



**PENGARUH CACAT VOID TERHADAP KEKUATAN MEKANIK
KOMPOSIT Matrik POLYESTER ETERSET 2504 APT ADITIF
PARTIKEL MONTMORILLONITE**

SKRIPSI

Oleh

**Didik Abdul Hadi
NIM 101910101087**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGARUH CACAT VOID TERHADAP KEKUATAN MEKANIK
KOMPOSIT Matrik POLYESTER ETERSET 2504 APT ADITIF
PARTIKEL MONTMORILLONITE**

PROPOSAL

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

Oleh

Didik Abdul Hadi
NIM 101910101087

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

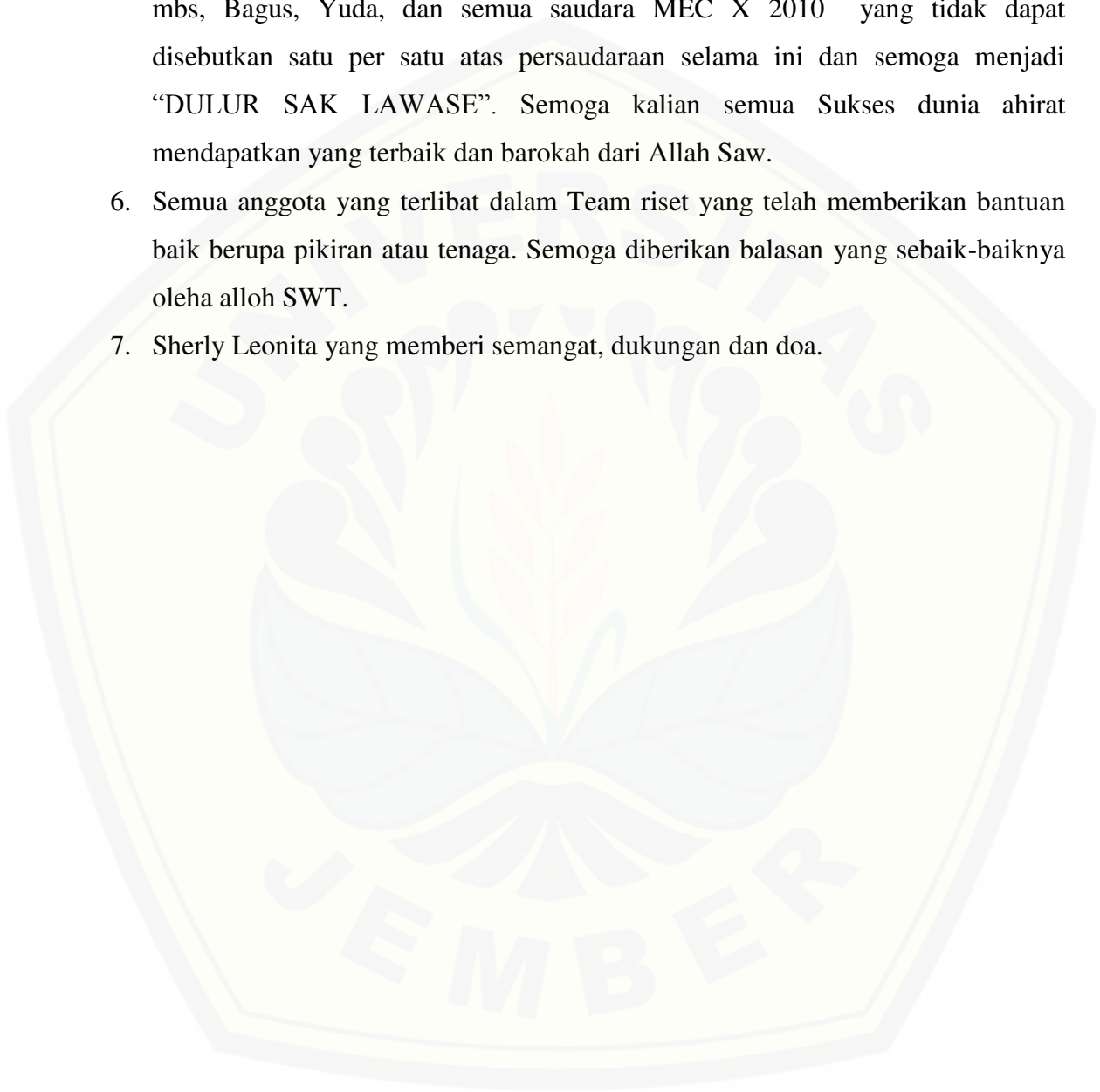
PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. yang telah memberikan rahmad dan hidayat-Nya sehingga dapat terselesaikannya skripsi penulis.
2. Sholawat serta salam tetap terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad Saw. yang telah menjadikannya suri tauladan yang baik.
3. Ibu, bapak dan keluarga besar saya tercinta yang senantiasa memberikandukungan baik berupa materi, semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan serta kesabaran yang tidak kenal lelah dalam mendidik serta doa yang selalu terucap tanpa henti dengan penuh keikhlasan hati.
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang senantiasa membagikan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah baik sekarang maupun dikemudian hari. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro Wibowo, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak sekali memberikan koreksi, saran dan pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian sekripsi ini.
5. Saudara seperjuangan, Ach. Sholihin, Ahmad Khusairi, Arif Dirgan, Arief Lukman Hakim, Arif Nur Fajri, Hendrik Mustofa, Ibrahim Tri S, Iwan Faisal, Nasirudin, Permadi Yudha W, Rezki Agus Stiawan, Usman Aji Handoko yang selalu memberikan semangat, motivasi, dukungan dan bantuan selama perkuliahan hingga saat ini dan untuk saudaraku abd ghofur, Novi arfiansyah, deky, dadang, Yoyon, tomy, Ega, Eko, Endra, Rahmad Eko, wahadi, Ferdi,

Gatot, Luki, Lukman, Akbar, Irsan, Riyanan, Riski, Raka, Taufik bwi, Taufik madura, iwan, Dani, Fikri, Anggraika eka, Mega, Ruli, Mia, Silvi, Vina, Bagus mbs, Bagus, Yuda, dan semua saudara MEC X 2010 yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas persaudaraan selama ini dan semoga menjadi “DULUR SAK LAWASE”. Semoga kalian semua Sukses dunia ahirat mendapatkan yang terbaik dan barokah dari Allah Saw.

6. Semua anggota yang terlibat dalam Team riset yang telah memberikan bantuan baik berupa pikiran atau tenaga. Semoga diberikan balasan yang sebaik-baiknya oleh Allah SWT.
7. Sherly Leonita yang memberi semangat, dukungan dan doa.



MOTTO

Memulai dengan penuh keyakinan menjalankan dengan penuh keikhlasan
menyelesaikan dengan penuh kebahagiaan

Innallaha Ma'ashabirin

”Sesungguhnya Allah bersama dengan orang yang sabar”

(Surat Al-Baqarah ayat 153)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Didik Abdul Hadi**

NIM : **101910101087**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul: Pengaruh Cacat *Void* Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Matrik *Polyester* Eterset 2504 Apt Aditif Partikel *Montmorillonite* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan 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 bila ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Maret 2016

Yang menyatakan,

(Didik Abdul Hadi)
NIM 101910101087



SKRIPSI

**PENGARUH CACAT VOID TERHADAP KEKUATAN MEKANIK
KOMPOSIT Matrik POLYESTER ETERSET 2504 APT ADITIF
PARTIKEL MONTMORILLONITE**

Oleh
Didik Abdul Hadi
NIM 101910101087

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama: Imam Sholahuddin, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota: Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Cacat *Void* Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Matrik *Polyester* Eterset 2504 Apt Aditif Partikel *Montmorillonite*”, telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 28 Maret 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Imam Sholahuddin, S.T., M.T.
NIP 19811029 200812 1 003

Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T.
NIP 19690209 199802 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 19680202 199702 1 001

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

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

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

RINGKASAN

PENGARUH CACAT VOID TERHADAP KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT Matrik POLYESTER ETERSET 2504 APT ADITIF PARTIKEL MONTMORILLONITE. Didik Abdul Hadi; 2016; halaman 66; Program Studi Strata Satu Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan yang lainnya sebagai pengikat. Komposit disusun dari dua komponen yaitu matrik atau resin dan *reinforcement* atau penguat. Penggunaan material yang tidak dapat diperbarui memicu para peneliti untuk mengembangkan partikel *montmorillonite* sebagai *filler* komposit. Keunggulan partikel *montmorillonite* adalah tahan terhadap panas, sumber yang melimpah dan murah. Penelitian yang digunakan menggunakan metode *vacuum*. Variabel yang digunakan meliputi variasi ukuran partikel dengan mesh 30, 40,50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150 dengan matrik *polyester* berpenguat partikel *montmorillonite* dengan fraksi berat partikel 40%, sedangkan parameter yang digunakan adalah jumlah void, kekuatan bending dan struktur makro dan mikro komposit partikel *montmorillonite*.

Dari hasil foto makro menunjukkan terjadinya pengendapan partikel (MMT) yang berbeda pada spesimen komposit. Berat jenis yang berbeda pada tiap partikel, semakin kecil ukuran partikel berat jenisnya semakin besar. Dengan fraksi berat yang sama maka akan terjadi pengendapan. Sedangkan pada analisa berupa grafik, terjadi peningkatan void setelah penambahan partikel mesh 30 terhadap resin *polyester*. Namun secara perlahan pada mesh 30 sampai 150 jumlah *void* mengalami penurunan. Pada penelitian ini jumlah *void* yang masuk standar ASTM D2734 adalah mesh 120-150 dengan jumlah *void* 0,93% dan 0,86%. Sedangkan untuk kekuatan bending, resin murni sampai mesh 30 mengalami penurunan dari 2,6107 (N/mm²) sampai 0,4374

(N/mm²). Namun pada variasi mesh 30 sampai 150 nilai kekuatan bending perlahan meningkat dengan nilai optimal sebesar 0,6624 (N/mm²) pada komposit partikel mesh 150. Hal ini dikarenakan pada spesimen komposit partikel mesh 150 jumlah *void* lebih kecil sehingga kekuatan bending meningkat. Pada saat pengujian bending patahan yang terjadi pada spesimen adalah patah getas. Pada foto mikro dapat dilihat pada mesh 30 sampai 150 ukuran gelembung udara dan rongga pada komposit partikel (MMT) semakin menurun. Hal ini terjadi karena semakin kecil ukuran partikel pada komposit maka ikatan antara partikel dan resin semakin baik. Partikel yang kecil mengakibatkan gelembung udara dalam spesimen menjadi menurun secara signifikan.

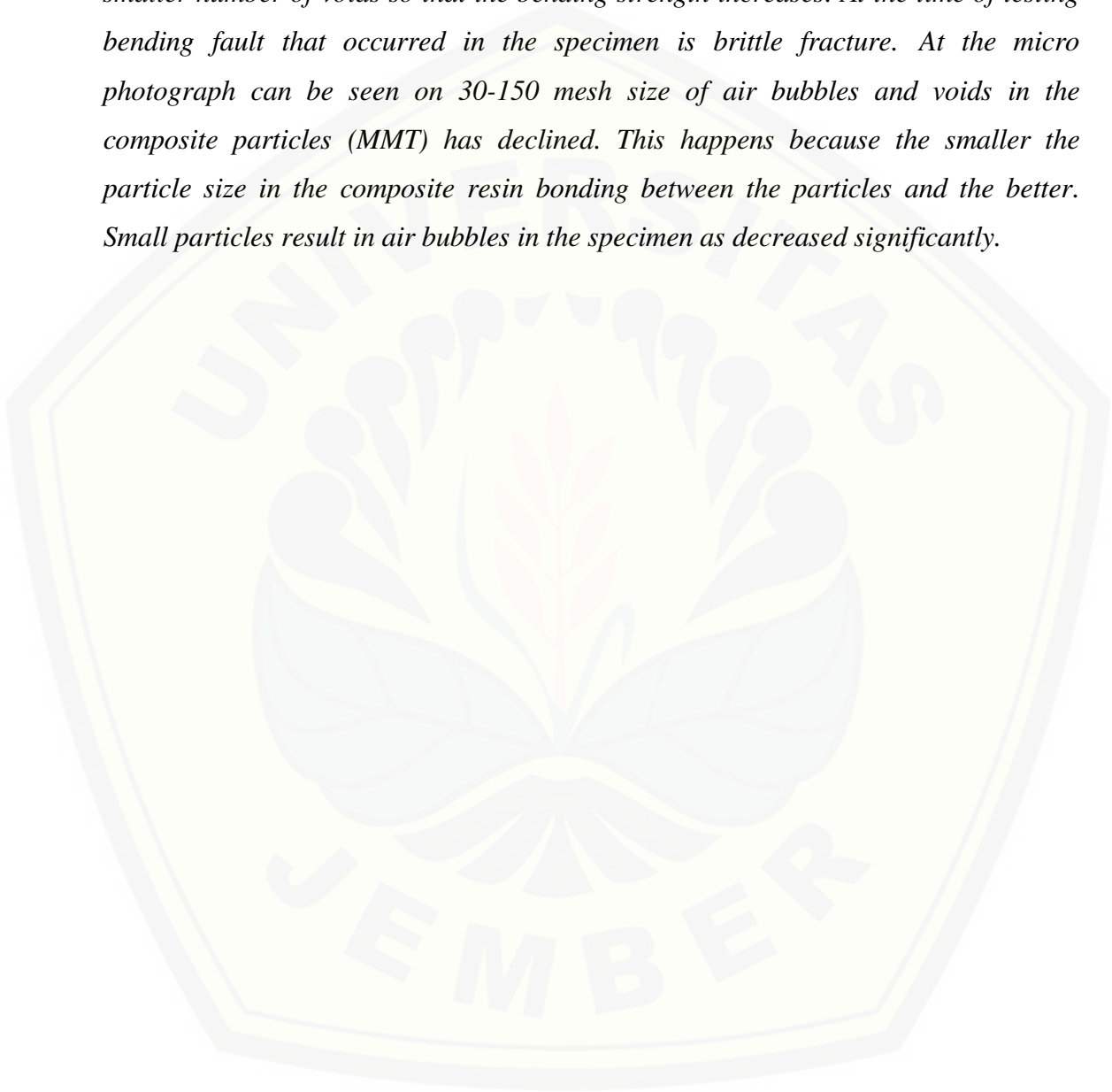
SUMMARY

EFFECT OF MECHANICAL STRENGTH AGAINST THE VOID DEFECTS MATRIX COMPOSITE POLYESTER PARTICLES ADDITIVES ETERSET 2504 APT MONTMORILLONITE. Didik Abdul Hadi; 2016; pages 66; Strata Study Program The Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Composites are defined as a combination between two materials or more that is diverse in its shape, its chemistry compositions and not be able to dissolve each othes, where the one material has a role as the strengthener meanwhile the other plays the role as fostening. Composite is arranged from two components, they are matrix or resin and reinforcement or strengthener. The use of materials that can not be updated prompted researchers to develop composite particles of montmorillonite as filler. Excellence montmorillonite particles are resistant to heat, source of abundant and cheap. The research uses a vacuum method. Variables used include variations in particle size with the mesh 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150 with polyester matrix strengthen montnorillonit particles with particle weight fraction of 40 %, while the parameter used is the number of voids, bending strength and structure of macro and micro montnorillonit composite particles.

From the results of macro photograph showing the particle deposition (MMT), which differ in the composite specimen. Weight of different types on each particle, the smaller the particle size the greater specific gravity. With the same fraction of heavy precipitation will occur. While the analysis in the form of a graph, an increase in voids after the addition of the resin particles of 30 mesh polyester. But slowly on 30-150 mesh decreased the number of voids. In this study, the number of incoming voids standard ASTM D2734 is 120-150 mesh with the number of voids 0,93 % and 0,86 %. As for bending strength, pure resin-mesh 30 has decreased from 2.6107 (N/mm²) to 0.4374 (N/mm²). However, the variation of 30-150 mesh bending strength values

gradually increased to the optimum value of 0.6694 (N/mm²) in the composite particles 150 mesh. This is because the composite specimen 150 mesh particles smaller number of voids so that the bending strength increases. At the time of testing bending fault that occurred in the specimen is brittle fracture. At the micro photograph can be seen on 30-150 mesh size of air bubbles and voids in the composite particles (MMT) has declined. This happens because the smaller the particle size in the composite resin bonding between the particles and the better. Small particles result in air bubbles in the specimen as decreased significantly.



PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: ***Pengaruh Cacat Void Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Matrik Polyester Eterset 2504 Apt Aditif Partikel Montmorillonite***. Saya telah berusaha membuat skripsi ini sebaik mungkin. Segala usaha telah saya tempuh secara maksimal agar skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat.

Saat saya menyusun skripsi ini berbagai pihak telah membantu saya. Oleh karena itu saya ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

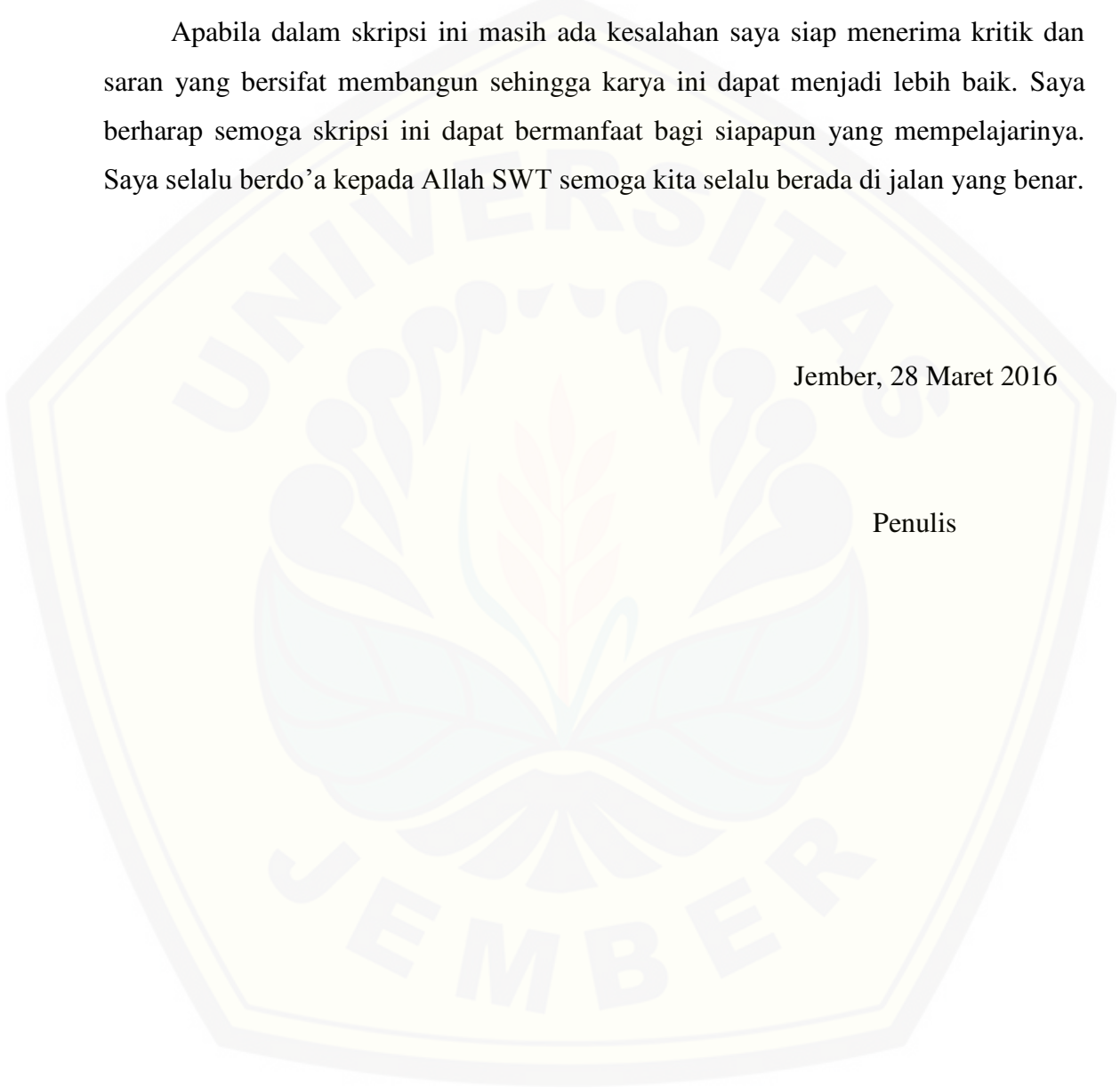
1. Ibu dan ayah yang selalu memberikan semangat dan do'anya demi terselesaikannya skripsi ini;
2. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T., dan Bapak Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T., selaku Dosen pembimbing yang telah membimbing saya menyelesaikan skripsi ini;
3. Bapak Sumarji, S.T., M.T dan Bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro Wibowo, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dalam pengerjaan skripsi ini;
4. Seluruh teman seangkatan Teknik Mesin 2010 "MEC-X" yang selalu siap memberikan bantuannya, yang telah memberikan kekompakan dan semangat kebersamaan, serta persaudaraannya salam *solidarity forever*;
5. Seluruh anggota "TEAM BULET" yang selalu membantu dan memberikan masukan.
6. Sahabatku yang memberikan dukungan dan doa selama ini.

Saya hanya bisa mengucapkan banyak terimakasih atas segala bantuan yang telah diberikan pada saya dalam penyusunan skripsi ini. Semoga Allah SWT memberikan yang terbaik pada semua pihak yang membantu saya.

Apabila dalam skripsi ini masih ada kesalahan saya siap menerima kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga karya ini dapat menjadi lebih baik. Saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang mempelajarinya. Saya selalu berdo'a kepada Allah SWT semoga kita selalu berada di jalan yang benar.

Jember, 28 Maret 2016

Penulis



DAFTAR ISI

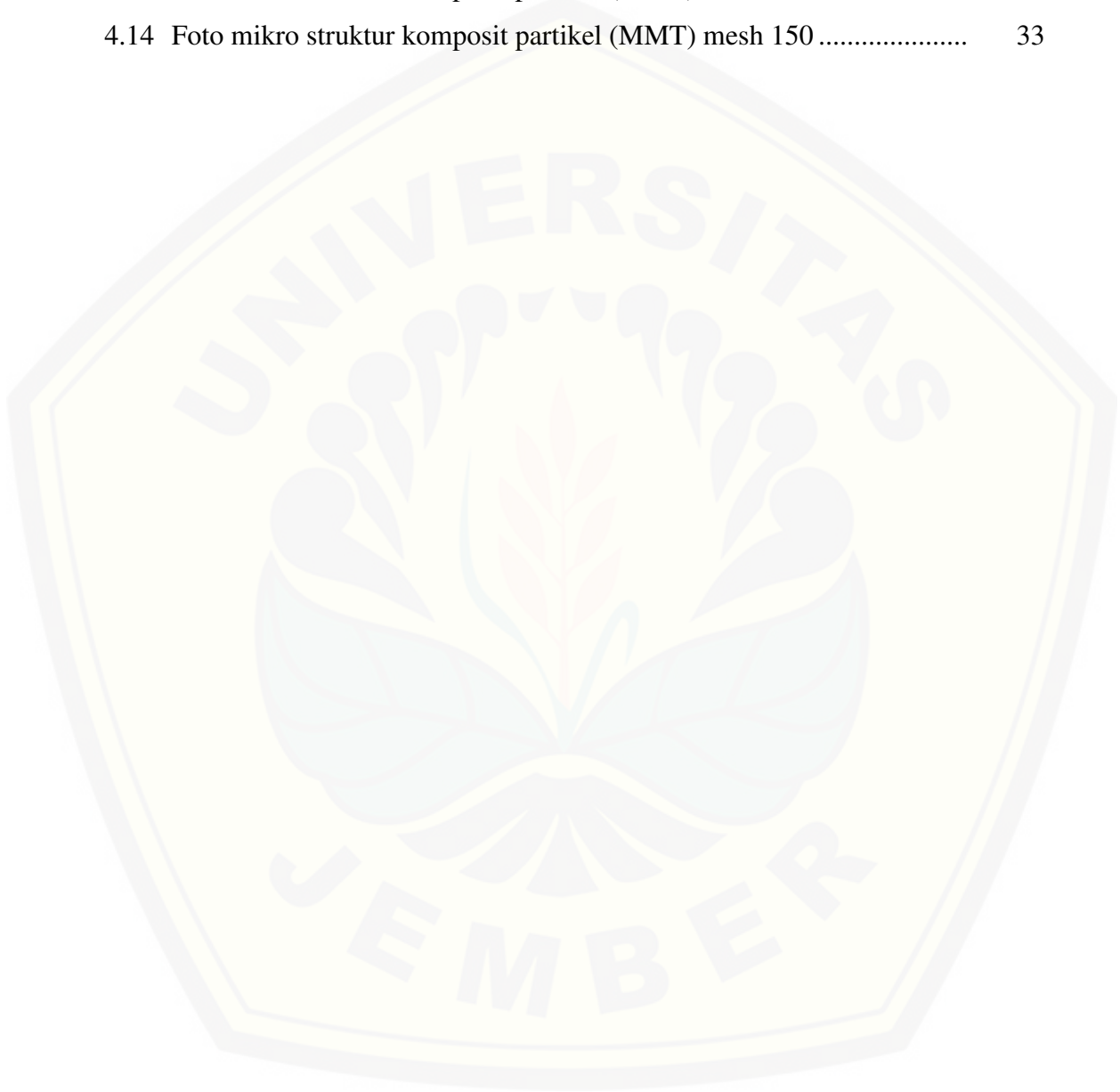
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Material Komposit	4
2.1.1 Jenis-jenis Penguat Komposit	5
2.1.2 Metode Pembuatan Komposit	8
2.2 Resin Polyester	11
2.3 Partikel Montmorillonite	11
2.4 Vacuum Molding	12
2.5 Perhitungan Void ASTM D 2734	13

2.6	Standart Pengujian Bending ASTM D 790.....	14
2.7	Hipotesis	15
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1	Metode Penelitian	16
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	16
3.3.1	Alat	16
3.3.2	Bahan	17
3.4	Prosedur Penelitian	17
3.4.1	Pembuatan spesimen menggunakan <i>vacuum molding</i>	17
3.4.2	Langkah perhitungan <i>void</i> berdasarkan ASTM D 2734 ..	18
3.4.3	Langkah pengujian sampel berdasarkan ASTM D 790 ..	18
3.5	Analisa Data	19
3.6	Diagram Alir Penelitian	20
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1	Data Penelitian	21
4.1.1	Foto makro komposit partikel (MMT).....	21
4.1.2	Data pengujian <i>void</i>	22
4.1.3	Data pengujian bending	24
4.1.4	Foto struktur mikro	27
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	34
5.1	Kesimpulan	34
5.2	Saran	34
	DAFTAR PUSTAKA	35
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

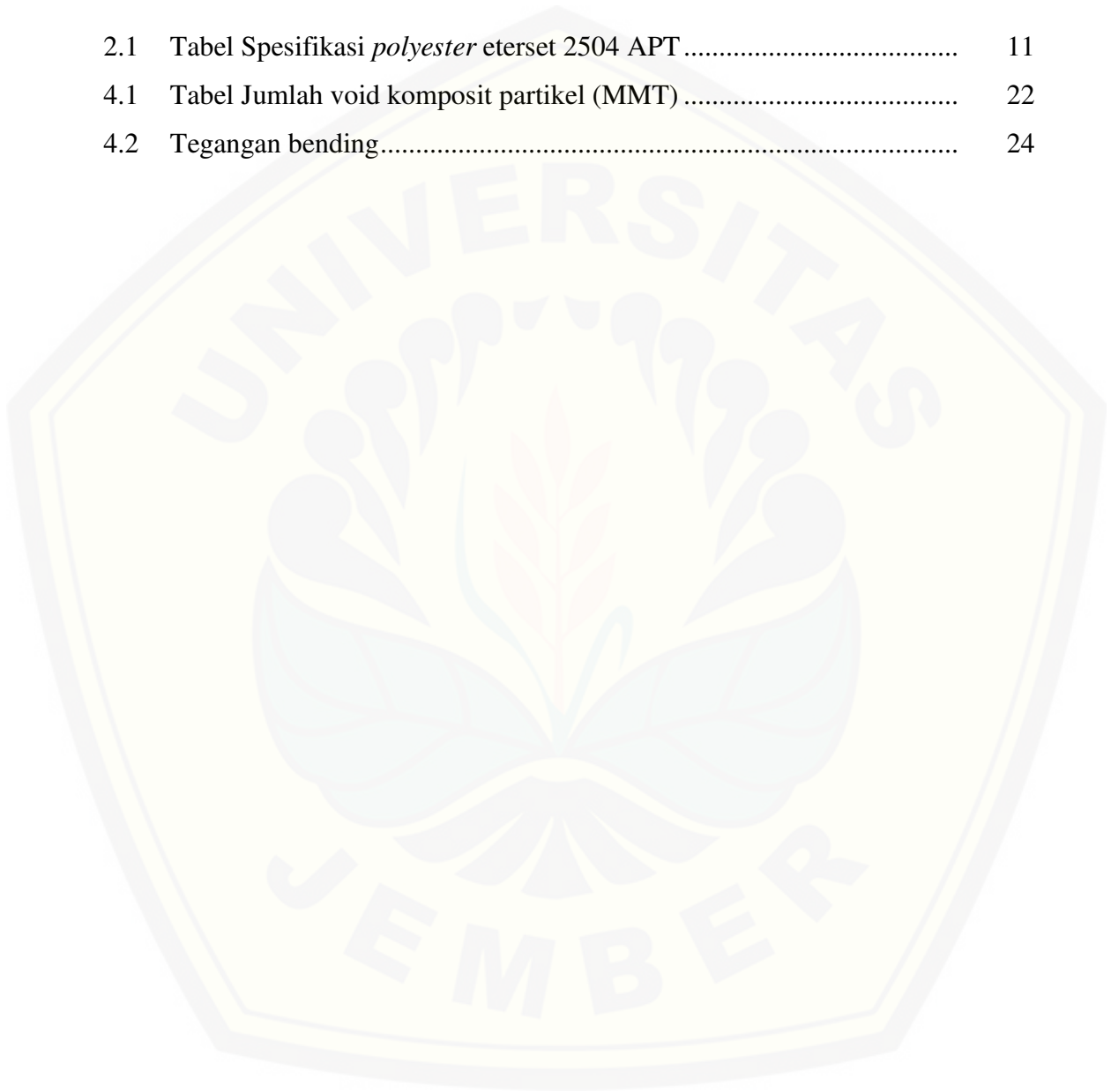
2.1	Susunan Komposit.....	4
2.2	Pembagian Komposit berdasarkan dari <i>Reinforcement</i>	5
2.3	Komposit Partikel	5
2.4	Tipe Serat Pada Komposit	6
2.5	Macam-macam bentuk Komposit Laminat dan Mikrostrukturnya	7
2.6	Metode <i>Hand Lay-up</i>	8
2.7	Metode <i>Vacuum</i>	9
2.8	Metode <i>Preassure Bag</i>	9
2.9	Metode <i>Spray up</i>	10
2.10	Metode <i>Filament Winding</i>	10
2.11	Metode <i>vacuum</i>	12
2.12	Geometri dan Dimensi Spesimen Uji Bending ASTM D 790.....	14
3.1	Desain Cetakan Komposit	16
3.2	Skema Pembuatan Spesimen	17
3.3	Mekanisme Uji Bending	18
3.4	Diagram alir Penelitian	20
4.1	Foto Makro Spesimen Komposit Partikel (MMT)	21
4.2	Grafik Jumlah <i>Void</i> terhadap ukuran Partikel (mesh)	23
4.3	Grafik Kekuatan Bending terhadap ukuran Partikel (mesh).....	24
4.4	Foto Makro spesimen Uji Bending dengan berbagai Variasi (mesh)....	26
4.5	Foto mikro struktur komposit resin murni.....	27
4.6	Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 30	28
4.7	Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 40	28
4.8	Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 50	29
4.9	Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 60	30
4.10	Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 70	30

4.11 Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 80	31
4.12 Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 100	31
4.13 Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 120	32
4.14 Foto mikro struktur komposit partikel (MMT) mesh 150	33



DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Spesifikasi <i>polyester</i> eterset 2504 APT	11
4.1	Tabel Jumlah void komposit partikel (MMT)	22
4.2	Tegangan bending.....	24



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan dalam segala bidang telah menuntut ketersediaan bahan teknik sebagai pendukung utamanya. Bahan-bahan teknik konvensional dari alam yang tidak dapat diperbaharui akan terbatas ketersediaannya sehingga perlu dicari alternatif bahan-bahan teknik non konvensional yang dapat diperbaharui. Dalam membuat suatu perencanaan teknik memerlukan suatu bahan teknik yang kuat, tangguh, mudah dibentuk, ekonomis, tahan korosi serta ramah lingkungan. Penemuan bahan komposit merupakan revolusi terbesar dalam dunia ilmu material, karena bahan komposit telah mampu menyaingi bahan konvensional lainnya. Bahan komposit dapat dibuat sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan sama dengan baja, namun bahan komposit lebih ringan. Pada pembuatan material komposit sering terjadi *void* (Azwar, 2009).

Kehadiran *void* pada komposit dapat mengurangi kekuatan tarik, tekan, dan lenturnya secara signifikan. Bahwa 2%-3% *void* pada komposit menyebabkan kekuatan pada material menurun secara signifikan. Selain itu, *wettability* yang kurang baik antar partikel akan menyebabkan ikatan antar matrik dan partikel, menjadikan komposit menjadi lemah sehingga memicu timbulnya *void* dan mempengaruhi sifat lenturnya (Mallick, 2007). Selain itu, dari penelitian lainnya, sampel komposit fiberglass dengan fraksi volume 0,5%-7% yang diproses secara *vacuum "hand lay up vacuum bagging"* pada kondisi kelelahan statis mode 1 dan 2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan pelepasan energi regang siklik pada proses delaminasi (Abdelal and Donalson, 2008).

kehadiran *void* pada komposit dapat dihindari pada tahap pra-cetak dan dapat ditempuh melalui tiga cara; menghilangkan gas pada resin cair, menerapkan proses pencetakan *vacuum molding* dan membuat saluran udara (ventilasi) pada cetakan agar campuran resin mengalir secara bebas (Mallick, 2007)

Berdasarkan latar belakang diatas akan dilakukan penelitian mengenai, pengaruh variasi ukuran partikel terhadap *void* dan kekuatan komposit partikel melalui pengujian *bending* dengan menerapkan proses pencetakan *vacuum molding* untuk mengurangi atau menghindari terjadinya *void*. Menurut ASTM D2734 kandungan *void* yang baik memiliki 1% atau kurang dari 1%, sehingga penelitian ini diharapkan bisa mencapai persentase $void \leq 1\%$ pada komposit partikel *montmorillonite* (MMT).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah bentuk morfologi komposit partikel?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi partikel terhadap terjadinya *void* pada komposit?
3. Bagaimanakah pengaruh variasi ukuran partikel terhadap kekuatan komposit?
4. Bagaimana bentuk struktur mikro pada komposit partikel?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan dan menghindari meluasnya permasalahan yang ada, maka penelitian ini akan diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Menggunakan bahan *montmorillonite* (MMT) yang berasal dari wilayah jember;
2. Matrik yang digunakan adalah *polyester* ETERSET 2504 APT
3. Ukuran partikel tanah liat menggunakan variasi mesh 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, dan 150;
4. Fraksi volume *filler* yang digunakan adalah 40% (nasirudin, 2014)
5. Metode yang digunakan adalah *vacuum molding*;
6. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM D 2734 tentang uji *void* dan D 790 tentang uji *bending*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi partikel terhadap terjadinya *void* pada komposit.
2. Mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel terhadap kekuatan komposit.
3. Mengetahui bentuk patahan yang terjadi akibat dari pengujian *bending*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan pertimbangan penggunaan komposit partikel tanah liat yang ramah lingkungan pada dunia industri otomotif.
2. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan material alternatif yang berbahan tanah liat sehingga menghasilkan harga yang relatif murah dan berkualitas tinggi.

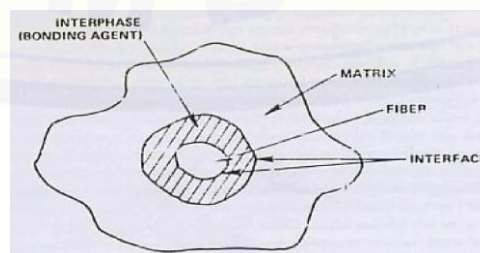
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari gabungan dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda sehingga menghasilkan material baru yang lebih kuat dari material pembentuknya. Pencampuran material ini dilakukan secara makroskopis dan biasanya banyak digunakan dalam memenuhi kebutuhan produksi material di dunia industri karena karakteristiknya yang mudah disesuaikan dengan kebutuhan dan prosesnya relatif lebih ramah lingkungan.

Ditinjau dari strukturnya, material komposit tersusun atas dua komponen dasar yaitu *matrix* dan *filler*. *Matrix* merupakan komponen dengan jumlah fraksi volum yang lebih besar dari *filler*. *Matrix* juga didefinisikan sebagai komponen material terluar atau kulit dari material komposit. Sedangkan *filler* merupakan penguat dari *matrix*, yaitu komponen yang digunakan untuk memperkuat (menyokong) *matrix*. *Filler* dapat berupa serat – serat dengan arah tertentu atau berupa partikel (butiran/serpihan) yang tersebar dalam material komposit (Febriyanto, 2011).

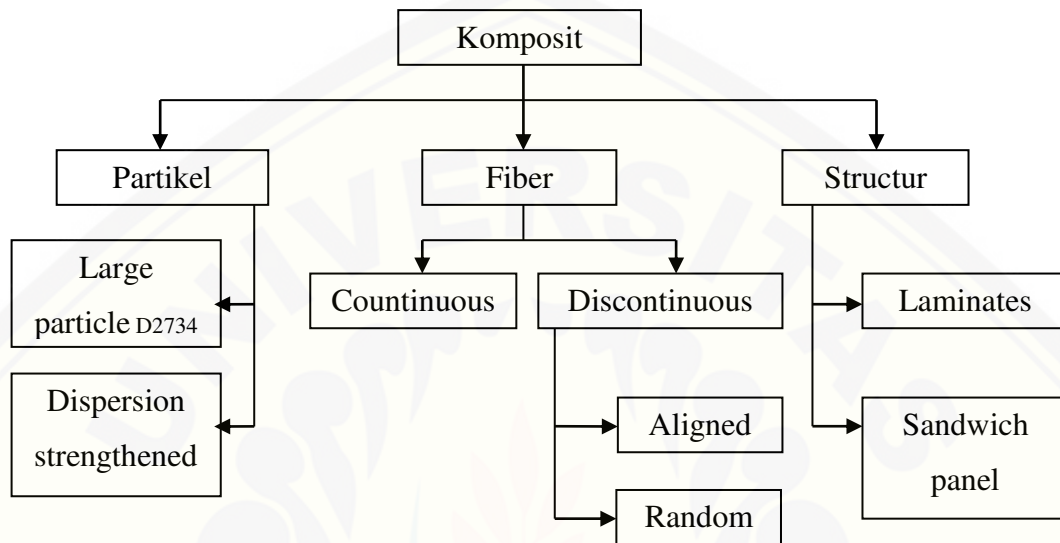
Filler sendiri salah satunya berupa partikel *montmorillonite* (MMT). *Montmorillonite* memiliki kandungan 54,59% SiO_2 dan 19,92% Al_2O_3 . Selain itu juga memiliki kemampuan mengadsorpsi tinggi, sifat liat yang tinggi, berkerut jika dikeringkan dan butirannya berkeping halus. Kedua senyawa tersebut merupakan bahan geomaterial yang mampu meningkatkan ketahanan panas dan kekuatan komposit (Diharjo, 2013). Susunan komposit dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Susunan komposit (Junus, 2011)

2.1.1 Jenis-jenis penguat komposit

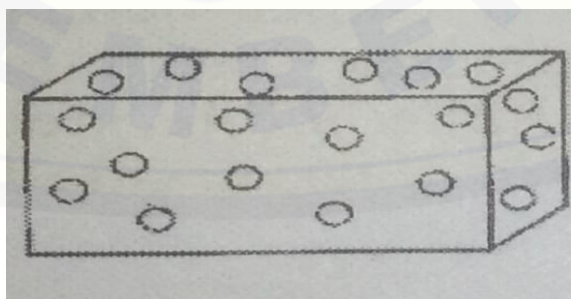
Berdasarkan bentuk dari *reinforcement*-nya, komposit dapat dibedakan menjadi:



Gambar 2.2. Pembagian komposit berdasarkan dari *reinforcementnya* (Junus, 2011)

1. Partikel sebagai penguat (*Particulate Composites*)

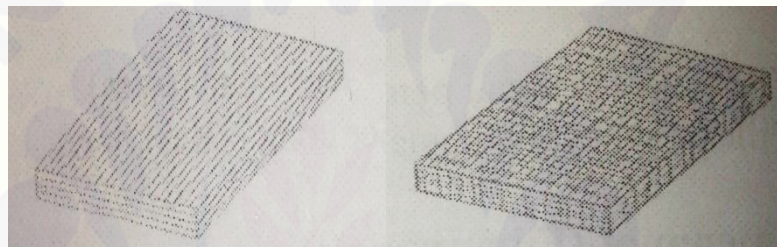
Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



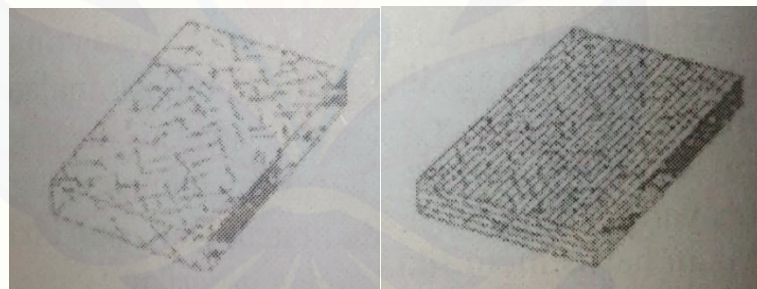
Gambar 2.3 Komposit partikel (Junus, 2011)

2. *Fiber* sebagai penguat (*Fiber* Komposit)

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang diberikan pada komposit awalnya diterima oleh matrik kemudian akan diteruskan pada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimal. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dari pada matrik komposit. Berdasarkan penempatannya *fiber* terdiri dari beberapa tipe. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4.



(a) *Continuous* Komposit (b) *Woven Fiber* Komposit



(c) *Discontinuous Fiber* Komposit (d) *Hybrid Fiber* Komposit

Gambar 2.4 Tipe Serat pada Komposit (Junus, 2011)

3. *Continuous Fiber* Komposit

Continuous atau *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriknya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antara lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antara lapisan dipengaruhi oleh matriknya.

4. *Woven Fiber* Komposit

Komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antara lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antara lapisan. Akan tetapi susunan serat yang memanjang yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continuous* fiber.

5. *Dicontinuous Fiber* Komposit

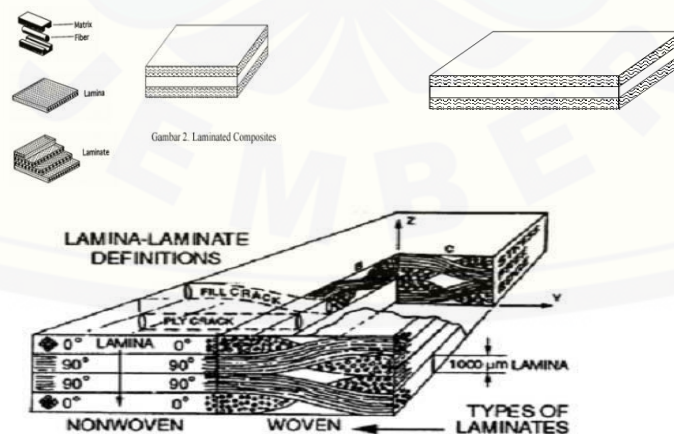
Komposit dengan tipe serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriknya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat secara acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

6. *Hybrid Fiber* Komposit

Hybrid fiber komposit merupakan komposit gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. Pertimbangannya supaya dapat mengeliminir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihanannya.

7. *Laminated Composite* (Komposit Laminat)

Merupakan jenis komposit yang tersusun dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik sifat sendiri. Berbagai bentuk macam komposit laminat dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Macam-macam Bentuk Komposit Laminat dan Mikrostrukturnya (Junus, 2011)

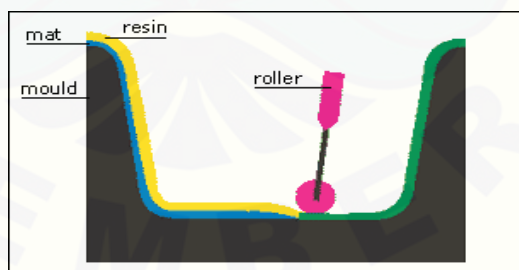
2.1.2 Metode Pembuatan Komposit

Secara garis besar metode pembuatan material komposit terdiri dari dua cara, yaitu proses cetakan terbuka (*open-mold process*) dan proses cetakan tertutup (*closed-mold process*). Dalam penelitian ini digunakan proses cetakan tertutup (*closed-mold process*). Ada beberapa jenis dari proses cetakan terbuka (*open-mold process*) yaitu:

1. *Hand Lay Up*

Hand lay up adalah metode yang paling sederhana dan merupakan proses dengan metode terbuka dari proses fabrikasi komposit. Adapun proses dari pembuatan dengan metode ini adalah dengan cara menuangkan campuran resin dan katalis dengan tangan kedalam serat berbentuk anyaman atau kain. Kemudian memberikan tekanan sekaligus meratakannya menggunakan rol atau kuas. Proses tersebut dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin langsung berkontak dengan udara dan biasanya proses pencetakan dilakukan pada suhu ruangan. Kelebihan menggunakan metode ini yaitu, mudah, cocok digunakan untuk komponen yang besar dan volumenya rendah.

Pada metode *hand lay up*, resin yang paling banyak digunakan adalah *polyester* dan *epoxy*. Proses *hand lay up* dapat kita lihat pada Gambar 2.6.

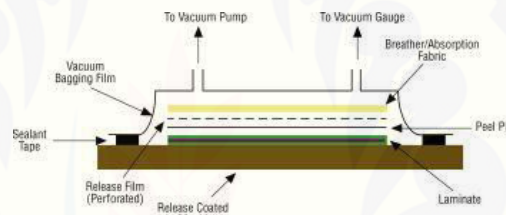


Gambar 2.6 Metode *Hand lay-up* (Pradana, 2014)

Aplikasi dari pembuatan produk komposit menggunakan *hand lay up* ini biasanya digunakan pada material atau komponen yang sangat besar, seperti pembuatan kapal, bodi kendaraan, bilah turbin angin, bak mandi, dan perahu.

2. *Vacuum Bag*

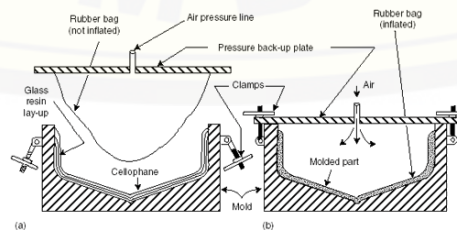
Pada proses ini digunakan pompa *vacuum* untuk menghisap udara yang ada dalam wadah tempat diletakkannya komposit yang akan dicetak. Dengan divakumkannya udara dalam wadah, maka udara yang ada diluar penutup plastik akan menekan kearah dalam. Hal ini akan menyebabkan udara yang terperangkap dalam spesimen komposit akan dapat diminimalkan. Apabila dibandingkan dengan *hand lay up*, metode ini memberikan penguatan konsentrasi yang lebih tinggi, *adhesi* lebih baik pada antar lapisan, dan kontrol lebih baik pada resin atau rasio kaca. Aplikasi dari metode ini adalah pembuatan kapal pesiar, komponen mobil balap dan perahu.



Gambar 2.7 Metode *Vacuum*

3. *Pressure Bag*

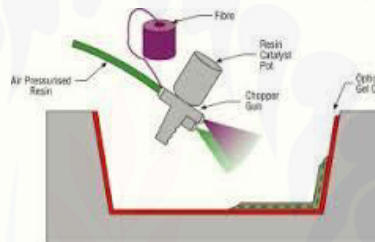
Pressure bag memiliki kesamaan dengan metode *vacuum bag*, namun cara ini tidak memakai pompa vakum tetapi menggunakan udara atau uap bertekanan yang dimasukkan melalui suatu wadah elastis. Wadah elastis ini yang akan berkontak pada komposit yang akan melakukan proses. Biasanya tekanan besar yang di berikan pada proses ini adalah sebesar 30 sampai 50 psi. Aplikasi dari metoda *vacuum bag* ini adalah pembuatan tangki,wadah,dan turbin angin.



Gambar 2.8 Metode *Preassure Bag*

4. *Spray Up*

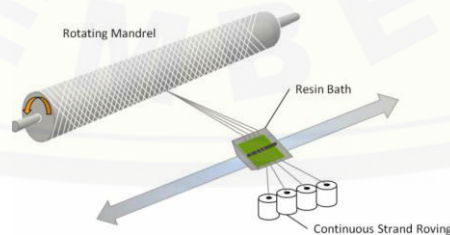
Spray-up merupakan metode cetakan terbuka yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks ekonomis dibandingkan metode *hand lay up*. Proses *spray up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat (*fiber*) yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan pada wadah tempat pencetakan *spray-up* telah disiapkan sebelumnya. Setelah itu proses selanjutnya adalah dengan membiarkannya mengeras pada kondisi atmosfer standar. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.9 Metode *spray up* (Pradana, 2014)

5. *Filament Winding*

Fiber tipe *roving* atau *single strand* dilewatkan melalui wadah yang berisi resin, kemudian fiber tersebut akan diputar sekeliling mandrel yang sedang bergerak dua arah, arah radial dan arah tangensial. Proses ini dilakukan berulang, sehingga cara ini didapatkan lapisan serat dan fiber sesuai dengan yang diinginkan. Resin *termoseting* yang biasa digunakan pada proses ini adalah *polyester*, *vinil ester*, *epoxies*, dan fenolat.



Gambar 2.10 Metode *Filament Winding* (Tiwari, 2002)

2.2 Resin *polyester*

Polyester adalah resin thermoset yang berbentuk cair dengan viskositas yang relatif rendah dan paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, dengan penambahan katalis poliester akan mengeras pada suhu kamar. Resin *polyester* banyak mengandung monomer stiren sehingga suhu deformasi termal lebih rendah dari pada resin thermoset lainnya dan ketahanan panas jangka panjang adalah kira-kira 110°C-140°C, ketahanan dingin resin ini relatif baik.

ETERSET 2504 APT merupakan salah satu jenis *polyester* yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi *polyester* eterset 2504 APT

SPESIFIKASI	
Color	Pink turbid
Styrene monomer content,%	37.5 - 41.5
Viscosity (Brookfield spindle #3, 60rpm, at 25 ⁰ C), cps	350 - 450
Thixotropic index (Brookfield spindle #3, 6/60rpm, at 25°C)	1.0 - 2.0
Acid value, mg KOH/g resin	17 - 27

Sumber: (Eterset Chemical CO.,LTD 2010)

2.3 Partikel *Montmorillonite* (MMT)

Partikel *Montmorillonite* (MMT) merupakan produk keramik dari tanah liat/lempung yang memiliki kandungan 54,59% SiO₂ dan 19,92% Al₂O₃. Lempung ini dapat dikategorikan sebagai *Montmorillonite* karena mempunyai kemampuan mengadsorpsi tinggi, sifat liat yang tinggi, berkerut jika dikeringkan dan butirannya berkeping halus. Kedua senyawa tersebut merupakan bahan geomaterial yang mampu meningkatkan ketahanan panas dan kekuatan komposit. Kedua kandungan tersebut

2.5 Pengujian *Void* ASTM D2734

Void atau gelembung udara merupakan akibat yang tidak bisa dihindari pada saat proses pembuatan. Untuk itu sebisa mungkin meminimalkan *void* yang dihasilkan pada bahan komposit. *Void* (kekosongan) yang terjadi pada matrik sangatlah berbahaya, karena pada bagian tersebut penguat tidak didukung oleh matriks, sedangkan penguat selalu akan mentransfer tegangan ke matriks. Hal seperti ini menjadi penyebab munculnya crack, sehingga komposit akan gagal lebih awal. Kekuatan komposit terkait dengan *void* adalah berbanding terbalik yaitu semakin banyak *void* maka komposit semakin rapuh dan apabila sedikit *void* komposit semakin kuat. *Void* juga dapat mempengaruhi ikatan antara partikel dan matrik, yaitu adanya celah pada serat atau bentuk serat yang kurang sempurna yang dapat menyebabkan matrik tidak akan mampu mengisi ruang kosong pada cetakan. Bila komposit tersebut menerima beban, maka daerah tegangan akan berpindah ke daerah *void* sehingga akan mengurangi kekuatan komposit tersebut (Porwanto and Johar, 2011).

Perhitungan-perhitungan menurut ASTM D 2734

Teori Densitas

$$T = 100 / (R/D + r/d) \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana: T = teori densitas
 R = resin pada komposit, fraksi berat (%wt)
 D = densitas resin
 r = penguat komposit, fraksi berat (%wt)
 d = densitas penguat

Teori perhitungan *void*

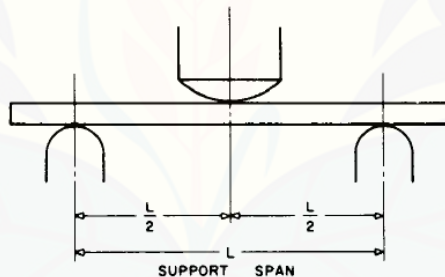
$$V = 100(T_d - M_d) / T_d \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana: V = kandungan *void*, volume %
 T_d = densitas teori komposit, dan
 M_d = densitas pengukuran komposit

2.6 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* adalah pengujian memberikan tekanan pada permukaan benda uji. Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lengkung dari suatu material. Proses pengujian *bending* dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine*. Pengujian suatu bahan dimaksudkan untuk memperoleh kepastian mengenai sifat-sifat dan kekuatan bahan tersebut. Melalui pengujian yang teliti akan diketahui apakah bahan tersebut dapat digunakan untuk suatu konstruksi tertentu atau tidak.

Pada umumnya material komposit mempunyai nilai modulus elastisitas *bending* yang berbeda dengan nilai modulus elastisitas tariknya. Akibat pengujian *bending*, pada bagian atas spesimen akan mengalami tekanan dan bagian bawah akan mengalami tarikan. Kekuatan tekan komposit lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya.



Gambar 2.12 Geometri dan Dimensi Spesimen Uji Bending ASTM D 790 (skala mm)

Rumus perhitunga tegangan *bending*

$$\sigma_f = 3PL/2bd^2$$

- Dimana :
- σ = stress in the outer fibers at midpoint, MPa (psi),
 - P = load at a given point on the load-deflection curve, N (lbf),
 - L = support span, mm (in.),
 - b = width of beam tested, mm (in.), dan
 - d = depth of beam tested, mm (in.).

2.7 Hipotesa

Semakin kecil ukuran serbuk partikel akan menurunkan jumlah *void*. Sehingga kekuatan komposit akan semakin meningkat.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menganalisis cacat *void* terhadap kekuatan komposit partikel *montmorillonite* (MMT) menggunakan matrik *polyester* ETERSET 2504.

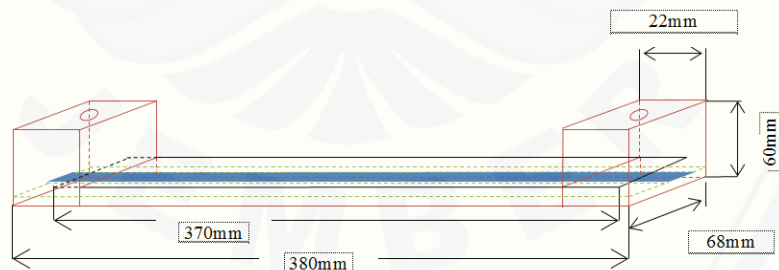
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Las dan Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian berlangsung selama dua bulan yaitu bulan Desember sampai dengan Februari.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Ayakan *stainless steel* dengan ukuran mesh 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, 150
2. Cetakan Komposit terbuat dari kaca.



Gambar. 3.1 Desain cetakan komposit

3. Mesin *Vacuum*.
4. Selang.
5. Timbangan digital.
6. Lumpang besi.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Partikel MMT ukuran 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, dan 150 *mesh*.
2. Resin *polyester* ETERSET 2405.
3. Katalis.

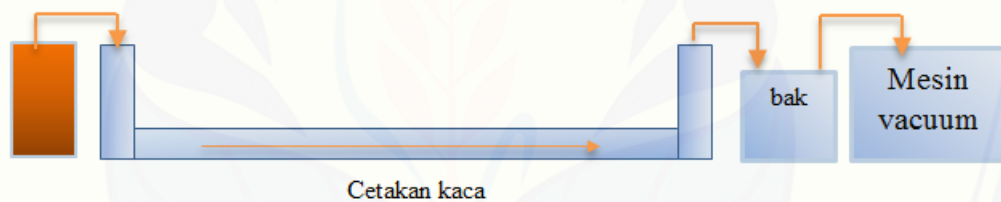
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan spesimen menggunakan *vacuum molding*.

Langkah-langkah pembuatan spesimen menggunakan *vacuum molding*.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan spesimen.
2. Menghancurkan partikel montmorillonite kemudian diayak dengan ayakan berukuran 30, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 120, dan 150 *mesh*.

Adonan komposit



Gamabar 3.2 Skema pembuatan spesimen

3. Menyiapkan cetakan dan mesin *vacuum molding* seperti pada gambar 3.2
4. Pengujian cetakan dengan mesin *vacuum* untuk memastikan bahwa tidak terjadi kebocoran udara di dalam ruang cetakan dan selang.
5. Menimbang resin dengan rasio tertentu dan timbang *montmorillonite*.
6. Setelah resin dan *montmorillonite* selesai di timbang masukkan resin kedalam suatu wadah kemudian tambahkan 1% katalis lalu aduk sampai rata dan kemudian masukan *montmorillonite* lalu aduk kembali sampai rata.
7. Resin yang sudah tercampur kemudian dihubungkan ke cetakan melalui selang.
8. Menghidupkan mesin vacuum.

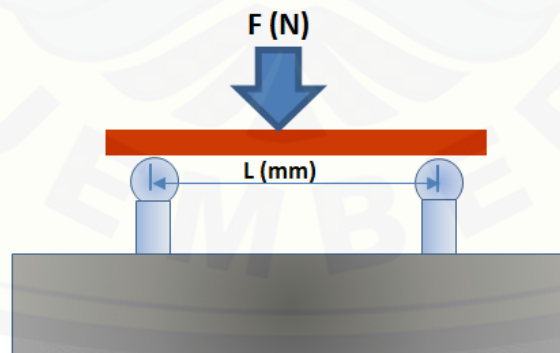
9. Tunggu hingga campuran resin dan *montmorillonite* memenuhi cetakan dan biarkan mengalir sampai ke bak penampung.
10. Setelah campuran resin dan *montmorillonite* terisi penuh dalam cetakan, lalu matikan mesin vacuum kemudian diamkan cetakan selama 12 jam.

3.4.2 Langkah perhitungan void berdasarkan ASTM D2734

1. Menghitung desnitas resin dan penguat untuk mendapatkan densitas komposit secara teoritis.
2. Mengukur berat densitas komposit sampel uji pada tiap mesh.
3. Menghitung void berdasarkan persamaan 2.1

3.4.3 Langkah-langkah pengujian sampel berdasarkan ASTM D 790

1. Gunakan spesimen belum teruji untuk setiap pengukuran. Ukur panjang, lebar dan tebal sesuai ASTM D790 Toleransi (0,1 cm.)
2. Letakkan spesimen pada dudukan dengan posisi terlentang yang berfungsi sebagai penumpu seperti pada gambar 3.3. Lalu sesuaikan panjang spesimen yang diuji dengan span sesuai ASTM. Kemudian mengatur rentang *support span* 10% dari nilai yang telah ditentukan.



Gambar 3.3 Mekanisme uji bending ASTM D 790

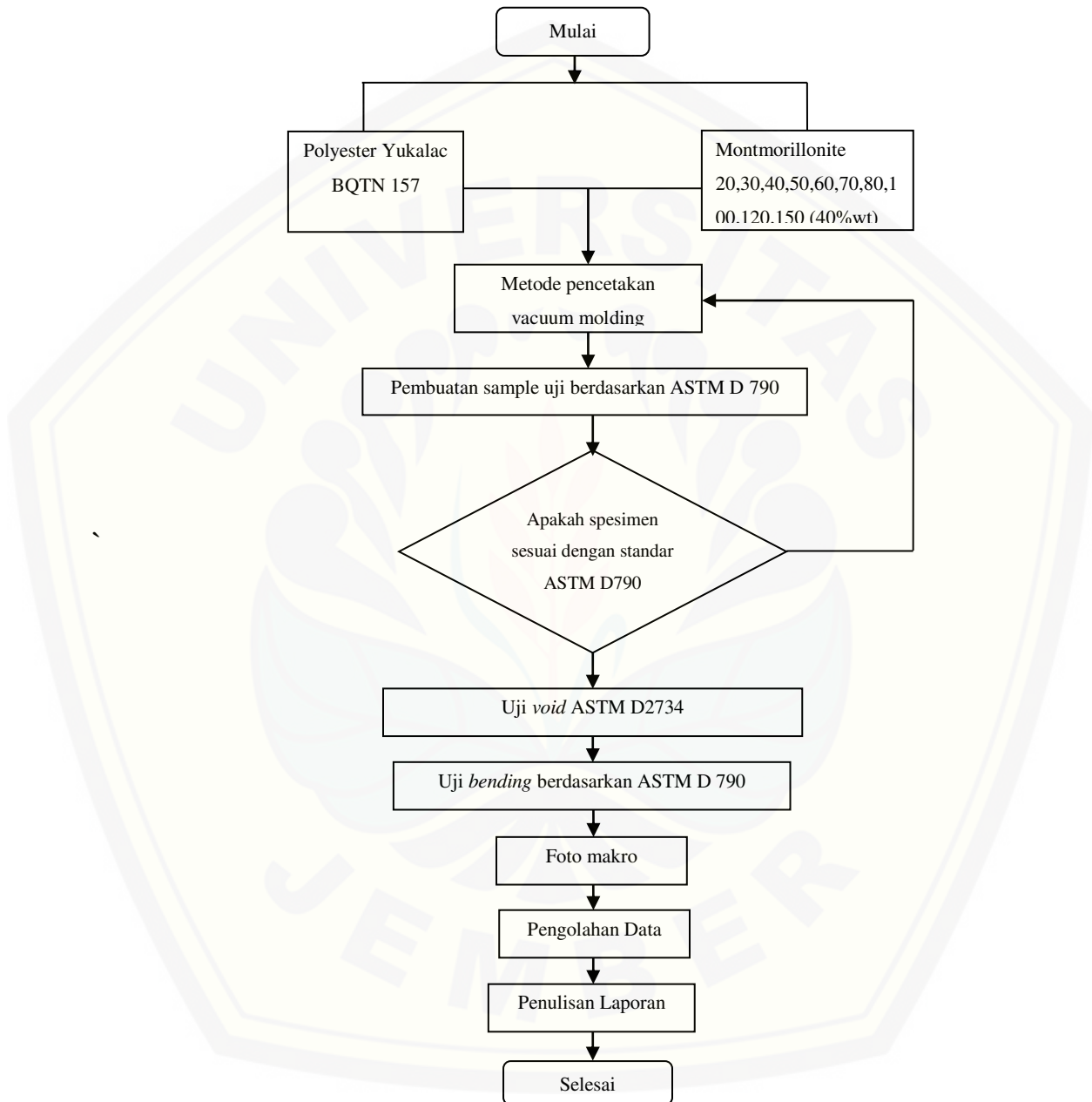
3. Maksimal defleksi yang terbaca pada mesin uji tarik adalah 10 mm

3.5 Analisa Data

Analisa data dilakukan setelah diperoleh hasil pengujian *void*, pengujian uji *bending* dengan pada salah satu sisi luarnya terhadap komposit *polyester montmorillonite* ialah sebagai berikut:

1. Analisa bagaimanakah pengaruh variasi partikel terhadap terjadinya void pada komposit.
2. Analisa bagaimanakah pengaruh variasi ukuran partikel terhadap kekuatan komposit.
3. Analisa bagaimanakah bentuk patahan yang terjadi pada pengujian *bending*.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh cacat *void* terhadap kekuatan mekanik komposit matrik polyester partikel montmorillonite dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada foto makro diketahui adanya pengendapan pada komposit. Semakin kecil ukuran partikel (MMT) maka pengendapan semakin berkurang.
2. Pada komposit partikel (MMT) dengan variasi mesh 30 sampai mesh 150 didapat jumlah *void* optimal pada mesh 150 sebesar 0,86%.
3. Pada komposit partikel (MMT) dengan variasi mesh 30 sampai mesh 150 didapat kekuatan bending optimal pada mesh 150 dengan nilai 0,6624 (N)/(mm²). Patahan yang terjadi pada saat uji bending komposit partikel (MMT) adalah patah getas.
4. Pada foto mikro semakin besar ukuran partikel maka semakin banyak *void* sehingga mempengaruhi ikatan pada komposit.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh cacat *void* terhadap kekuatan mekanik komposit matrik polyester partikel montmorillonite dapat diperoleh sebagai berikut.

1. Penambahan serat pada komposit partikel (MMT).
2. Pada saat pembuata spesimen pastikan cetakan tidak mengalami kebocoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Mouritz, A. P., and A. G. Gibson. 2006. Fire Properties of Polymer Composite Materials.
- Abdelal, N. & Donalson, S. L. 2008. *The Effects of Voids on Delamination Behavior Under Static and Cyclic Mode I and Mode II*, Jordan.
- ASTM D 2734-94. *Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics*¹. American National Standard.
- ASTM D 790-99. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*¹. American National Standard.
- Azwar. 2009. Study Perilaku Mekanik Komposit Berbasis Polyester yang diperkuat dengan Partikel Serbuk Kayu Keras dan Lunak. *Jurnal reaksi (Journal of Science and Technology)*, 7.
- Diharjo, K. dkk. 2013. Hambatan Panas Komposit Serbuk Genteng Sokka Bermatrik Bisphenolik LP-1Q-EX. 3.
- Febriyanto, S. 2011. *Penggunaan metode vacuum assisted resin infussion pada bahan uji komposit sandwich untuk aplikasi kapal bersayap wise-8*. Bachelor, Universitas Indonesia.
- Junus, S. (2011). Komposit. Jember: Jember University Press.
- Mallick, P. K. 2007. *fiber reinforced composites*, Boca Raton Taylor & Francis Group, LLC.
- Porwanto, D. A. & Johar, L. 2011. Karakterisasi Komposit berpenguat Serat Bambu dan Serat Gelas Sebagai Alternatif Bahan Baku Industri. Surabaya: Jurusan Teknik Fisika. ITS Surabaya.
- Pradana, A. W. 2014. *Pengaruh Fariasi Panjang Serat dan Fariasi Fraksi Volume Terhadap Kekuatan Mekani Komposit Daun Nanas*. Jember university.
- Eternal Chemical CO.,LTD. 2010. *Resilient Polyester Resin for Hand Lay-up*.

Zamzami dkk. 2013. Pengaruh Ukuran Fly Ash Pada Kekuatan Bending Komposit Resin Epoxy. Bandar Lampung. Lampung University.



LAMPIRAN A

A.1a Tabel perhitungan void

rerata berat jenis MMT (g/cm ³)	rerata berat RESI N PE (g)	60% resin (g)	volume resin (cm ³)	40% mmt (g)	volume mmt (cm ³)	volume komposit teori (cm ³)	densitas komposit teori (g/cm ³)	volume komposit aktual (cm ³)	densitas komposit aktual (g/cm ³)	Void (%)	
Resin	1,26	5,247	4,392			4,163	1,307	3,360	1,260	3,59	
30	0,967	5,247	3,148	2,498	2,099	2,170	4,668	1,571	3,340	1,511	3,83
40	0,974	5,247	3,148	2,498	2,099	2,154	4,653	1,580	3,320	1,539	2,60
50	0,982	5,247	3,148	2,498	2,099	2,137	4,635	1,624	3,230	1,593	1,93
60	1,003	5,247	3,148	2,498	2,099	2,093	4,591	1,634	3,210	1,606	1,75
70	1,010	5,247	3,148	2,498	2,099	2,078	4,577	1,650	3,180	1,622	1,71
80	1,017	5,247	3,148	2,498	2,099	2,064	4,562	1,650	3,180	1,624	1,57
100	1,045	5,247	3,148	2,498	2,099	2,008	4,507	1,650	3,180	1,625	1,53
120	1,077	5,247	3,148	2,498	2,099	1,949	4,448	1,655	3,170	1,640	0,93
150	1,108	5,247	3,148	2,498	2,099	1,895	4,393	1,660	3,160	1,646	0,86

A.1b Tabel Berat jenis partikel

Ukuran Mesh	Komposit Polyester/MMT (40 wt%)		Komposit Polyester/MMT (40 wt%)			Rata-Rata Berat Jenis (g/cm ³)		
	Berat Jenis MMT (gr/cm ³)	Berat (g)	Volume (cm ³)	Berat Jenis (g/cm ³)	Berat Jenis (g/cm ³)	Berat Jenis (g/cm ³)	Berat Jenis (g/cm ³)	
0	1,210	5,290	4,18	4,163	1,266	1,2602	-4,147	
		5,150	4,15	1,241				
		5,300	4,16	1,274				
30	0,9673	1,543	6,570	4,18	4,163	1,572	1,5123	1,995
		6,170	4,15	1,487				
		6,150	4,16	1,478				
40	0,9742	1,547	6,370	4,17	4,153	1,528	1,5393	0,486
		6,510	4,16	1,565				
		6,300	4,13	1,525				
50	0,9822	1,551	6,720	4,19	4,193	1,604	1,5970	-2,956
		6,690	4,20	1,593				
		6,680	4,19	1,594				
60	1,0029	1,562	6,720	4,19	4,160	1,604	1,6106	-3,093
		6,700	4,13	1,622				
		6,680	4,16	1,606				
70	1,0098	1,566	6,720	4,13	4,137	1,627	1,6277	-3,938
		6,770	4,14	1,635				
		6,710	4,14	1,621				
80	1,0168	1,570	6,720	4,16	4,167	1,615	1,6240	-3,453
		6,730	4,18	1,610				
		6,850	4,16	1,647				
100	1,0451	1,585	6,800	4,19	4,173	1,623	1,6246	-2,495
		6,800	4,20	1,619				
		6,740	4,13	1,632				
120	1,0767	1,602	6,830	4,17	4,163	1,638	1,6422	-2,497
		6,830	4,18	1,634				
		6,850	4,14	1,655				
150	1,1075	1,619	6,850	4,13	4,143	1,659	1,6460	-1,682
		6,810	4,15	1,641				
		6,800	4,15	1,639				

Lampiran B

B.1a Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm ²)
30 a	0,02137	51	18	4	0,026	23,66588	0,00024	0,00568
	0,02220	51	18	4	0,027	23,66588	0,00025	0,00590
	0,02384	51	18	4	0,029	23,66588	0,00027	0,00633
	0,08879	51	18	4	0,108	23,66588	0,00100	0,02358
	0,26472	51	18	4	0,322	23,66588	0,00297	0,07032
	0,48586	51	18	4	0,591	23,66588	0,00545	0,12906
	0,54423	51	18	4	0,662	23,66588	0,00611	0,14456
	0,82210	51	18	4	1,000	23,66588	0,00923	0,21837
	0,83361	51	18	4	1,014	23,66588	0,00936	0,22143
	0,84594	51	18	4	1,029	23,66588	0,00949	0,22470
	1,06709	51	18	4	1,298	23,66588	0,01198	0,28344
	1,22493	51	18	4	1,49	23,66588	0,01375	0,32537
	1,29727	51	18	4	1,578	23,66588	0,01456	0,34459
	1,34331	51	18	4	1,634	23,66588	0,01508	0,35682
	1,40744	51	18	4	1,712	23,66588	0,01580	0,37385
	1,55952	51	18	4	1,897	23,66588	0,01750	0,41425
	1,80862	51	18	4	2,200	23,66588	0,02030	0,48041
1,87685	51	18	4	2,283	23,66588	0,02107	0,49854	
b	0,05378	51	18	4	0,065	23,81845	0,00060	0,01429
	0,37068	51	18	4	0,448	23,81845	0,00413	0,09846
	0,87539	51	18	4	1,058	23,81845	0,00976	0,23253
	0,84891	51	18	4	1,026	23,81845	0,00947	0,22549
	0,84643	51	18	4	1,023	23,81845	0,00944	0,22483
	1,39913	51	18	4	1,691	23,81845	0,01560	0,37164
	1,41982	51	18	4	1,716	23,81845	0,01583	0,37714
c	0,00331	51	18	4	0,004	23,84436	0,00004	0,00088
	0,00497	51	18	4	0,006	23,84436	0,00006	0,00132
	0,06295	51	18	4	0,076	23,84436	0,00070	0,01672
	0,65436	51	18	4	0,790	23,84436	0,00729	0,17381
	0,21370	51	18	4	0,258	23,84436	0,00238	0,05676
	0,36777	51	18	4	0,444	23,84436	0,00410	0,09769
	0,45142	51	18	4	0,545	23,84436	0,00503	0,11991
	0,65767	51	18	4	0,794	23,84436	0,00733	0,17469
	0,80594	51	18	4	0,973	23,84436	0,00898	0,21408
	0,81836	51	18	4	0,988	23,84436	0,00912	0,21738
	1,02295	51	18	4	1,235	23,84436	0,01140	0,27172
	1,20269	51	18	4	1,452	23,84436	0,01340	0,31946
	1,20186	51	18	4	1,451	23,84436	0,01339	0,31924
	1,19938	51	18	4	1,448	23,84436	0,01336	0,31858
	1,19689	51	18	4	1,445	23,84436	0,01333	0,31792
1,19192	51	18	4	1,439	23,84436	0,01328	0,31660	
1,22257	51	18	4	1,476	23,84436	0,01362	0,32475	
1,48266	51	18	4	1,790	23,84436	0,01652	0,39383	
1,64335	51	18	4	1,984	23,84436	0,01831	0,43651	

B.1b Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm^3)	
40 a	0,00259	51	18	4	0,003	24,88358	0,00003	0,00069	
	0,00432	51	18	4	0,005	24,88358	0,00005	0,00115	
	0,07175	51	18	4	0,083	24,88358	0,00077	0,01906	
	0,72610	51	18	4	0,840	24,88358	0,00775	0,19287	
	0,31983	51	18	4	0,370	24,88358	0,00341	0,08495	
	0,68633	51	18	4	0,794	24,88358	0,00733	0,18231	
	1,34414	51	18	4	1,555	24,88358	0,01435	0,35704	
	b	0,37964	51	18	4	0,468	23,35210	0,00432	0,10084
0,42750		51	18	4	0,527	23,35210	0,00486	0,11356	
0,42750		51	18	4	0,527	23,35210	0,00486	0,11356	
0,45589		51	18	4	0,562	23,35210	0,00519	0,12110	
0,76658		51	18	4	0,945	23,35210	0,00872	0,20362	
1,06024		51	18	4	1,307	23,35210	0,01206	0,28163	
1,00345		51	18	4	1,237	23,35210	0,01141	0,26654	
0,99372		51	18	4	1,225	23,35210	0,01130	0,26396	
1,21599		51	18	4	1,499	23,35210	0,01383	0,32300	
1,52181		51	18	4	1,876	23,35210	0,01731	0,40423	
1,58508		51	18	4	1,954	23,35210	0,01803	0,42104	
1,58590		51	18	4	1,955	23,35210	0,01804	0,42125	
c		0,03174	51	18	4	0,034	26,87277	0,00031	0,00843
		0,03267	51	18	4	0,035	26,87277	0,00032	0,00868
		0,03454	51	18	4	0,037	26,87277	0,00034	0,00917
	0,10455	51	18	4	0,112	26,87277	0,00103	0,02777	
	0,16336	51	18	4	0,175	26,87277	0,00161	0,04339	
	0,17643	51	18	4	0,189	26,87277	0,00174	0,04686	
	0,44155	51	18	4	0,473	26,87277	0,00436	0,11729	
	0,62825	51	18	4	0,673	26,87277	0,00621	0,16688	
	1,16501	51	18	4	1,248	26,87277	0,01152	0,30946	
	1,13700	51	18	4	1,218	26,87277	0,01124	0,30202	
	1,41332	51	18	4	1,514	26,87277	0,01397	0,37541	
	1,57948	51	18	4	1,692	26,87277	0,01561	0,41955	
1,67563	51	18	4	1,795	26,87277	0,01656	0,44509		
1,91554	51	18	4	2,052	26,87277	0,01893	0,50882		
2,16572	51	18	4	2,320	26,87277	0,02141	0,57527		

B.1c Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm ³)	
50 a	0,00446	51	18	4	0,005	25,65795	0,00005	0,00118	
	0,00624	51	18	4	0,007	25,65795	0,00006	0,00166	
	0,00713	51	18	4	0,008	25,65795	0,00007	0,00189	
	0,07487	51	18	4	0,084	25,65795	0,00078	0,01989	
	0,32889	51	18	4	0,369	25,65795	0,00340	0,08736	
	0,36989	51	18	4	0,415	25,65795	0,00383	0,09825	
	0,42069	51	18	4	0,472	25,65795	0,00436	0,11175	
	0,79237	51	18	4	0,889	25,65795	0,00820	0,21047	
	0,92517	51	18	4	1,038	25,65795	0,00958	0,24575	
	1,27278	51	18	4	1,428	25,65795	0,01318	0,33808	
	1,39756	51	18	4	1,568	25,65795	0,01447	0,37123	
	1,56334	51	18	4	1,754	25,65795	0,01618	0,41526	
	1,79151	51	18	4	2,010	25,65795	0,01855	0,47587	
	b	0,01285	51	18	4	0,016	23,12468	0,00015	0,00341
		0,07631	51	18	4	0,095	23,12468	0,00088	0,02027
0,21769		51	18	4	0,271	23,12468	0,00250	0,05783	
0,32775		51	18	4	0,408	23,12468	0,00376	0,08706	
0,27955		51	18	4	0,348	23,12468	0,00321	0,07426	
0,50126		51	18	4	0,624	23,12468	0,00576	0,13315	
0,58641		51	18	4	0,730	23,12468	0,00674	0,15576	
0,71012		51	18	4	0,884	23,12468	0,00816	0,18862	
0,86917		51	18	4	1,082	23,12468	0,00998	0,23087	
0,89327		51	18	4	1,112	23,12468	0,01026	0,23727	
0,93343		51	18	4	1,162	23,12468	0,01072	0,24794	
1,03706		51	18	4	1,291	23,12468	0,01191	0,27547	
1,15113		51	18	4	1,433	23,12468	0,01322	0,30577	
1,41622		51	18	4	1,763	23,12468	0,01627	0,37618	
c		0,00569	51	18	4	0,006	27,30745	0,00006	0,00151
	0,08348	51	18	4	0,088	27,30745	0,00081	0,02217	
	0,07115	51	18	4	0,075	27,30745	0,00069	0,01890	
	0,27604	51	18	4	0,291	27,30745	0,00269	0,07332	
	0,36426	51	18	4	0,384	27,30745	0,00354	0,09676	
	0,38513	51	18	4	0,406	27,30745	0,00375	0,10230	
	0,62133	51	18	4	0,655	27,30745	0,00604	0,16504	
	0,77216	51	18	4	0,814	27,30745	0,00751	0,20511	
	1,01690	51	18	4	1,072	27,30745	0,00989	0,27011	
	1,19808	51	18	4	1,263	27,30745	0,01165	0,31824	
	1,38970	51	18	4	1,465	27,30745	0,01352	0,36914	
	1,65246	51	18	4	1,742	27,30745	0,01607	0,43894	
	1,76629	51	18	4	1,862	27,30745	0,01718	0,46917	
	2,17514	51	18	4	2,293	27,30745	0,02116	0,57777	
	2,30510	51	18	4	2,430	27,30745	0,02242	0,61229	

B.1d Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm^2)
60 a	0,00469	51	18	4	0,005	26,99655	0,00005	0,00125
	0,07690	51	18	4	0,082	26,99655	0,00076	0,02043
	0,13504	51	18	4	0,144	26,99655	0,00133	0,03587
	0,52892	51	18	4	0,564	26,99655	0,00520	0,14049
	0,55893	51	18	4	0,596	26,99655	0,00550	0,14847
	0,77931	51	18	4	0,831	26,99655	0,00767	0,20700
	1,00626	51	18	4	1,073	26,99655	0,00990	0,26729
	1,06722	51	18	4	1,138	26,99655	0,01050	0,28348
	1,29885	51	18	4	1,385	26,99655	0,01278	0,34501
	1,60082	51	18	4	1,707	26,99655	0,01575	0,42522
	1,80151	51	18	4	1,921	26,99655	0,01773	0,47853
	1,94875	51	18	4	2,078	26,99655	0,01917	0,51764
	2,11286	51	18	4	2,253	26,99655	0,02079	0,56123
b	0,00783	51	18	4	0,009	25,04191	0,00008	0,00208
	0,00870	51	18	4	0,010	25,04191	0,00009	0,00231
	0,34361	51	18	4	0,395	25,04191	0,00364	0,09127
	0,45148	51	18	4	0,519	25,04191	0,00479	0,11992
	0,54282	51	18	4	0,624	25,04191	0,00576	0,14419
	1,12478	51	18	4	1,293	25,04191	0,01193	0,29877
	1,26744	51	18	4	1,457	25,04191	0,01344	0,33666
	1,67195	51	18	4	1,922	25,04191	0,01773	0,44411
c	0,00423	51	18	4	0,005	24,32511	0,00005	0,00112
	0,00507	51	18	4	0,006	24,32511	0,00006	0,00135
	0,00592	51	18	4	0,007	24,32511	0,00006	0,00157
	0,06845	51	18	4	0,081	24,32511	0,00075	0,01818
	0,13351	51	18	4	0,158	24,32511	0,00146	0,03546
	0,32448	51	18	4	0,384	24,32511	0,00354	0,08619
	0,68445	51	18	4	0,810	24,32511	0,00747	0,18181
	1,13906	51	18	4	1,348	24,32511	0,01244	0,30256
	1,13991	51	18	4	1,349	24,32511	0,01245	0,30279
	1,43143	51	18	4	1,694	24,32511	0,01563	0,38022
1,67226	51	18	4	1,979	24,32511	0,01826	0,44419	
2,02885	51	18	4	2,401	24,32511	0,02215	0,53891	

B.1e Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm^2)	
70 a	0,01559	51	18	4	0,017	26,40354	0,00016	0,00414	
	0,08071	51	18	4	0,088	26,40354	0,00081	0,02144	
	0,47419	51	18	4	0,517	26,40354	0,00477	0,12596	
	0,88602	51	18	4	0,966	26,40354	0,00891	0,23535	
	1,11165	51	18	4	1,212	26,40354	0,01118	0,29528	
	1,28867	51	18	4	1,405	26,40354	0,01296	0,34230	
	1,51246	51	18	4	1,649	26,40354	0,01522	0,40175	
	2,21137	51	18	4	2,411	26,40354	0,02225	0,58739	
	b	0,10050	51	18	4	0,112	25,83067	0,00103	0,02669
0,10409		51	18	4	0,116	25,83067	0,00107	0,02765	
0,10588		51	18	4	0,118	25,83067	0,00109	0,02812	
0,39750		51	18	4	0,443	25,83067	0,00409	0,10559	
0,51505		51	18	4	0,574	25,83067	0,00530	0,13681	
0,76629		51	18	4	0,854	25,83067	0,00788	0,20355	
1,05164		51	18	4	1,172	25,83067	0,01081	0,27934	
1,20418		51	18	4	1,342	25,83067	0,01238	0,31986	
1,38812		51	18	4	1,547	25,83067	0,01427	0,36872	
1,69500		51	18	4	1,889	25,83067	0,01743	0,45023	
1,93548		51	18	4	2,157	25,83067	0,01990	0,51411	
1,98662		51	18	4	2,214	25,83067	0,02043	0,52770	
c		0,01865	51	18	4	0,021	25,56583	0,00019	0,00495
		0,02309	51	18	4	0,026	25,56583	0,00024	0,00613
		0,02575	51	18	4	0,029	25,56583	0,00027	0,00684
	0,02931	51	18	4	0,033	25,56583	0,00030	0,00778	
	0,59769	51	18	4	0,673	25,56583	0,00621	0,15876	
	0,75489	51	18	4	0,850	25,56583	0,00784	0,20052	
	0,95915	51	18	4	1,080	25,56583	0,00997	0,25477	
	1,15986	51	18	4	1,306	25,56583	0,01205	0,30809	
	1,27531	51	18	4	1,436	25,56583	0,01325	0,33875	
	1,29751	51	18	4	1,461	25,56583	0,01348	0,34465	
	1,40053	51	18	4	1,577	25,56583	0,01455	0,37202	
	1,53108	51	18	4	1,724	25,56583	0,01591	0,40669	
	1,70426	51	18	4	1,919	25,56583	0,01771	0,45270	
	1,79219	51	18	4	2,018	25,56583	0,01862	0,47605	
	1,93517	51	18	4	2,179	25,56583	0,02011	0,51403	
2,05595	51	18	4	2,315	25,56583	0,02136	0,54611		
2,01510	51	18	4	2,269	25,56583	0,02094	0,53526		

B.1f Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm^2)	
80 a	0,05481	51	18	4	0,060	26,29702	0,00055	0,01456	
	0,06029	51	18	4	0,066	26,29702	0,00061	0,01601	
	0,04842	51	18	4	0,053	26,29702	0,00049	0,01286	
	0,77648	51	18	4	0,850	26,29702	0,00784	0,20625	
	0,86600	51	18	4	0,948	26,29702	0,00875	0,23003	
	1,32275	51	18	4	1,448	26,29702	0,01336	0,35135	
	1,43054	51	18	4	1,566	26,29702	0,01445	0,37999	
	1,43237	51	18	4	1,568	26,29702	0,01447	0,38047	
	1,42780	51	18	4	1,563	26,29702	0,01442	0,37926	
	1,42506	51	18	4	1,560	26,29702	0,01439	0,37853	
	1,90465	51	18	4	2,085	26,29702	0,01924	0,50592	
	2,26000	51	18	4	2,474	26,29702	0,02283	0,60031	
	2,27005	51	18	4	2,485	26,29702	0,02293	0,60298	
	b	0,03596	51	18	4	0,042	24,64464	0,00039	0,00955
		0,04109	51	18	4	0,048	24,64464	0,00044	0,01092
		0,04366	51	18	4	0,051	24,64464	0,00047	0,01160
0,04794		51	18	4	0,056	24,64464	0,00052	0,01273	
0,05051		51	18	4	0,059	24,64464	0,00054	0,01342	
0,05393		51	18	4	0,063	24,64464	0,00058	0,01433	
0,05565		51	18	4	0,065	24,64464	0,00060	0,01478	
0,05821		51	18	4	0,068	24,64464	0,00063	0,01546	
0,06078		51	18	4	0,071	24,64464	0,00066	0,01615	
0,04709		51	18	4	0,055	24,64464	0,00051	0,01251	
0,39552		51	18	4	0,462	24,64464	0,00426	0,10506	
0,32532		51	18	4	0,380	24,64464	0,00351	0,08641	
0,83555		51	18	4	0,976	24,64464	0,00901	0,22194	
0,76878		51	18	4	0,898	24,64464	0,00829	0,20421	
0,76279		51	18	4	0,891	24,64464	0,00822	0,20261	
0,70029		51	18	4	0,818	24,64464	0,00755	0,18601	
1,08553	51	18	4	1,268	24,64464	0,01170	0,28835		
1,35435	51	18	4	1,582	24,64464	0,01460	0,35975		
1,57779	51	18	4	1,843	24,64464	0,01701	0,41910		
1,50930	51	18	4	1,763	24,64464	0,01627	0,40091		
1,61717	51	18	4	1,889	24,64464	0,01743	0,42956		
1,79353	51	18	4	2,095	24,64464	0,01933	0,47641		
1,91852	51	18	4	2,241	24,64464	0,02068	0,50961		
2,12484	51	18	4	2,482	24,64464	0,02290	0,56441		
c	0,00852	51	18	4	0,009	27,26427	0,00008	0,00226	
	0,00947	51	18	4	0,01	27,26427	0,00009	0,00252	
	0,01042	51	18	4	0,011	27,26427	0,00010	0,00277	
	0,01231	51	18	4	0,013	27,26427	0,00012	0,00327	
	0,30875	51	18	4	0,326	27,26427	0,00301	0,08201	
	0,72643	51	18	4	0,767	27,26427	0,00708	0,19296	
	0,67055	51	18	4	0,708	27,26427	0,00653	0,17811	
	1,04181	51	18	4	1,100	27,26427	0,01015	0,27673	
	1,54472	51	18	4	1,631	27,26427	0,01505	0,41032	
	1,47748	51	18	4	1,5600	27,26427	0,01439	0,39245	
	1,47842	51	18	4	1,561	27,26427	0,01440	0,39271	
1,69152	51	18	4	1,786	27,26427	0,01648	0,44931		
2,33839	51	18	4	2,469	27,26427	0,02278	0,62113		

B.1g Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm ²)
100a	0,01689	51	18	4	0,017	28,60575	0,00016	0,00449
	0,01987	51	18	4	0,020	28,60575	0,00018	0,00528
	0,02286	51	18	4	0,023	28,60575	0,00021	0,00607
	0,02484	51	18	4	0,025	28,60575	0,00023	0,00660
	0,02782	51	18	4	0,028	28,60575	0,00026	0,00739
	0,03080	51	18	4	0,031	28,60575	0,00029	0,00818
	0,03379	51	18	4	0,034	28,60575	0,00031	0,00897
	0,03677	51	18	4	0,037	28,60575	0,00034	0,00977
	0,03975	51	18	4	0,040	28,60575	0,00037	0,01056
	0,04770	51	18	4	0,048	28,60575	0,00044	0,01267
	0,04969	51	18	4	0,050	28,60575	0,00046	0,01320
	0,20868	51	18	4	0,210	28,60575	0,00194	0,05543
	0,71745	51	18	4	0,722	28,60575	0,00666	0,19057
	0,57933	51	18	4	0,583	28,60575	0,00538	0,15388
	0,63895	51	18	4	0,643	28,60575	0,00593	0,16972
	0,84564	51	18	4	0,851	28,60575	0,00785	0,22462
	1,23517	51	18	4	1,243	28,60575	0,01147	0,32809
	1,16859	51	18	4	1,176	28,60575	0,01085	0,31041
	1,27591	51	18	4	1,284	28,60575	0,01185	0,33891
	1,62470	51	18	4	1,635	28,60575	0,01509	0,43156
	1,68929	51	18	4	1,700	28,60575	0,01569	0,44872
	1,78071	51	18	4	1,792	28,60575	0,01654	0,47300
	2,12950	51	18	4	2,143	28,60575	0,01977	0,56565
	2,33321	51	18	4	2,348	28,60575	0,02167	0,61976
b	0,00619	51	18	4	0,007	25,46220	0,00006	0,00164
	0,00708	51	18	4	0,008	25,46220	0,00007	0,00188
	0,11852	51	18	4	0,134	25,46220	0,00124	0,03148
	0,50063	51	18	4	0,566	25,46220	0,00522	0,13298
	0,42721	51	18	4	0,483	25,46220	0,00446	0,11348
	0,46525	51	18	4	0,526	25,46220	0,00485	0,12358
	0,79163	51	18	4	0,895	25,46220	0,00826	0,21028
	1,02602	51	18	4	1,160	25,46220	0,01070	0,27254
	0,95880	51	18	4	1,084	25,46220	0,01000	0,25468
	1,23742	51	18	4	1,399	25,46220	0,01291	0,32869
	1,35240	51	18	4	1,529	25,46220	0,01411	0,35923
	1,28341	51	18	4	1,451	25,46220	0,01339	0,34091
	1,53107	51	18	4	1,731	25,46220	0,01597	0,40669
	1,76369	51	18	4	1,994	25,46220	0,01840	0,46848
	1,68940	51	18	4	1,910	25,46220	0,01762	0,44875
	1,68851	51	18	4	1,909	25,46220	0,01761	0,44851
	1,93263	51	18	4	2,185	25,46220	0,02016	0,51336
	2,33331	51	18	4	2,638	25,46220	0,02434	0,61979
c	0,01966	51	18	4	0,020	28,30349	0,00018	0,00522
	0,02065	51	18	4	0,021	28,30349	0,00019	0,00548
	0,02163	51	18	4	0,022	28,30349	0,00020	0,00575
	0,02261	51	18	4	0,023	28,30349	0,00021	0,00601
	0,02360	51	18	4	0,024	28,30349	0,00022	0,00627
	0,02556	51	18	4	0,026	28,30349	0,00024	0,00679
	0,02655	51	18	4	0,027	28,30349	0,00025	0,00705
	0,02753	51	18	4	0,028	28,30349	0,00026	0,00731
	0,02851	51	18	4	0,029	28,30349	0,00027	0,00757

	0,02950	51	18	4	0,03	28,30349	0,00028	0,00783
	0,03146	51	18	4	0,032	28,30349	0,00030	0,00836
	0,03343	51	18	4	0,034	28,30349	0,00031	0,00888
	0,03834	51	18	4	0,039	28,30349	0,00036	0,01019
	0,04228	51	18	4	0,043	28,30349	0,00040	0,01123
	0,04326	51	18	4	0,044	28,30349	0,00041	0,01149
	0,04621	51	18	4	0,047	28,30349	0,00043	0,01227
	0,04719	51	18	4	0,048	28,30349	0,00044	0,01254
	0,04818	51	18	4	0,049	28,30349	0,00045	0,01280
	0,60958	51	18	4	0,620	28,30349	0,00572	0,16192
	0,60663	51	18	4	0,617	28,30349	0,00569	0,16114
	1,24670	51	18	4	1,268	28,30349	0,01170	0,33115
	1,27128	51	18	4	1,293	28,30349	0,01193	0,33768
	1,95952	51	18	4	1,993	28,30349	0,01839	0,52050
	2,07554	51	18	4	2,111	28,30349	0,01948	0,55131

B.1h Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm ³)
120 a	0,01676	51	18	4	0,019	25,39887	0,00018	0,00445
	0,01235	51	18	4	0,014	25,39887	0,00013	0,00328
	0,01323	51	18	4	0,015	25,39887	0,00014	0,00352
	0,01412	51	18	4	0,016	25,39887	0,00015	0,00375
	0,01588	51	18	4	0,018	25,39887	0,00017	0,00422
	0,01500	51	18	4	0,017	25,39887	0,00016	0,00398
	0,01588	51	18	4	0,018	25,39887	0,00017	0,00422
	0,01765	51	18	4	0,020	25,39887	0,00018	0,00469
	0,34233	51	18	4	0,388	25,39887	0,00358	0,09093
	0,58673	51	18	4	0,665	25,39887	0,00614	0,15585
	0,53467	51	18	4	0,606	25,39887	0,00559	0,14202
	0,60702	51	18	4	0,688	25,39887	0,00635	0,16124
	1,00759	51	18	4	1,142	25,39887	0,01054	0,26764
	1,21581	51	18	4	1,378	25,39887	0,01272	0,32295
	1,14258	51	18	4	1,295	25,39887	0,01195	0,30350
	1,16022	51	18	4	1,315	25,39887	0,01213	0,30818
	1,43462	51	18	4	1,626	25,39887	0,01500	0,38107
	1,63755	51	18	4	1,856	25,39887	0,01713	0,43497
	1,58638	51	18	4	1,798	25,39887	0,01659	0,42138
	1,58638	51	18	4	1,798	25,39887	0,01659	0,42138
1,98341	51	18	4	2,248	25,39887	0,02074	0,52684	
2,34515	51	18	4	2,658	25,39887	0,02453	0,62293	
b	0,03929	51	18	4	0,041	27,58381	0,00038	0,01044
	0,04120	51	18	4	0,043	27,58381	0,00040	0,01094
	0,05270	51	18	4	0,055	27,58381	0,00051	0,01400
	0,05462	51	18	4	0,057	27,58381	0,00053	0,01451
	0,10157	51	18	4	0,106	27,58381	0,00098	0,02698
	0,20697	51	18	4	0,216	27,58381	0,00199	0,05498
	0,62858	51	18	4	0,656	27,58381	0,00605	0,16697
	0,57109	51	18	4	0,596	27,58381	0,00550	0,15170
	0,87867	51	18	4	0,917	27,58381	0,00846	0,23340
	1,22266	51	18	4	1,276	27,58381	0,01177	0,32477
1,19679	51	18	4	1,249	27,58381	0,01152	0,31790	
1,67014	51	18	4	1,743	27,58381	0,01608	0,44363	

	1,86945	51	18	4	1,951	27,58381	0,01800	0,49657
	1,80046	51	18	4	1,879	27,58381	0,01734	0,47825
	2,31693	51	18	4	2,418	27,58381	0,02231	0,61543
	2,59864	51	18	4	2,712	27,58381	0,02502	0,69026
c	0,09023	51	18	4	0,09	28,85908	0,00083	0,02397
	0,09123	51	18	4	0,091	28,85908	0,00084	0,02423
	0,09223	51	18	4	0,092	28,85908	0,00085	0,02450
	0,13634	51	18	4	0,136	28,85908	0,00125	0,03622
	0,37193	51	18	4	0,371	28,85908	0,00342	0,09879
	0,98746	51	18	4	0,985	28,85908	0,00909	0,26229
	1,15187	51	18	4	1,149	28,85908	0,01060	0,30597
	1,14987	51	18	4	1,147	28,85908	0,01058	0,30543
	1,80250	51	18	4	1,798	28,85908	0,01659	0,47879
	1,78746	51	18	4	1,783	28,85908	0,01645	0,47479
	2,26766	51	18	4	2,262	28,85908	0,02087	0,60235
	2,44811	51	18	4	2,442	28,85908	0,02253	0,65028

B.1i Tabel Perhitungan Bending

mesh	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm^2)
150 a	0,00357	51	18	4	0,004	25,71840	0,00004	0,00095
	0,00447	51	18	4	0,005	25,71840	0,00005	0,00119
	0,00536	51	18	4	0,006	25,71840	0,00006	0,00142
	0,04378	51	18	4	0,049	25,71840	0,00045	0,01163
	0,44491	51	18	4	0,498	25,71840	0,00460	0,11818
	0,37523	51	18	4	0,42	25,71840	0,00388	0,09967
	0,59590	51	18	4	0,667	25,71840	0,00615	0,15829
	1,08905	51	18	4	1,219	25,71840	0,01125	0,28928
	1,08548	51	18	4	1,215	25,71840	0,01121	0,28833
	1,32849	51	18	4	1,487	25,71840	0,01372	0,35288
	1,46250	51	18	4	1,637	25,71840	0,01510	0,38848
	1,60008	51	18	4	1,791	25,71840	0,01653	0,42502
	1,83147	51	18	4	2,05	25,71840	0,01892	0,48648
	2,20938	51	18	4	2,473	25,71840	0,02282	0,58687
b	0,00421	51	18	4	0,004	30,26965	0,00004	0,00112
	0,00526	51	18	4	0,005	30,26965	0,00005	0,00140
	0,00526	51	18	4	0,005	30,26965	0,00005	0,00140
	0,04942	51	18	4	0,047	30,26965	0,00043	0,01313
	0,05994	51	18	4	0,057	30,26965	0,00053	0,01592
	0,01630	51	18	4	0,0155	30,26965	0,00014	0,00433
	0,61933	51	18	4	0,589	30,26965	0,00543	0,16451
	0,53837	51	18	4	0,512	30,26965	0,00472	0,14300
	0,57938	51	18	4	0,551	30,26965	0,00508	0,15390
	1,36485	51	18	4	1,298	30,26965	0,01198	0,36254
	1,32174	51	18	4	1,257	30,26965	0,01160	0,35109
	1,72131	51	18	4	1,637	30,26965	0,01510	0,45722
	2,24285	51	18	4	2,133	30,26965	0,01968	0,59576
c	0,00728	51	18	4	0,007	29,91844	0,00006	0,00193
	0,56330	51	18	4	0,542	29,91844	0,00500	0,14963
	1,01540	51	18	4	0,977	29,91844	0,00901	0,26971

	0,95720	51	18	4	0,921	29,91844	0,00850	0,25426
	0,98941	51	18	4	0,952	29,91844	0,00878	0,26281
	1,56830	51	18	4	1,509	29,91844	0,01392	0,41658
	1,49036	51	18	4	1,434	29,91844	0,01323	0,39588
	1,54336	51	18	4	1,485	29,91844	0,01370	0,40996
	1,63170	51	18	4	1,57	29,91844	0,01449	0,43342
	1,72732	51	18	4	1,662	29,91844	0,01534	0,45882
	1,91127	51	18	4	1,839	29,91844	0,01697	0,50768
	2,28438	51	18	4	2,198	29,91844	0,02028	0,60679
	2,21163	51	18	4	2,128	29,91844	0,01964	0,58746
	2,24489	51	18	4	2,16	29,91844	0,01993	0,59630
	2,50160	51	18	4	2,407	29,91844	0,02221	0,66449
	3,02956	51	18	4	2,915	29,91844	0,02690	0,80473

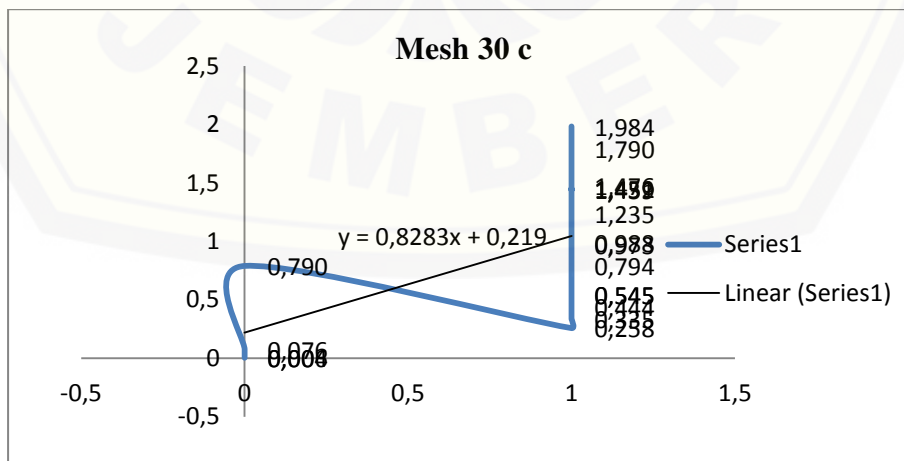
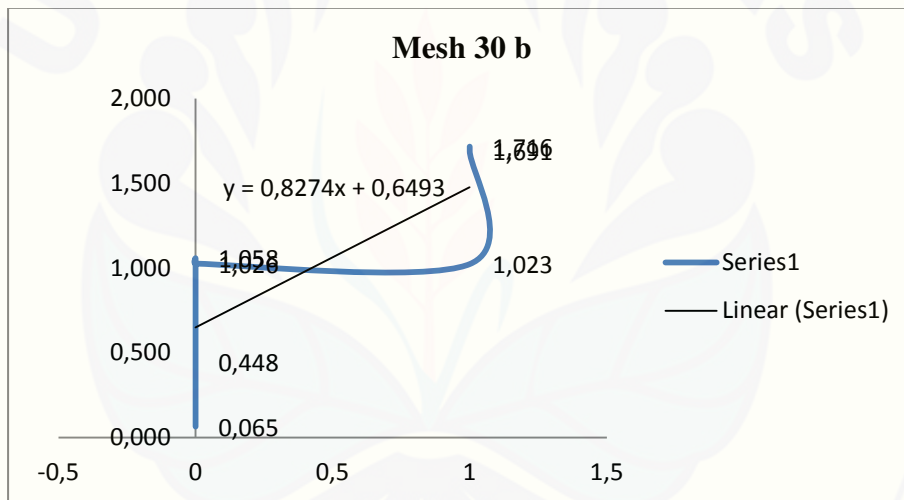
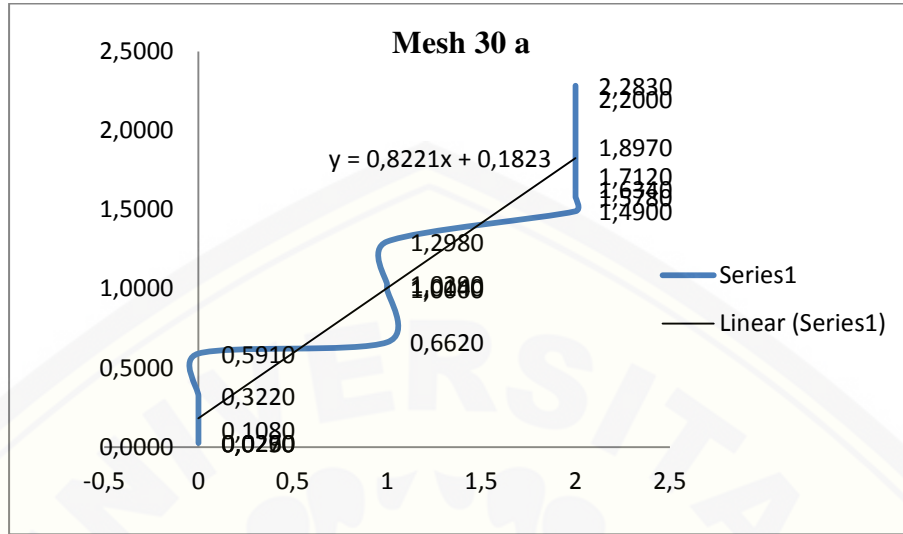
B.1j Tabel Perhitungan Bending

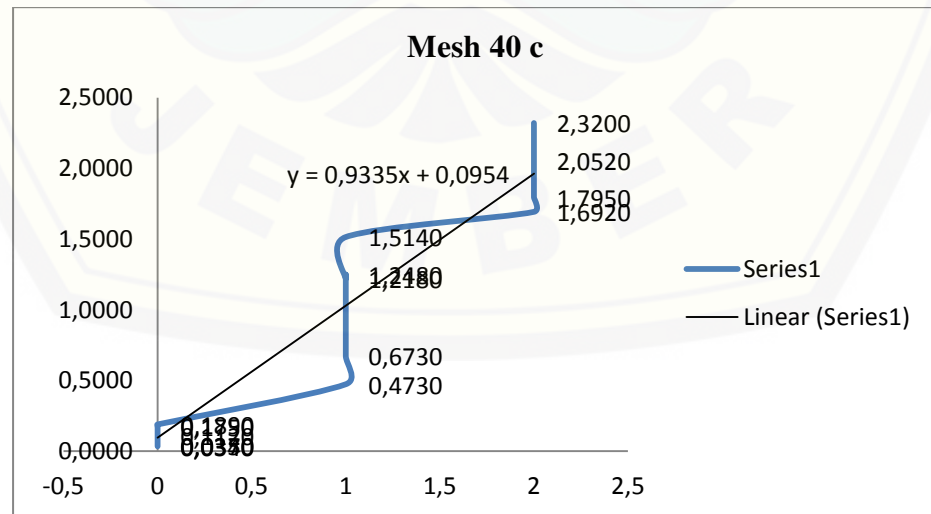
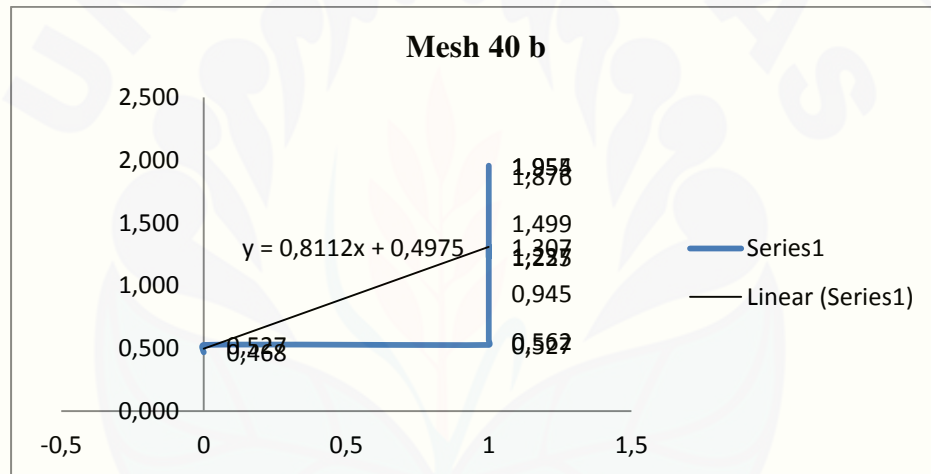
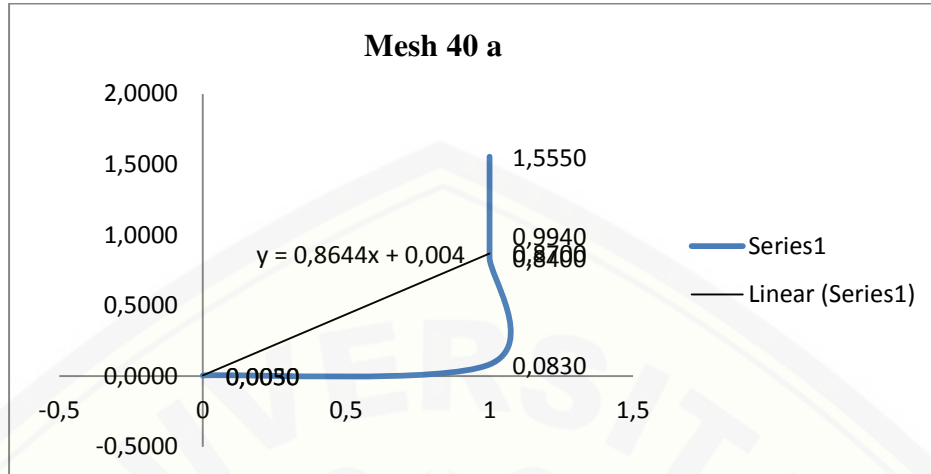
	Beban (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Defleksi (mm)	E (Mpa)	ϵ (mm/mm)	Tegangan (N/mm ²)
resin a	0,33408	51	18	4	0,378	25,44205	0,00349	0,08874
	0,33319	51	18	4	0,377	25,44205	0,00348	0,08850
	0,68318	51	18	4	0,773	25,44205	0,00713	0,18147
	0,61689	51	18	4	0,698	25,44205	0,00644	0,16386
	0,60717	51	18	4	0,687	25,44205	0,00634	0,16128
	1,02521	51	18	4	1,16	25,44205	0,01070	0,27232
	0,97130	51	18	4	1,099	25,44205	0,01014	0,25800
	0,95892	51	18	4	1,085	25,44205	0,01001	0,25471
	1,30272	51	18	4	1,474	25,44205	0,01360	0,34604
	1,22848	51	18	4	1,39	25,44205	0,01283	0,32632
	1,66066	51	18	4	1,879	25,44205	0,01734	0,44111
	1,58819	51	18	4	1,797	25,44205	0,01658	0,42186
	1,57670	51	18	4	1,784	25,44205	0,01646	0,41881
	1,67303	51	18	4	1,893	25,44205	0,01747	0,44440
	1,80030	51	18	4	2,037	25,44205	0,01880	0,47820
	1,92138	51	18	4	2,174	25,44205	0,02006	0,51037
	2,16001	51	18	4	2,444	25,44205	0,02255	0,57375
	2,07958	51	18	4	2,353	25,44205	0,02171	0,55239
	2,18741	51	18	4	2,475	25,44205	0,02284	0,58103
	2,57716	51	18	4	2,916	25,44205	0,02691	0,68456
	2,49674	51	18	4	2,825	25,44205	0,02607	0,66320
	2,92096	51	18	4	3,305	25,44205	0,03050	0,77588
	2,90240	51	18	4	3,284	25,44205	0,03030	0,77095
	3,28508	51	18	4	3,717	25,44205	0,03430	0,87260
	4,20512	51	18	4	4,758	25,44205	0,04390	1,11699
b	0,35267	51	18	4	0,545	18,62814	0,00503	0,09368
	0,35332	51	18	4	0,546	18,62814	0,00504	0,09385
	0,36755	51	18	4	0,568	18,62814	0,00524	0,09763
	0,07830	51	18	4	0,121	18,62814	0,00112	0,02080
	0,06342	51	18	4	0,098	18,62814	0,00090	0,01684
	0,03883	51	18	4	0,060	18,62814	0,00055	0,01031
	0,43356	51	18	4	0,670	18,62814	0,00618	0,11516
	0,74740	51	18	4	1,155	18,62814	0,01066	0,19853
	1,01206	51	18	4	1,564	18,62814	0,01443	0,26883
	1,18484	51	18	4	1,831	18,62814	0,01690	0,31472

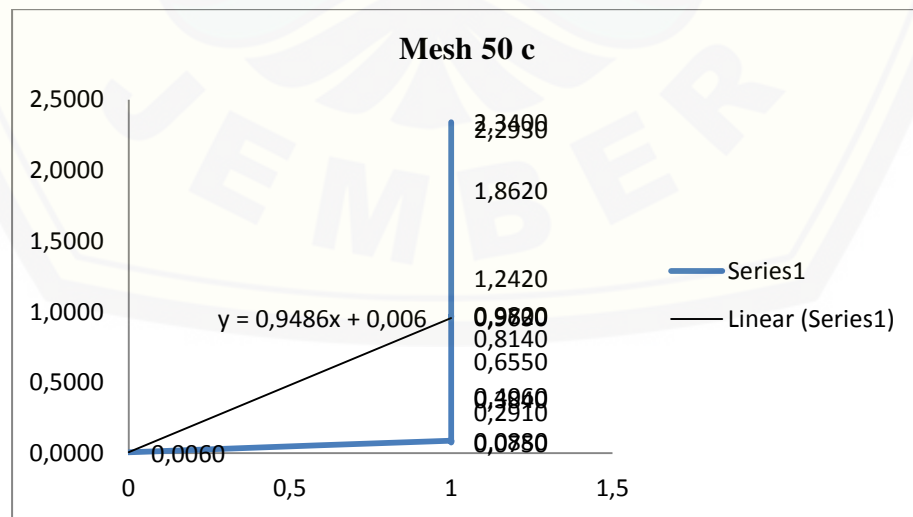
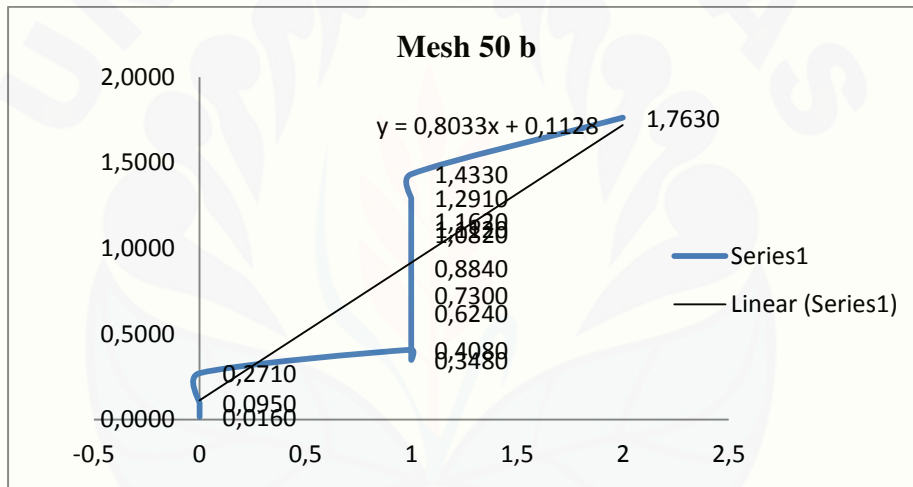
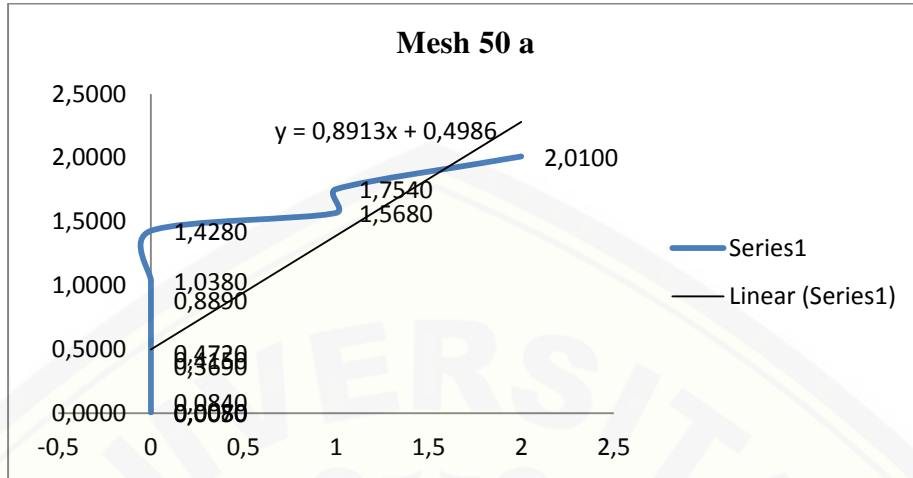
	1,17707	51	18	4	1,819	18,62814	0,01678	0,31266
	1,43786	51	18	4	2,222	18,62814	0,02050	0,38193
	1,69864	51	18	4	2,625	18,62814	0,02422	0,45120
	1,76723	51	18	4	2,731	18,62814	0,02520	0,46942
	1,82029	51	18	4	2,813	18,62814	0,02596	0,48352
	1,84747	51	18	4	2,855	18,62814	0,02634	0,49073
	1,85782	51	18	4	2,871	18,62814	0,02649	0,49348
	1,90183	51	18	4	2,939	18,62814	0,02712	0,50517
	1,90312	51	18	4	2,941	18,62814	0,02714	0,50552
	1,92059	51	18	4	2,968	18,62814	0,02739	0,51016
	1,93936	51	18	4	2,997	18,62814	0,02765	0,51514
	1,94389	51	18	4	3,004	18,62814	0,02772	0,51635
	1,93742	51	18	4	2,994	18,62814	0,02763	0,51463
	1,95683	51	18	4	3,024	18,62814	0,02790	0,51978
	1,93159	51	18	4	2,985	18,62814	0,02754	0,51308
	1,95877	51	18	4	3,027	18,62814	0,02793	0,52030
	1,93159	51	18	4	2,985	18,62814	0,02754	0,51308
	1,94389	51	18	4	3,004	18,62814	0,02772	0,51635
	1,86818	51	18	4	2,887	18,62814	0,02664	0,49623
	1,89471	51	18	4	2,928	18,62814	0,02702	0,50328
	1,88436	51	18	4	2,912	18,62814	0,02687	0,50053
	1,81188	51	18	4	2,800	18,62814	0,02584	0,48128
	1,85782	51	18	4	2,871	18,62814	0,02649	0,49348
	1,86494	51	18	4	2,882	18,62814	0,02659	0,49538
	1,82159	51	18	4	2,815	18,62814	0,02597	0,48386
	1,86494	51	18	4	2,882	18,62814	0,02659	0,49538
	1,85653	51	18	4	2,869	18,62814	0,02647	0,49314
	1,79053	51	18	4	2,767	18,62814	0,02553	0,47561
	1,87465	51	18	4	2,897	18,62814	0,02673	0,49795
	1,87530	51	18	4	2,898	18,62814	0,02674	0,49813
	1,88436	51	18	4	2,912	18,62814	0,02687	0,50053
	1,98077	51	18	4	3,061	18,62814	0,02824	0,52614
	2,00083	51	18	4	3,092	18,62814	0,02853	0,53147
	2,07266	51	18	4	3,203	18,62814	0,02955	0,55055
	2,07654	51	18	4	3,209	18,62814	0,02961	0,55158
	2,04484	51	18	4	3,160	18,62814	0,02916	0,54316
	2,10372	51	18	4	3,251	18,62814	0,03000	0,55880
	2,07396	51	18	4	3,205	18,62814	0,02957	0,55089
	1,82353	51	18	4	2,818	18,62814	0,02600	0,48437
	1,85718	51	18	4	2,870	18,62814	0,02648	0,49331
	1,87012	51	18	4	2,890	18,62814	0,02667	0,49675
	1,48768	51	18	4	2,299	18,62814	0,02121	0,39517
	2,52110	51	18	4	3,896	18,62814	0,03595	0,66967
	2,52110	51	18	4	3,896	18,62814	0,03595	0,66967
	2,52110	51	18	4	3,896	18,62814	0,03595	0,66967
	2,52887	51	18	4	3,908	18,62814	0,03606	0,67173
c	0,95223	51	18	4	0,495	55,37776	0,00457	0,25294
	1,63707	51	18	4	0,851	55,37776	0,00785	0,43485
	2,34499	51	18	4	1,219	55,37776	0,01125	0,62289
	2,26612	51	18	4	1,178	55,37776	0,01087	0,60194
	2,47965	51	18	4	1,289	55,37776	0,01189	0,65866
	2,82207	51	18	4	1,467	55,37776	0,01354	0,74961
	2,63355	51	18	4	1,369	55,37776	0,01263	0,69954
	2,93364	51	18	4	1,525	55,37776	0,01407	0,77925

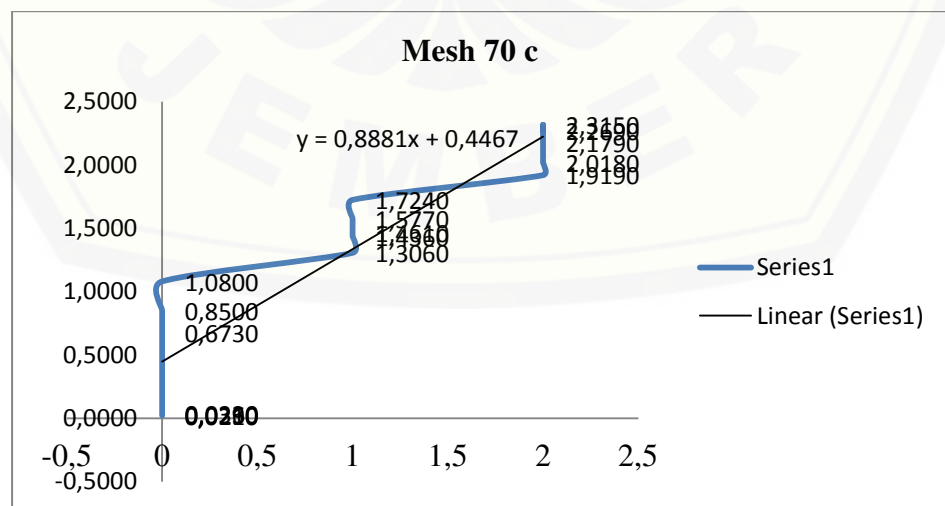
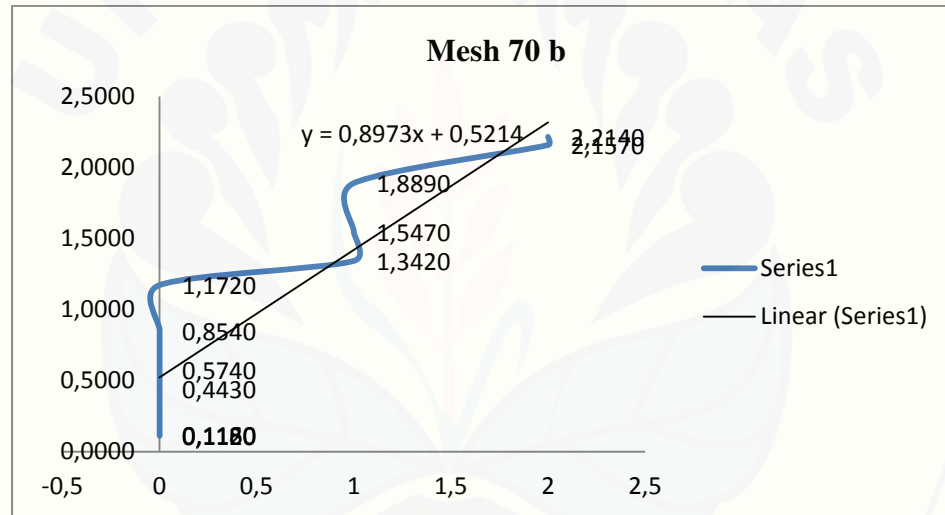
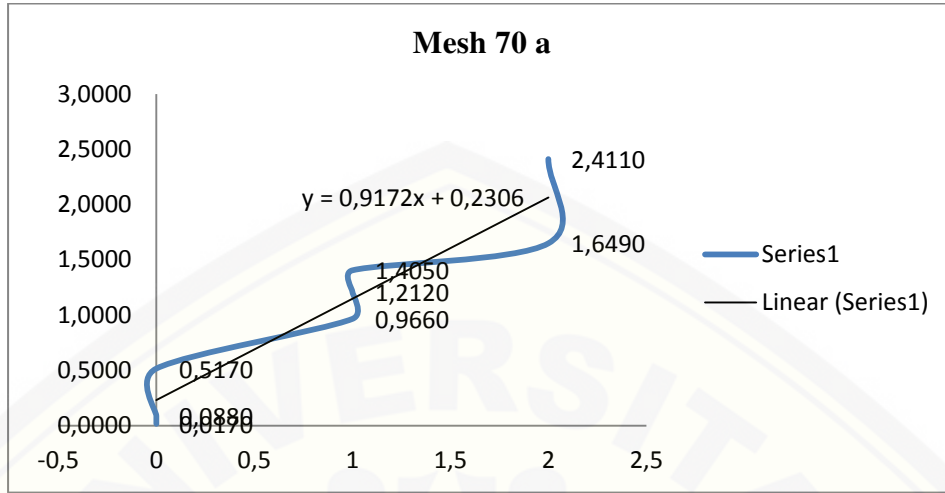
	3,26067	51	18	4	1,695	55,37776	0,01564	0,86612
	3,28376	51	18	4	1,707	55,37776	0,01575	0,87225
	3,99168	51	18	4	2,075	55,37776	0,01915	1,06029
	3,91088	51	18	4	2,033	55,37776	0,01876	1,03883
	4,44952	51	18	4	2,313	55,37776	0,02134	1,18190
	4,45529	51	18	4	2,316	55,37776	0,02137	1,18344
	4,96699	51	18	4	2,582	55,37776	0,02382	1,31936
	4,88620	51	18	4	2,540	55,37776	0,02344	1,29790
	5,63259	51	18	4	2,928	55,37776	0,02702	1,49616
	5,66914	51	18	4	2,947	55,37776	0,02719	1,50587
	6,36937	51	18	4	3,311	55,37776	0,03055	1,69186
	6,59444	51	18	4	3,428	55,37776	0,03163	1,75165
	6,87723	51	18	4	3,575	55,37776	0,03299	1,82676
	6,97149	51	18	4	3,624	55,37776	0,03344	1,85180
	7,49858	51	18	4	3,898	55,37776	0,03597	1,99181
	7,65248	51	18	4	3,978	55,37776	0,03671	2,03269
	8,34309	51	18	4	4,337	55,37776	0,04002	2,21613
	9,01638	51	18	4	4,687	55,37776	0,04325	2,39498
	12,78876	51	18	4	6,648	55,37776	0,06134	3,39701
	9,67236	51	18	4	5,028	55,37776	0,04639	2,56922
	9,60888	51	18	4	4,995	55,37776	0,04609	2,55236
	9,61850	51	18	4	5,000	55,37776	0,04614	2,55491
	10,45531	51	18	4	5,435	55,37776	0,05015	2,77719
	10,37836	51	18	4	5,395	55,37776	0,04978	2,75675
	11,19978	51	18	4	5,822	55,37776	0,05372	2,97494
	11,12860	51	18	4	5,785	55,37776	0,05338	2,95604
	11,21132	51	18	4	5,828	55,37776	0,05378	2,97801
	11,99042	51	18	4	6,233	55,37776	0,05751	3,18496
	11,90963	51	18	4	6,191	55,37776	0,05713	3,16349
	12,00774	51	18	4	6,242	55,37776	0,05760	3,18955
	12,55214	51	18	4	6,525	55,37776	0,06021	3,33416
	12,70219	51	18	4	6,603	55,37776	0,06093	3,37402
	13,36972	51	18	4	6,950	55,37776	0,06413	3,55133
	13,48321	51	18	4	7,009	55,37776	0,06467	3,58148
	14,14497	51	18	4	7,353	55,37776	0,06785	3,75726
	15,02025	51	18	4	7,808	55,37776	0,07205	3,98975
	14,87405	51	18	4	7,732	55,37776	0,07134	3,95092
	15,91092	51	18	4	8,271	55,37776	0,07632	4,22634
	15,78011	51	18	4	8,203	55,37776	0,07569	4,19159
	16,79005	51	18	4	8,728	55,37776	0,08054	4,45986
	16,59576	51	18	4	8,627	55,37776	0,07960	4,40825
	17,47489	51	18	4	9,084	55,37776	0,08382	4,64177
	18,18858	51	18	4	9,455	55,37776	0,08724	4,83134
	18,42905	51	18	4	9,580	55,37776	0,08840	4,89522
	18,59064	51	18	4	9,664	55,37776	0,08917	4,93814
	19,31587	51	18	4	10,041	55,37776	0,09265	5,13078
	19,13504	51	18	4	9,947	55,37776	0,09178	5,08275
	20,07573	51	18	4	10,436	55,37776	0,09630	5,33262
	19,92184	51	18	4	10,356	55,37776	0,09556	5,29174
	19,91607	51	18	4	10,353	55,37776	0,09553	5,29021
	20,64900	51	18	4	10,734	55,37776	0,09904	5,48489
	22,75160	51	18	4	11,827	55,37776	0,10913	6,04339

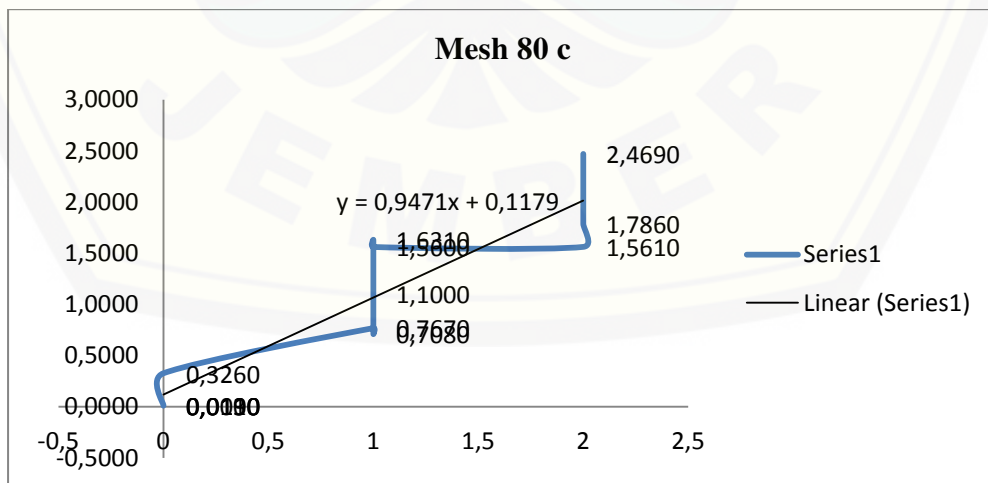
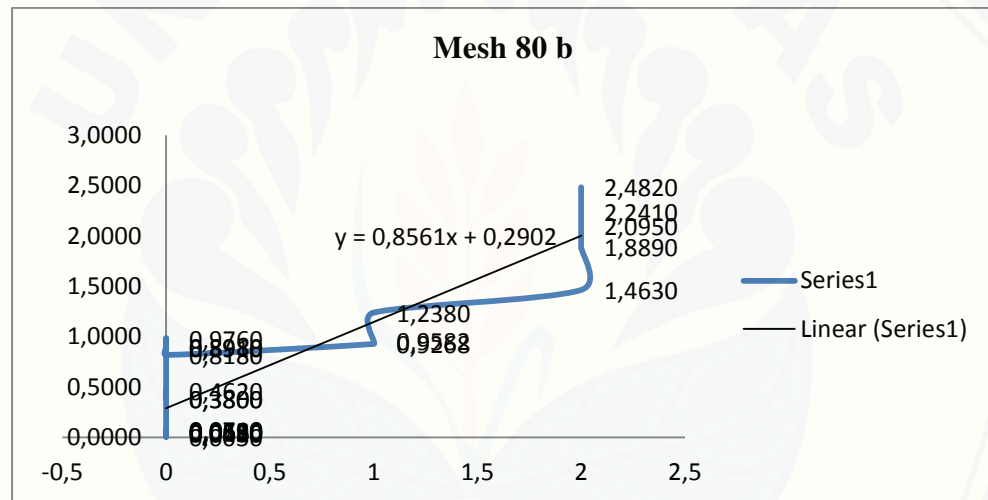
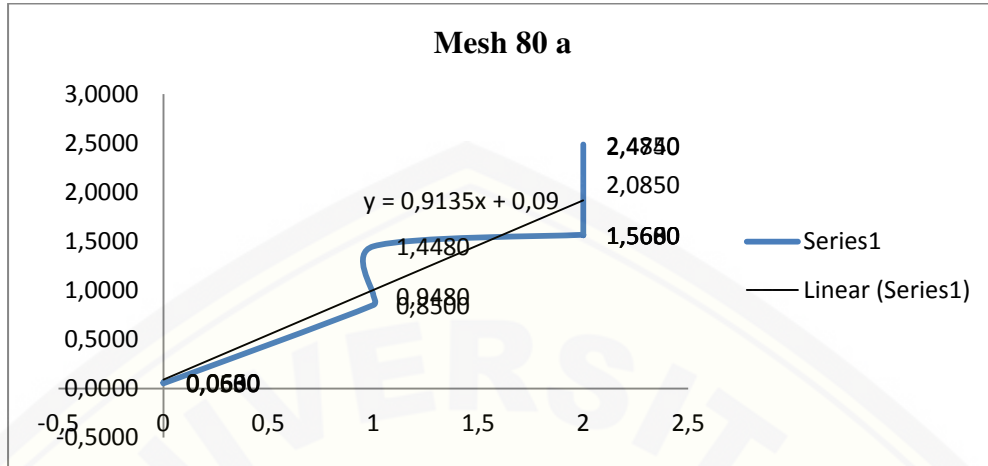
Ukuran mesh	L	b	d	m	$E_B=L^3m/4bd^3$
30 a	51	18	4	0,8221	23,665883
b	51	18	4	0,8274	23,818454
c	51	18	4	0,8283	23,844363
40 a	51	18	4	0,8644	24,883577
b	51	18	4	0,8112	23,352103
c	51	18	4	0,9335	26,872767
50 a	51	18	4	0,8913	25,657951
b	51	18	4	0,8033	23,124685
c	51	18	4	0,9486	27,307452
60 a	51	18	4	0,9378	26,996551
b	51	18	4	0,8699	25,041906
c	51	18	4	0,8450	24,325107
70 a	51	18	4	0,9172	26,403537
b	51	18	4	0,8973	25,830673
c	51	18	4	0,8881	25,565832
80 a	51	18	4	0,9135	26,297024
b	51	18	4	0,8561	24,644644
c	51	18	4	0,9471	27,264271
100 a	51	18	4	0,9937	28,605751
b	51	18	4	0,8845	25,462198
c	51	18	4	0,9832	28,303486
120 a	51	18	4	0,8823	25,398867
b	51	18	4	0,9582	27,583808
c	51	18	4	1,0025	28,859077
150 a	51	18	4	0,8934	25,718404
b	51	18	4	1,0515	30,269646
c	51	18	4	1,0393	29,918443
resin murni a	51	18	4	0,8838	25,442047
b	51	18	4	0,6471	18,628138
c	51	18	4	1,9237	55,377762

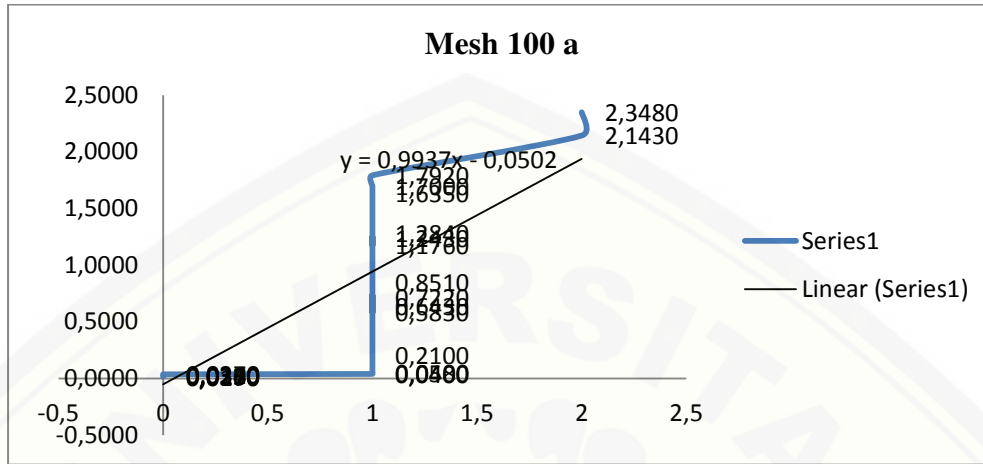


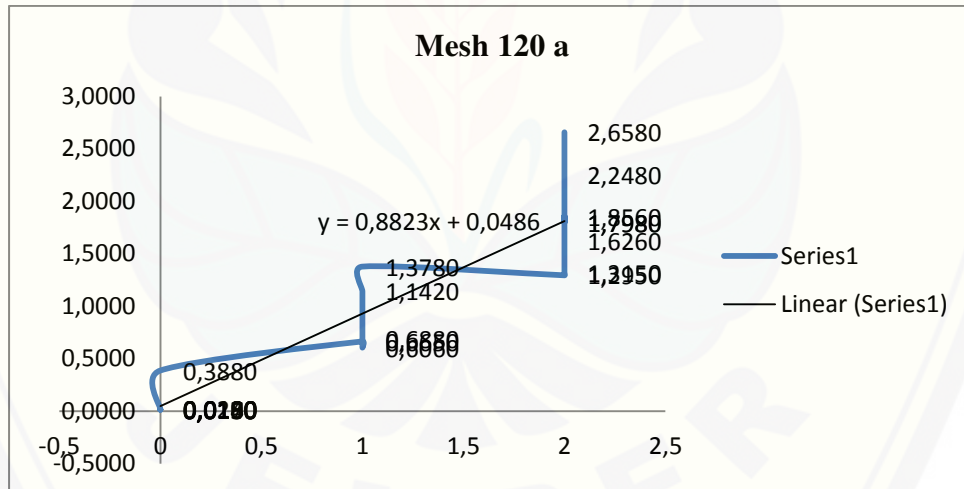
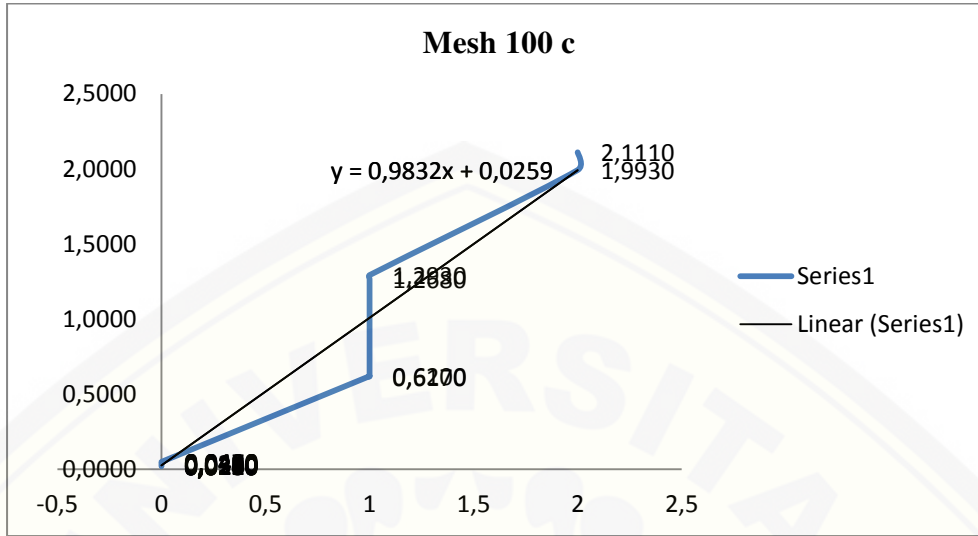


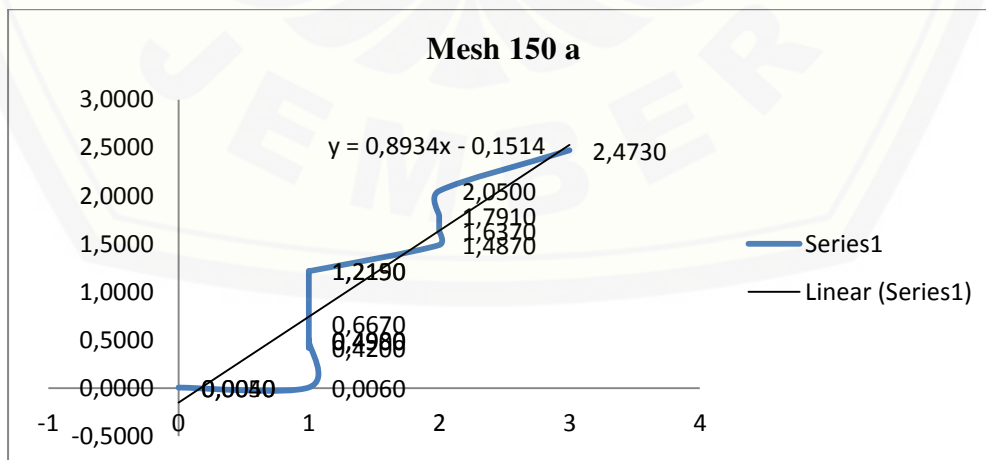
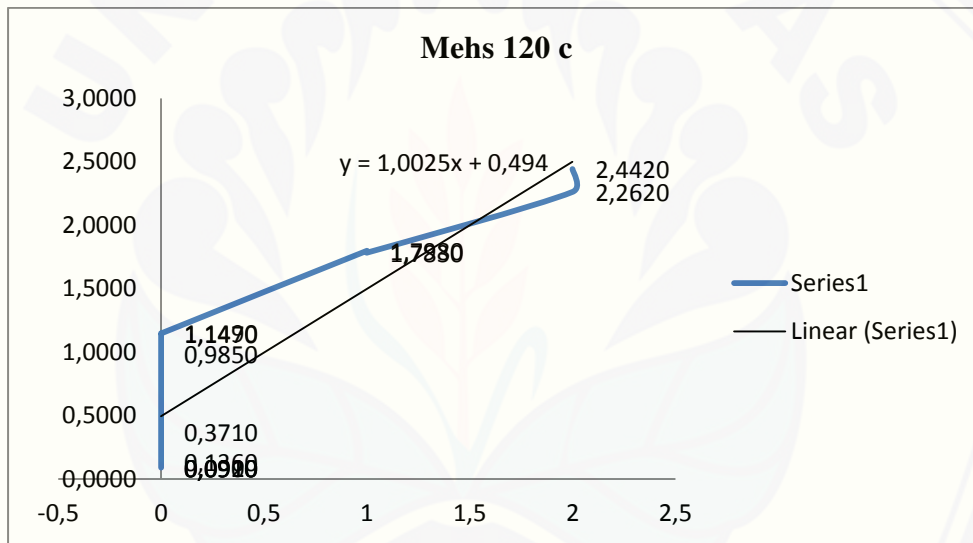
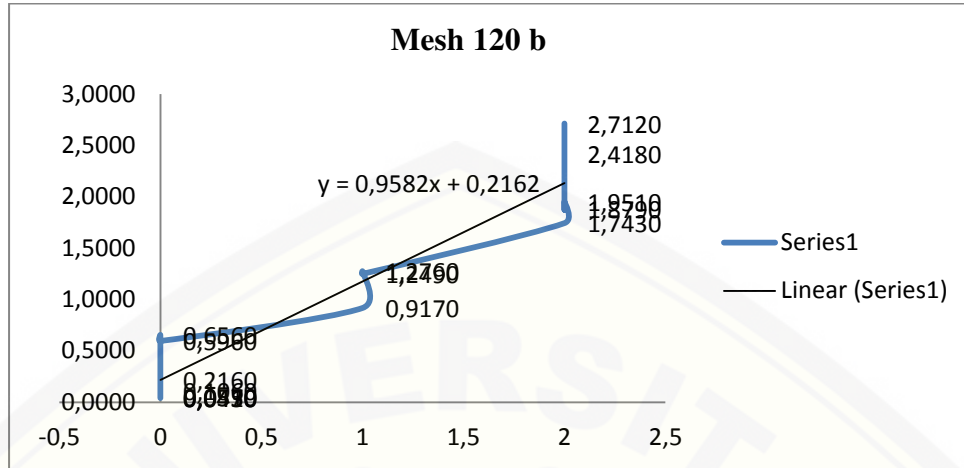


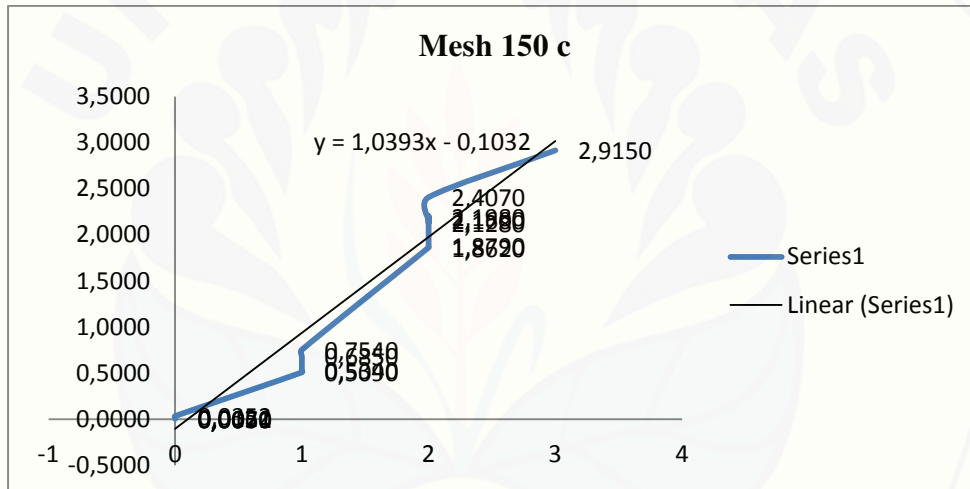
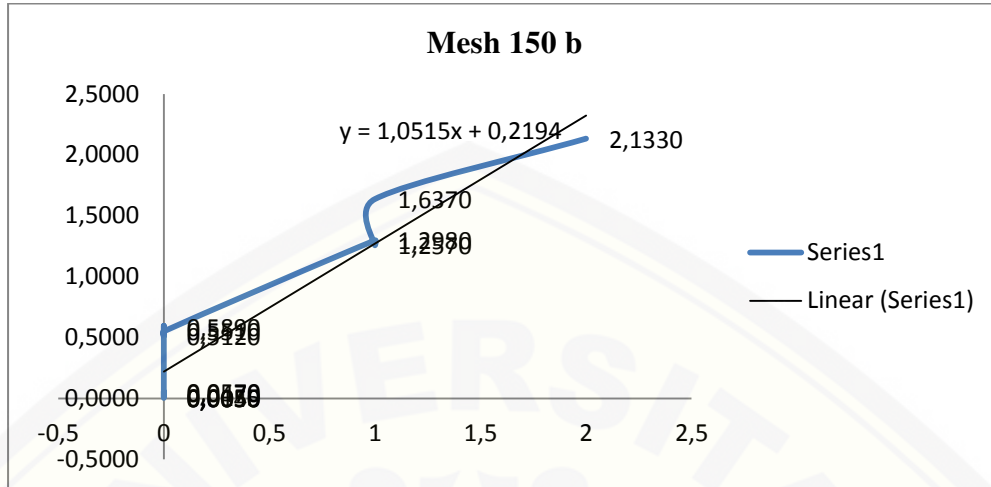












Lampiran C

C.1a Foto Dokumentasi



Gambar Mesh



Gambar Proses Pengayaan



Gambar Proses Pengayaan



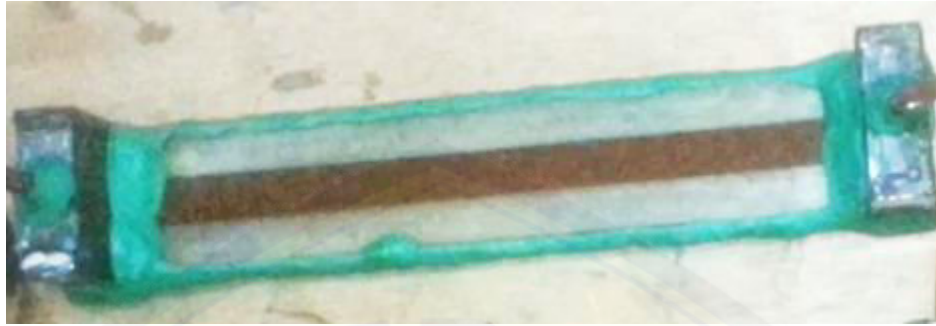
Gambar Hasil Ayakan



Gambar Alat dan Bahan



Gambar Proses Perakitan Cetakan



Gambar Cetakan dari Kaca



Gambar spesimen komposit partikel (MMT)



Gambar *Universal Testinh Material*