



**OPTIMASI PARAMETER PROSES *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT *POLYESTER*
*FIBER GLASS***

SKRIPSI

Oleh

Dani Arief Bahtiar Tri Setiaji

NIM 111910101053

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2016



**OPTIMASI PARAMETER PROSES *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT *POLYESTER*
*FIBER GLASS***

SKRIPSI

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

Oleh

Dani Arief Bahtiar Tri Setiaji

NIM 111910101053

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2016

PERSEMBAHAN

Laporan Proyek Akhir ini dibuat sebagai perwujudan rasa terima kasih kepada:

1. Ayahku Moch. Mochtar dan Ibuku Juma'inah tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Kakakku Afif Manan Setiawan dan adikku Winagil Catur Arief Basmalah yang selalu memberikanku semangat lewat senyumnya;
3. Yunika Tria Melati yang selalu sabar dan setia di setiap tawa maupun duka.
4. Bapak M. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T. yang selalu sabar dalam memberi masukan dalam penelitian skripsi ini.
5. Dosen pembimbing skripsi Bapak Hari Arbiantara B., S.T., M.T dan Bapak R. Koekoeh KW., S.T., M.Eng yang selalu setia membimbing dan memberi masukan kepadaku dalam penulisan skripsi ini.
6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang kalian berikan bermanfaat dan barokah untukku dan untuk kalian serta menjadi amalan penolong kalian kelak;
7. Guru-guruku dari TK, SD, SMP, SMA, dan Dosen Perguruan Tinggi atas semua ilmu yang telah diberikan;
8. Almamaterku Universitas Jember yang aku cintai dan aku banggakan;
9. Saudaraku Teknik Mesin '11 Universitas Jember, M. Syaifudin Ihsan (SULEK Ketan 2011), Dahlaz Dzuhro, Bangkit Nurul Akmal, Febrian Rhama Putra, Farihen, Ahmad Mahfud, Ahmada Wildan Khadziq (STEAM), Adi Febrianto, Saddam Husein, M. Agung Fauzi, Muhammad Mukri, Arief Hidayatullah, Shofiyah Lesmana, Anton Cahyono, Muslih Muhammad Asa, Imron Rosyadi Octora Rosyadi, Achmad Alifiyah Sobirin, Angga Rahmanto, Pemi Juni Setiawan, Luki Agung Prayitno, Irsyadul Absor, M. Arif Ramdhoni, Mei Novan

Dani Setyopambudi, Ahmad Sofyan Hadi, Mar'iy Muslih Muttaqin (Ketum Molis), Muhammad Asrofi, Faisal Karamy, Yohanes Kristian, Ahmad Amril Nurman, Adam Malik, Setyo Pambudi, Muhammad Kahlil Gibran, Meinovan Dani, Sigit Jatmiko, Rizki Erizal, Febri Anggih Setiawan, Nurudin Hamid, Wildan Gobez, Wildan Didi, Hegar, Dimas Triadi, Annas Widadtyawan Firdaus, Jupri, Niko Putra Karuniawan, Agung Widodo, Arisyabana, Lutfi Hilman, Naufal Firas, Anugrah V Ilannuri, Aunur Rofik, Agus Widiyanto, M. Mirza Rosid Sudrajat, Tito Diaz, Itok Denis, Hendri, Hanif Rahmat, Hanif Hermawan, Muhammad Abduh, Hafid, Yulius, Erda, Saiful Rizal, Aryo Kristian, Yurike Elok Purwanti, Aisyatul Khoiriyah, Novia Dwi Triana, Kiki Ermawati, Ikawati, Upit Fitria, dan lain-lain, yang selalu memberikan motivasi dan semangat persaudaraan selama perkuliahan hingga saat ini dan teruslah bersaudara hingga kita bisa berbagi kesenangan dan kebahagiaan lagi di surga-NYA kelak, panjang umur dan berbahagialah kalian;

10. Saudaraku Team Mobil Listrik Unej (TITEN-UNEJ) yang sudah mau berbagi keluh kesah, senang, canda tawa bersama;
11. Teman seperjuangan Mega Erin S, Sherly A, Rina S, Umamah, Fredi, Veri, Adi, Arif, Imam yang selalu membantu dalam segala hal;
12. Seluruh civitas akademik baik di lingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

MOTTO

“Apabila anda berbuat kebaikan kepada orang lain maka anda telah berbuat baik terhadap diri sendiri”
(*Benyamin in Franklin*)

Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil, kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik
(*Evelyn Underhill*)

”Banyaknya kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah”
(*Thomas Alva Edison*)

“Hai orang-orang yang beriman, Jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”
(*Al-Baqarah: 153*)

“Tidak ada masalah yang tidak bisa diselesaikan selama ada komitmen bersama untuk menyelesaikannya”
(*Depag RI 1989 : 421*)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dani Arief Bahtiar Tri Setiaji

NIM : 111910101053

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “OPTIMASI PARAMETER PROSES *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION* TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT *POLYESTER FIBER GLASS*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 2016

Yang menyatakan,

(Dani Arief Bahtiar Tri Setiaji)

NIM 111910101053

SKRIPSI

**OPTIMASI PARAMETER PROSES *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT *POLYESTER*
*FIBER GLASS***

Oleh

Dani Arief Bahtiar Tri Setiaji
NIM 111910101053

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Hari Arbiantara B., S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : R. Koekoeh KW., S.T., M.Eng

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “OPTIMASI PARAMETER PROSES *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION* TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT *POLYESTER FIBER GLASS*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

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

Anggota I,

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 196800202 199702 1 001

Sekretaris,

R. Koekoeh KW., S.T., M.Eng
NIP 19670708 199412 1 001

Anggota II,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP 19700228 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

OPTIMASI PARAMETER PROSES *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION* TERHADAP SIFAT FISIK MEKANIK KOMPOSIT *POLYESTER FIBER GLASS*; Dani Arief Bahtiar Tri Setiaji, 111910101053; 2016; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Vacuum assisted resin infusion adalah metode yang digunakan untuk pembuatan komposit. Metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI) menggunakan metode yang berbanding terbalik dengan metode non *vacuum*. Metode ini membutuhkan ruang kedap udara dalam pencetakannya. Proses VARI dapat mengurangi efek pengotoran yang banyak terjadi pada proses non *vacuum* seperti yang menimbulkan kurang optimalnya sifat material komposit.

Permasalahan yang diteliti adalah untuk mengetahui optimasi parameter proses *vacuum assisted resin infusion* terhadap sifat fisik dan mekanik komposit *polyester fiber glass*. Variasi yang digunakan yaitu tekanan *vacuum* 0,2 ; 0,5 ; 1,0 bar dan waktu pengerasan komposit 2 jam ; 4 jam ; 6 jam.

Penelitian ini dilakukan di bengkel Mobil Listrik Fakultas Teknik Universitas Jember untuk pembuatan komposit dan pengujian kekasaran permukaan, pengujian tarik dan pengujian *impact* di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Dari hasil penelitian pembuatan komposit dengan metode VARI, didapat nilai kekasaran permukaan, kekuatan tarik dan *impact* terbaik terjadi pada variasi tekanan 0,2 bar dan waktu pengeringan komposit 2 jam memiliki nilai kekasaran permukaan 0,498 μm , nilai uji tarik 27,344 MPa dan nilai uji *impact* 47,859 J/mm².

SUMMARY

OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE POLYESTER FIBER GLASS; Dani Arief Bahtiar Tri Setiaji, 111910101053; 2016; *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.*

Vacuum assisted resin infusion is a method used for the manufacture of composites. The method of vacuum assisted resin infusion (VARI) using a method that is inversely proportional to non-vacuum methods. This method requires airtight chamber in printing. VARI process can reduce the effects of fouling that occurs in many non-vacuum processes such as causing less optimal properties of composite materials.

The problems in conscientious is for know optimization of process parameters of vacuum assisted resin infusion against mechanical physical properties of composite polyester fiber glass. Variations were used that vacuum pressure of 0.2; 0.5; 1.0 bar and a hardening of composite 2 hours; 4 hours ; 6 hours.

This research was conducted in workshoop Electric Car Technical University of Jember for the manufacture of composite and surface roughness testing, tensile testing and impact testing at the Material Laboratory Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

From the results research VARI composite manufacturing method, the surface of the obtained values of violence, tensile strength and the best impact occurs at various pressure of 0.2 bar and a time of 2 hours accompaniment composite has a surface roughness value of $0.498 \mu\text{m}$, the value of $27,3444 \text{ MPa}$ tensile test and impact test values 47.859 J/mm^2 .

PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah Swt, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “OPTIMASI PARAMETER PROSES *VACUUM ASSISTED RESIN INFUSION* TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT *POLYESTER FIBER GLASS*”. Skripsi ini merupakan mata kuliah wajib dan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Selama penelitian dan penulisan laporan Skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dapat penulis rasakan setiap detik dalam hidup ini.
2. Bapak saya Moch. Mochtar yang telah berjuang mendidik saya, dan Ibu saya Juma'inah tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan.
3. Kakakku Afif Manan Setiawan, Serta Adikku Winagil Catur Arief Basmalah, yang senantiasa memberikan support terhadap semua aktifitas perkuliahan sampai saat ini.
4. Bapak M. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T. yang rela meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberi saran dalam penelitian sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang Bapak/Ibu berikan bermanfaat dan barokah untukku dan untuk pribadi masing-masing serta menjadi amalan penolong Bapak/Ibu kelak.

6. Dosen tersabar Bapak Hari Arbiantara B., S.T., M.T yang rela meluangkan waktunya untuk membimbing dan Bapak R. Koekoeh KW., S.T., M.Eng sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Bapak Sumarji, S.T., M.T. dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang tak lelah memberikan kritik dan saran sehingga penelitian dan penulisan ini menjadi lebih baik.
8. Saudaraku Teknik Mesin '11 Universitas Jember yang selalu memberikan motivasi dan semangat persaudaraan selama perkuliahan hingga saat ini dan teruslah bersaudara hingga kita bisa berbagi kesenangan dan kebahagiaan lagi di surga-NYA kelak, panjang umur dan berbahagialah kalian.
9. Seduluran Teknik serta adik-adik angkatan yang dirasa membantu dalam proses kuliah dan kehidupan.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Skripsi ini disusun berdasarkan data-data yang di peroleh dari studi lapangan dan studi kepustakaan serta uji coba yang dilakukan, walaupun ada kekurangan itu diluar kemampuan saya sebagai penulis, oleh karena itu penulis senantiasa terbuka untuk menerima kritik dan saran dalam upaya penyempurnaan skripsi ini.

Jember, 2016

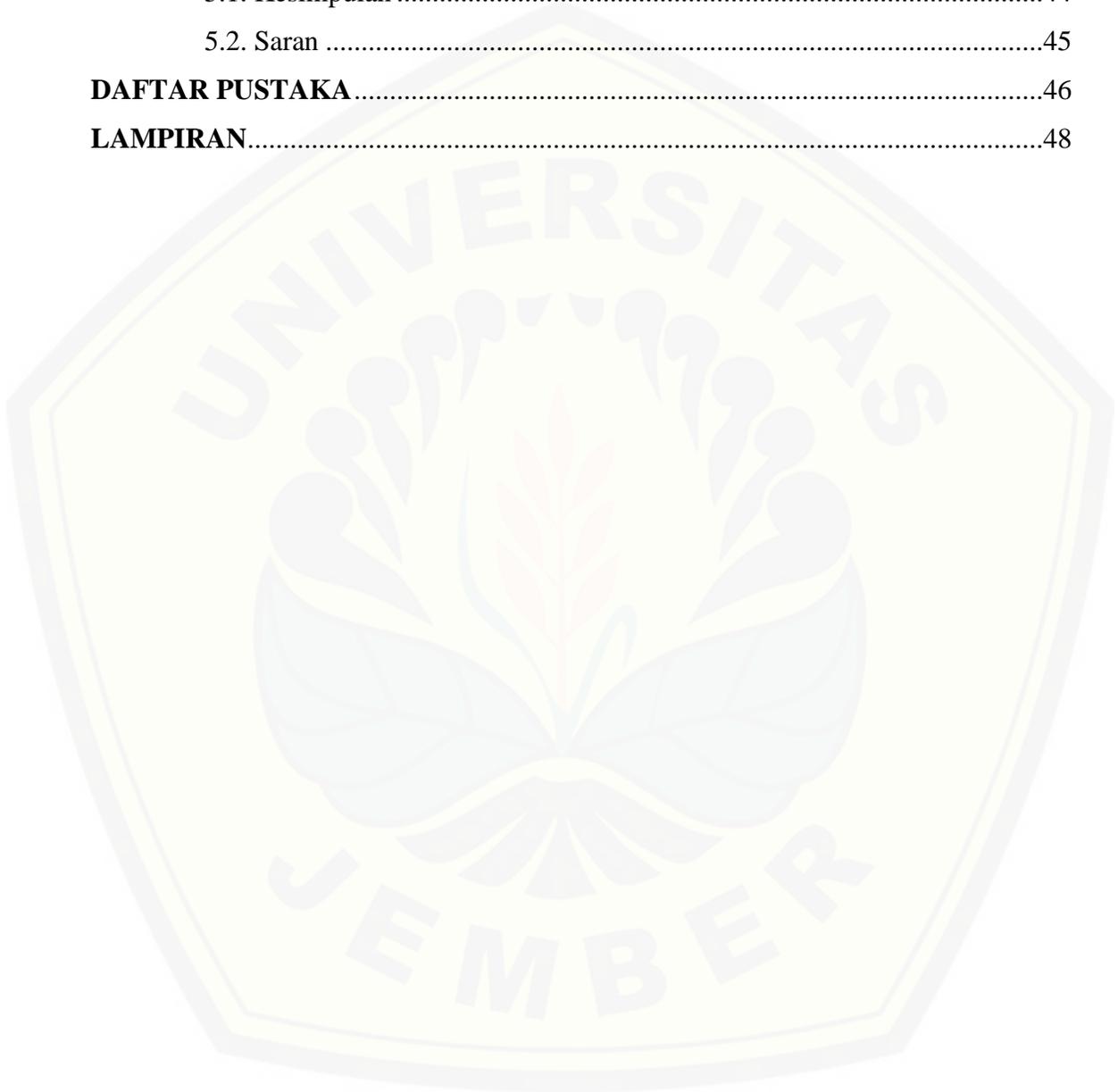
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Komposit	5
2.1.1 Pengertian Komposit	5
2.1.2 Bahan Komposit Serat (<i>Fiber Composite</i>).....	6
2.1.3 Matrik (Pengisi).....	6
2.2. Serat	7
2.2.1 Serat <i>Fiber Glass Reinforcing mat 300</i>	7
2.3. Polyester resin Yukalac 157 BQTN-EX	8
2.4. Proses Pabrikasi Komposit	9
2.4.1 <i>Open Moulding Process</i> (Pencetakan Terbuka).....	9
2.4.2 <i>Close Moulding Process</i> (Pencetakan Tertutup).....	10
2.4.2.2 Parameter dalam proses VARI	12

2.5. Bahan Cetakan	12
2.5.1 Gypsum	12
2.6. Pengujian Komposit	13
2.6.1. Pengujian Kekasaran.....	13
2.6.1.1 Parameter Kekasaran Permukaan	13
2.6.2 Pengujian Kekuatan Tarik	16
2.6.3 Uji <i>Impact</i>	17
2.6.4 Pengujian Morfologi	19
2.7. Aplikasi Komposit Polyester Resin	19
2.8. Hipotesa	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1. Metode Penelitian.....	21
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.3.1 Alat	21
3.3.2 Bahan	22
3.4 Variabel Penelitian	22
3.4.1 Variabel Bebas	22
3.4.2 Variabel Terikat	22
3.5. Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.5.1. Langkah-Langkah Pembuatan Sampel untuk metode <i>vacumm assisted resin infusion</i> (VARI).....	23
3.6 Pelaksanaan Pengujian.....	24
3.6.1 Pengujian Kekasaran.....	24
3.6.2 Langkah-langkah pengujian tarik sampel	25
3.6.3 Langkah-langkah pengujian <i>impact</i> sampel.....	27
3.7 Pengolahan Data	27
3.8 Analisis Data.....	28
3.9 Diagram Alir Penelitian	30
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekasaran Permukaan	31

4.2. Hasil dan Pembahasan Pengujian Tarik.....	33
4.3. Hasil dan Pembahasan Pengujian <i>Impact</i>	35
4.4. Analisa dan Pembahasan Hasil Pengamatan Makro	37
BAB 5. PENUTUP	44
5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	48



DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Susunan serat fiber menurut kontinuitas dan arahnya, susunan kontinyu terarah (a) susunan tidak kontinyu terarah (b), dan susunan kontinyu acak (c)	6
Gambar 2.2 Resin polyester (Yukalac 157 BQTN-EX)	8
Gambar 2.3 Proses pencetakan dengan cetakan terbuka <i>Hand lay up</i>	9
Gambar 2.4 Diagram VARI <i>Surface infusion</i> (a) dan diagram VARI <i>Interlaminar Infusion</i>	11
Gambar 2.5 Profil permukaan	13
Gambar 2.6 Skema pengujian <i>impact charphy</i>	17
Gambar 2.7 Mekanisme pengujian <i>impact charphy</i>	18
Gambar 2.8 Ukuran spesimen sesuai ASTM E 23 (ASTM E 23)	19
Gambar 3.1 Proses pembuatan komposit metode VARI	24
Gambar 3.2 TR220 Portable roughness tester	25
Gambar 3.3 Pengujian kekasaran permukaan	25
Gambar 3.4 Mesin Uji Tarik	26
Gambar 3.5 Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik	26
Gambar 3.4 Bentuk dan ukuran spesimen uji <i>impact</i>	27
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 4.1 Grafik pengaruh tekanan dan waktu pengerasan terhadap kekasaran permukaan	32
Gambar 4.2 Grafik pengaruh tekanan dan waktu pengerasan terhadap kekuatan tarik	34
Gambar 4.3 Grafik pengaruh tekanan dan waktu pengerasan terhadap kekuatan <i>impact</i>	36
Gambar 4.4a Spesimen pada tekanan 0,2 bar pada waktu pengerasan 2 jam	37
Gambar 4.4b Spesimen pada tekanan 0,2 bar pada waktu pengerasan 4 jam	37

Gambar 4.4c Spesimen pada tekanan 0,2 bar pada waktu pengerasan 6 jam	38
Gambar 4.5a Spesimen pada tekanan 0,5 bar pada waktu pengerasan 2 jam	38
Gambar 4.5b Spesimen pada tekanan 0,5 bar pada waktu pengerasan 4 jam	38
Gambar 4.5c Spesimen pada tekanan 0,5 bar pada waktu pengerasan 6 jam	38
Gambar 4.6a Spesimen pada tekanan 1 bar pada waktu pengerasan 2 jam	38
Gambar 4.6b Spesimen pada tekanan 1 bar pada waktu pengerasan 4 jam	38
Gambar 4.6c Spesimen pada tekanan 1 bar pada waktu pengerasan 6 jam	40
Gambar 4.7 Perhitungan presentase luasan void dengan auto cad 2008	40
Gambar 4.8 Grafik pengaruh tekanan <i>vacumm</i> dan waktu pengerasan komposit terhadap presentase nilai void	40

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Jenis serat komersil	8
Tabel 2.2 Standarisasi simbol nilai kekerasan	15
Tabel 3.1 Variabel bebas.....	16
Tabel 3.2 Tabel hasil pengujian	28
Tabel 4.1 Hasil pengujian kekasaran permukaan	31
Tabel 4.2 Hasil pengujian tarik	33
Tabel 4.3 Hasil pengujian <i>impact</i>	35
Tabel 4.4 Data presentase nilai luasan void	39

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi bahan dewasa ini semakin pesat. Hal ini banyak didorong oleh kebutuhan akan bahan yang dapat memenuhi karakteristik tertentu yang dikehendaki. Salah satu hasilnya adalah bahan komposit polimer. Kemampuan untuk mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, baik dalam segi kekuatan, maupun bentuknya dan keunggulannya dalam rasio kekuatan terhadap berat, mendorong penggunaan komposit polimer sebagai bahan pengganti material logam konvensional pada berbagai produk.

Dalam industri manufaktur dibutuhkan material yang memiliki sifat-sifat istimewa yang sulit didapat dari logam. Komposit merupakan material alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu komposisi bahan yang banyak dikembangkan adalah komposit berbasis serat fiber – resin. Penggunaan bahan ini dapat menghasilkan material yang ringan, namun memiliki kekuatan yang tinggi (Alian, 2011).

Penggunaan bahan komposit sebagai alternatif pengganti bahan logam dalam bidang rekayasa sudah semakin meluas, yang tidak hanya sebagai panel di bidang transportasi tetapi juga merambah pada bidang lainnya seperti property dan arsitektur. Hal ini dikarenakan oleh adanya keuntungan penggunaan bahan komposit seperti konstruksi menjadi lebih ringan, tahan korosi dan kekuatannya dapat didesain sesuai dengan arah pembebanan. Fokus pemilihan bahan yang tepat untuk suatu konstruksi menuntut sebuah kepastian tentang material penyusun yang tepat pula. Tuntutan fungsi komposit saat ini tidaklah hanya sebatas kekuatan mekanik saja, tetapi juga sifat fisiknya (Harianto, 2007).

Beberapa metode pembuatan polimer komposit telah dikembangkan, salah satunya adalah *vacuum assisted resin infusion*. Metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI) menggunakan metode yang berbanding terbalik dengan metode non

vacuum. Metode ini membutuhkan ruang kedap udara dalam pencetakannya. Proses VARI dapat mengurangi efek pengotoran yang banyak terjadi pada proses non *vacuum* seperti yang menimbulkan kurang optimalnya sifat material komposit. Pada proses VARI terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya antara lain: Dapat membuat produk dari ukuran terkecil dan terbesar, proses pengerjaannya lebih cepat dibandingkan proses non vakum, dapat mengoptimalkan penggunaan resin, kemampuan mengikuti cetakan dan ketebalan lamina dapat ditentukan. Sedangkan kekurangan proses VARI antara lain: Rentan terjadi kebocoran, hanya menggunakan *matriks non* logam, dan untuk bentuk profil memerlukan cetakan yang solid. Dalam proses VARI, serat fiber diletakkan dalam cetakan yang tertutup dengan keadaan *vacuum*. Kemudian resin di injeksikan setelah ruang di dalam cetakan dengan tekanan rendah, proses berlanjut sampai seluruh bagian fiber terbasahi oleh resin (Febriyanto, 2011).

Pada penelitian sebelumnya yang di lakukan Febriyanto (2011), di peroleh nilai kekuatan tarik sebesar 28,18 MPa dengan tekanan *vacumm* sebesar 1,0 bar selama 8 jam pada suhu ruang dan penelitian yang dilakukan oleh Rizky (2010), di peroleh nilai kekuatan tarik 30,36 MPa dengan tekanan *vacumm* sebesar 0,2 bar selama 6 jam pada suhu ruang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan tekanan *vacuum* pada proses pembuatan komposit dan waktu pada proses pengerasan komposit metode VARI dengan matrik *polyester* berpenguat serat *fiber glass* terhadap pengujian kekasaran permukaan, kekuatan tarik dan *impact* pada benda uji. Penelitian ini diharapkan mampu mengoptimalkan waktu pengerasan komposit dan tekanan pada proses VARI untuk mendapatkan kekuatan yang tinggi dan kekasaran permukaan yang rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi tekanan *vacuum* yang optimal untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik *polyester fiber glass* dengan metode VARI.
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu proses *vacuum* pada pengerasan komposit yang optimal untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik *polyester fiber glass* dengan metode VARI.

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan yang diterapkan untuk memudahkan analisa penelitian ini antara lain:

1. *Matriks polyester* yang digunakan adalah produk yukalac 157 BQTN-EX.
2. Serat yang digunakan adalah tipe serat *mat* 300 dan arah serat acak.
3. Bahan cetakan yang dipakai gipsum.
4. Kecepatan laju aliran pengisi stabil.
5. Volume *resin bucket*, *resin trap* dan *vacuum pump* dianggap sama.
6. Suhu dalam proses pembuatan komposit konstan.
7. Campuran resin dan katalis homogen.
8. Pada penelitian ini hanya dilakukan pengujian kekasaran permukaan, uji tarik dan uji *impact* untuk mengetahui tingkat kehalusan permukaan, kekuatan tarik dan uji bentur.
9. Proses pembuatan sampel menggunakan metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI).

1.4 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh perlakuan tekanan *vacuum* pada proses pembuatan komposit dengan metode VARI terhadap sifat fisik dan mekanik dengan pengujian kekasaran permukaan, tarik dan *impact*.

2. Mengetahui pengaruh perlakuan waktu proses pengerasan komposit pada proses pembuatan komposit dengan metode VARI terhadap sifat fisik dan mekanik dengan pengujian kekasaran permukaan, tarik dan *impact*.

Sedangkan manfaatnya yang dapat diperoleh dari penulisan hasil penelitian ini adalah:

1. Mampu mengoptimalkan waktu dan tekanan pada proses VARI untuk mendapatkan tingkat kekasaran permukaan yang rendah, kekuatan tarik, dan *impact* yang tinggi.
2. Menambah pengetahuan, wacana, dan acuan bagi peneliti lanjutan dengan tema yang sama untuk mengembangkan teknologi yang lebih modern dari hasil penelitian ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

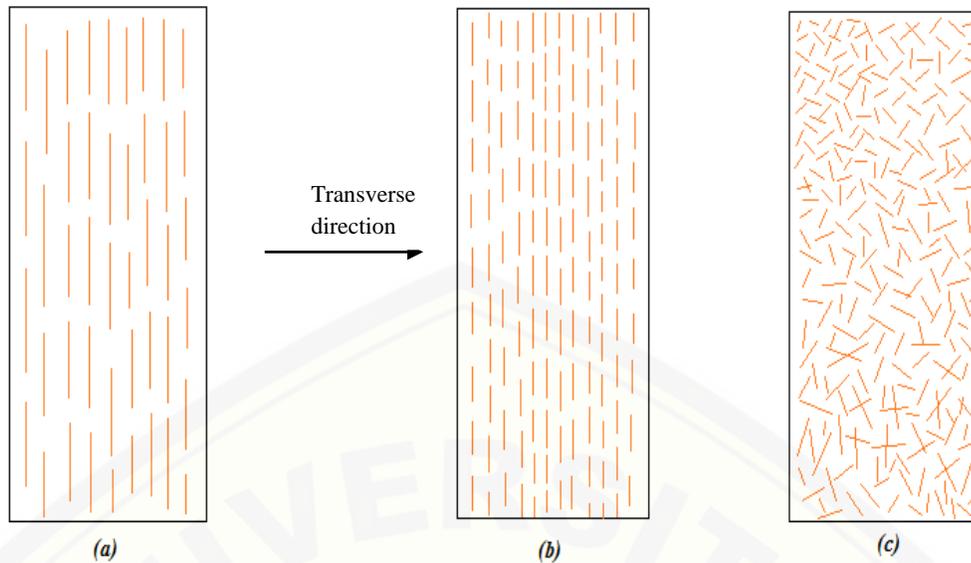
2.1.1 Pengertian Komposit

Menurut Junus (2011), material komposit di definisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuk, komposisi kimia dan tidak saling melarutkan dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan yang lainnya sebagai pengikat serta dapat dilihat perbedaannya secara makroskopis. Komposit disusun dari dua komponen yaitu *matrik* atau resin dan *reinforcement* atau penguat ada juga yang menyebut *filler*. *Filler* ini nanti akan berfungsi sebagai penguat berupa partikel atau serat yang menerima distribusi tegangan dari komposit.

Untuk meningkatkan komposit yang diperkuat harus memperhatikan dua hal yaitu, pertama komponen penguat harus memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada komponen matriknya. Kedua harus ada ikatan permukaan yang kuat antara komponen penguat dan matriknya. Fungsi dari matrik ialah untuk mendukung dan mengikat *Filler*, mentransfer beban antar *filler* dan melindungi *filler* dari perubahan eksternal.

Untuk menentukan arah orientasi pada komposit dapat dilakukan secara acak (*random orientation*) atau pada arah tertentu (*preferred orientation*). Namun kebanyakan orientasi yang digunakan dalam penyusunan partikel penguat adalah secara acak (*random orientation*), dengan alasan lebih praktis.

Arah serat *fiber* sangat menentukan kekuatan mekanik komposit pada arah tertentu William, (2001). Beberapa jenis susunan serat *fiber* dapat dilihat pada Gambar 2.1. Arah serat kontinyu memiliki serat panjang yang tidak putus dan terarah pada satu arah tertentu. Arah serat yang tidak kontinyu memiliki serat-serat pendek yang terputus-putus, hal ini yang menimbulkan serat ini bersifat acak.



Gambar 2.1. Susunan serat *fiber* menurut kontinuitas dan arahnya, susunan kontinu terarah (a) susunan tidak kontinu terarah (b), dan susunan kontinu acak (c). (Sumber: William, 2001)

2.1.2 Bahan Komposit Serat (*Fiber Composite*)

Bahan komposit serat adalah jenis bahan komposit yang umum dikenal dan sudah banyak digunakan oleh masyarakat. Komposit serat ini juga merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu laminat atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat atau *fiber*. *Fiber* yang sering digunakan berupa *glass fiber* alasannya harga yang ekonomis dan mudah dididapatkan dibanding serat yang lainnya.

2.1.3 Matrik (pengisi)

Matrik adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar. Fungsi dari matrik untuk menjaga *filler* agar tetap pada tempatnya di dalam struktur, membantu distribusi beban secara merata, melindungi serat dari gesekan mekanik dan tetap stabil setelah proses manufaktur.

Sifat-sifat yang dimiliki matrik yaitu mekanik yang baik, Kekuatan ikatan yang baik, ketangguhan yang baik dan tahan terhadap temperature yang tinggi lebih dari 100 °C (Ellyawan, 2008). Sebagai bahan penyusun utama dari komposit, matrik

harus mengikat penguat (serat) secara optimal agar beban yang diterima dapat diteruskan oleh serat secara maksimal sehingga diperoleh kekuatan yang tinggi.

2.2 Serat

Serat dikelaskan dalam dua bagian besar yaitu serat alam dan serat buatan. Serat alam adalah serat yang di dapat dari alam seperti serat daun nanas, kapas, wol, sutra, pelepah pisang dan serat alam yang lainnya, sedangkan serat buatan (sintetik) seperti nilon, *fiber glass*, carbon dan serat buatan lainnya. Setiap serat buatan terdiri dari rantai polimer, dan kebanyakan merupakan polimer berkrystal, sehingga sifat kimianya bergantung kepada struktur rantai polimer tersebut. Secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi serat adalah sebagai penguat bahan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya lebih kuat, tangguh dan lebih kokoh dibandingkan dengan tanpa serat penguat, selain itu serat juga menghemat penggunaan resin (Siregar dkk, 2009).

2.2.1 Serat *Fiber Glass reinforcing mat 300*

Secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi serat adalah sebagai penguat bahan untuk memperkuat komposit sehingga sifat mekaniknya lebih kuat, tangguh dan lebih kokoh dibandingkan dengan tanpa serat penguat, selain itu serat juga menghemat penggunaan resin. Serat gelas (*glass fiber*) adalah bahan yang tidak mudah terbakar. Serat ini biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis polimer. Komposisi kimia serat gelas sebagai besar adalah SiO dan sisanya adalah oksida-oksida alumunium (Al), dan unsur-unsur lainnya. Ada 3 jenis serat yang umum dijual di pasaran seperti terlihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Jenis Serat Komersil (Siregar dkk, 2010)

Jenis	Kerapatan per m ²	Tebal komposit 1 lapis
Mat 300	300 gram	0,05 cm
Mat 450	450 gram	0,07 cm
Woven Roving	600 gram	0,09 cm

2.3 Polyester resin Yukalac 157 BQTN-EX

Bahan ini tergolong polimer thermoset dan memiliki sifat dapat mengeras pada suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa pemberian tekanan ketika proses pencetakannya menjadi suatu peralatan tertentu. Resin *polyester* (Yukalac 157 BQTN-EX) digunakan sebagai bahan matrik dengan sifat densitas 1,215 g/cm³, titik leleh 170°C dengan serapan air 0,118% (24 jam), *tensile strength* 5,5 kg/mm² dan perpanjangan putus 1,6% (Mashuri, 2007). *Polyester* ini merupakan jenis *Ortho-phthalic* Resin dan sangat populer di bidang pembuatan kapal di Indonesia. Bidang aplikasi lainnya antara lain: tangki, alat saniter, bodi kendaraan dan lain-lain. Yukalac 157 bqt-n-ex ber-sertifikat LR *register* & FDA (Justus, 2011). *Ortho-phthalic* Resin sering digunakan karena harganya yang murah (Pepper, 2012). *Polyester* yukalac dapat di lihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Resin polyester (Yukalac 157 BQTN-EX)

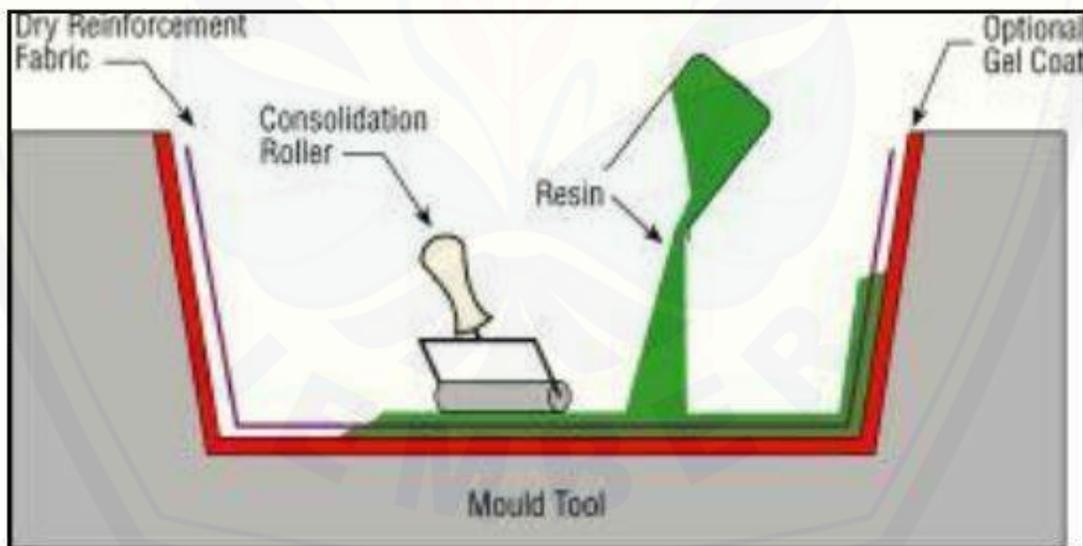
2.4 Proses Pabrikasi Komposit

Material komposit dapat diproduksi dengan berbagai macam metode proses pabrikasi. Metode pabrikasi ini disesuaikan dengan jenis matrik penyusun komposit dan bentuk material komposit yang diinginkan dan sesuai aplikasi selanjutnya, antara lain:

2.4.1 *Open Moulding Process* (Pencetakan Terbuka)

2.4.1.1. *Hand lay Up Process*

Proses ini dilakukan dalam kondisi dingin dan dengan memanfaatkan keterampilan tangan. Pada proses pembuatan komposit dengan menggunakan metode *hand lay up* serat bahan komposit ditata sedemikian rupa mengikuti bentuk cetakan, kemudian dituangkan resin sebagai pengikat antara satu lapisan serat dengan lapisan yang lain. Demikian seterusnya, sehingga sesuai dengan ukuran dan bentuk yang telah ditentukan, dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Proses pencetakan dengan cetakan terbuka *Hand lay up*. Sumber (Abanat dkk, 1996).

2.4.2 *Close Molding Process* (pencetakan Tertutup)

2.4.2.1 *Vacuum Assisted Resin Infusion* (VARI)

Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) adalah metode pembuatan material komposit yang menggunakan aplikasi tekanan rendah untuk mengatur jalannya resin menjadi lamina. Material yang menjadi matrik diletakkan di sebuah cetakan, kemudian dilakukan proses *vacuum* untuk menarik aliran resin ke dalam matrik. Setelah lembaran-lembaran antara resin dan matrik terbentuk, maka tabung *vacuum* akan menghisap sisa-sisa resin yang masih tertinggal, sehingga lembaran yang terbentuk mempunyai ketebalan yang sama (Febriyanto, 2011).

Metode VARI menghasilkan material komposit yang mempunyai rasio *fiber-resin* yang tinggi dibandingkan dengan *hand lay-up*. Metode *hand lay-up* menggunakan cara manual untuk mengalirkan resin, sedangkan pada metode VARI aliran resin dilakukan oleh tekanan *vacuum* yang konstan. Penggunaan tekanan *vacuum* konstan ini mengatur distribusi resin agar tetap dalam suatu jumlah tertentu. Hal ini menyebabkan rasio *fiber-resin* menjadi tinggi sehingga menghasilkan material komposit yang lebih kuat dan ringan. Rizky (2010).

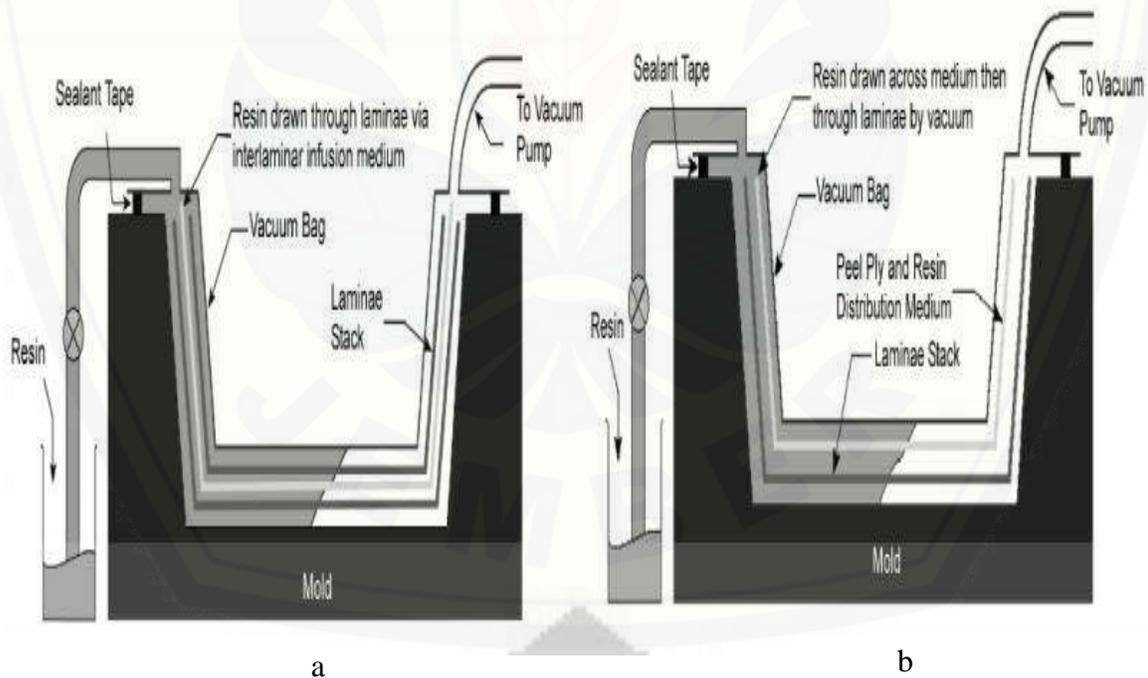
Menurut Asrikin (2011), Tekanan *vacuum* pada proses VARI berpengaruh terhadap gelembung udara pada bahan. Gelembung udara dapat menyebabkan penurunan kekuatan karena beban tidak dapat terdistribusi dengan baik, kelebihan dari metode *vacuum* menggunakan keadaan *vacuum* untuk mencegah porositas akibat udara yang terperangkap dalam material komposit, sehingga *filler* dapat meresap sampai pori-pori *fiber* dan menghasilkan sifat *adhesive* yang baik pada permukaan *fiber*. Beberapa langkah dasar dalam proses VARI adalah sebagai berikut:

1. Material yang berfungsi sebagai matrik diletakkan dalam suatu cetakan yang dilapisi *vacuum bag*.
2. Resin cair yang berfungsi sebagai *filler* dituangkan dalam suatu wadah yang terhubung dengan cetakan dan mesin *vacuum*.
3. Tekanan udara yang ada di dalam cetakan diturunkan oleh mesin *vacuum*.
4. Resin dialirkan dengan menggunakan aplikasi tekanan rendah.

5. Proses *curing* dilakukan setelah resin membentuk lamina.

Metode VARI dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode *Surface Infusion* dan metode *Interlaminar Infusion*. Pada *surface infusion*, resin dialirkan melewati bagian permukaan lamina. Pada *interlaminar infusion*, resin dialirkan melalui ruang antar lamina (Gambar 2.4a). Pada *surface infusion*, kerugian terbesar terdapat pada biaya yang disebabkan persiapan pengoperasian mesin, dan kompleksitas yang meningkat jika metode ini di aplikasikan untuk skala besar.

Metode interlaminar infusion memiliki banyak keuntungan jika diaplikasikan dalam skala besar. Resin dialirkan di antara lamina sehingga ketebalan resin terjaga pada ruang antar lamina (Gambar 2.4b). Selain itu, proses pengaliran resin lebih cepat karena melewati ruang yang sudah dijaga ketebalannya. proses yang lebih terjaga ini juga menyebabkan material sisa yang terbuang semakin berkurang (Febrianto, 2011).



Gambar 2.4 Diagram VARI *Surface Infusion* (a) dan Diagram VARI *Interlaminar Infusion* (b)

2.4.2.2 Parameter dalam proses VARI

Parameter-parameter dalam proses VARI adalah tekanan *vacuum* dan waktu proses pengerasan komposit dimana pada proses tekanan *vacuum* berpengaruh terhadap kerapatan resin untuk mengisi lamina. Semakin kecil tekanan *vacuum* maka laju aliran lamina semakin lambat sehingga resin mampu mengisi seluruh ruang cetakan, sehingga pembentukan void terjaga. pembentukan void pada komposit dapat menyebabkan penurunan kekuatan karena beban tidak dapat terdistribusi dengan baik, kelebihan dari metode VARI menggunakan keadaan *vacuum* untuk mencegah porositas akibat udara yang terperangkap dalam material komposit, sehingga *filler* dapat meresap sampai pori-pori *fiber* dan menghasilkan sifat *adhesive* yang baik pada permukaan *fiber* (Asrikin, 2011).

Proses pengerasan komposit berpengaruh terhadap kekuatan mekanik dari komposit tersebut, semakin lama waktu pengerasan komposit mengakibatkan ketahanan komposit dalam menerima beban menurun, dengan adanya tambahan waktu pengeringan komposit maka sifat fisika (Utomo, 2013).

2.5 Bahan Cetakan

2.5.1 Gypsum

Material gipsum adalah salah satu material jenis keramik *cement*. Material *cement* umumnya digunakan dengan cara dicampur air (H_2O), .Jumlah air sangat berpengaruh dalam campuran ini, dan akan membentuk padatan lunak seperti tanah liat dengan tingkat kelembekan seperti yang dikehendaki. Oleh sebab itu dengan menggunakan teknik penuangan, gipsum dapat dibentuk untuk berbagai keperluan. Pemakaian gipsum harus memperhatikan daya serap terhadap air. Ada bermacam-macam gipsum, dengan tingkat kekuatan yang berbeda. Dengan campuran air yang diijinkan yang berbeda pula. Gipsum untuk *casting slip*, harus mempunyai daya resap yang lebih kuat dari pada gipsum untuk keperluan *jigging*. Semakin banyak air yang dimasukkan kedalam bubuk gipsum, semakin kuat daya resapnya, tetapi kekuatan dan kekerasan cetakan gipsum semakin lemah dan rapuh. Perbandingan

gypsum dan air untuk pembuatan cetakan dapat menggunakan perbandingan gypsum 1,3 Kg dan air 1 Liter, untuk membuat model adalah gypsum dengan perbandingan 1,5 Kg dan air 1 Liter. Pengeringan cetakan dari kondisi gypsum cair hingga kering dan mengeras, dari beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa, paling baik adalah dipanaskan dengan sinar matahari. Kalau tidak memungkinkan bisa dipanaskan dalam ruangan pemanas dan tidak melebihi temperature 150 ° C (Kuswanto, 2013).

2.6 Pengujian Komposit

2.6.1 Pengujian Kekasaran

Pengujian kekasaran permukaan bertujuan untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan R_a (*roughness average of the R-curve*) dan R_z (*ten points high of irregularities*), metode pengujian mengacu ISO 1302 : 2001 yang dilakukan pada spesimen uji. R_a yaitu pengukuran nilai rata-rata aritmatik dari pengukuran kekasaran permukaan untuk panjang tertentu, sedangkan R_z pengukuran berdasarkan nilai rata-rata dari lima puncak tertinggi dan lima puncak terendah.

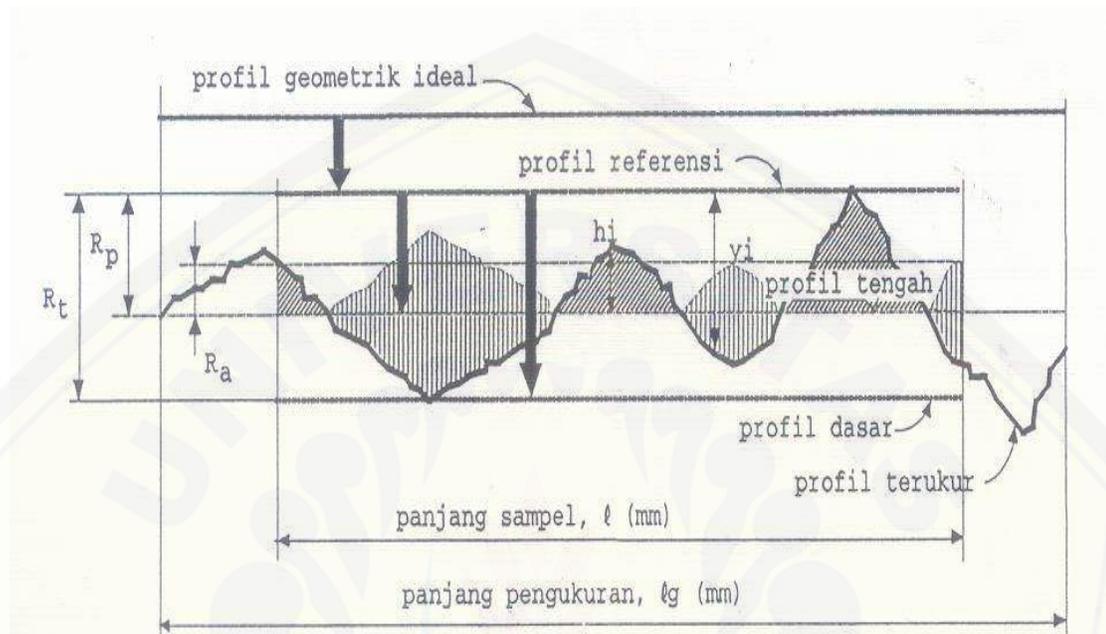
Tingkat kehalusan permukaan memang memegang peranan yang sangat penting dalam pembuatan komposit khususnya yang menyangkut masalah hasil yang mempermudah proses pengecatan atau finishing. Oleh karena itu dalam membuat komposit harus mempertimbangkan metode yang akan di pakai untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Bentuk dari suatu permukaan pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu permukaan yang kasar (*roughness*) dan permukaan yang bergelombang (*waviness*)

2.6.1.1 Parameter Kekasaran Permukaan

Untuk mereproduksi profil suatu permukaan, maka sensor alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan. Sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelumnya, alat ukur

melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Profil suatu permukaan dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Profil permukaan (Nurmalasari, 2015)

Permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah melintang. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter:

1. Kekasaran total R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
2. Kekasaran perataan R_p (μm) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
4. Kekasaran rata-rata kuadrat R_g (μm) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.
5. Kekasaran total rata-rata R_z (μm), merupakan jarak antara profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

Harga kekasaran rata-rata (R_a) maksimal yang diijinkan ditulis diatas simbol segitiga. Satuan yang digunakan harus sesuai dengan satuan panjang yang digunakan dalam gambar teknik (metrik atau inchi). Jika angka kekasaran R_a minimum diperlukan, dapat dituliskan dibawah angka kekasaran maksimum. Angka kekasaran dapat di klarifikasikan menjadi 12 angka kelas kekasaran seperti yang terlihat pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Standarisasi simbol nilai kekasaran

Harga kekasaran, R_a (μm)	Angka kekasaran	Panjang sample (μm)
50 25	N12 N11	8
12,5 6,3	N10 N9	2,5
3,2 1,6 0,8 0,4	N8 N7 N6 N5	0,8
0,2 0,1 0,005	N4 N3 N2	0,25
0,025	N1	0,08

(Sumber: Nurmalasari, 2015)

Angka kekasaran (ISO number) dimaksudkan untuk menghindari terjadinya kesalahan atas satuan harga kekasaran. Jadi spesifikasi kekasaran dapat langsung dituliskan nilainya atau dengan menuliskan angka kekasaran ISO. Panjang sampel pengukuran disesuaikan dengan angka kekasaran yang dimiliki oleh suatu permukaan. Apabila panjang sampel tidak dicantumkan didalam penulisan symbol berarti panjang sampel 0,8 mm (bila diperkirakan proses pembuatan komposit halus)

dan 2,5 mm (bila diperkirakan proses pembuatan komposit kasar) (Nurmalasari, 2015).

2.6.2 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimal dari benda uji. Sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinyu untuk mengetahui beban maksimal dari benda uji. Data-data penting yang diharapkan didapat dari pengujian tarik adalah perilaku mekanik material dan karakteristik perputahan. Metode pengujian tarik komposit berbeda dengan logam. Material komposit terbatas pada serat kontinyu maupun serat diskontinyu dengan lamina yang seimbang dan simetris. Metode pengujiannya dengan menggunakan sebuah flat strip tipis yang berbentuk persegi panjang dengan penampang dipasang pegangan dan beban yang tetap. Kekuatan ultimate material dapat ditentukan dari beban maksimum dilakukan sebelum kegagalan. Metode pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kekuatan tarik ultimate. Yuwono (2009). Perhitungan *ultimate tensile strength* menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\sigma_{tu} = F_{max} / A_0$$

$$\sigma_i = P_i / A$$

keterangan :

σ_{tu} = kekuatan tarik ultimate (MPa)

F_{max} = beban maksimum sebelum kegagalan, (kN)

σ_i = tegangan tarik pada data yang ke-, (MPa)

P_i = beban pada data yang ke-, (N)

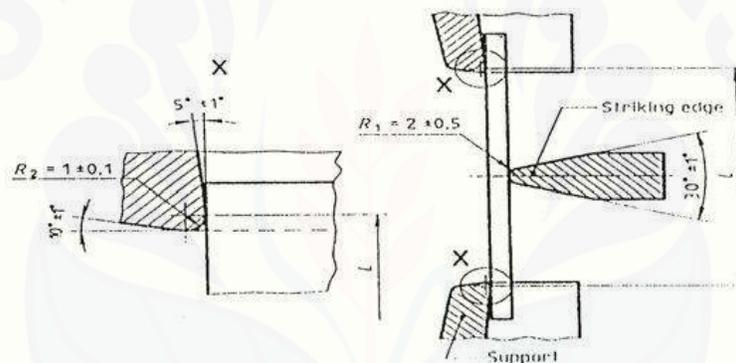
A_0 = luasan permukaan dari benda uji, (mm²).

2.6.3 Uji Impact

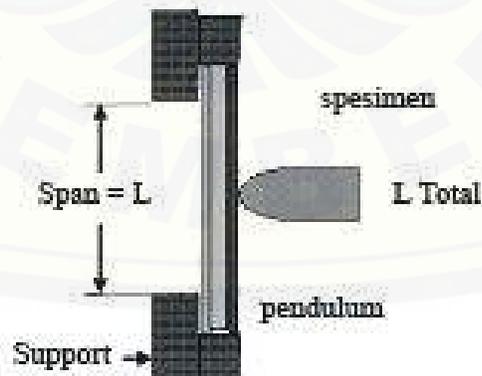
Pengujian impak bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material tersebut patah. Pengujian impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impak). Dalam pengujian impak

terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu Charpy dan Izod. Skema dan mekanikme pengujian impak Charpy ditunjukkan pada gambar 2.6 dan 2.7.

Spesimen impak charpy berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar. Standar ukuran spesimen pengujian *impact* menggunakan ASTM E 23 ditunjukkan pada gambar 2.8. Beban didapatkan dari tumbukan oleh palu pendulum yang dilepas dari posisi ketinggian h . Spesimen diposisikan pada dasar. Ketika dilepas, ujung pisau pada palu pendulum akan menabrak dan mematahkan spesimen pada titik konsentrasi tegangan untuk pukulan impak kecepatan tinggi. Palu pendulum akan melanjutkan ayunan untuk mencapai ketinggian maksimum h' yang lebih rendah dari h .



Gambar 2.6. Skema pengujian impak charpy



Gambar 2.7. Mekanikme pengujian impak charpy

Energi yang diserap dihitung dari perbedaan h' dan h ($mgh - mgh'$), adalah ukuran dari energi impak Posisi simpangan lengan pendulum terhadap garis vertikal sebelum dibenturkan adalah α dan posisi lengan pendulum terhadap garis vertikal setelah membentur spesimen adalah β . Panjang lengan ayunnya adalah R . Dengan mengetahui besarnya energi potensial yang diserap oleh material maka ketangguhan impak benda uji adalah (Putradi, 2011):

$$\begin{aligned} \text{Eserap} &= \text{energi awal} - \text{energi yang tersisa} \\ &= w.h - w.h' \\ &= w.(R \cos \alpha) - w.(R \cos \beta) \end{aligned}$$

$$\text{Eserap} = w.R.(\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

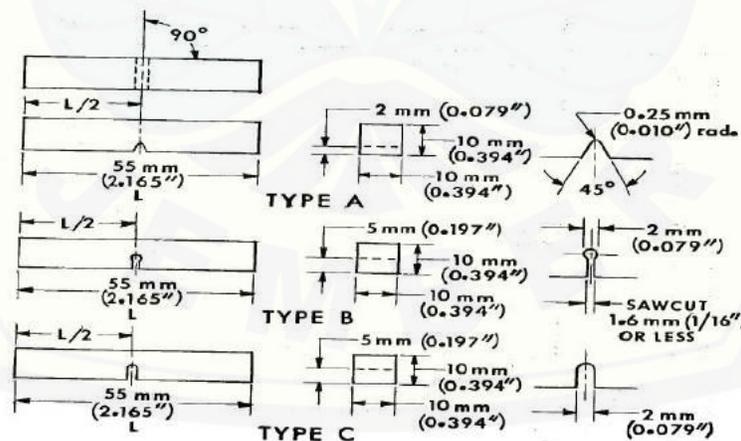
Eserap = energi serap (J)

$N m$ = berat pendulum (kg) = 20,9 kg

R = panjang lengan (mm) = 830 mm

α = sudut ayunan pendulum tanpa spesimen ($^{\circ}$)

β = sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen ($^{\circ}$)



Gambar 2.8 Ukuran spesimen sesuai ASTM E 23 (ASTM E 23)

2.6.4 Pengujian Morfologi

Pada pengujian makro, material komposit difoto dengan menggunakan kamera. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tampilan tentang cacat yang terjadi akibat variasi tekanan dan waktu *vacuum*.

2.7 Aplikasi Metode VARI

Pada penelitian sebelumnya metode VARI banyak digunakan untuk pembuatan komposit. Rizky (2010), menerapkan metode VARI dalam pembuatan sudu turbin angin. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah komposit lamina epoxy resin-E Glass. Epoxy RENLAM M-1 digunakan sebagai matrik dengan penambahan penguat (harddener) REN HY 956. Sedangkan material *fiber* adalah *glass fiber woven roving* 400 gr/m². Tekanan *vacuum* yang digunakan sebesar 0,2 bar selama 6 jam pada suhu ruang. Diperoleh nilai kekuatan tarik 30,36 Mpa.

Febriyanto (2011), menerapkan metode VARI dalam pembuatan aplikasi kapal bersayap *wise-8*. material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *woven roving*, *lamina E-glass* dan *polyurethane-foam* dalam pembuatan spesimen. Pada pembuatan spesimen proses vakum dilakukan selama 8 jam, dengan tekanan 1,0 bar, pada suhu ruang. Diperoleh nilai kekuatan tarik sebesar 28,18 Mpa.

Penggunaan serat *fiberglass* memiliki potensi untuk digunakan sebagai pengganti bahan logam, potensi serat *fiberglass* didukung oleh beberapa keunggulan, antara lain : densitas yang rendah, ketangguhan yang tinggi, proses penyiapan yang relatif mudah, harga bahan baku yang relatif murah, dan mengurangi konsumsi energi pabrikasi.

Material komposit dapat digunakan dalam berbagai macam aplikasi, bahan ini dapat digunakan dalam sektor aksesoris otomotif, beberapa diantaranya spion, bumper mobil, bodi mobil, dll. Pada penelitian sebelumnya aplikasi dari penggunaan metode VARI Adapun dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan dalam pembuatan bodi mobil listrik yang ringan dan kuat sangat tepat bagi material ini untuk dipakai, penggunaan bahan pada pembuatan bodi mobil listrik tipe prototipe

karena memiliki sifat mudah bentuk, ringan dan memiliki kekuatan yang tinggi, pada penelitian kali ini menggunakan serat *mat* 300 tipe serat acak dan menggunakan metode VARI untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari metode non *vacuum* terhadap kekuatan tarik, *impact*, dan kekasaran permukaan komposit.

2.8 Hipotesa

Hipotesis awal pada penelitian ini adalah variasi tekanan dan waktu *vacuum* saat pengerasan komposit *polyester fiber glass* berpengaruh terhadap kekuatan komposit dan kekasaran permukaan. Tekanan dan waktu yang semakin rendah diperkirakan akan mendapatkan kekuatan tarik, *impact* yang tinggi dan kekasaran permukaan semakin rendah.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang digunakan untuk menguji dengan menambahkan beberapa perlakuan variasi tekanan *vacuum* dan waktu pengerasan komposit metode *vacuum assisted resin infussion* (VARI), sehingga akan didapatkan data besarnya kekuatan tarik, *impact* dan kekasaran permukaan setiap penambahan variabel yang diujikan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan dengan pembuatan spesimen terlebih dahulu di bengkel Mobil Listrik Unej dan melakukan pengujian terhadap spesimen yang telah dibuat. Pengujian sampel dilakukan di laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan, dimulai September sampai dengan Februari 2016.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan selama penelitian ini berlangsung antara lain:

1. *Universal Machine Testing* Merk ESSOM TM 113 30 kN.
2. Mesin Uji *impact* Charpy.
3. *TR220 Portable roughness Tester*.
4. Penggaris.
5. *Cutter* dan gunting.
6. Gerinda tangan.
7. Pencekam khusus komposit polimer.
8. Kamera DSLR 18 MP.
9. Selang saluran.
10. *Resin bucket*.

11. *Resin trap*.
12. *Pressure gauge*.
13. Katup.
14. *Vacuum pump*.
15. Lem perekat dan lakban.
16. Jangka sorong.
17. *Stopwatch*.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Polyester merk YUKALAC BTQN EX-157.
2. Serat mat *fiber glass* 300.
3. Bahan cetakan gipsum.
4. Lilin (malam).
5. Isolasi.
6. Gipsum.
7. *Waxco*.
8. Dempul.

3.4 Variabel Pengukuran

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variable bebas dan variable terikat.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel yang akan digunakan adalah variasi tekanan *vacuum* 1,0; 0,5 dan 0,2 (bar).

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam

penelitian ini adalah kekuatan tarik, *impact* dan kekasaran permukaan pada benda uji setelah proses pembuatan komposit dengan metode VARI.

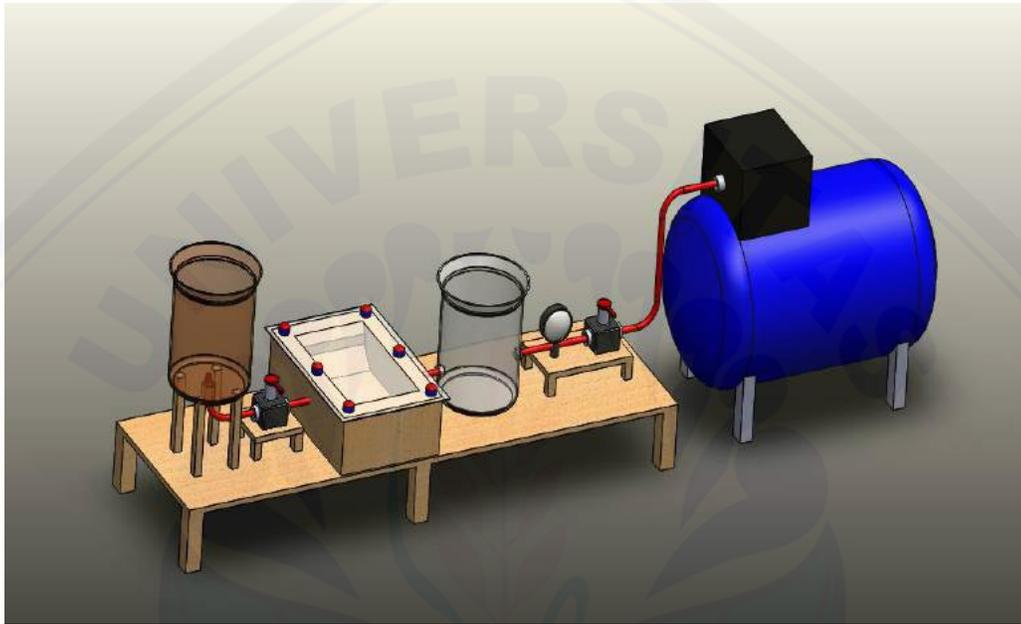
3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Langkah-Langkah pembuatan sampel untuk metode *vacuum assisted resin infusion* (VARI)

1. Mempersiapkan cetakan yang terbuat dari gipsum. letakkan serat fiber glass kedalam rongga cetak, selanjutnya cetakan digabungkan dan di isolasi menggunakan isolatip dan lilin (malam)
2. Pemasangan instalasi peralatan VARI yaitu memasang selang saluran yang menghubungkan *resin bucket* dengan *inlet*, dan *outlet* sampai pada *vacuum pump*.
3. Setelah instalasi terpasang, kemudian menghidupkan pompa *vacuum*.
4. Menyesuaikan tekanan dengan menutup saluran *inlet* dan mengatur katup kontrol. Pada saat pompa *vacuum* dalam keadaan hidup, saluran inlet ditutup kemudian mengatur bukaan katup kontrol untuk menyesuaikan tekanan, perhatikan jarum penunjuk pada manometer sampai bergerak menunjuk angka skala yang dibutuhkan.
5. Menguji *kevacuuman*, pada proses ini katup outlet ditutup dan mematikan pompa *vacuum* untuk sementara, selanjutnya perhatikan jarum penunjuk pada manometer, apabila jarum penunjuk tidak bergerak, maka kondisi saluran dinyatakan *vacuum* (tidak bocor).
6. Pengisian *resin bucket* dengan resin, kemudian menghidupkan pompa *vacuum*, membuka saluran inlet dan katup outlet, maka resin mengalir memasuki cetakan.
7. Jika semua resin hampir masuk kedalam cetakan dan memenuhi rongga cetak sampai tiba di outlet, kemudian saluran inlet dan katup outlet ditutup supaya tidak ada udara luar yang masuk kedalam cetakan. Bila ingin menghentikan proses ini dapat dilakukan dengan mematikan pompa *vacuum*.

8. Setelah proses VARI selesai dan resin sudah mengeras selanjutnya cetakan dibongkar dan resin dikeluarkan dari cetakan.

Skema proses VARI dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Proses pembuatan komposit metode VARI

3.6 Pelaksanaan Pengujian

3.6.1 Pengujian Kekasaran

Alat yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembuatan komposit. Alat yang digunakan adalah *TR220 Portable roughness Tester*. Alat ini memiliki sistem desain modular pengukur permukaan yang portabel. Alat ini terdiri dari komponen-komponen berupa *traverse unit*, *Pick up* yang dilengkapi dengan transducer dan dilengkapi dengan *thermal printer*. *Traverse unit* merupakan sistem utama dari alat *Roughness Tester*. Komponen ini berfungsi sebagai unit pengolah data. *Pick up* ialah suatu komponen penjelajah yang dilengkapi dengan *transducer* dengan jenis induktansi variabel, dengan pemegang (*holder*) yang akan dihubungkan dengan *traverse unit*. Pengolahan hasil pengukuran dengan

menggunakan mikroprosesor yang hasilnya ditampilkan pada sebuah LCD dalam bentuk nilai numerik dari kekasaran. Dibawah ini adalah gambar 3.2 *TR220 Portable Roughness Tester*



Gambar 3.2 *TR220 Portable Roughness Tester*

Langkah pengujian kekasarannya adalah dengan cara benda kerja hasil proses pembuatan komposit dikunci pada tempat penyangga seperti yang terlihat pada gambar 3.3 Posisikan benda kerja dengan arah horizontal mengikuti pergerakan *stylus*. Posisikan *stylus* sampai menyentuh permukaan benda kerja yang akan diukur kekasarannya dan memposisikan *pick holder* sejajar dengan permukaan benda kerja.



Gambar 3.3 Pengujian kekasaran permukaan

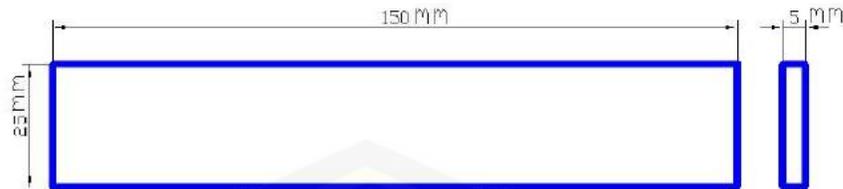
3.6.2 Langkah-langkah pengujian tarik sampel

Memasang benda uji mesin uji Tarik dapat dilihat pada gambar 3.4, kemudian dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan mesin uji tarik yang mengacu standar

ASTM D3039 dapat dilihat pada gambar 3.5. Ketika pengujian tarik siap dilakukan, setel penanda *displacement* dengan meletakkan ujung dasarnya ke dasar mesin uji tarik. Saat penanda *displacement* tidak lagi menyentuh dasar mesin uji tarik, lakukan penyetelan ulang dengan mengendorkan pengikatnya dan meletakkan ke dasar mesin uji tarik. Hal ini dimaksudkan supaya penanda *displacement* dapat bekerja dengan baik. Reset display saat akan melakukan pengujian tarik. Proses pengujian minimal dilakukan oleh dua orang, orang pertama memegang pencekam sedangkan yang lainnya mengungkit dengan tuas yang disediakan. Selama proses, jangan lupa untuk melakukan perekaman. Simpan rekaman video tersebut untuk selanjutnya diolah datanya dengan bantuan media player *classic* (untuk melihat data dengan menggunakan arah pada keyboard) dan *Microsoft excel* (untuk membuat grafik).



Gambar 3.4 Mesin uji tarik

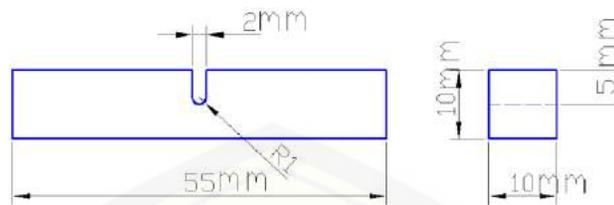


Gambar 3.5 Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik

3.6.2 Langkah-langkah pengujian *impact* sampel

Dengan uji impact dapat diketahui kekuatan suatu material. Kekuatan impact komposit sangat tergantung pada ikatan antar penyusun material komposit tersebut. Semakin kuat ikatan tersebut maka semakin kuat pula kekuatannya. Untuk mengetahui ketahanan benda terhadap keadaan patah, maka digunakan metode pengujian impact *charpy*. Standar yang digunakan pada pengujian *impact* yaitu ASTM E 23 dapat dilihat pada gambar 3.6. Langkah-langkah pengujian impact *charpy* dalam penelitian ini:

1. Mempersiapkan spesimen dan peralatan uji impact *charpy*
2. Mengukur nilai α dengan cara menghitung simpangan alat uji impact *charpy* tanpa menggunakan spesimen.
3. Mempersiapkan spesimen komposit
4. Meletakkan spesimen tersebut pada tumpuan alat uji impact dan mengangkat pendulum pada posisi 90° dari spesimen.
5. Melepaskan palu atau bandul dengan cara menggeser handel, kemudian setelah bandul berayun dan mematahkan spesimen, menggeser tuas panjang untuk menghentikan ayunan pendulum.
6. Mengukur nilai β setelah pengujian.
7. Melakukan perhitungan atas data yang telah didapatkan.

Gambar 3.6 Bentuk dan ukuran spesimen uji *impact*

3.7 Pengolahan Data

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan variasi tekanan *vacuum*, dengan variasi 0,2; 0,5 dan 1,0 (bar) dan waktu pengerasan komposit dengan variasi 2 jam; 4 jam dan 6 jam. Untuk mengetahui pengaruh yang dihasilkan tiap variasi atau kombinasi dari kedua variasi terhadap kekasaran permukaan, kekuatan tarik dan *impact*. Dari data yang diperoleh tiap percobaan disajikan dalam tabel 3.1 dibawah ini.

3.1 Tabel Hasil Pengujian

No	Variasi Tekanan Vacuum	Variasi Waktu	Pengulangan														
			Pengujian Kekasaran (μm)					Pengujian Tarik (Mpa)					Pengujian <i>Impact</i> (J/mm^2)				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	0,2 bar	6 jam															
		4 jam															
		2 jam															
2	0,5 bar	6 jam															
		4 jam															
		2 jam															
3	1,0 bar	6 jam															
		4 jam															
		2 jam															

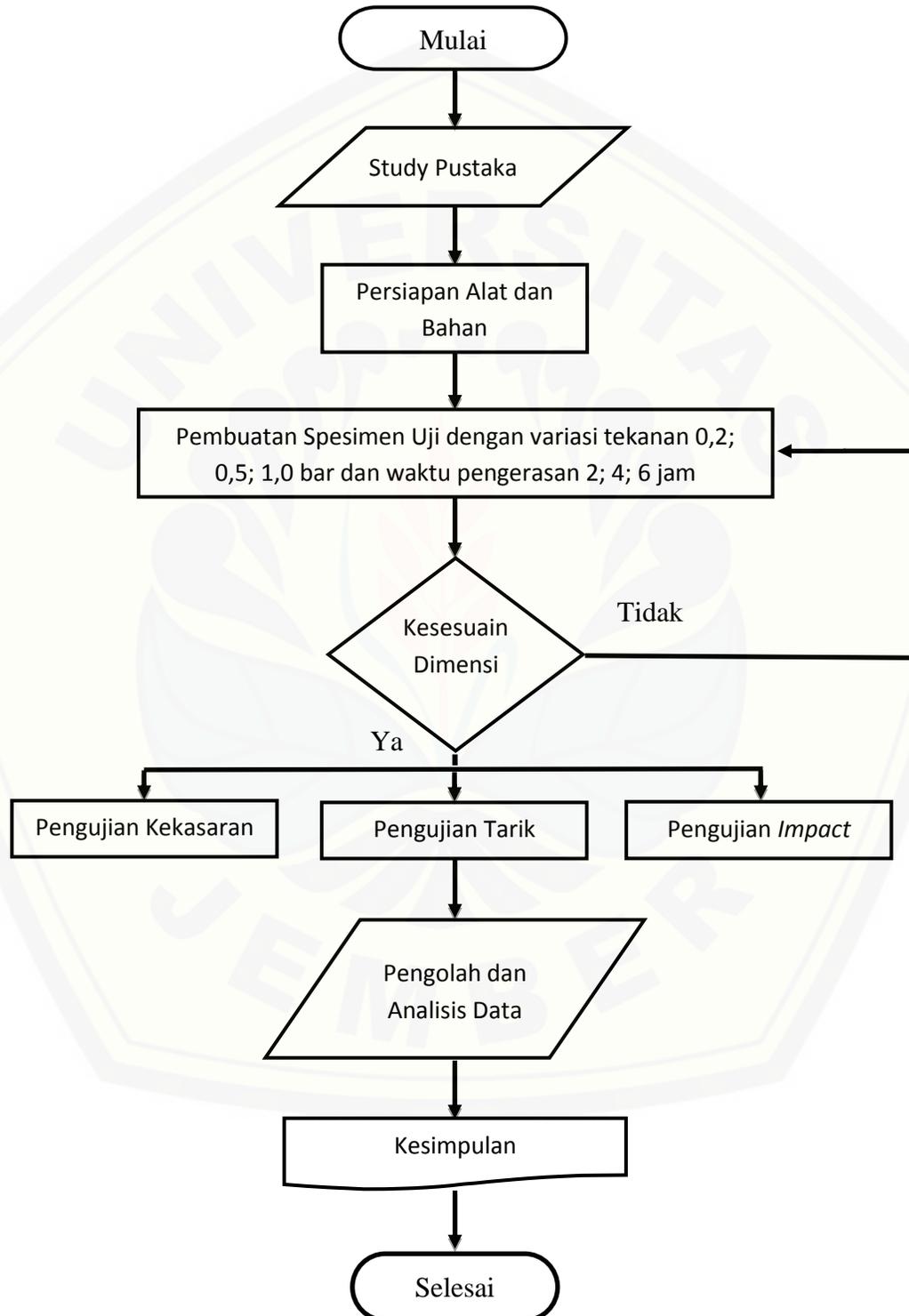
3.8 Analisis Data

Analisa dilakukan setelah pengujian kekasaran permukaan, uji tarik dan uji *impact* pada metode pembuatan komposit *vacuum assisted resin infussion* (VARI) *polyester fiber glass* sebagai berikut:

1. Analisis pengaruh variasi tekanan dan waktu pengeringan komposit pada metode VARI pada komposit matrik polyester resin berpenguat serat *fiberglass* terhadap kekasaran permukaan.
2. Analisis pengaruh variasi tekanan dan waktu pengeringan komposit pada metode VARI pada komposit matrik polyester resin berpenguat serat *fiberglass* terhadap kekuatan tarik.
3. Analisis pengaruh variasi tekanan dan waktu pengeringan komposit pada metode VARI pada komposit matrik polyester resin berpenguat serat *fiberglass* terhadap kekuatan *impact*.
4. Analisis morfologi komposit sebelum uji mekanis untuk mengetahui secara visual tentang bentuk fisik dari benda uji.

3.9 iagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian kekasaran permukaan, pengujian tarik dan pengujian *impact* di peroleh pengaruh tekanan *vacuum* pada proses VARI yaitu, semakin rendah tekanan *vacuum* yang digunakan maka menurunkan sifat fisik (semakin halus) komposit dan meningkatkan sifat mekanik komposit. Hasil yang didapat pada variasi tekanan yang dilakukan: tekanan *vacuum* 0,2 bar menghasilkan nilai kekasaran permukaan 0,498 μm , nilai kekuatan tarik 27,344 MPa dan nilai kekuatan *impact* 47,859 J/mm², tekanan *vacuum* 0,5 bar menghasilkan nilai kekasaran permukaan 0,544 μm , nilai kekuatan tarik 15,664 MPa dan nilai kekuatan *impact* 39,953 J/mm² dan tekanan *vacuum* 1,0 bar menghasilkan nilai kekasaran permukaan 0,577 μm , nilai kekuatan tarik 14,768 MPa dan nilai kekuatan *impact* 33,338 J/mm².
2. Dari hasil pengujian kekasaran permukaan, pengujian tarik dan pengujian *impact* di peroleh pengaruh pengerasan komposit pada proses VARI yaitu, semakin cepat proses pengerasan komposit yang dilakukan maka menurunkan sifat fisik (semakin halus) komposit dan meningkatkan sifat mekanik komposit. Hasil yang didapat pada variasi pengerasan komposit yang dilakukan: waktu pengerasan komposit selama 2 jam menghasilkan nilai kekasaran permukaan 0,498 μm , nilai kekuatan tarik 27,344 MPa dan nilai kekuatan *impact* 47,859 J/mm², waktu pengerasan komposit selama 4 jam menghasilkan nilai kekasaran permukaan 0,544 μm , nilai kekuatan tarik 15,664 MPa dan nilai kekuatan *impact* 39,953 J/mm² dan waktu pengerasan komposit selama 6 jam menghasilkan nilai kekasaran permukaan 0,577 μm , nilai kekuatan tarik 14,768 MPa dan nilai kekuatan *impact* 33,338 J/mm².

5.2 Saran

Saran yang didapat dari penelitian ini antara lain:

1. Perlu dilakukan lebih lanjut penelitian mengenai variasi parameter fabrikasi pada proses VARI misalnya penambahan suhu pada proses pengeringan komposit.
2. Perlu dilakukan penelitian metode VARI lainnya, yaitu dengan membandingkan antara dua metode VARI interlaminar infusion dan surface infusion.



DAFTAR PUSTAKA

- Abanat, J. D. J., Purnowidodo A. dan Irawan Y. S. (2012). *Pengaruh Fraksi Volume Serat Pelepah Gebang (Corypha Utan Lamark) Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Pada Komposit Bermatrik Epoksi*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Alian, H. (2011). *Pengaruh Variasi Fraksi Volume Semen Putih Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Komposit Glass Fiber Reinforce Plastic (GFRP) Berpenguat Serat E-Glass Chop Starnd Mat dan Matriks Resin Polyester* Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Asrikin. (2011). *Karakterisasi Fatigue dan Analisa Mikroskopis pada Mekanisme Kegagalan Material Komposit Fiber Glass-Epoxy untuk Material Struktur Sudu Turbin Angin*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Bramantyo. (2008). *Karakteristik Kekuatan Mekanik Komposit Berpenguat Serat Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceus) Kontinyu Laminat Dengan Perlakuan Alkali Bermatriks Polyester*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Diharjo, K., Elharomy, I. dan Purwanto, A. (2014). *Pengaruh Fraksi Volume Filler Terhadap Kekuatan Bending dan Ketangguhan Impak Komposit Nanosilika-Phenolic*. Semarang : Universitas Sebelas Maret.
- Ellyawan. (2008). *Panduan untuk Komposit* . ITB Press Bandung, Bandung.
- Febriyanto, S. (2011). *Penggunaan Metode Vacumm Assisted Resin Infusion Pada Bahan Uji Komposit Sandwich untuk aplikasi kapal bersayap wise-8* Depok : Universitas Indonesia.
- Haryanto, A. (2007). *Peningkatan Ketahanan Bending Komposit Hybrid Sandwich Serat Kenaf dan Serat Gelas Bermatrik Polyester dengan core kayu sengon laut*. Surakarta: Universitas Surakarta
- Junus, S. (2011). *Komposit Proses, Fabrikasi dan Aplikasi* Jember: Jember University Press.
- Justus. (2011). YUKALAC Unsaturated Polyester Resin. [Retrieved 11 september 2015]
- Kuswanto, B. (2013). *Gypsum Sebagai Material Untuk Membuat Cetakan Plastik Injeksi*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.

- Kuswandi, A. (2010). *Pengaruh Friction Time Terhadap Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Pada Paduan AL-Mg-Si*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Mashuri. (2007). *Efek Termal dan Bahan Penggandeng (Coupling Agent) Silane Terhadap Kestabilan Mekanik Bahan Komposit Poliester Dengan Pengisi Partikulit SiC*. Jurnal Sains Materi Indonesia. 9. 40-45.
- Nurmalasari, A., (2015). *Perbedaan Kekasaran Permukaan Resin Komposit Nano Pada Perendaman Teh Hitam dan Kopi*. Kediri : Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata.
- Pepper, T. (2012). Polyester Resins. Ashland Chemical Company
- Putradi G. I. (2011). *Kekuatan Impact Komposit Sandwich Berpenguat Serat Aren*. Skripsi Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Rizky, A. (2010). *Evaluasi Penggunaan Metode VARI (Vacumm Assisted Resin Infusion) pada Komposit Epoxy-E Glass dan Karakterisasi Mikro Untuk Aplikasi Sudu Turbin Angin*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Siregar, D. I., Oerbandono T. dan Sonief A. A. (2009) *Pengaruh Variasi Kekencangan Mula Dua Arah (Two Direction Pretension) pada Reinforcement Fiber Panel Komposit Datar Terhadap Kekuatan Tarik*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Utomo, A. W., Argo, B. D. dan Hermanto M.B. (2013). *Pengaruh Suhu dan Lama Pengeringan Terhadap Karakteristik Fisikokimiawi Plastik Biodegradable dari Komposit Pati Lidah Buaya (Alove Vera)-Kitosan*. Malang : Universitas Brawijaya.
- William, D., C. Jr. (2001). Departement of Metalurgical Engineering, University of Utah, *Fundamental of Materials Science and Engineering*.
- Wisojodharmo, L. A. and Roseno S. (2012). *The Use Vacuum Assited Resin Infusion Process on the Manufacturing of Wind Blade Composites*. Jakarta : Agency for the Assement and Application of Technology (BPPT).
- Yuwono, A H. (2009). *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material I Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Depok : Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

LAMPIRAN

1. Gambar dimensi spesimen uji tarik.



2. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



3. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



4. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



5. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



6. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



7. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



8. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



9. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



10. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



11. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



12. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



13. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



14. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



15. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



16. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



17. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



18. Gambar spesimen sebelum uji tarik pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



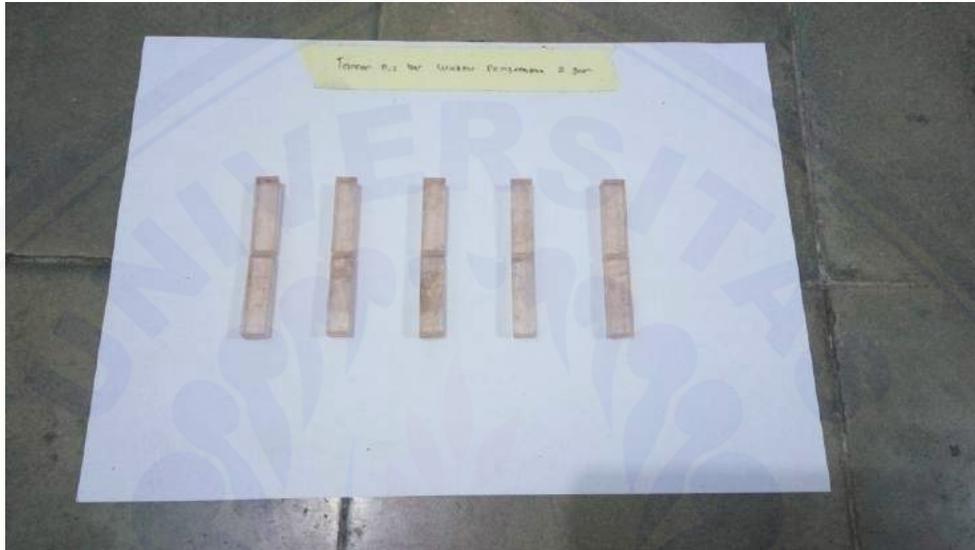
19. Gambar spesimen setelah uji tarik pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



20. Gambar dimensi spesimen uji impact



21. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



22. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



23. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



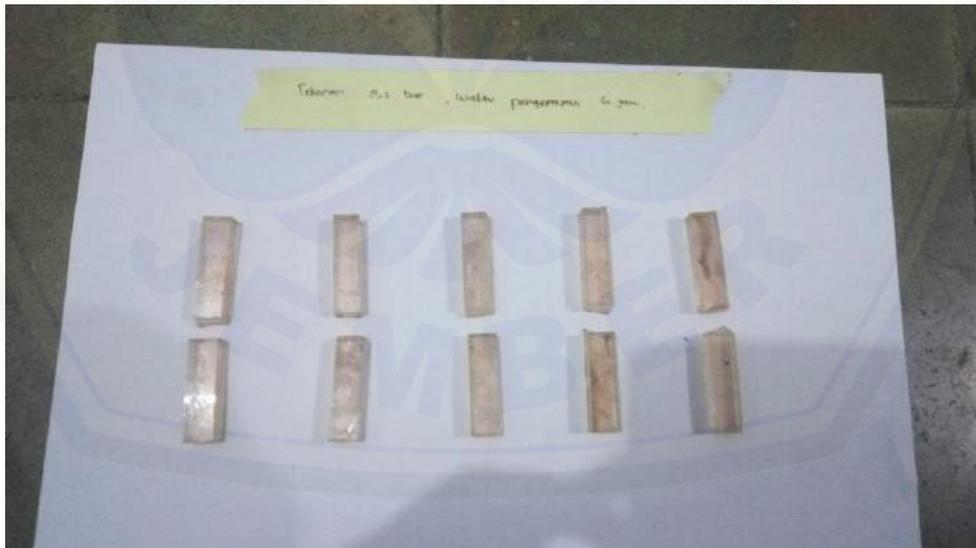
24. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



25. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



26. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 0,2 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



27. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



28. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



29. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



30. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



31. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



32. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 0,5 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



33. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



34. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 2 jam.



35. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



36. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 4 jam.



37. Gambar spesimen sebelum uji *impact* pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



38. Gambar spesimen setelah uji *impact* pada tekanan 1 bar dan waktu pengerasan selama 6 jam.



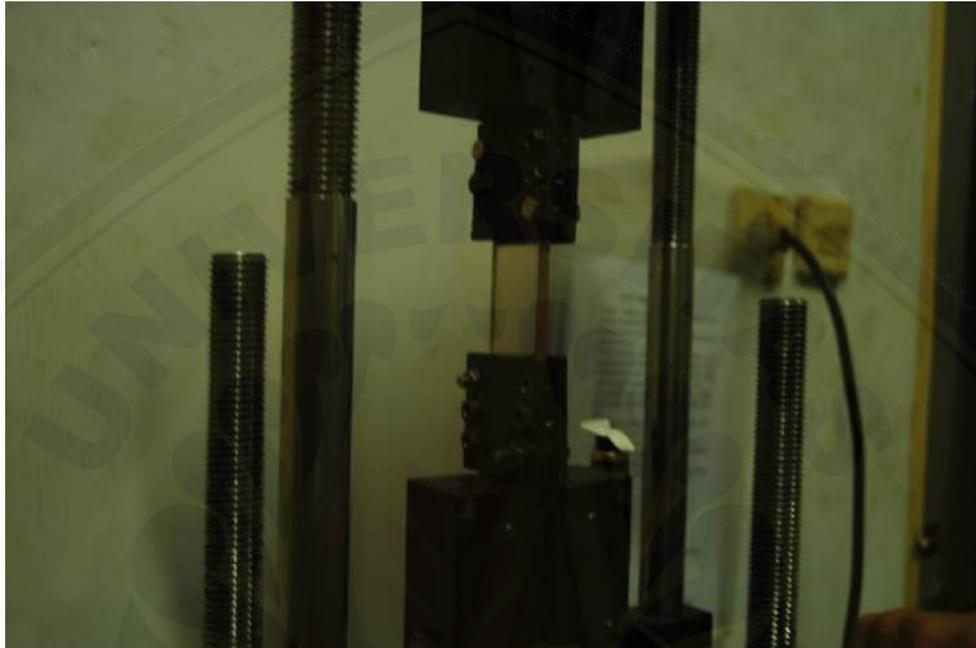
39. Gambar Skema Alat VARI



40. Gambar pengujian kekasaran permukaan



41. Gambar pengujian tarik



42. gambar pengujian impact



43. Perhitungan kekuatan tarik

$$\sigma_{tu} = F_{max} / A_0$$

dimana;

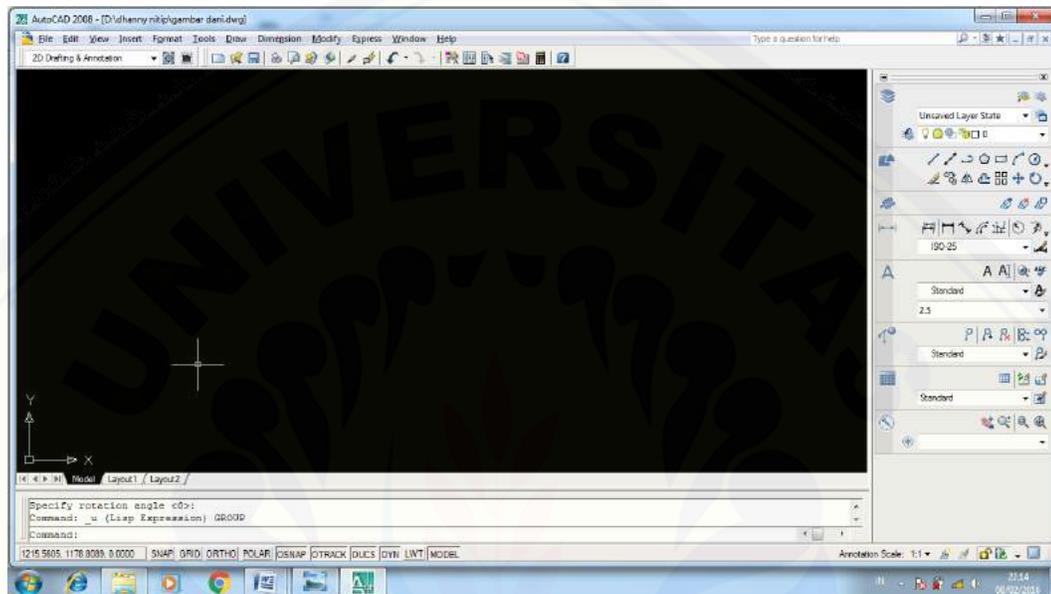
 σ_{tu} = kekuatan tarik ultimate (MPa) F_{max} = beban maksimum sebelum kegagalan (N) A_0 = Luasan permukaan dari benda uji (m^2)

No	Variasi Tekanan Vacuum	Variasi Waktu	Pengulangan	F_{max} (N)	Luas Permukaan (m^2)	σ_{tu} (N/ m^2)	σ_{tu} (MPa)	Rata-rata (MPa)		
1	0,2 bar	2 jam	1	3,940	0,000125	31520	31,520	27,344		
			2	3,500	0,000125	28000	28,000			
			3	3,470	0,000125	27760	27,760			
			4	3,200	0,000125	25600	25,600			
			5	2,980	0,000125	23840	23,840			
		4 jam	1	1,230	0,000125	9840	9,840	9,536		
			2	1,200	0,000125	9600	9,600			
			3	1,100	0,000125	8800	8,800			
			4	1,220	0,000125	9760	9,760			
			5	1,210	0,000125	9680	9,680			
		6 jam	1	0,720	0,000125	5760	5,760	4,640		
			2	0,610	0,000125	4880	4,880			
			3	0,600	0,000125	4800	4,800			
			4	0,520	0,000125	4160	4,160			
			5	0,450	0,000125	3600	3,600			
2	0,5 bar	2 jam	1	2,830	0,000125	22640	22,640	15,664		
			2	2,800	0,000125	22400	22,400			
			3	1,430	0,000125	11440	11,440			
			4	1,380	0,000125	11040	11,040			
			5	1,350	0,000125	10800	10,800			
3		0,5 bar	4 jam	1	1,100	0,000125	8800	8,800	6,720	
				2	0,870	0,000125	6960	6,960		
				3	0,800	0,000125	6400	6,400		
				4	0,730	0,000125	5840	5,840		
				5	0,700	0,000125	5600	5,600		
4			0,5 bar	6 jam	1	0,600	0,000125	4800	4,800	4,256
					2	0,580	0,000125	4640	4,640	
					3	0,550	0,000125	4400	4,400	

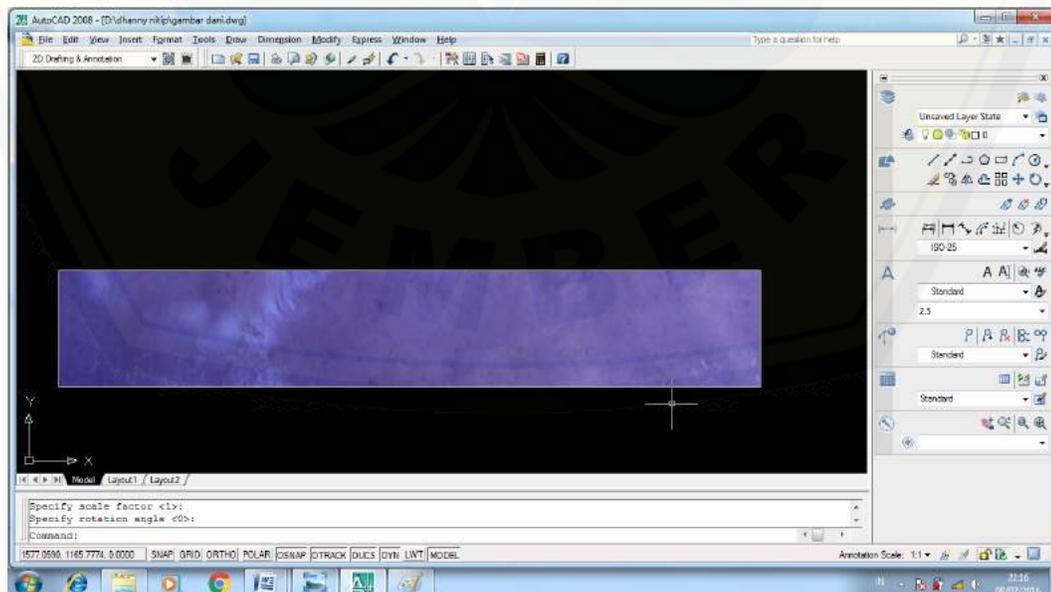
No	Variasi Tekanan Vacuum	Variasi Waktu	Pengulangan	Fmax (N)	Luas Permukaan (m ²)	σ_{tu} (N/ m ²)	σ_{tu} (MPa)	Rata-rata (MPa)		
			4	0,520	0,000125	4160	4,160			
			5	0,410	0,000125	3280	3,280			
5	1,0 bar	2 jam	1	2,100	0,000125	16800	20,160	14,768		
			2	1,820	0,000125	14560	19,520			
			3	1,500	0,000125	12000	12,000			
			4	1,880	0,000125	15040	15,040			
			5	1,930	0,000125	15440	15,440			
6		1,0 bar	4 jam	1	0,790	0,000125	6320	6,320	6,160	
				2	0,730	0,000125	5840	5,840		
				3	0,810	0,000125	6480	6,480		
				4	0,740	0,000125	5920	5,920		
				5	0,780	0,000125	6240	6,240		
7			1,0 bar	6 jam	1	0,550	0,000125	4400	4,400	3,664
					2	0,530	0,000125	4240	4,240	
					3	0,490	0,000125	3920	3,920	
					4	0,370	0,000125	2960	2,960	
					5	0,350	0,000125	2800	2,800	

46. Cara menghitung luasan void dengan menggunakan program AutoCAD 2008, berikut dibawah adalah tata cara menghitung luasan void menggunakan program autoCAD 2008, sebagai berikut :

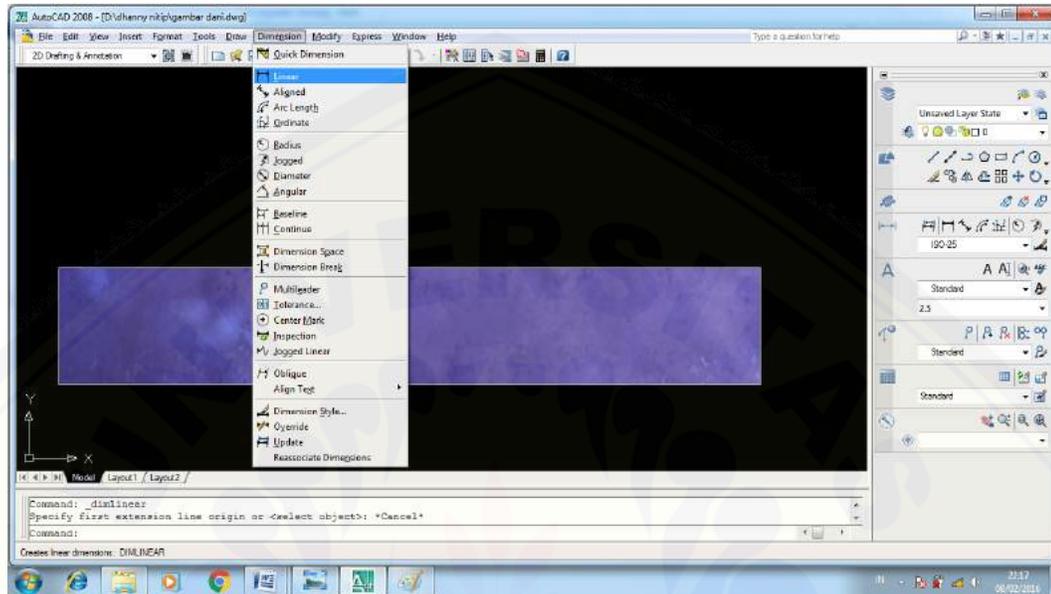
1. Membuka program AutoCAD 2008.



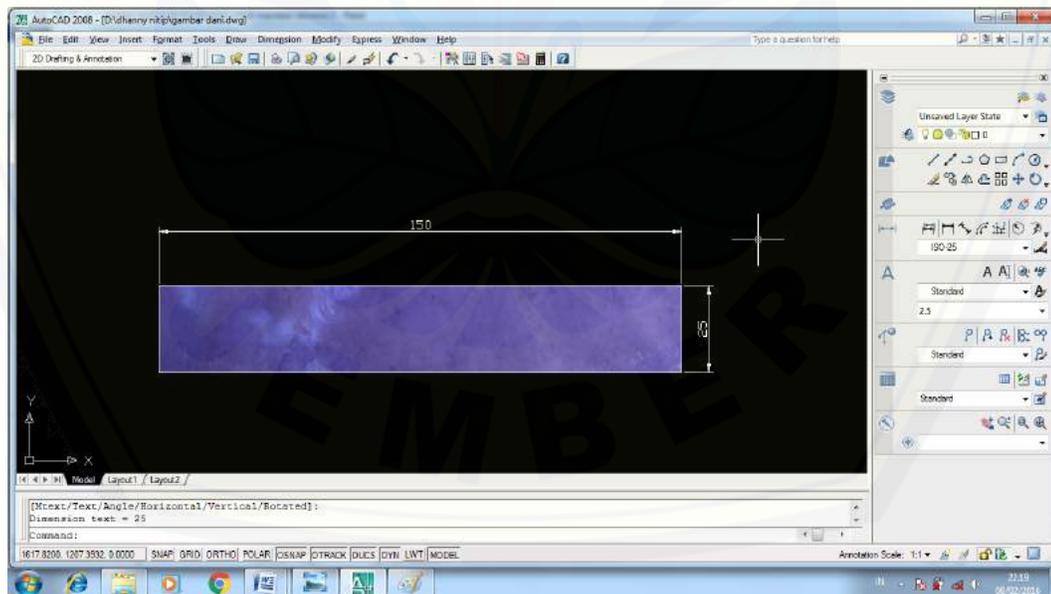
2. Memasukkan gambar spesimen yang akan di analisis pada layar AutoCAD



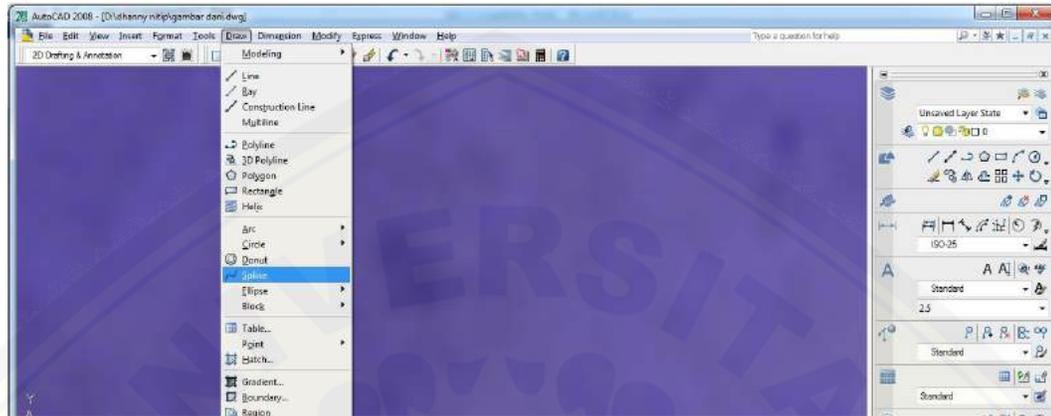
3. Memberi dimensi pada benda yang akan di analisis dengan cara klik dimension kemudian pilih linier



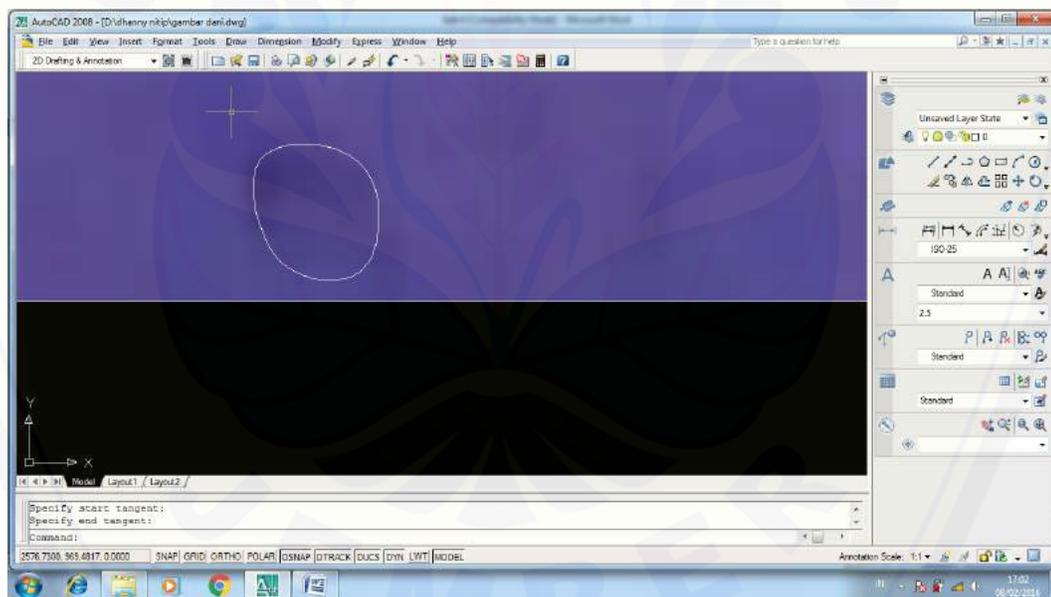
4. Sehingga tampilannya seperti berikut.



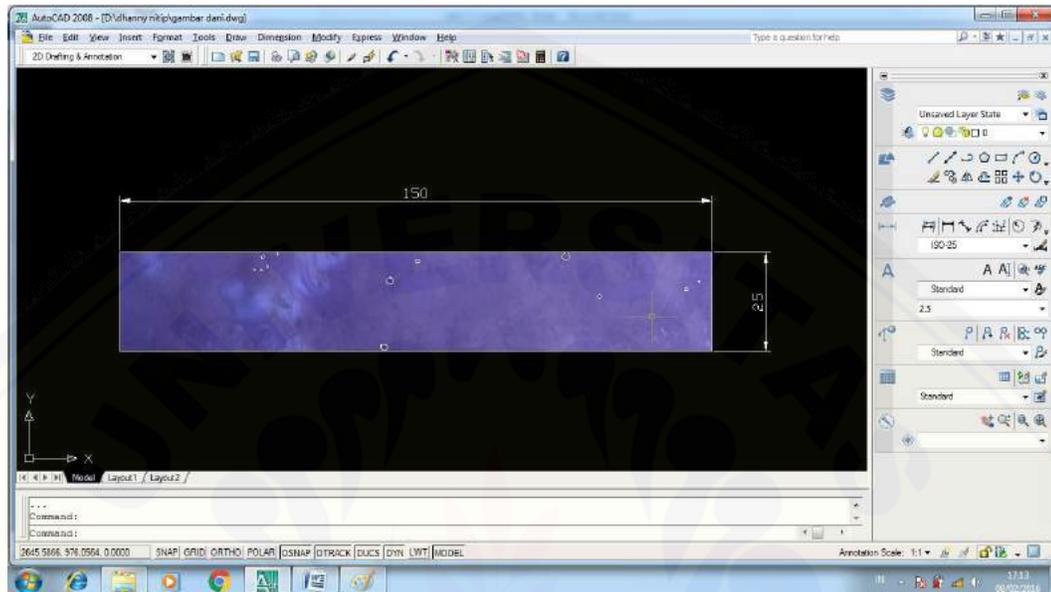
5. Memberi spline pada daerah void, dengan cara klik Draw kemudian pilih Spline



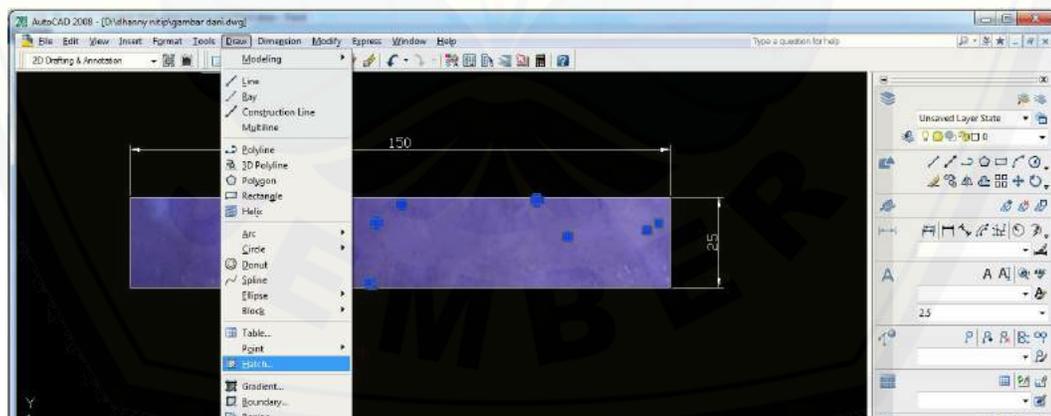
6. Maka tampilannya akan seperti gambar berikut ini



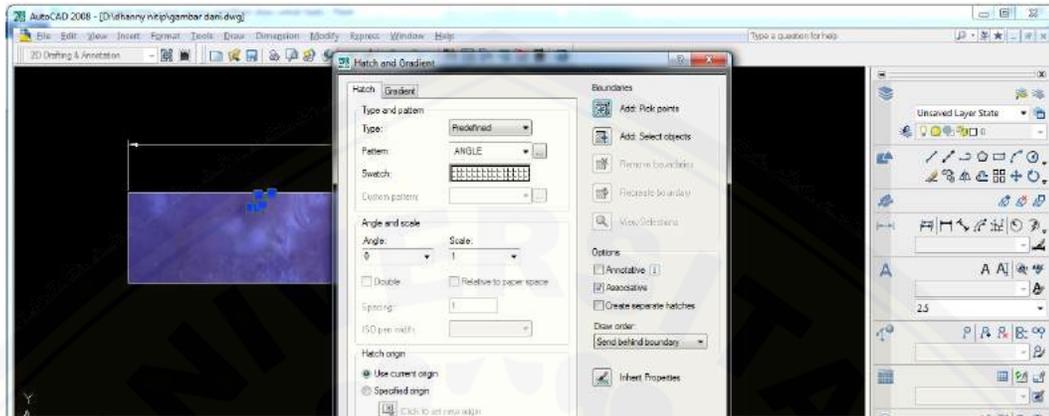
7. Kemudian dilakukan secara berulang langkah 5 dan 6 terhadap void yang terjadi sehingga akan didapat gambar tampilan seperti berikut



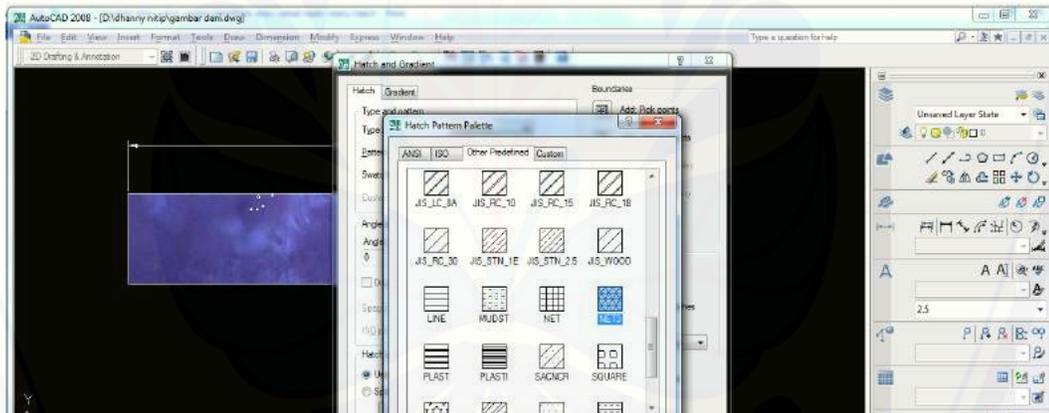
8. Memberi Hatch pada daerah void setelah diberi batas menggunakan spline, untuk mendapatkan luasan void pada benda kerja.



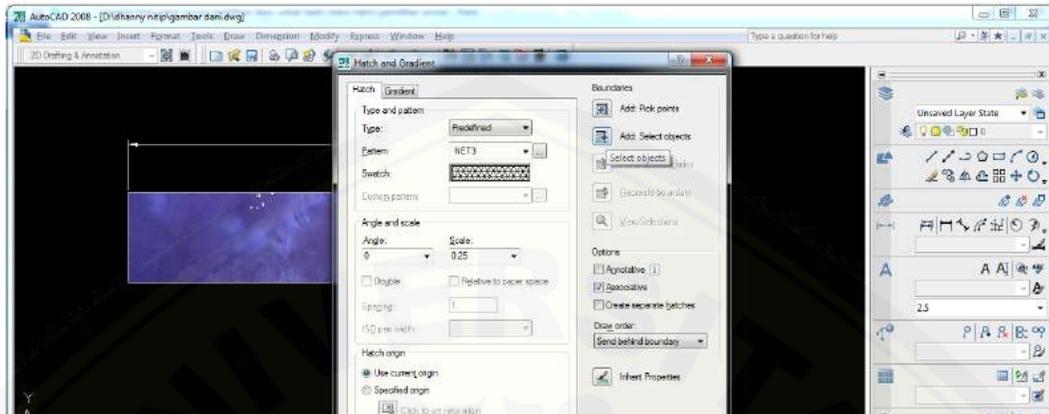
9. Setelah muncul tampilan seperti berikut, maka pada boundaries pilih add pick point



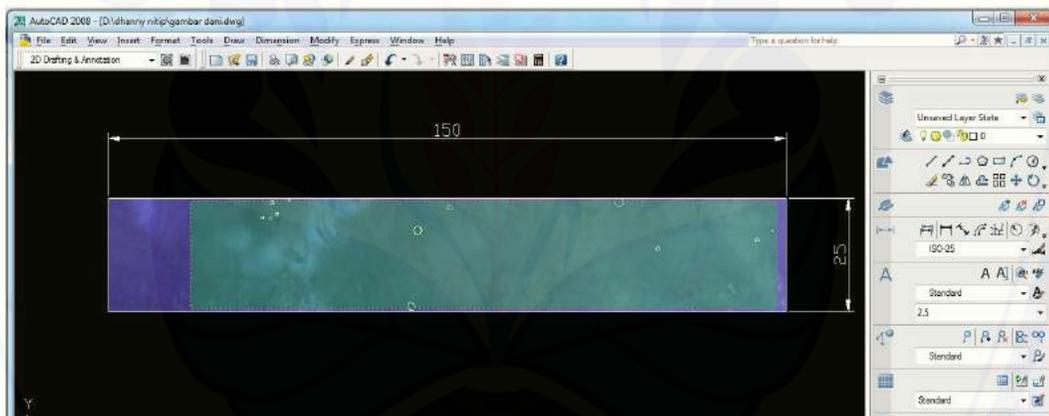
10. Maka tampilannya akan seperti gambar berikut ini, pada menu hatch klik other predefined kemudian pilih NET 3



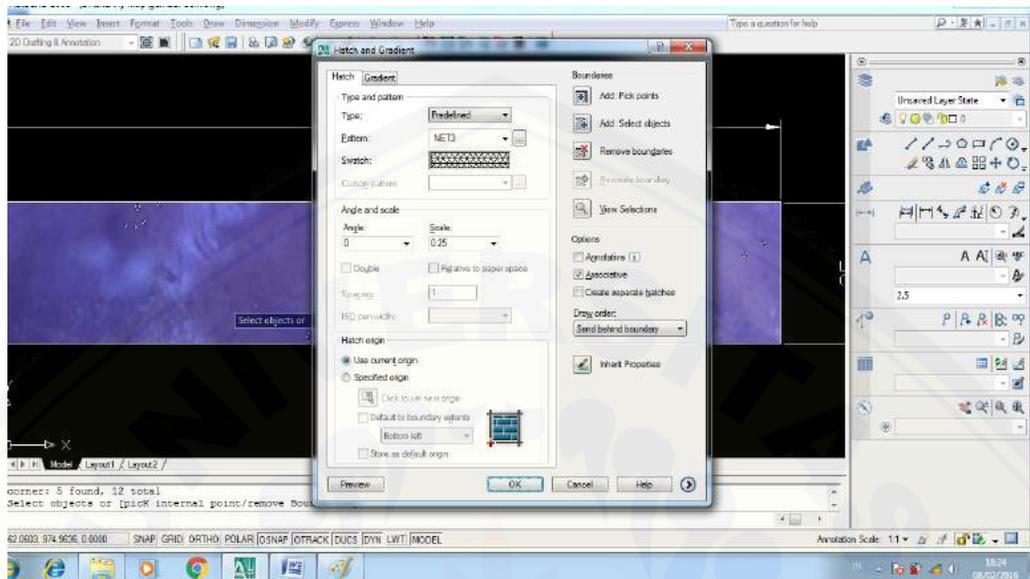
11. Kemudian pilih add select object.



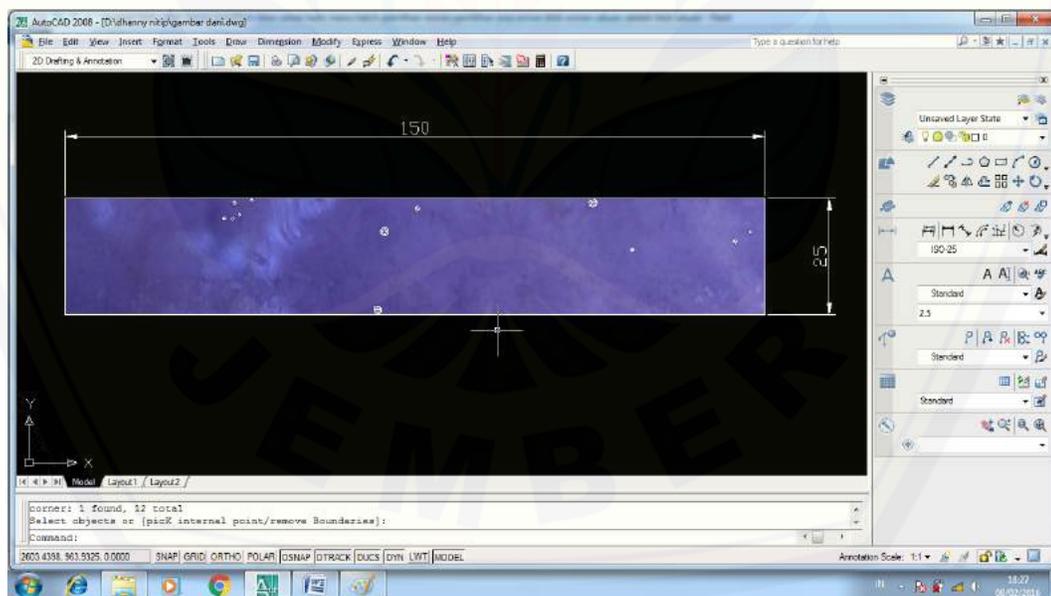
12. Pilih seluruh bagian daerah void setelah diberi batas dengan cara diblock untuk memberi arsiran.



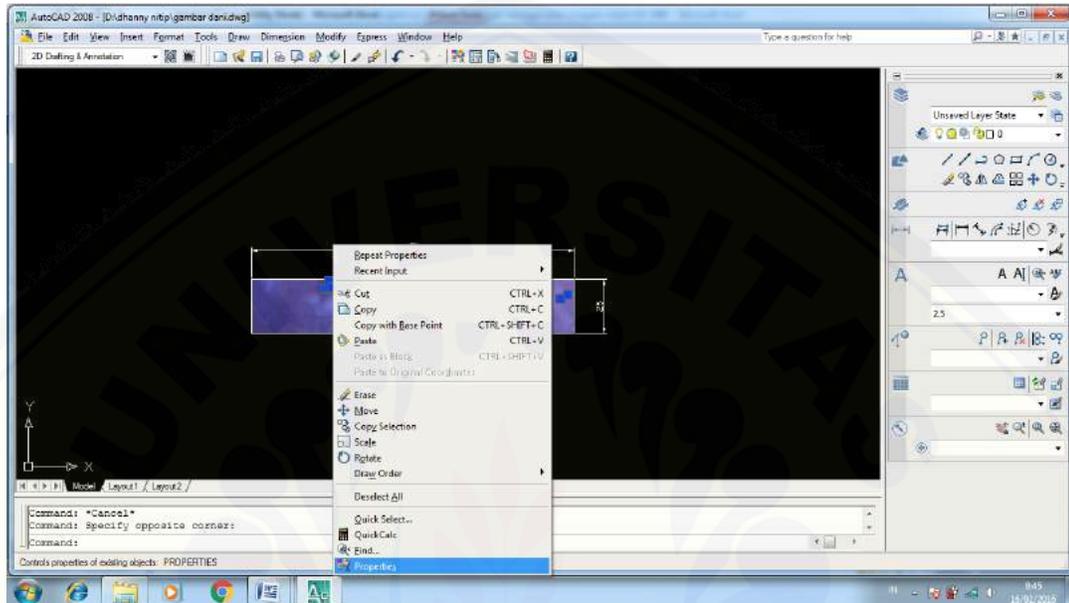
13. Kemudian klik Ok untuk mengakhiri perintah pada Hatch



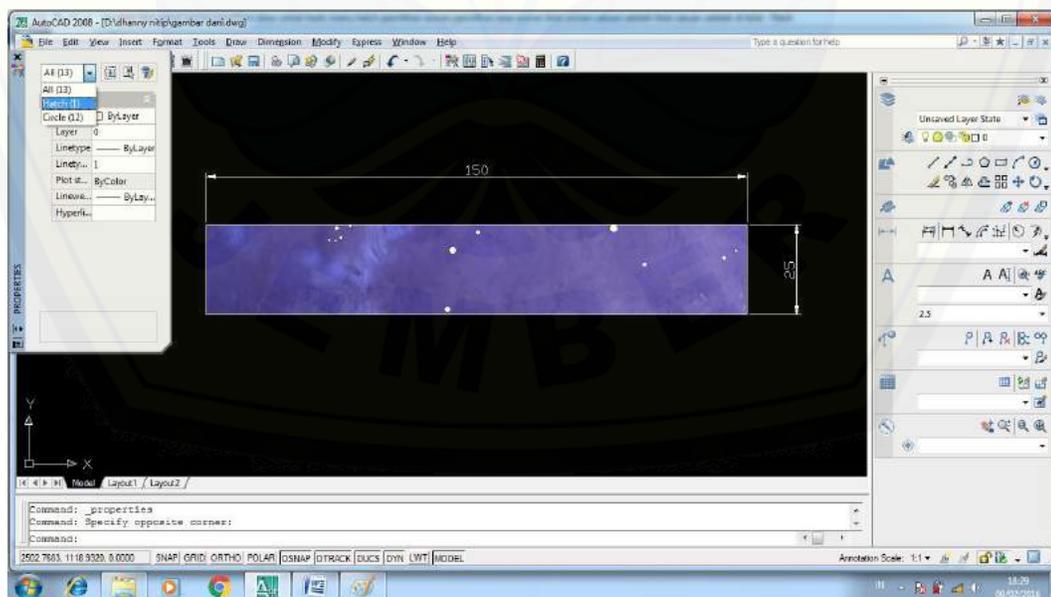
14. Maka tampilannya akan seperti berikut.



15. Untuk mengetahui nilai luasan pada gambar setelah diberi batas, maka pilih seluruh daerah void kemudian klik kanan pilih properties, seperti pada gambar berikut



16. Maka tampilannya seperti berikut, Untuk mengetahui luasan voidnya maka pada tampilan gambar dibawah di pilih tampilan Hatch



17. Maka pada geometry analysis luasan voidnya dapat di ketahui secara otomatis

