 2016]
- Daryus, Asyari. 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].
- Ilyandi, Rifki. 2012. *Analisa Sambungan Belt Conveyor Pada Pabrik Semen*. Riau: Badan Penerbit Universitas Riau.
- Kopeliovich, Demitri. 2014. *Fundamentals of adhesive bonding*. diperoleh dari http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=fundamentals_of_adhesive_bonding [4 April 2015].
- Liu, pang, Iodewijks. 2016. theoretical and experimental determinan of the pressure distribution on a loaded conveyor belt. Diperoleh dari sciencedirect. [23 April 2016]
- Nasiruddin. 2014. *Analisis Termal-Mekanis Komposit Matrik Polyester Dengan Aditif Partikel Montmorillonite Berpenguat Serat Kenaf Anyam*. Jember: Badan Penerbit Universitas Jember.
- Niemann G. 1986. *ElemenMesin*. Jakarta :Erlangga.
- Nurrudin, 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*. Jember: Badan Penerbit Universitas Jember.
- Ompusunggu, M. 1987. *PengetahuanLateksHavea*. SungeiPutih,Medan :Lembaga Pendidikan Perkebunan (LPP).
- Siregar, Fauzi. 2004. *Alat Transportasi Benda Padat*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- SummA Learning Center. 2001. *Pengetahuan Dasar Rubber Splice*. Jakarta.
- SummA Learning Center. 2001. *Conveyor System Ops. & Maintenance*. Jakarta.
- The Gorilla Glue Company. 2015. *Teori perekatan*. Spanyol. www.gorillaglu.com

A. Perhitungan ANOVA (*Analysis Of Variance*) Untuk S/N Ratio

Dengan melakukan model analisis varian dua arah yang terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah dan F-rasio. Sehingga, perhitungan untuk memperkirakan kontribusi dari setiap factor pada semua pengukuran respon dengan mengidentifikasi pengujian kebenaran hipotesa terhadap pengaruh factor terkendali beserta interaksinya dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

1) Menghitung Analisis Varian

Dengan menggunakan data pada tabel 4.1 maka didapat:

- \bar{y} = Rata-rata eksperimen keseluruhan

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{2,4 + 2,2 + 2,0 + 2,0 + 1,9 + 1,3 + 1,4 + 1,1 + 1,2}{9}$$

$$\bar{y} = 1,79$$

- S_T = Jumlah Kuadrat Total

$$S_T = \sum y^2$$

$$S_T =$$

$$(2,49^2) + (2,29^2) + (2,06^2) + (2,06^2) + (1,98^2) + (2,39^2) + (1,45^2) + (1,11^2) + (1,25^2)$$

$$S_T = 30,71$$

- S_M = Jumlah Kuadrat karena rata-rata

$$S_M = n\bar{y}^2$$

$$S_M = 9 \times (1,79^2)$$

$$S_M = 28,75$$

➤ S_A = Jumlah Kuadrat faktor temperatur

$$S_A = \frac{(t_1 A_1)^2}{n} + \frac{(t_1 A_2)^2}{n} + \frac{(t_1 A_3)^2}{n} - \frac{(t_1 A)^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$S_A = \frac{6,8^2}{3} + \frac{5,4^2}{3} + \frac{3,8^2}{3} - \frac{1,0^2}{9}$$

$$S_A = 1,54$$

Untuk jumlah kuadrat dari factor tekanan dihitung dengan cara yang sama seperti langkah perhitungan untuk temperatur.

➤ S_e = Jumlah kuadrat error

$$S_T = S_M + S_A + S_B + S_e$$

$$S_e = S_T - S_M - S_A - S_B$$

$$S_e = 30,71 - 28,75 - 1,54 - 0,284$$

$$S_e = 0,137$$

➤ M_A = Rata-rata jumlah kuadrat factor A (Temperatur) (*The mean sum of square*)

$$MSS_A = \frac{S_A}{V_A}$$

$$MSS_A = \frac{1,5}{2}$$

$$MSS_A = 0,77$$

Dimana:

$$V_A = (\text{Level}-1)$$

$$V_A = (3-1)$$

$$V_A = 2$$

Rata-rata jumlah kuadrat dari factor tekanan dihitung dengan cara yang sama seperti diatas.

➤ F-rasio

F-rasio adalah dihitung dari pembagian rata-rata jumlah kuadrat dengan jumlah kuadrat error. Untuk factor temperature sebagai berikut:

$$F_A = \frac{M_A}{M_e}$$

$$F_A = \frac{0,7}{0,0}$$

$$F_A = 22,64$$

F-rasio jumlah kuadrat dari faktor tekanan dihitung dengan cara yang sama seperti diatas.

2) Menghitung persen kontribusi

Untuk menghitung persen kontribusi dari masing-masing parameter terhadap waktu dalam analisis varian kita perlu menghitung jumlah kuadrat sesungguhnya dan dibagi dengan jumlah kuadrat total.

- SSq' = Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Jumlah kuadrat sesungguhnya untuk faktor temperature adalah sebagai berikut:

$$S_{A'} = SS_A - V_A \cdot M_e$$

$$S_{A'} = 1,54 - (2 \cdot 0,034)$$

$$S_{A'} = 1,54 - 0,068$$

$$S_{A'} = 1,472$$

Jumlah kuadrat yang sesungguhnya untuk faktor tekanan dihitung dengan cara yang sama seperti diatas. Sedangkan untuk menghitung jumlah kuadrat yang sesungguhnya untuk eror adalah sebagai berikut:

$$S_{e'} = S_t - S_{A'} - S_{B'}$$

$$S_{e'} = 1,96 - 1,472 - 0,216$$

$$S_{e'} = 0,272$$

Dimana:

$$S_t = S_T - S_M$$

$$S_t = 30,71 - 28,75$$

$$S_t = 1,96$$

- ρ = Persen kontribusi

Persen kontribusi untuk faktor temperatur adalah sebagai berikut:

$$\rho = \frac{S_{A'}}{S_t} \times 100\%$$

$$\rho = \frac{1,5}{1,9} \times 100\%$$

$$\rho = 78,53\%$$

Persen kontribusi untuk faktor tekanan dihitung dengan cara yang sama seperti diatas. Sehingga dari perhitungan didapatkan tabel Analisis varian untuk S/N Rasio terhadap kekuatan tarik.

Tabel 4.2 Hasil analisis varian S/N Rasio terhadap kekuatan tarik

Source	DF	SS	MS	F	P
Temperatur	2	1,53941	0,769703	22,51	0,007
Tekanan	2	0,28403	0,142017	4,15	0,106
Eror	4	0,13677	0,034192		
Total	8	1,96021			

B. BEBERAPA ALAT YANG DIGUNAKAN



Thermocontrol



thermocouple



Pincer



Timbangan Digital



Palu Karet



Dongkrak botol dan pressure gauge



Heater

C. BAHAN YANG DIGUNAKAN



Perekat STL – RF4 (*Rema Tip Top*,2015)



belt conveyer EP 100

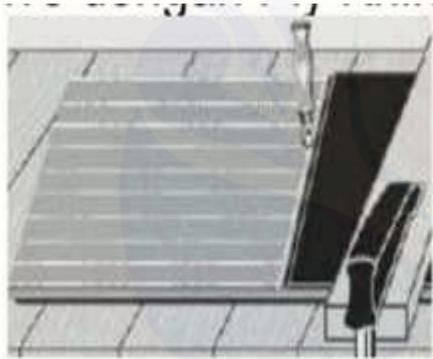


Takaran Perekat



Tie Rubber

D. BEBERAPA CARA PENYAMBUNGAN



Pemotongan *Ply* Pertama (Summa Learning Center, 2001)



Pengepasan sambungan *belt* (Summa Learning Centre, 2001)



Proses pengeleman pertama (SummA Learning Centre, 2001)



Proses pengeleman kedua (Sumber: SummA Learning Centre, 2001)



Proses penyatuan kedua *belt* (Sumber: SummA Learning Centre, 2001)

E. KALIBRASI DATA (BAB 4)**Tabel 4.1** Gaya tarik sesuai display pada alat uji (N)

NO	Suhu Pemanasan Belt (C)	Tekanan (Bar)	Hasil Kekuatan Tarik (N)		
			Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
1		5	68	68	64
2	120	6	66	59	59
3		7	50	67	49
4		5	57	53	56
5	130	6	49	59	51
6		7	34	37	41
7		5	37	39	41
8	140	6	34	19	37
9		7	29	35	37

Data yang diperoleh dari proses uji tarik di atas perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Proses kalibrasi menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$y = 47,06x - 23$$

dimana : y = gaya tarik yang sebenarnya (N)

 x = nilai yang tertera pada display uji tarik

Setelah dilakukan proses kalibrasi diperoleh data pada tabel 4.2 dibawah.

Tabel 4.2 Tabel gaya tarik setelah kalibrasi (N)

No	Temperatur (°C)	Tekanan (Bar)	F _{max} (N)			Rata-Rata F _{max} (N)
			1	2	3	
1		5	3177,08	3177,08	2988,84	3114,33
2	120	6	3082,96	2753,54	2753,54	2863,35
3		7	2330,00	3130,02	2282,94	2580,99
4		5	2659,42	2471,18	2612,36	2580,99
5	130	6	2282,94	2753,54	2377,06	2471,18
6		7	1577,04	1718,22	1906,46	1733,91
7		5	1718,22	1812,34	1906,46	1812,34
8	140	6	1577,04	871,14	1718,22	1388,80
9		7	1341,74	1624,10	1718,22	1561,35

Pada alat uji terdapat 2 *display*, dimana *display* pertama menunjukkan besarnya gaya maksimum yang terjadi dan *display* kedua menunjukkan besarnya perubahan panjang pada spesimen. Gaya maksimum yang digunakan adalah angka tertinggi yang muncul pada *display* alat uji. Selama pengujian dilakukan perekaman untuk menghindari kesalahan dalam mengambil data uji, sehingga diperoleh data yang tepat. Setelah diperoleh gaya maksimum kemudian dilakukan perhitungan nilai kekuatan tarik. Adapun rumus yang digunakan untuk mencari kekuatan tarik adalah sebagai berikut.

$$= \frac{F}{A} \dots\dots\dots (4.1)$$

dimana F = beban atau gaya yang bekerja pada benda

A = Luas penampang

Sebagai contoh pada proses pengujian tarik sambungan *belt conveyor* yang sudah dilakukan diperoleh F_{max} sebesar 350 N. Kemudian diketahui luas penampang spesimen (luas pengeleman) adalah sebesar 1250 mm². Maka besarnya kekuatan tarik sambungan adalah:

Diketahui: $F_{\max} = 350 \text{ N}$

$$A = 1250 \text{ mm}^2$$

Ditanya nilai σ (kekuatan tarik)

Maka:
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{350}{1250}$$

$$\sigma = 0,28 \text{ Mpa}$$

Sehingga didapat nilai kekuatan dari setiap sambungan adalah sebagai berikut.

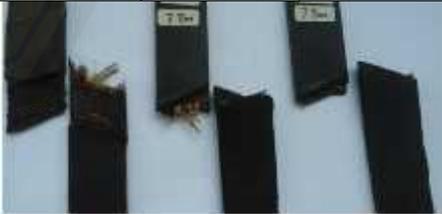
Tabel 4.3 Nilai kekuatan tarik (Mpa)

No	Temperatur (°C)	Tekanan (Bar)	σ_{tu} (MPa)			Rata-Rata σ_{tu} (MPa)
			1	2	3	
1	120	5	2,54	2,54	2,39	2,49
2		6	2,47	2,20	2,20	2,29
3		7	1,86	2,50	1,83	2,06
4	130	5	2,13	1,98	2,09	2,06
5		6	1,83	2,20	1,90	1,98
6		7	1,26	1,37	1,53	1,39
7	140	5	1,37	1,45	1,53	1,45
8		6	1,26	0,70	1,37	1,11
9		7	1,07	1,30	1,37	1,25

F. FOTO MAKRO HASIL UJI BELT

TEMPERATUR 120 ⁰ C								
5 BAR			6 BAR			7 BAR		
Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
								

TEMPERATUR 130 ⁰ C								
5 BAR			6 BAR			7 BAR		
Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
								

TEMPERATUR 130 ⁰ C								
5 BAR			6 BAR			7 BAR		
Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
								

G. SPESIFIKASI BELT

GREEN CARRY QB Conveyor Belt
Product of PT. Bando Indonesia

**ECONOMICAL PRICE
QUICK DELIVERY
GOOD QUALITY**

Marketing Office:
White House Road, Lingsi, Surabaya
J. Hayeri (031) 7581 1118
Tel: 031 7575811 Bandung

Fax: 031 7575811
Email: conveyor@bandaindonesia.com
http://www.bandaindonesia.com

GREEN CARRY QB Conveyor Belt
Product of PT. Bando Indonesia

As the pioneer in manufacturing conveyor belt in Indonesia, we always commit ourselves to customer satisfaction. In order to meet the rapidly growing demand in the field of bulk handling conveyor belt, we now produce a new brand "Green Carry" QB Conveyor Belt with reliable quality.

TYPE OF CONVEYOR BELT

Cut Edge Type

- 5 ply
- 4 ply
- 3 ply
- 2 ply

SIZE CODE

A00 x EP-100 x 3P x 3.0 x 1.5 x 200

- Belt length (meter)
- Bottom cover rubber
- Top cover rubber thickness (mm)
- Number of ply
- One ply belt strength (kg/cm)
- Type of fabric (EP = Polyester - Nylon)
- Belt Width (mm)

GREEN CARRY QB Conveyor Belt
Product of PT. Bando Indonesia

GREEN CARRY QB BELT APPLICATIONS

Used for conveying wide range of material such as clay, sand, stone, coal and other materials as long as not contained oil, acid, alkali and high temperature.

PROPERTIES OF CANVAS

Item	Canvas	
	EP-100	EP-200
Tensile strength (kN)	100	200
Elongation at break (%)	10	10
Approx. weight / ply with 3mm cover	1.0	1.3

CANVAS PERFORMANCE

Canvas	Features & Service Condition
EP	Short take-up travel
	Heavy duty
EP	Deep trough
	High tension
Polyester - Nylon	High speed
	Long span
	Tear resistant
	Impact resistant
	Complete moisture & mildew protection

GREEN CARRY QB Conveyor Belt
Product of PT. Bando Indonesia

SUNPAT-5 VULCANIZING MATERIAL AT AMBIENT TEMPERATURE

Application
Adhesive for cold splicing and repair of fabric reinforced conveyor belt at ambient temperature.

Features

- Shorter Curing Time
- High Peeling off Resistant
- Operational Efficiency is Increased

Belt can be in operation within two hours after splicing is completed (with ambient temperature 15° C to 35° C).

Increase operation efficiency with quick drying performance and high adhesiveness, eliminating problems such as mis-positioning. Finishing is also simple.

Product	Size	Suitable belt size /set
Canvas SUNPAT-5#210	1 kg/Can	One join of a 750 mm wide
Stitching Agent SUNPAT-5#204	175 gr/bottle	four ply belt

Applicable Conveyor Belt

MAXIMUM RANGE OF APPLICATION

Total tensile strength	Max. 1250 kg/cm
Fabric tensile strength	Max. 300 kg/cm/ply
Cover rubber thickness	0 - 6.5 mm

GREEN ARRY QB Conveyor Belt
Product of PT. Bando Indonesia

FLOW PROCESS STONE CRUSHER

Note : Capacity = 30 TPH

GREEN ARRY QB Conveyor Belt
Product of PT. Bando Indonesia

STANDARD SIZE AVAILABLE

PLY	WIDTH	EP	TOP	BOTTOM
2 PLY	300 - 1200 mm	100	1.5 mm	1.5 mm
2 PLY	300 - 1200 mm	100	3.0 mm	1.5 mm
3 PLY	300 - 1200 mm	100	3.0 mm	1.5 mm
4 PLY	300 - 1200 mm	100	3.0 mm	1.5 mm
5 PLY	300 - 1200 mm	100	5.0 mm	2.0 mm

ORDER CAN BE CUSTOMIZED WITHIN THE FOLLOWING PARAMETER

1. Belt width	300 - 1200 mm
2. Belt length	Min. 30 meter
3. Top cover rubber thickness	9 - 10 mm
4. Bottom cover rubber thickness	9 - 10 mm
5. Overall thickness	5 - 26.5 mm
6. Number of ply	1 - 5 ply
7. Belt strength	200 - 1000 kg/1m
8. Packing weight	30 ton max.
9. Diameter of roll	3.4 meter max.
10. Cover rubber	QR

H. APLIKASI BIDANG MANUFAKTUR

TABEL Hasil Uji Tarik Tanpa Sambungan

No	F_{\max} (N)			Rata-Rata F_{\max} (N)
	1	2	3	
1	268	250	263	260.33

TABEL Uji Tarik dengan Sambungan

No	Temperatur ($^{\circ}$ C)	Tekanan (Bar)	F_{\max} (N)			Rata-Rata F_{\max} (N)
			1	2	3	
1	120	5	68	68	64	66.67
2		6	66	59	59	61.33
3		7	50	67	49	55.33
4	130	5	57	53	56	55.33
5		6	49	59	51	53.00
6		7	34	37	41	37.33
7	140	5	37	39	41	39.00
8		6	34	19	37	30.00
9		7	29	35	37	33.67

Dari tabel diatas diketahui nilai tertinggi F_m sambungan *belt* yaitu 68 N. sedangkan rata-rata nilai F_m tanpa sambungan adalah 260 N. Jadi nilai F_m sambungan *belt* tertinggi yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebesar 26,15% dari kekuatan tarik *belt* asli tanpa sambungan. Sehingga efisiensi dari sambungan *belt conveyor* metode *hot splicing* ini sebesar 26,15%.

Untuk mengetahui gaya maksimal yang dapat diterima *belt* spesimen dengan yang sebenarnya dapat dilakukan dengan membandingkan nilai kekuatan (F_m) yang dimiliki oleh *belt* dengan sambungan dan ukuran *belt* yang sesungguhnya di dunia industri. Pada penelitian ini menggunakan *belt conveyor* dengan spesifikasi 2 *ply* serat penguat yang digunakan adalah serat *fabric*. Untuk *belt conveyor* dengan spesifikasi 2 *ply* banyak digunakan pada industri pupuk pertanian dibagian *packaging*. Maka pada penelitian ini di asumsikan bahwa kekuatan sambungan *belt* dibandingkan beban material sak pupuk yang diangkut dengan skala 1:20.

Dimensi spesimen = p x l = 250 mm x 25 mm

Dimensi sebenarnya = p x l = 5000 mm x 500 mm

F_m spesimen = 68 N

F_m sebenarnya = 80 x 20 = 1360

Beban sebenarnya = 1 sak pupuk = 50 kg

50 kg = 500 N

Pada ukuran sebenarnya *belt* dengan sambungan dapat menerima beban maksimum sebesar 168 N. Untuk beban yang diberikan yaitu 1 sak pupuk dengan berat 50 kg (500 N).

$$= F_m / F_{s_i}$$

$$= 136 / 500$$

$$= 2,7$$

Jadi pada ukuran sebenarnya dengan skala 1:20 atau dengan dimensi setiap 5m x 2,5m sambungan *belt conveyor* dapat menerima beban sak pupuk sebesar +-2 sak pupuk.

I. Tingkat kepercayaan (0.05)

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	18.00	18.16	18.25	18.30	18.33	18.35	18.37	18.38	18.40	18.40	18.41	18.42	18.42	18.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
16	4.54	3.68	3.28	3.05	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
18	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
28	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
36	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
38	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.96
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
46	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

J. ASTM D3039

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed 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 reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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 Resins³
- 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 Temperature⁵
- 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 Gages⁷
- 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 Loading⁵
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

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-30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Laminas and Laminated Test Methods.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039-71T. Last previous edition D 3039-95a.

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 15.01.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

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, $e^{\text{transition}}$ [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^u —ultimate tensile strength in the test direction.

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

3.3.8 h —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_{n-1} —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 e —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 e —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 *Micrometers*—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

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 Head—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 untabbed coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery 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 (B_x) and width plane (B_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

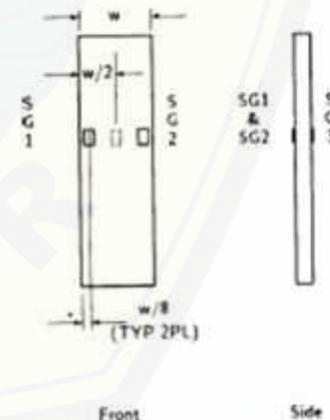


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

$$B_y = \frac{\epsilon_{max} - \epsilon_1}{\epsilon_{max}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{43(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{max}} \times 100 \quad (2)$$

where:

B_y — percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

B_z — 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 Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

ϵ_{max} — $(\epsilon_1 + \epsilon_2)/2 + |\epsilon_3|/2$.

The total bending component is:

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

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 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3% or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

⁸ Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984, pp. 54-65, errors noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153-154.

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 length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

7.4 Conditioning Chamber—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-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

equilibrium, and are 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 General Requirements	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 Specific Recommendations	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 Detailed Examples	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

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 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^aSee 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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 nonwedge grips are used with care, 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.^b

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]ns 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

^bE-Z Flex Metallic K224 cloth, Ori 120-L, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

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	15 [0.6]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	50 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [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 so long as the requirements of Table 1 are met.

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

§ 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:

$$L_{min} = F^{min}h/2F^{ad} \quad (9)$$

where:

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

§ 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.

§ 2.3 Detailed Examples—The minimum requirements for specimen design discussed in § 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 1 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.

§ 3 Specimen Preparation

§ 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.

§ 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.

§ 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 ($23 \pm 3^\circ\text{C}$ [$73 \pm 5^\circ\text{F}$] and $50 \pm 10\%$ 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 mm^2 (in.^2).

- DRAWING NOTES:**
1. INTO SPECS CHANGED IN ACCORDANCE WITH THIS STANDARD, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ARE IN DECIMAL INCHES UNLESS OTHERWISE INDICATED AS FOLLOWS:

IN	FR	MM
0.0001	0.001	0.01
 3. ALL ANGLES UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ARE 90°.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO \perp WITHIN $\pm 1^\circ$.
 5. FINISH ON GATED EDGES NOT TO EXCEED 16/75 (VARIABLE) IN ACCORDANCE WITH ASME B46.1, WITH FOUR-BLUE-VENTURE FINISH (MIL-STD-1312).
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGE SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: SURFICIAL LAY UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO \perp , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB HOLE, HOLE DIA., TAB RADIUS.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THE GAGE.

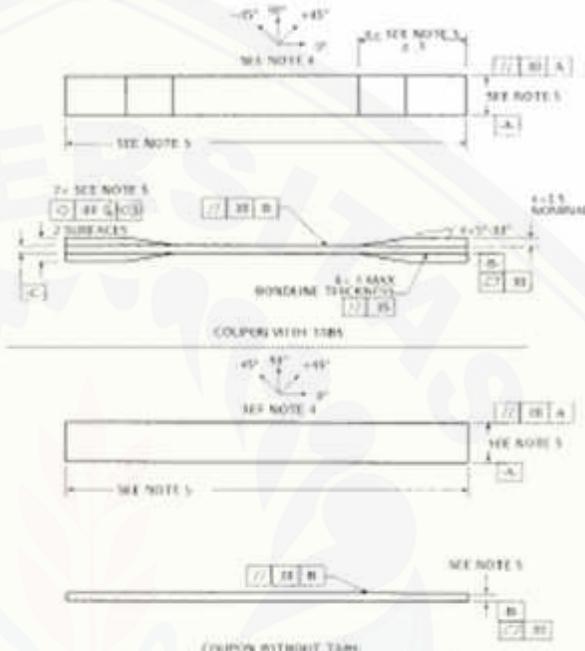


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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 Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of 2 mm/min [0.05 in./min].

NOTE 6—Use of a fixed head 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 head speeds 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 place 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*—Place 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.

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M (M), SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± 5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN ± 3°.
5. FINISH OR MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 4A_v (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICRONS.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

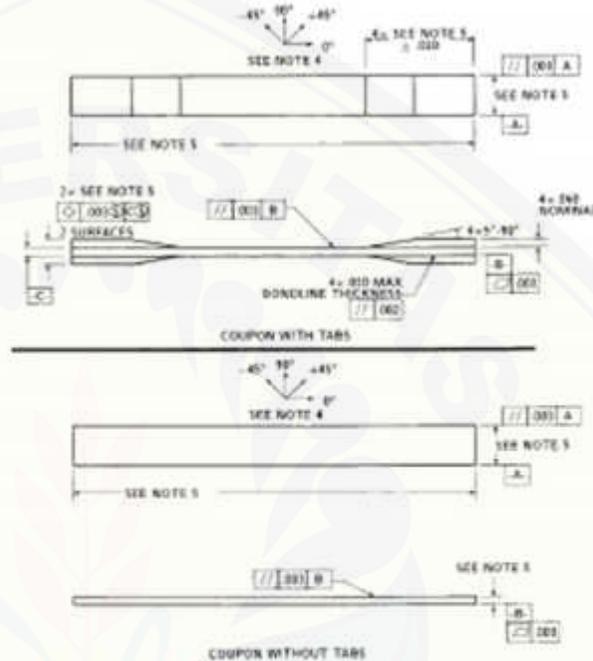


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (Inch-pound)

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 (grip-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration 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 tab ends 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 Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
1000 $\mu\epsilon$	3000 $\mu\epsilon$	2000 $\mu\epsilon$

*1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 absolute strain.

†This strain range is to be contained in the lower half of the stress-strain curve. For materials that fall 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

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 5—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.

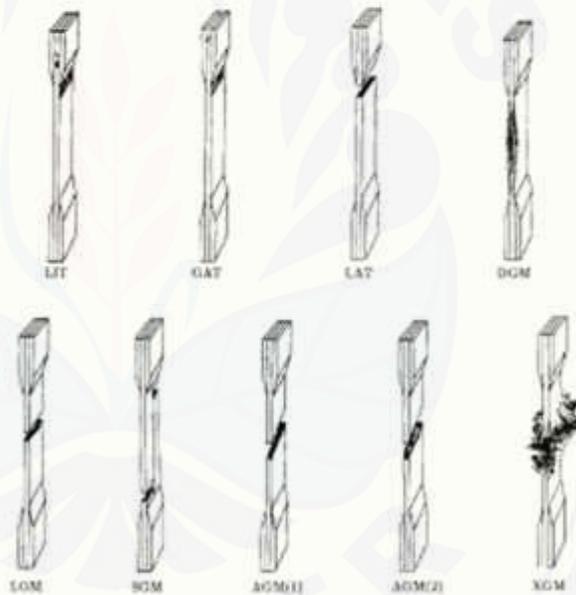
$$F^{tu} = P^{max}/A \tag{6}$$

$$\sigma_i = P_i/A \tag{7}$$

where:

- F^{tu} — ultimate tensile strength, MPa [psi];
- P^{max} — 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, $mm^2[in.^2]$.

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



First Character		Second Character		Third Character	
Failure Type	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Angled	A	Inside grip/tab	I	Bottom	B
edge Delamination	D	At grip/tab	A	Top	T
Grip/tab	G	< 1W from grip/tab	W	Left	L
Lateral	L	Grip	G	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Multiple areas	M	Middle	M
long Slipping	S	Unknown	V	Vertical	V
unknown	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				

FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

three significant figures.

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

where:

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

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 9—To minimize potential effects of banding 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 tabulated 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.

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

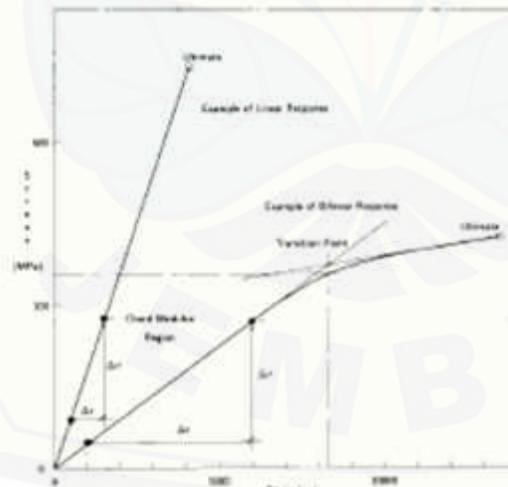


FIG. 6 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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 0.002).

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 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_p , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_s , 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.

$$\nu = -\Delta\epsilon_p / \Delta\epsilon_s \quad (10)$$

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_p$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta\epsilon_s$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. 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 record 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

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:

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

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

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

where:

- \bar{x} — sample mean (average);
- s_{x-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 requestor):

- 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 travelers 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 if 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

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 B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

A	Df-6/5501-6 uni-tape (0°)
B	Df-6/5501-6 uni-tape (90°)
C	Df-6/5501-6 uni-tape (90°)a
F	Glass/epoxy fabric (778) glass/Chia R 7376 Epoxy wavy aligned

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 327-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

G Carbon/epoxy fabric (66108
carbon/Chia R 6376

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	$s \bar{x}$	S_x	S_y	S_x/\bar{x} , %	S_y/\bar{x} , %
Strength, ksi						
A	342.69	6.49	10.88	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	6.04	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.62	1.59	3.92	3.62	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.66	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.20	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.27	0.08	4.56	6.16
B	0.90	0.04	0.06	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.01	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_x/\bar{x} and S_y/\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_y/\bar{x} , %
Strength	5.11	6.03
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for 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

K. PROSES Pengerjaan

Proses pengerjaan ini saya ambil dari penelitian sebelumnya (Amril,2015).

1. Proses Pemotongan *Bias Cut*

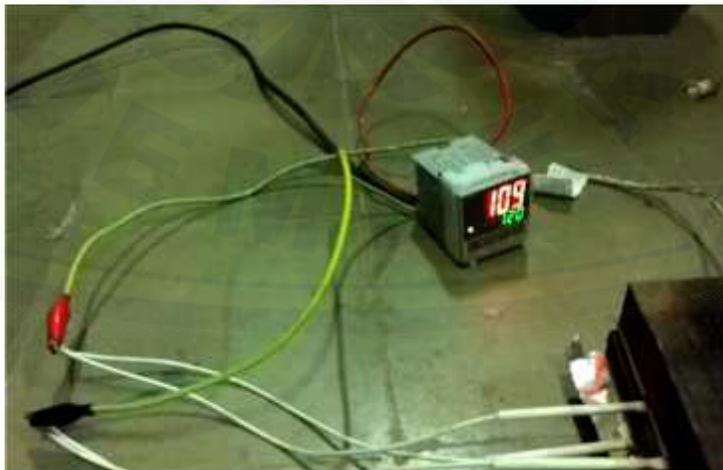
2. Proses Penimbangan Lem







3. Proses Pemanasan Awal (*Pre Heating*)



4. Proses Pemanasan *Belt*









5. Proses Pendinginan *Belt*



6. Proses Pencekaman Pada Mesin Uji Tarik

