



**PENGARUH KONSENTRASI SELULOSA BATANG KERSEN
(*MUNTINGIA CALABURA*) PADA MATRIKS POLIVINIL ALKOHOL
TERHADAP MORFOLOGI DAN KEKUATAN TARIK**

SKRIPSI

Oleh

AFRIL PRIYANTO EKA PRAKOSO

NIM 161910101102

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PENGARUH KONSENTRASI SELULOSA BATANG KERSEN
(*MUNTINGIA CALABURA*) PADA MATRIKS POLIVINIL ALKOHOL
TERHADAP MORFOLOGI DAN KEKUATAN TARIK**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

AFRIL PRIYANTO EKA PRAKOSO

NIM 161910101102

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kehadiran Allah SWT maka skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
2. Ayahanda Hari Hartono dan Ibunda Endang Rusmawati yang telah memberikan dukungan baik berupa materil dan non materil;
3. Bapak Dr. Mochamad Asrofi, S.T. selaku pembimbing penelitian yang telah meberikan dukungan baik waktu, fikiran serta sarana prasarana selama berlangsungnya penelitian.
4. Guru-guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat;
5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan sarana dan prasarana untuk menuntut ilmu.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afril Priyanto Eka Prakoso

NIM : 161910101102

Menyatakan dengan sesungguhnya laporan skripsi dengan judul “Pengaruh Konsentrasi Selulosa Batang Kersen (*Muntingia Calabura*) Pada Matriks Polivinil Alkohol Terhadap Morfologi Dan Kekuatan Tarik” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Januari 2020

Yang Menyatakan,

Afril Priyanto Eka Prakoso

161910101102

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Konsentrasi Selulosa Batang Kersen (Muntingia Calabura) Pada Matriks Polivinil Alkohol Terhadap Morfologi Dan Kekuatan Tarik” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal :

Tempat :

Pembimbing,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Mochamad Asrofi, S.T.

NIP 760019035

Yuni Hermawan S.T.,M.T.

NIP 197506152002121008

Penguji,

Penguji I

Penguji II

Dr. Salahuddin Junus S.T.M.T.

NIP 197510062002121002

Santoso Mulyadi S.T.,M.T.

NIP 197002281997021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Triwahju Hardianto S.T, M.T.

NIP 197008261997021001

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan	4
1.4.2 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Plastik Biodegradable	5
2.1.1 Pengertian Biodegradable	5
2.1.2 Faktor Yang Mempengaruhi	6
2.2 Pembuatan Plastik Biodegradable	8
2.3 Matriks	10
2.3.1 Polivinil Alkohol	10
2.3.2 Sifat PVA	11
2.4 Serat (<i>Fiber</i>)	13
2.4.1 Selulosa	13
2.4.2 Karakteristik Selulosa Kayu	13
2.4.3 Serat Batang Kersen (<i>Muntingia Calabura</i>)	14
2.5 Karakterisasi Biokomposit Polimer	15
2.5.1 Pengujian Tarik	15
2.5.2 Pengujian Morfologi	16
BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	19
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	19

3.3 Alat dan Bahan	19
3.3.1 Alat	19
3.3.2 Bahan	22
3.4 Prosedur Penelitian	22
3.5 Teknik Pengumpulan Data dan Analisa Data	23
3.5.1 Pengumpulan Data	23
3.5.2 Analisa Data	24
3.6 Diagram Penelitian	25
3.6.1 Preparasi Bahan (Selulosa)	25
3.6.2 Pembuatan Biokomposit	26
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pembuatan Biokomposit Selulosa Kersen/PVA	27
4.2 Hasil Uji Tarik Biokomposit	27
4.2.1 Hasil Uji Tarik Biokomposit PVA/Selulosa Kersen	27
4.2.2 Hasil Uji Tarik Biokomposit Pada Penelitian Terdahulu ..	30
4.3 Hasil Uji SEM Biokomposit	31
4.3.1 Hasil SEM Spesimen 2% Konsentrasi Serat	31
4.3.2 Hasil SEM Spesimen 8% Konsentrasi Serat	32
4.3.3 Perbandingan Hasil SEM Dengan Penelitian Terdahulu ...	32
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme degradabilitas plastik biodegradable.....	7
Gambar 2.2 Struktur Komposit	9
Gambar 2.3 Jenis Komposit Berdasarkan Penguat.....	10
Gambar 2.4 Struktur Kimia Polivinil Alkohol	12
Gambar 2.5 Struktur Selulosa.....	14
Gambar 2.6 Grafik Tegangan Terhadap Regangan	17
Gambar 2.7 Blok Diagram SEM	17
Gambar 2.8 Prinsip Kerja SEM.....	19
Gambar 3.1 Ilustrasi pengaruh Beban Terhadap Penambahan Panjang	27
Gambar 4.1 Visualisasi Dimensi Pada Plastik Biokomposit.....	29
Gambar 4.2 Diagram Pengaruh Fraksi Serat Terhadap Kekuatan Tarik	30
Gambar 4.3 Diagram Pengaruh Fraksi Serat Terhadap Elongation at Break...	30
Gambar 4.4 Diagram Pengaruh Fraksi Serat Terhadap Modulus Elastisitas ...	31
Gambar 4.5 Hasil Uji Tarik Biokomposit Polyester/Serat Kenaf	32
Gambar 4.6 Foto SEM Pada Permukaan Patahan 2% Serat	34
Gambar 4.7 Foto SEM Pada Permukaan Patahan 8% Serat	34
Gambar 4.7 Foto SEM Pada Permukaan Patahan 8% Komposit	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik.....	9
Tabel 3.1 Rancangan Hasil Pengujian Uji ketahanan Air.....	25



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah polusi plastik telah berkembang menjadi ancaman bagi ekologi global karena ketahanan plastik terhadap degradasi. Polusi plastik muncul baik dari sumber darat maupun laut. Sumber limbah terus-menerus didapatkan melalui dua cara, yaitu secara sengaja melalui pembuangan ilegal atau pembuangan limbah yang tidak tepat dari sampah domestik dan industri, dan secara tidak sengaja melalui limbah statis dan limbah yang metode pengolahannya buruk, sehingga limbah tidak sepenuhnya terolah dengan baik. Polusi semacam itu menghasilkan sejumlah dampak buruk (Hayden, 2013).

Hampir setiap produk dalam kehidupan sehari-hari menggunakan plastik sebagai bahan dasar, seperti kemasan. Jenis plastik yang sering digunakan adalah *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene* (PE). Jenis plastik tersebut merupakan polimer hidrokarbon yang sangat sulit terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme (Arutchelvi, 2008). Timbunan sampah yang terus bertambah setiap harinya tetap menjadi masalah lingkungan yang hingga saat ini masih sulit untuk diatasi. Plastik diperoleh dari bahan baku petrokimia yang tidak mudah terdegradasi merupakan sumber utama limbah. Limbah polimer ini menimbulkan ancaman besar bagi lingkungan karena sulit untuk terdegradasi. Waktu yang dibutuhkan oleh kebanyakan polimer sintetik untuk dapat sepenuhnya terurai diperkirakan sekitar 50 dekade, dan selama periode tersebut fenomena alam dapat dipengaruhi oleh kehadiran bahan-bahan ini (Obasi, 2015)

Untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh limbah plastik ini banyak upaya telah dilakukan untuk mendapatkan bahan yang ramah lingkungan. Selama beberapa dekade terakhir, penelitian difokuskan pada substitusi plastik berbasis petrol dengan bahan-bahan yang dapat mengalami biodegradasi dan menjadikannya lebih murah. Plastik *biodegradable* dapat diperoleh dari polimer sintetik seperti polivinil alkohol, polycaprolactone, dan asam polylactic atau dari sumber daya alam seperti selulosa, pati, dan kitin. Akan tetapi jika dilihat dari segi

kekuatan mekanik plastik dengan bahan baku yang dapat terdegradasi masih terlampau rendah jika dibandingkan dengan plastik berbasis petrol.

Pembuatan biokomposit dapat menjadi solusi dalam upaya mengimbangi kekuatan mekanik dari plastik konvensional, dengan cara menggabungkan dua atau lebih polimer alam guna mendapatkan sifat unggul dari material tersebut. Komposit tersusun atas dua tipe material penyusun yakni matriks dan fiber (reinforcement). Keduanya memiliki fungsi yang berbeda, fiber berfungsi sebagai material rangka yang menyusun komposit, sedangkan matriks berfungsi untuk merekatkan fiber dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Campuran keduanya akan menghasilkan material yang keras, kuat, namun ringan.

Pilihan matriks pada penelitian ini adalah Polivinil Alkohol (PVA) yang merupakan polimer sintetik hidrofilik, biodegradabel, biokompatibel dan memiliki kapasitas sebagai perekat (Roohani et al., 2008). PVA banyak digunakan sebagai bahan kemasan alternatif yang menjanjikan karena sifatnya yang sangat baik dalam pembentukan kemasan, tahan terhadap minyak dan lemak, memiliki kekuatan tarik, dan fleksibilitas tinggi. Akan tetapi sifat ini sangat bergantung pada kelembaban, dimana semakin tinggi kelembaban maka akan semakin banyak air yang diserap dari lingkungan sekitar. Sehingga menyebabkan film PVA mengalami penurunan kekuatan tarik, kekuatan sobek dan mengalami kenaikan perpanjangan (Mbele, 2003). Penambahan fiber (reinforcement) diharapkan dapat mengatasi permasalahan tersebut.

Fiber (reinforcement) harus memiliki sifat yang kuat, karena akan menjadi rangka penyusun komposit. Salah satu material yang mumpuni dan sumber dayanya melimpah adalah selulosa. Selain sifatnya yang dapat terurai, selulosa berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui, bersifat universal dan memiliki harga yang terjangkau, sehingga selulosa menjadi material yang menjanjikan untuk membentuk biokomposit polimer (Walle, 2009). Pembuatan bioplastik biasanya menggunakan serat yang memiliki kandungan selulosa tinggi, seperti kapas yang memiliki 90% kandungan selulosa. Namun kapas tersebut termasuk bahan utama pembuatan kain dan bahan tekstil (Asim et al., 2015).

Maka dari itu, dibutuhkan alternatif lain untuk mendapatkan sumber selulosa, salah satu solusinya adalah menggunakan serat dari batang tumbuhan kersen (*Muntingia calabura*), karena dapat tumbuh di hampir seluruh dataran Indonesia dan pemanfaatan dari masyarakat yang kurang, sehingga memiliki potensi yang baik sebagai *reinforce* (penguat). Serat batang dari spesies *Muntingia calabura* dapat diekstraksi menggunakan metode *water retting* atau ekstraksi dengan menggunakan bahan kimia. Memiliki kekuatan tarik serat 416-872Mpa, kandungan selulosa 68,51%, kepadatan 1,351g / cc, indeks kristalinitas 47% (Triha, 2015). Dari data tersebut mengidentifikasi bahwa ini merupakan salah satu serat alami yang baik yang dapat digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) yang baik.

Oleh karena itu, dengan menggabungkan dua material tersebut diharapkan dapat menjadi solusi dari masalah kelembaban dan dapat meningkatkan sifat mekanik, sifat termal, dan struktur kimia. Ini juga merupakan salah satu cara yang efektif untuk menekan biaya produksi plastik berbahan dasar PVA. Pada penelitian ini, penulis melakukan pembuatan biopolimer dengan mencampurkan *Polyninyl Alcohol* dan serat batang kersen (*Muntingia Calabura*). Karena menurut sepengetahuan penulis, masih belum terdapat publikasi tentang penelitian ini. Diharapkan pula dapat bermanfaat dan memberikan alternatif plastik ramah lingkungan sehingga dapat mengurangi limbah plastik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat disajikan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penambahan 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% konsentrasi serat batang kersen terhadap kekuatan tarik, elastisitas dan *elongation at break* melalui pengujian tarik pada biokomposit dengan PVA sebagai matriks.
2. Bagaimana pengaruh penambahan 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% konsentrasi serat terhadap struktur mikro melalui pengujian SEM pada biokomposit dengan PVA sebagai matriks.

3. Bagaimana perbandingan kekuatan tarik, elastisitas dan *elongation at break* plastik konvensional dengan biokomposit berbasis PVA dengan penambahan 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% konsentrasi serat batang kersen.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini cukup luas sehingga dibutuhkan batasan masalah agar penelitian lebih terarah untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bahan dasar yang digunakan yaitu serat batang kersen dan *Polyvinyl Alcohol*
2. Serat batang kersen didapatkan dari daerah Kelurahan Jember Lor, Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember, Jawa Timur .
3. Pengujian yang dilakukan yakni pengujian mekanik berupa pengujian tarik yang dilakukan di Laboratorium Fisika Modern, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Jember dan pengujian morfologi menggunakan SEM yang dilakukan di Laboratorium Biosains, Politeknik Negeri Jember sebagai berikut.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh penambahan 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% konsentrasi serat batang kersen terhadap kekuatan tarik, elastisitas dan *elongation at break* melalui pengujian tarik pada biokomposit dengan PVA sebagai matriks.
2. Pengaruh penambahan 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% konsentrasi serat terhadap struktur mikro melalui pengujian SEM pada biokomposit dengan PVA sebagai matriks.
3. Perbandingan kekuatan tarik, elastisitas dan *elongation at break* plastik konvensional dengan biokomposit berbasis PVA dengan penambahan 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% konsentrasi serat batang kersen.

1.4.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh informasi tentang pengaruh penambahan 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% konsentrasi serat batang kersen terhadap kekuatan tarik, elastisitas dan *elongation at break* melalui pengujian tarik pada biokomposit dengan PVA sebagai matriks.
2. Memperoleh informasi tentang pengaruh penambahan 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% konsentrasi serat terhadap struktur mikro melalui pengujian SEM pada biokomposit dengan PVA sebagai matriks.
3. Memperoleh informasi tentang perbandingan kekuatan tarik, elastisitas dan *elongation at break* plastik konvensional dengan biokomposit berbasis PVA dengan penambahan 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% konsentrasi serat batang kersen.

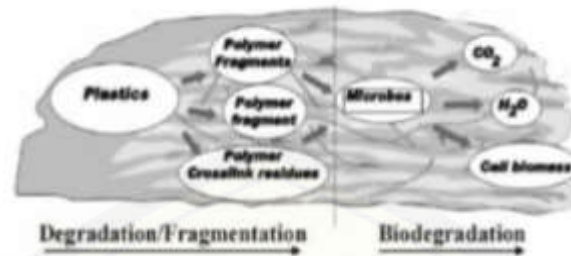
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik *Biodegradable*

2.1.1 Pengertian *Biodegradable*

Secara umum, *biodegradable* diartikan sebagai material yang dapat didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami. Plastik *biodegradable* disebut juga bioplastik yaitu plastik yang seluruh atau hampir seluruh komponennya berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui. (Stevens, 2001). Menurut Griffin (1994), plastik *biodegradable* adalah suatu bahan dalam kondisi tertentu, waktu tertentu mengalami perubahan dalam struktur kimianya, yang mempengaruhi sifat-sifat yang dimilikinya karena pengaruh mikroorganisme (bakteri, jamur, alga).

Menurut Pranamuda (2001), plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Plastik *biodegradable* merupakan bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan karena sifatnya yang dapat kembali ke alam. Secara umum, kemasan *biodegradable* diartikan sebagai film kemasan yang dapat didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami. Pada dasarnya film kemasan mensyaratkan sifat-sifat fleksibel, dapat-dicetak, tidak berbau, mampu menghambat keluar masuknya gas dan uap air, serta transparan. Di samping bersifat dapat dihancurkan secara alami maupun mikrobiologis, bahan bioplastik sebaiknya mudah diperoleh dengan siklus waktu penyediaan yang singkat (Paramawati, 2007). Bahan pertanian yang mempunyai potensi untuk pembuatan film kemasan ramah lingkungan antara lain adalah polisakarida. Dengan mempertimbangkan segi kebutuhan komparatif, polisakarida dari hasil pertanian bernilai lebih murah karena tersedia melimpah. Oleh karena itu, Indonesia dapat menjajaki kelayakan teknisnya sebagai bahan bioplastik. Mekanisme degradabilitas dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Mekanisme degradabilitas plastik biodegradable
(Narayan,2003)

Berdasarkan bahan baku yang digunakan plastik *biodegradable* dikelompokkan menjadi dua, yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia (*non-renewable resources*) dengan bahan aditif dari senyawa bio-aktif yang bersifat *biodegradable* dan kelompok kedua dari semua bahan bakunya berasal dari sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*), seperti dari bahan tanaman pati dan selulosa serta hewan seperti cangkang atau mikroorganisme yang dimanfaatkan untuk mengakumulasi plastik yang berasal dari sumber tertentu misalnya lumpur aktif dan limbah cair yang kaya akan bahan-bahan organik sebagai sumber makanan bagi mikroorganisme tersebut (Adam et al, 2009).

2.1.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pembuatan Plastik *Biodegradable*

1. Temperatur

Perlakuan suhu diperlukan untuk membentuk plastik *biodegradable* yang utuh tanpa adanya perlakuan panas kemungkinan terjadinya interaksi molekul sangatlah kecil sehingga pada saat plastik dikeringkan akan menjadi retak dan berubah menjadi potongan-potongan kecil. Perlakuan panas diperlukan untuk membuat plastik tergelatinisasi, sehingga terbentuk pasta pati yang merupakan bentuk awal dari plastik. Kisaran suhu gelatinisasi pati rata-rata 64,5oC-70oC (Krochta, 1994).

2. Konsentrasi Polimer

Konsentrasi pati ini sangat berpengaruh terutama pada sifat fisik plastik yang dihasilkan dan juga menentukan sifat yang dihasilkan. Menurut Krochta (1997), semakin besar konsentrasi matrix (polimer) maka jumlah polimer penyusun matrik plastik semakin besar sehingga dihasilkan plastik yang tebal.

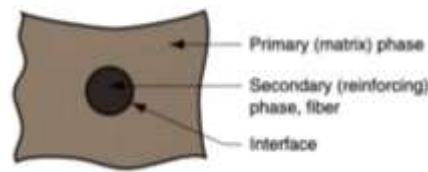
3. Plasticizer

Plasticizer ini merupakan bahan *nonvolatile* yang ditambah kedalam formula plastik akan berpengaruh terhadap sifat mekanik dan fisik plastik yang terbentuk karena akan mengurangi sifat intermolekul dan menurunkan ikatan hidrogen internal. Plasticizer mempunyai titik didih tinggi dan penambahan plasticizer diperlukan untuk mengatasi sifat rapuh plastik yang disebabkan oleh kekuatan intermolekul ekstensif (Gotard et al, 1993). Menurut Krocht (1997), plasticizer polyol yang sering digunakan yakni gliserol dan sorbitol.

2.2 Pembuatan Plastik Biodegradable

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (*modulus Young/density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina ini disebut sebagai laminat (Omar, 2010). Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda seperti pada Gambar 2.2, yaitu:

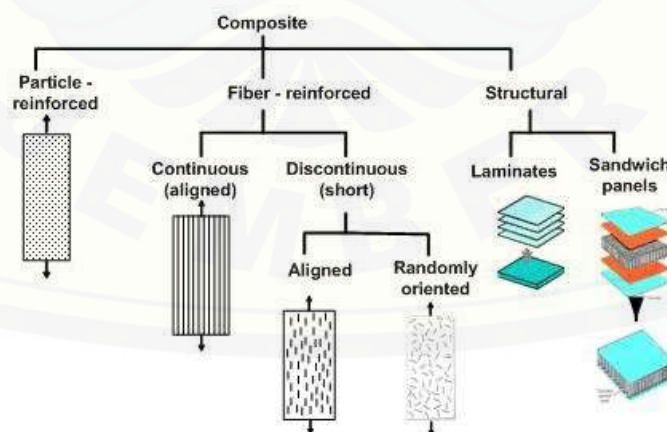
1. Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat, dalam laporan ini penguat komposit yang digunakan yaitu dari serat alam.
2. Matriks, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.



Gambar 2.2 Struktur Komposit (Omar,2010)

Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya seperti pada gambar 2.3, yaitu :

1. *Fibrous Composites* (Komposit Serat) merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu laminat atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat atau *fiber*. *Fiber* yang digunakan bisa berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers (poly aramide)*, dan sebagainya. *Fiber* ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.
2. *Laminated Composites* (Komposit Laminat) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.
3. *Particulate Composites* (Komposit Partikel) merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.



Gambar 2.3 Jenis Komposit Berdasarkan Penguat (Omar,2010)

Bioplastik atau yang lebih sering disebut plastik *biodegradable*, merupakan salah satu jenis plastik yang hampir keseluruhannya terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui seperti pati, selulosa dan mikrobiota. Ketersediaan bahan dasarnya di alam sangat melimpah. Bahan yang dapat diperbaharui ini memiliki biodegradabilitas yang tinggi sehingga sangat berpotensi untuk dijadikan bahan pembuat bioplastik (stevens, 2002).

Menurut Guilbert (1986), tahapan pembuatan Bioplastik adalah sebagai berikut:

1. Pensuspensian bahan dalam pelarut

Pembuatan larutan film diawali dengan pensuspensian bahan dalam pelarut seperti etanol, air atau bahan pelarut lain.

2. Penambahan *plastizicer*

Plastizicer ditambahkan untuk memperbaiki sifat mekanik yaitu memberikan fleksibilitas pada sebuah polimer film sehingga film lentur ketika dibengkokkan, tidak mudah putus dan kuat.

3. Pengaturan suhu

Pengaturan suhu pada pembuatan *film* bertujuan membentuk pati tergelatinisasi yang merupakan awal pembentukan *film*. Suhu pemanasan akan menentukan sifat mekanik *film* karena suhu ini menentukan tingkat gelatinisasi yang terjadi dan sifat fisik pasta yang terbentuk.

4. Pengeringan.

Pengeringan bertujuan untuk menguapkan pelarut sehingga diperoleh *film*. Suhu mempengaruhi waktu pengeringan dan kenampakan *film* yang dihasilkan.

2.3 Matriks

2.3.1 Polivinil Alkohol

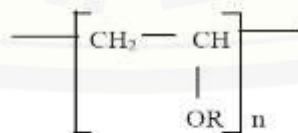
Polivinil alkohol (PVA) merupakan polimer yang sangat menarik, karena banyak karakter dari PVA yang sesuai dengan karakter polimer yang banyak diinginkan khususnya dalam bidang farmasi dan biomedis. Kristalinitas alami dari PVA merupakan sifat yang menarik terutama dalam preparasi hidrogel. PVA

memiliki struktur kimia yang sederhana dengan gugus hidroksil yang tidak beraturan. Monomernya, yaitu vinil alkohol tidak berada dalam bentuk stabil, tetapi berada dalam keadaan tautomer dengan asetaldehida (Peppas, 2000).

PVA dihasilkan dari polimerisasi vinil asetat menjadi polivinil asetat (PVAc), kemudian diikuti dengan hidrolisis PVAc menjadi PVA. Kualitas PVA yang baik secara komersial ditentukan oleh derajat hidrolisis yang tinggi, yaitu di atas 98.5%. Derajat hidrolisis dan kandungan asetat dalam polimer sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat kimianya, seperti kelarutan dan kristalinitas PVA. Derajat hidrolisis berpengaruh terhadap kelarutan PVA dalam air, semakin tinggi derajat hidrolisisnya maka kelarutannya akan semakin rendah (Hassan and Peppas, 2000).

2.3.2 Sifat PVA

PVA merupakan polimer yang banyak digunakan karena memiliki sifat lentur dan dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul kitosan, selain itu PVA juga mudah diuraikan secara alami (*biodegradable*) pada kondisi yang sesuai. PVA komersial biasanya merupakan campuran dari beberapa tipe stereoregular yang berbeda (isotaktik, ataktik, dan sindiotaktik). PVA dengan derajat hidrolisis 98.5% atau lebih dapat dilarutkan dalam air pada suhu 70 °C (Wang et al., 2004). Polivinil alkohol (PVA) merupakan zat yang tidak berasa, tidak berbau, dapat terurai oleh alam dan biokompatibel. Selain dapat terlarut dalam air, Polivinil alkohol juga dapat larut dalam etanol. Namun, zat ini tidak dapat larut dalam pelarut organik. Struktur kimia polivinil alkohol (PVA) seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Struktur kimia Polivinil Alkohol

(Wang et al., 2004).

PVA dikembangkan pertama kali oleh Hermann dan Haehnel pada tahun 1924. Proses pembuatan PVA dilakukan dengan menghidrolisis polivinil asetat (PVA). Tingkat konsumsi PVA di dunia telah mencapai beberapa ratus ribu ton per tahun dan diprediksi akan meningkat sekitar 2,5% per tahun antara tahun 2006 dan 2011. Terdapat sejumlah produsen PVA di seluruh dunia yang mayoritas berbasis di negara-negara Asia. Cina memiliki pangsa pasar terbesar dengan porsi 45% pada tahun 2006 dan nilai ini diperkirakan akan terus berkembang (Ogur, 2005).

Seiring dengan semakin tumbuhnya kesadaran akan polimer hijau yang ramah terhadap lingkungan, penggunaan polivinil alkohol menjadi semakin meningkat dan menjanjikan. Salah satu pemanfaatan PVA sebagai bahan sekali pakai adalah aplikasi PVA pada kantong kotoran hewan yang akan terurai setelah dibuang. Selain itu, PVA juga dapat diaplikasikan pada bola golf, sehingga pegolf tidak perlu mencari bolanya setelah dipukul karena bola tersebut akan terurai di alam. Di dalam industri pangan, PVA digunakan sebagai bahan pelapis karena sifatnya kedap terhadap uap air. PVA mampu menjaga komponen aktif dan bahan lainnya yang terkandung di dalam bahan dari kontak dengan oksigen. Secara komersial, Tabel 2.1 menjelaskan tentang sifat fisik PVA. PVA adalah plastik yang paling penting dalam pembuatan film yang dapat larut dalam air. (Ogur, 2005).

Tabel 2.1 Sifat Fisik PVA
(Ogur, 2005)

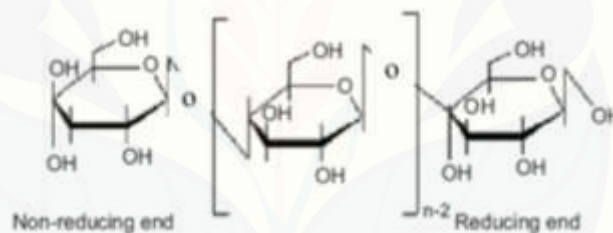
Karakter	Nilai
Densitas	1,19 – 1.31 g/cm ³
Titik Leleh	180-240 °C
Titik didih	228 °C
Suhu Penguraian	180 °C

2.4 Serat (*Fiber*)

2.4.1 Selulosa

Selulosa merupakan polimer linier glukosa dengan struktur rantai yang seragam. Unit – unit terikat dengan ikatan β – 1,4 glikosidik. Dua unit glukosa yang berdekatan bersatu dengan mengeliminasi satu molekul air di antara gugus hidroksil pada karbon 1 dan karbon 4 Selulosa mempunyai bobot molekul yang sangat bervariasi berkisar antara 50.000 hingga 2,5 juta bergantung pada sumbernya. Ukuran panjang rantai molekul selulosa dinyatakan sebagai derajat polimerasi (DP). Derajat polimerasi dihitung dengan cara membagi bobot selulosa dengan bobot molekul glukosa (Wegener, 1984).

Menurut Sjostrom (1981) perlakuan fisik dan kimia yang intensif dapat menurunkan derajat polimerasi selulosa. Sifat polimer ditentukan oleh panjang rantai molekul dari polimer itu sendiri seperti pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Struktur Selulosa (Wegener, 1984)

Polimer selulosa terdiri atas 2 bagian, yaitu bagian dengan susunan rantai yang teratur (kristalin) dan bagian dengan susunan rantai yang tidak teratur (amorf). Derajat kristalinitas suatu polimer berpengaruh besar terhadap sifat polimer yang terkait dengan penggunaannya. Pada umumnya selulosa bersifat relatif kristalin (Sjostrom, 1981). Morfologi selulosa mempunyai pengaruh besar terhadap reaktifitasnya. Reaktifitas selulosa juga dipengaruhi oleh kehalusan struktur selulosa.

2.4.2 Karakteristik Selulosa Kayu

Selulosa mikrobial mempunyai karakteristik yang unik dan relative lebih unggul dari selulosa kayu terutama tingkat kemurniaannya (Brown, 1983). Pada

tanaman (kayu), selulosa yang dihasilkan masih berikatan kuat dengan senyawa lignin dan hemiselulosa. Persentase kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa adalah 42 %, 16 % dan 25 % dari kayu lunak atau kayu daun lebar (Sjostrom, 1995). Pada umumnya selulosa terdiri dari selulosa α dan selulosa β . Selulosa kayu dan selulosa mikrobial terdiri dari kedua selulosa tersebut, hanya memiliki perbedaan komposisi. Pada selulosa kayu, kandungan selulosa α lebih tinggi yaitu sekitar 70 % dan sisanya 30 % adalah selulosa β . Sedangkan pada selulosa bakteri kandungan selulosa β lebih besar yaitu sebanyak 60%. (Sugiyama, 1991).

Dalam beberapa hal lainnya, selulosa kayu memiliki perbedaan dengan selulosa mikrobial. Pada selulosa kayu terdapat lamela atau ultrastruktur sel serat sedangkan selulosa mikrobial memiliki ultrafine sel serat. Hal ini menyebabkan perbedaan ukuran serat. Ukuran serat selulosa mikrobial lebih kecil 1/10 sampai 1/1000 dari ukuran serat selulosa kayu (Yoshinaga et al., 1996). Perbedaan lainnya adalah derajat polimerisasi. Derajat polimerisasi selulosa kayu lebih konstan sedangkan derajat polimerisasi selulosa mikrobial akan naik secara linier tergantung masa pertumbuhan organismenya. Selain derajat polimerisasi, perbedaan juga terletak pada derajat kristalinitas bahan. Selulosa mikrobial lebih memiliki derajat kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan selulosa tanaman (kayu) (Watanabe, 1994).

Lapisan pelikel dari selulosa bakteri memiliki modulus young yang tinggi kira – kira 156 GPa. Modulus ini dipengaruhi oleh ikatan interfibril serta kristalinitas selulosa mikrobial. Selulosa mikrobial dapat diproses menjadi suspensi stabil dengan menggunakan proses homogenisasi mekanik. Aplikasi dari selulosa mikrobial adalah untuk pembuatan akustik diafragma, kulit buatan penutup luka, dan pembuatan kertas bermutu tinggi (Yamanaka et al., 1994). Selulosa mikrobial mempunyai beberapa keunggulan antara lain kemurnian yang tinggi, derajat kristalinitas yang tinggi, mempunyai kerapatan antara 300 dan 900 kg/m³, kekuatan tarik yang tinggi, dan elastis. (Krystynowicz, 2001).

2.4.3 Serat Batang Kersen (*Muntingia Calabura*)

Kersen adalah tanaman tahunan yang dapat mencapai ketinggian 10 meter. Kersen memiliki beberapa bagian seperti daun, batang, bunga, dan buah. Batang tambahan kersen berkayu, tegak, bulat, dan memiliki percabangan simpodial. Daun kersen, mengandung flavonoid, tanin, glikosida, saponin, steroid, dan minyak esensial (Sasongko,2014).

Serat batang dari spesies kersen (*Muntingia calabura*) diekstraksi menggunakan metode water retting. Memiliki kekuatan tarik serat 416-872Mpa, kandungan selulosa 68,51%, kepadatan 1,351g / cc, indeks kristalinitas 47% (Trieha, 2015). Dari data tersebut mengidentifikasi bahwa ini merupakan salah satu serat alami yang baik yang dapat digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) yang baik.

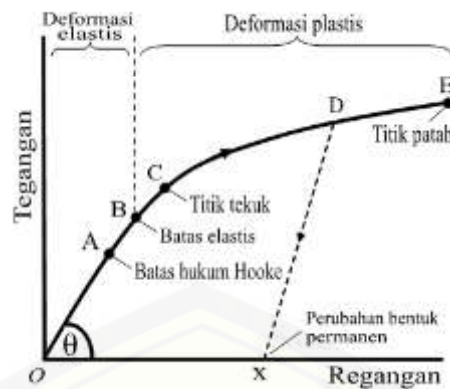
2.5 Karakterisasi Biokomposit Polimer

2.5.1 Pengujian Tarik

Uji tarik rekayasa banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter, 1987). Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Troxell,1955).

Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (grip) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Brand terkenal untuk alat uji tarik antara lain adalah antara lain adalah Shimadzu, Instron dan Dartec.

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila skita terus menarik suatu bahan sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



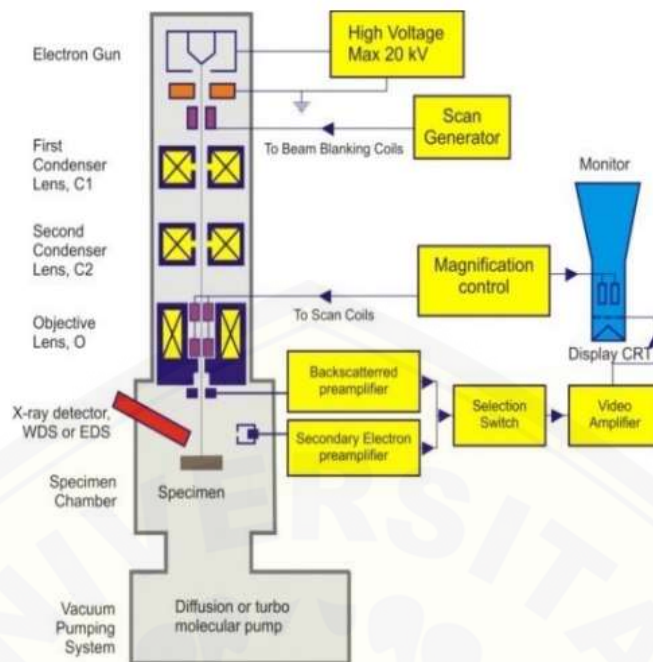
Gambar 2.6 Grafik Tegangan Terhadap Regangan
(Troxell,1955)

Pada grafik tegangan terhadap regangan yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut “Ultimate Tensile Strength” disingkat dengan UTS, dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum.

2.5.2 Pengujian Morfologi (SEM)

SEM dapat mengamati struktur maupun bentuk permukaan yang berskala lebih halus, Dilengkapi Dengan EDS (Electron Dispersive X ray Spectroscopy) dan Dapat mendeteksi unsur-unsur dalam material. Juga Permukaan yang diamati harus penghantar elektron. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm (A. Sujatno, 2015).

Hasil analisa atau keluaran dari analisis SEM-EDX yaitu berupa gambar struktur permukaan dari setiap sampel dengan karakteristik gambar 3- D serta grafik hubungan antara energi pada sumbu horizontal dengan cecahan pada sumbu pertikal dari keluaran ini dapat diketahui unsur – unsur atau mineral yang terkandung di dalam sampel tersebut, yang mana keberadaan unsur atau mineral tersebut dapat ditentukan atau diketahui berdasarkan nilai energi yang dihasilkan pada saat penembakan sinar elektron primer pada sampel (Prasetyo,2011).

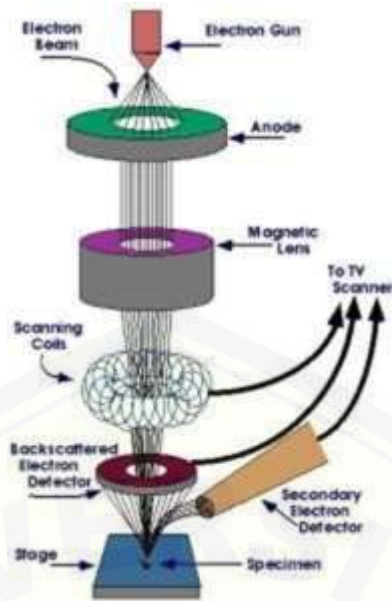


Gambar 2.7 Blok Diagram SEM

(A. Sujatno, 2015)

SEM memiliki perbesaran $10 - 3000000x$, depth of field $4 - 0.4$ mm dan resolusi sebesar $1 - 10$ nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, depth of field yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

1. Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
2. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada Integrated Circuit (IC) dan chip, dan sebagainya).
3. Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
4. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).



Gambar 2.8 Prinsip Kerja SEM (Maranatha,2008)

Prinsip *Scanning Electron Microscopy* seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.8 yaitu :

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk jenis eksperimen untuk membuat biokomposit polimer dengan menggunakan PVA sebagai matriks dan serat batang kersen (*muntingia calabura*) sebagai penguat (*reinforce*) guna menekan penggunaan plastik dan meningkatkan sifat mekanik dan struktur mikro. Selanjutnya, dilakukan pengujian meliputi uji morfologi menggunakan *Scanning Electronic Microscopy* (SEM) dan pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai bulan September 2019 sampai April 2020. Bertempat di Laboratorium Material Universitas Negeri Jember untuk proses pembuatan biokomposit polimer, untuk pengujian dilakukan di dua tempat yaitu di Laboratorium Fisika Modern, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Jember untuk pengujian tarik dan uji morfologi yang dilakukan di Laboratorium Biosains, Politeknik Negeri Jember.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat - alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Hot plate and stirrer

Spesifikasi hotplate stirrer yang digunakan adalah sebagai berikut:

Merk	:	Daihan scientific (model MSH-20D)
Ukuran plat	:	180 mm x 180 mm
Tegangan	:	230 V – 50/60 Hz
Daya	:	660 W

Temperatur maksimum	:	380 °C
Puratan maksimum	:	1500 rpm
Kapasitas maksimum	:	20 liter (air)

2. Universal Oven Memert UN55

Universal oven UN55 dengan merk Memmert digunakan untuk mengeringkan bionanokomposit. Alat tersebut mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Merk	:	Universal Oven Memert UN55
Temperature operasi	:	Minimal 5 oC sampai 300 °C
Dimensi	:	400 mm x 400 mm x 330 mm
Beban maksimal	:	80 kg
Beban elektik	:	Berkisar 2000 W
Tegangan	:	230 V – 50/60 Hz

3. Relative Humidity Meter (RH Meter)

RH meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kelembapan ruangan.

Merk	:	HTC-2
Jarak pengukuran suhu	:	- 50 °C sampai 70 °C
Resolusi suhu	:	0,1 °C
Jangkauan Pengukuran	:	10% sampai 99 %
Resolusi kelembapan	:	1%
Daya	:	1,5V AAA Baterai

4. Slow Grinding Fruit Juicer

Alat tersebut berfungsi untuk memisahkan antara ampas dengan suspensi pati. Alat ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Model	:	SKG-J-1001
Daya	:	150 W

Tegangan	:	220 V – 50/60 Hz
Waktu operasi	:	Kurang lebih 30 menit

5. Timbangan analitik

Timbangan analitik ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Merk	:	Kenko
Model	:	KK-LAB
Kepresisian	:	0,001 gram
Kapasitas penimbangan	:	15 kg

6. Ice blender

Ice blender ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Merk	:	Philips
Model	:	HR2115
Kapasitas maksimum	:	2 liter
Konsumsi daya	:	600 Watt
Pengaturan kecepatan	:	5

7. Tupperware dan kawat

Cetakan kaca berfungsi sebagai wadah tempat penuangan larutan biokomposit untuk dilakukan proses pengeringan menggunakan oven. Cetakan yang digunakan mempunyai dimensi 150 mm x 80 mm x 20 mm berbahan kaca.

8. Gelas kimia dan spatula

Gelas kimia merk Pyrex dengan ukuran 100 ml digunakan sebagai wadah dalam proses pembuatan bionanokomposit. Sedangkan, spatula digunakan sebagai pengaduk.

3.3.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. PVA (Polyvinyl Alcohol)
2. Serat batang kersen yang didapatkan dari daerah Kelurahan Jember Lor, Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember, Jawa Timur (*Muntingia Calabura*)
3. Hydrochloric acid (HCl) pure analys dengan kandungan 37%, produksi PT. Smart Lab Indonesia
4. Sodium hydroxide (NaOH) pure analys, produksi PT. Smart Lab Indonesia
5. Gliserol dengan tipe teknis: densitas 1,225-1,260 g/mL; merek Brataco

3.4 Prosedur Penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

Preparasi Bahan :

1. Serat batang kersen (*muntingia calabura*) disiapkan kemudian diserut menjadi bagian kecil dan dihancurkan dengan menggunakan *grinding machine* sehingga membentuk serbuk.
2. Serbuk tersebut dilakukan proses alkalisasi menggunakan basa kuat menggunakan hydrogen peroksida dengan PH 9 dan konsentrasi hydrogen peroksida 3% selama 2 jam menggunakan *magnetic stirrer* yang menghasilkan kemurnian selulosa sebesar 95,11%.
3. Lalu dilakukan proses penetralan PH pada serat dengan menggunakan air suling.
4. Serbuk yang telah dinetralisir PHnya kemudian dilakukan proses *bleaching* dengan larutan *bleaching* untuk menghilangkan pigmen yang terkandung didalamnya supaya hasil akhir plastic biokomposit menjadi tak berpigmen (bening).
5. Lalu dilakukan kembali proses penetralan PH pada serat dengan menggunakan air suling.

6. Serbuk lalu dikeringkan dan dilakukan proses pengecilan ukuran partikel menggunakan *grinding machine*, lalu disaring menggunakan mesh 80.

Pembuatan Biokomposit :

1. 10gram PVA murni dilarutkan dalam 100 ml air menggunakan magnetic stirrer dengan suhu 80°C hingga tidak terlihat adanya gumpalan.
2. Masukkan serbuk serat (selulosa) dengan masing - masing konsentrasi 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% fraksi massa.
3. Penambahan Plasticizer sebesar 2% dari fraksi massa diberikan pada masing - masing konsentrasi serat dalam *hot plate magnetic stirrer* selama 1 jam dengan kecepatan 875 rpm pada suhu 90 °C.
4. Lalu dilakukan proses pendinginan tertutup hingga mencapai suhu ruang.
5. Larutan yang terbentuk dituang kedalam cetakan kaca dan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 70 °C selama 12 jam.
6. Spesimen yang telah kering, kemudian disiapkan bentuk dan dimensinya sesuai astm untuk dilakukan pengujian.

3.5 Teknik Pengumpulan Data dan Analisa Data

3.5.1 Pengumpulan Data

1. Uji Tarik

Sampel yang akan diuji dibentuk sedemikian rupa sesuai standard kemudian diuji dengan menggunakan *universal testing machine*. Ketebalan sampel diukur pada 3 titik dan diuji tarik dengan cara kedua ujung dijepit mesin penguji tarik. Sehingga diperoleh panjang awal dan panjang akhir.

Menggunakan mesin uji tarik COM-TEN 95T Series, alat ini berfungsi untuk mengetahui kekuatan tarik suatu bahan. Alat uji tarik ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Merk	:	COM-TEN testing machine 95T Series 5K
Kapasitas maksimal	:	5000 pounds
Range kecepatan	:	0,06 – 3 inches/min

Load cell : TSB0050
 Kontrol pengujian : Otomatis dengan com-touch total kontrol

2. Uji Morfologi (SEM)

Pengujian ini dilakukan pada sampel yang telah kering kemudian dilakukan proses pengujian sehingga dari data yang ditampilkan oleh SEM dapat ditarik kesimpulan mengenai sifat morfologi dari biokomposit tersebut.

Alat ini memiliki spesifikasi yaitu Hitachi seri 3400 N dengan perbesaran maksimal 1 juta kali. Pengujian ini digunakan untuk menentukan dispersi dari serat dalam matriks, sifat adesi antara serat dan matrix, dan ada/tidaknya rongga yang terbentuk.

3.5.2 Analisa Data

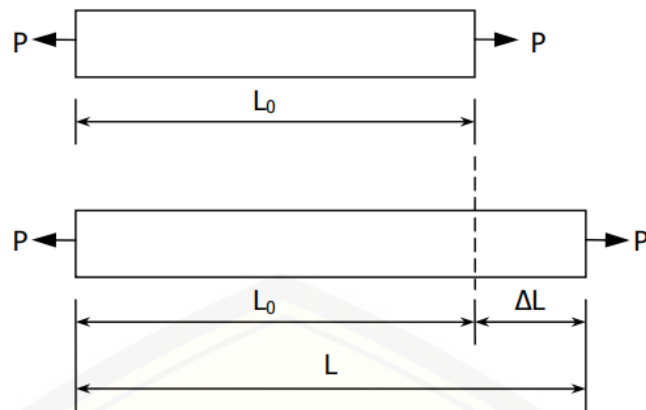
1. Uji Tarik

Hasil dari pengujian tarik didapatkan data panjang awal, panjang akhir, luas penampang, dan gaya kuat tarik. Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan membujur rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda uji.:

$$\text{Tegang: } \sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots (3.1)$$

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan rekayasa adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (*gage length*) benda uji, ΔL , dengan panjang awalnya, L_0 .

$$\text{Reganga } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots (3.2)$$



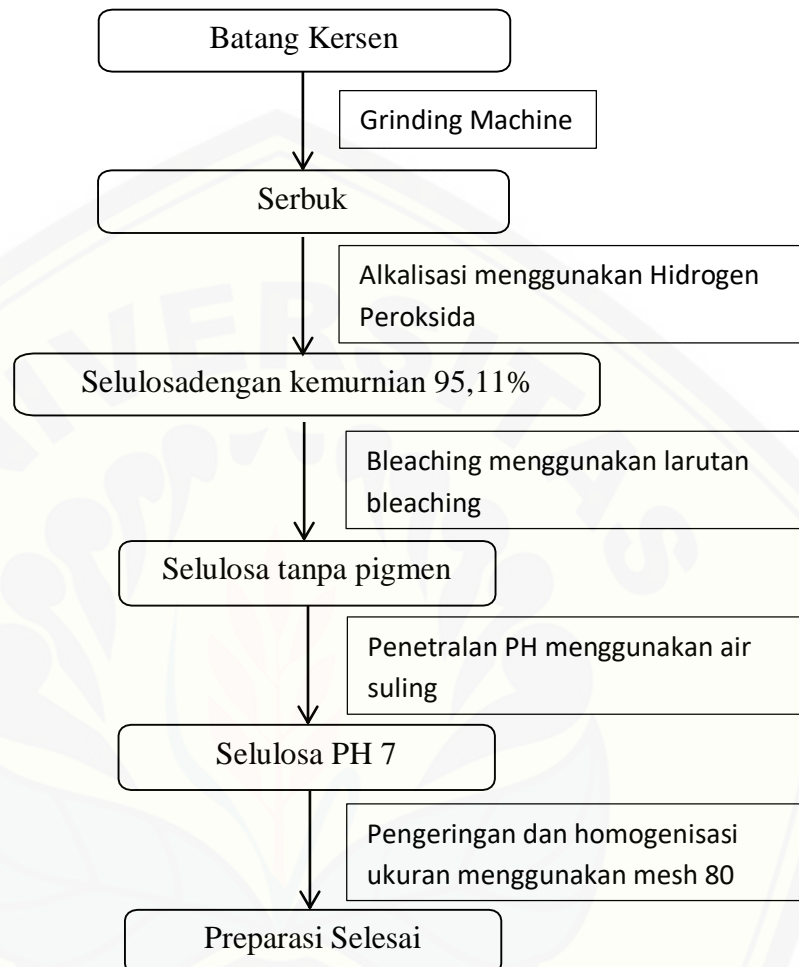
Gambar 3.1 Ilustrasi Pengaruh Beban Terhadap Penambahan Panjang

2. Uji Morfologi (SEM)

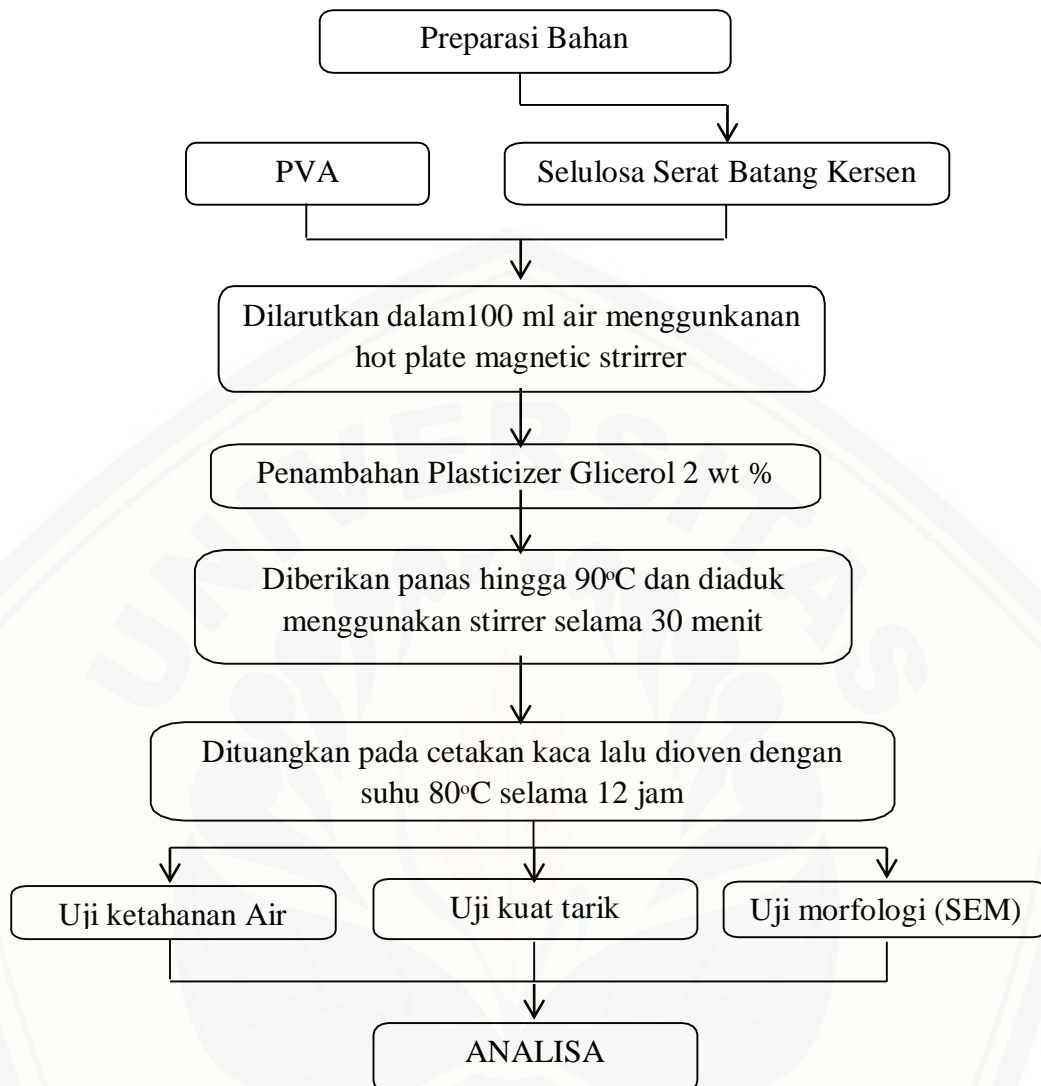
Dari data keluaran (*output*) yang diberikan oleh SEM, kita dapat melihat bagaimana struktur mikro, penyebaran serat, maupun kecacatan yang dapat terjadi selama pemrosesan. Dimana hal tersebut akan berpengaruh dengan sifat mekanis, *thermal* dan sifat ketahanan terhadap air.

3.6 Diagram Penelitian

3.6.1 Preparasi Bahan (Selulosa)



3.6.2 Pembuatan Biokomposit



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil percobaan dan analisa diatas dapat diketahui bahwa modifikasi tersebut menunjukkan bahwa nilai kuat tarik komposit mengalami penurunan dengan bertambahnya fraksi volume serat komposit. Kekuatan tarik pada fraksi volume 0% adalah 6,8 MPa, pada 2% adalah 5,8 MPa, pada 4% adalah 2,5 MPa, pada 6% adalah 3,8 MPa dan pada 8% adalah 3 MPa. Nilai regangan tarik pada fraksi volume 0% 5,52%, pada Vf 2% 4,87%, pada Vf 4% 2,45%, pada Vf 6% 3,04% dan pada Vf 8% 2,75%. Nilai modulus elastisitas pada fraksi volume 0% adalah 0,81 MPa, pada Vf 2% 1,25 MPa, pada 4% Vf 1,3 MPa, pada 6% Vf 1,38 MPa dan pada Vf 8% 1,82 MPa.

Penurunan kekuatan tarik dan regangan tarik disebabkan oleh berbagai hal, antara lain: proses ekstraksi serat, perlakuan basa untuk pembersihan serat. Proses pengambilan serat dilakukan dengan penggilingan berulang-ulang untuk memperkecil ukuran serat. Perlakuan mekanis ini dapat merusak serat sehingga kekuatannya akan berkurang. Perlakuan alkaline bertujuan untuk membersihkan serat dari lapisan lignin yang membungkus serat atau kotoran yang menempel pada serat sehingga ikatan antara matriks dan serat lebih kuat. Jika terlalu lama atau konsentrasi larutan terlalu tinggi maka akan merusak sel serat utama sehingga serat menjadi rapuh dan kekuatannya akan berkurang. Ada juga proses bleaching yang bertujuan untuk menghilangkan pigmen warna agar plastik yang dihasilkan terlihat bening. Hal ini dapat menyebabkan serat menjadi lebih rapuh.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan optimasi dalam upaya penghomogenan antara serat dengan matriks supaya dapat mengurangi kecacatan dan hasil yang didapatkan lebih optimal.

2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai penambahan konsentrasi serat yang lebih tinggi karena dalam penelitian ini hanya dibatasi dengan konsentrasi serat sebesar 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%.
3. Perlu diperhatikan diantaranya proses pengambilan serat dan perlakuan alkali untuk pembersihan serat. Proses pengambilan serat yang dilakukan dengan penggilingan yang berulang-ulang untuk memperkecil ukuran serat. Perlakuan mekanik ini dapat merusak serat sehingga kekuatannya akan berkurang. Lama perendaman alkali dapat meningkatkan kekuatan tarik, bending dan modulus elastisitasnya sampai batas tertentu kemudian menurun. Jika terlalu lama atau konsentrasi larutan terlalu tinggi akan merusak sel-sel serat utamanya sehingga serat menjadi rapuh dan kekuatannya akan berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Sujatno, Rohmad Salam. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, PSTBM-BATAN
- Boon Khoon Tan, Yern Chee Ching. 2015. A Review of Natural Fiber Reinforced Poly(Vinyl Alcohol) Based Composites: Application and Opportunity. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia
- Cleber Marcos Ribeiro Dias, Vanderley M. John. 2011. Performance of PVA and Cellulose Reinforced Fiber Cement in Different Brazilian Climates. Porto, Portugal.
- D. Mc Mullan. 2015. Scanning Electron Microscopy 1928–196. Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Cambridge, U.K
- D Hikmawati, A R Rohmadanik, A P Putra. 2018. The Effect of Aloe vera Extract Variation in Electrospun Polyvinyl Alcohol (PVA)-Aloe vera-Based Nanofiber Membrane. Biomedical Engineering Study Program, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia
- Dewi Sriana S Pane, Idral Amri, Zultiniar. 2017. Pengaruh Konsentrasi Filler Serat Daun Nanas (*Ananas comosus*) dan PVA (Polivinil Alkohol) pada Sintesis Bioplastik dari Pati Biji Nangka. Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Binawidya, Simpang Baru, Panam Pekanbaru
- E. S. Iriania, T. T. Irawadib, T. C. Sunartic. 2015. Effect of Corn Hominy and Polyvinyl Alcohol on Mechanical Properties of Cassava Starch-Baked Foam. Indonesian Center for Agricultural Postharvest Research and Development (ICAPRD), Indonesian Agency for Agricultural Research and Development, Bogor, West Java, Indonesia

- Falak O. Abas. 2016. Improvement Of Mechanical Properties Of Polyvinyl Alcohol By Addition Of Biomaterial (Okra Shell And Peel Peas) For Production Of Environmentally Friendly Products. Environmental Research Center / University of Technology
- Hamid Reza Pakravan, Masoud Latifi. 2014. Ductility Improvement Of Cementitious Composites Reinforced With Polyvinyl Alcohol Hybrid Fiber. Textile Engineering Department, Textile Excellence & Research Centers, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
- Hayden K. Webb. 2003. Plastic Degradation and Its Environmental Implications with Special Reference to Poly(ethylene terephthalate). Faculty of Life and Social Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Australia
- Ing Kong, Jack Ting Bick Shang. 2016. Study Of Properties Of Coconut Fibre Reinforced Poly (Vinyl Alcohol) As Biodegradable Composites. Department of Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, University of Nottingham, Malaysia Campus, Jalan Broga, Semenyih, Selangor, Malaysia.
- Kendri Wahyuningsih, Evi Savitri Iriani. 2016. Utilization of Cellulose from Pineapple Leaf Fibers as Nanofiller in Polyvinyl Alcohol-Based Film. Indonesian Center for Agricultural Postharvest Research and Development Jl. Tentara Pelajar No.12 Cimanggu-Bogor 16114, West Java, Indonesia
- Marcus Eriksen. 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. Five Gyres Institute, Los Angeles, California, United States of America
- P. Adelina. 2018. Pemanfaatan Limbah Kayu Eukaliptus Sebagai Nanoserat Selulosa untuk Penguat Film Nanokomposit dengan Matriks Polivinil Alkohol. Institusi USU, Universitas Sumatera Utara

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Dokumentasi Foto Penelitian



Batang Kersen



Proses Pengecilan Ukuran Serat



Hasil Serutan Batang Kersen



Proses Alkalisasi Serat



Proses Pelunakan Serat
Menggunakan Presto



Proses Bleaching Serat



Hasil Serat Setelah Dilakukan
Perlakuan



Proses Penimbangan Serat



Pembuatan Cetakan Kaca



Proses Penambahan PVA Sesuai
Fraksi Volume Pada Magnetic
Stirrer



Proses Penimbangan PVA



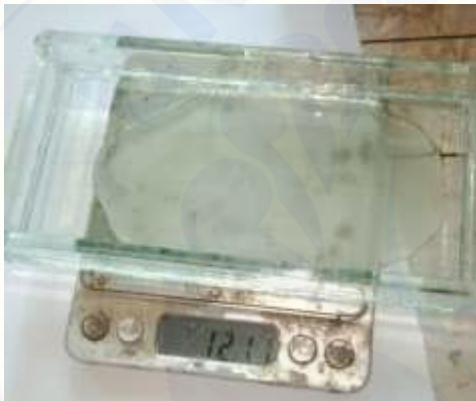
Proses Penambahan Serat Sesuai
Fraksi Volume pada Magnetic
Stirrer



Proses Homogenisasi
Menggunakan Magnetic Stirrer



Hasil Komposit Setelah
Dikeringkan



Proses Penuangan Komposit Pada
Cetakan Kaca



Proses Pelepasan Komposit Dari
Cetakan



Proses Pengeringan Komposit
Menggunakan Oven



Proses Pemotongan Komposit
Sesuai ASTM Untuk Pengujian
Tarik



Pengelompokan Komposit Sesuai
Dengan Fraksi Volume Serat





Alat Pengujian; *Universal Testing
Machine*



Alat Pengujian; Mesin SEM TM-
3300

LAMPIRAN 2 Tabel Film Bioplastik Sebelum dan Sesudah Uji Tarik

Fraksi massa	Sebelum Uji Tarik	Sesudah Uji Tarik
0%		
2%		
4%		

6%



8%



LAMPIRAN 3 Pengolahan Data Hasil Uji Tarik Biokomposit dengan Matriks PVA dan Serat Selulosa Batang Kersen

0%		
NO	X	Y
1	675.6439819	0.51121212
2	486.0871887	0.520389189
3	745.4365845	0.563354763
4	753.4887695	0.740226961
5	678.5969849	0.663605807
RATA-RATA	667.8507019	0.599757768

2%		
NO	X	Y
1	739.4477539	0.701445331
2	716.5042114	0.765802232
3	526.9785767	0.738989095
4	546.9356079	0.869881904
5	577.852356	0.65987567
RATA-RATA	621.5437012	0.747198847

4%		
NO	X	Y
1	364.3843994	0.419635474
2	254.6615906	0.330638755
3	390.3201904	0.429726449
4	117.9973984	0.205679942
5	221.7383881	0.292486092
RATA-RATA	269.8203934	0.335633342

6%		
NO	X	Y
1	468.1235962	0.566498448
2	383.3509827	0.533458464
3	351.415802	0.300177168
4	322.4891968	0.553245536
5	480.1159973	0.650552325
RATA-RATA	401.099115	0.520786388

8%		
NO	X	Y
1	314.5123901	0.514679587
2	213.7593994	0.451079313
3	301.5865784	0.557997819
4	269.6201782	0.590428347
5	354.4060059	0.570057072
RATA-RATA	290.7769104	0.536848427

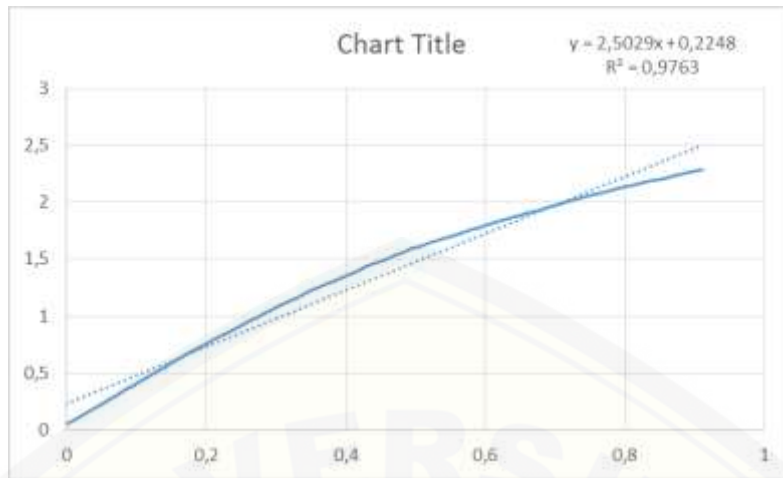
LAMPIRAN 4 Hasil Modulus Elastisitas Biokomposit dengan Matriks PVA dan Serat Selulosa Batang Kersen



- **Fraksi Massa Selulosa 0%**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	1,56E-15
Observations	338

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-0,00275	1,65E-16	-1,7E+13	0	-0,00275	-0,00275	-0,00275	-0,00275
X Variable 1	1,3773	8,7E-17	1,58E+16	0	1,3773	1,3773	1,3773	1,3773

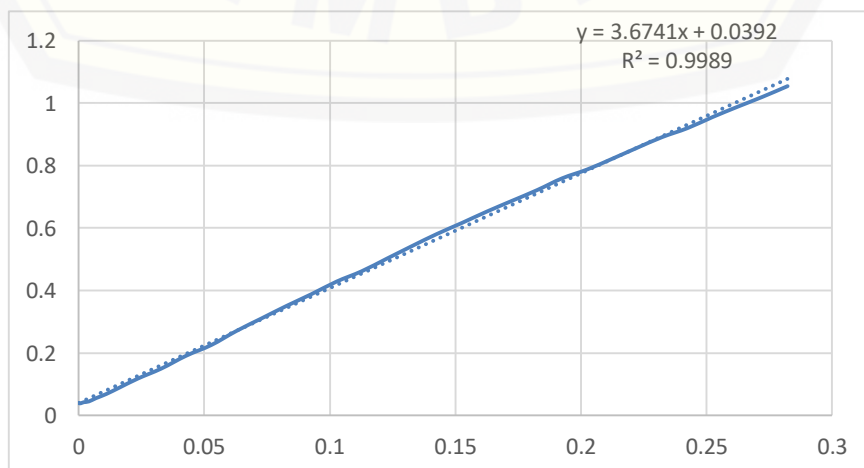


- **Fraksi Massa Selulosa 2%**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	1,29E-15
Observations	562

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-0,00501	1,07E-16	-4,7E+13	0	-0,00501	-0,00501	-0,00501	-0,00501
X Variable 1	2,5029	3,36E-17	7,44E+16	0	2,5029	2,5029	2,5029	2,5029

- **Fraksi Massa Selulosa 4%**

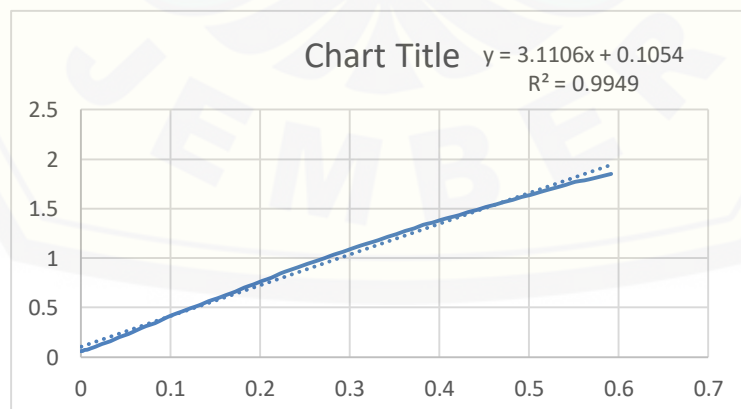


Regression Statistics	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	1,79E-
Observations	317

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	3558,829	3558,829	1,12E+33	0
Residual	315	1,01E-27	3,19E-30		
Total	316	3558,829			

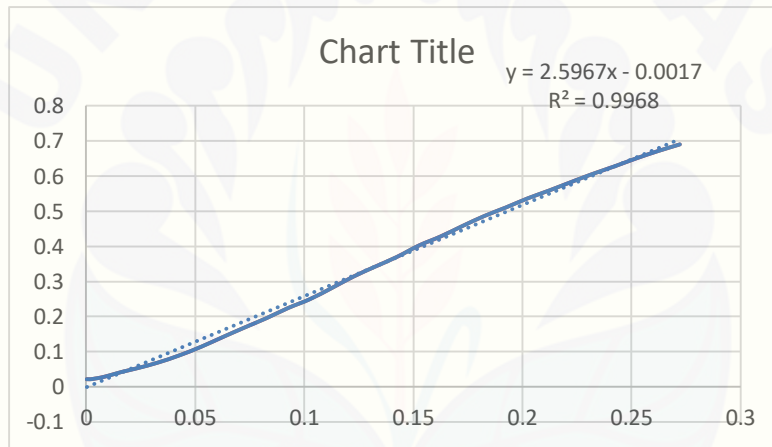
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-0,00735	1,96E-16	-3,8E+13	0	-0,00735	-0,00735	-0,00735	-0,00735
X Variable 1	3,6741	1,1E-16	3,34E+16	0	3,6741	3,6741	3,6741	3,6741



- **Fraksi Massa Selulosa 6%**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	1,42E-14
Observations	680

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-0,00622	1,08E-15	-5,8E+12	0	-0,00622	-0,00622	-0,00622	-0,00622
X Variable 1	3,1106	2,78E-16	1,12E+16	0	3,1106	3,1106	3,1106	3,1106



- **Fraksi Massa Selulosa 8%**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	1
R Square	1
Adjusted R Square	1
Standard Error	1,85E-16
Observations	118

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	-0,00519	3,2E-17	-1,6E+14	0	-0,00519	-0,00519	-0,00519	-0,00519
X Variable 1	2,5967	5,03E-17	5,16E+16	0	2,5967	2,5967	2,5967	2,5967

LAMPIRAN 5 Data Nilai Tegangan dan Regangan

Fraksi Volume 0% Serat

X = ϵ (%)	Y = σ (N/mm ²)				
0.0218	0.006872	32.2122	0.107448	71.1156	0.204693
0.087	0.006872	33.2106	0.110572	72.1116	0.206359
0.211	0.006872	34.2068	0.113903	73.1112	0.208441
0.4066	0.00708	35.2052	0.116402	74.10699	0.210524
0.6948	0.007705	36.202	0.119317	75.106	0.211981
1.0944	0.009579	37.2008	0.121816	76.1018	0.213439
1.6382	0.011245	38.197	0.124732	77.101	0.214897
2.3574	0.013952	39.196	0.128063	78.097	0.217812
3.2858	0.015617	40.1924	0.129521	79.09579	0.219894
4.2822	0.018533	41.1908	0.133061	80.0922	0.221977
5.2804	0.021448	42.187	0.136393	81.0906	0.22385
6.277	0.024571	43.186	0.138475	82.087	0.225933
7.2752	0.028528	44.182	0.141182	83.08559	0.227182
8.2722	0.032484	45.1812	0.143264	84.0824	0.229265
9.2704	0.035816	46.177	0.145555	85.0806	0.23093
10.2668	0.038731	47.176	0.14847	86.0774	0.232805
11.2654	0.041647	48.1718	0.151177	87.0756	0.235511
12.262	0.045187	49.1708	0.153676	88.0726	0.236345
13.26	0.048518	50.1666	0.155966	89.0704	0.238218
14.2572	0.05185	51.1654	0.158465	90.06779	0.240301
15.255	0.054974	52.1616	0.161381	91.0656	0.241759
16.252	0.058305	53.16	0.16388	92.0628	0.243633
17.2502	0.061637	54.1568	0.16617	93.061	0.245507
18.2472	0.064969	55.1554	0.168669	94.058	0.246548
19.2452	0.067259	56.1516	0.170543	95.0556	0.248005
20.242	0.071007	57.1504	0.173666	96.0532	0.249671
21.24	0.074131	58.1468	0.175124	97.05099	0.251337
22.2372	0.077671	59.1452	0.178039	98.048	0.25342
23.2352	0.081211	60.1418	0.179913	99.0462	0.254877
24.2322	0.083918	61.1404	0.182204	100.0434	0.25696
25.2302	0.086833	62.137	0.184703	101.041	0.258001
26.2272	0.08954	63.1354	0.186785	102.0388	0.259458
27.2252	0.092455	64.1318	0.189076	103.0366	0.261333
28.222	0.096412	65.1302	0.191158	104.0338	0.262165
29.2204	0.098494	66.1268	0.194073	105.0314	0.263623
30.217	0.102034	67.1256	0.196156	106.0288	0.265705
31.2154	0.105158	68.1224	0.198446	107.0262	0.266538
		69.12099	0.199904	108.0232	0.268412
		70.1172	0.201778	109.0212	0.269453

110.0186	0.271328
111.016	0.272785
112.0134	0.274451
113.0112	0.275909
114.0084	0.276533
115.0062	0.278199
116.0036	0.27924
117.0014	0.28049
117.9988	0.282156
118.9962	0.283405
119.994	0.284655
120.9914	0.285904
121.9892	0.287154
122.9858	0.287778
123.9836	0.289236
124.9806	0.290902
125.9784	0.292151
126.9756	0.293817
127.9734	0.294858
128.9704	0.296316
129.9688	0.297565
130.9662	0.297773
131.9636	0.299231
132.9608	0.299647
133.9584	0.30048
134.956	0.30173
135.9536	0.302563
136.951	0.30402
137.9486	0.305478
138.9458	0.306102
139.9434	0.30756
140.9412	0.30881
141.9384	0.309643
142.936	0.310684
143.9334	0.311517
144.9312	0.312766
145.9286	0.313599
146.926	0.314224
147.9236	0.315473
148.921	0.316098
149.9186	0.317347
150.9158	0.318805
151.9136	0.319221

152.911	0.320054
153.9084	0.320471
154.9054	0.321096
155.9036	0.322137
156.9012	0.322345
157.8988	0.324219
158.8962	0.325468
159.894	0.325885
160.8914	0.326926
161.8886	0.328384
162.8866	0.328384
163.8836	0.329425
164.8816	0.330049
165.8788	0.330882
166.8766	0.331715
167.874	0.331923
168.8714	0.333173
169.869	0.334006
170.8666	0.334839
171.8642	0.335464
172.8616	0.336296
173.859	0.337129
174.8566	0.337962
175.854	0.338587
176.8516	0.339628
177.849	0.339836
178.8466	0.340461
179.844	0.340669
180.8416	0.34171
181.8386	0.342543
182.8364	0.34296
183.8334	0.343376
184.8306	0.344626
185.8288	0.345042
186.8264	0.346292
187.8238	0.3465
188.8214	0.347124
189.8186	0.347541
190.8162	0.34879
191.8138	0.348999
192.8116	0.349623
193.8084	0.349832
194.8066	0.350456

195.8038	0.350456
196.8012	0.351289
197.7984	0.351706
198.7962	0.352331
199.7938	0.352331
200.7912	0.352747
201.7888	0.353372
202.7866	0.354621
203.7844	0.354829
204.7816	0.355037
205.7794	0.355246
206.7766	0.355662
207.7742	0.356495
208.7716	0.35712
209.769	0.357745
210.7668	0.358369
211.7638	0.358577
212.7618	0.358785
213.759	0.358994
214.7566	0.358994
215.7542	0.360035
216.7518	0.36066
217.7492	0.361493
218.7468	0.361909
219.7442	0.362326
220.742	0.362326
221.7396	0.362742
222.7372	0.36295
223.7344	0.363367
224.732	0.363783
225.7294	0.363783
226.727	0.364199
227.7246	0.364199
228.7222	0.365033
229.7196	0.365657
230.7172	0.366907
231.7144	0.367115
232.7124	0.367115
233.71	0.367323
234.7072	0.367323
235.705	0.368364
236.7024	0.369197
237.6998	0.369197

238.6976	0.369197
239.6946	0.369406
240.7222	0.369406
241.7194	0.37003
242.7174	0.370655
243.7146	0.370655
244.7126	0.371904
245.7096	0.372113
246.7076	0.372113
247.7046	0.372113
248.7026	0.372737
249.6996	0.37357
250.6978	0.373778
251.6946	0.373986
252.6922	0.373986
253.6894	0.373986
254.6874	0.374403
255.6846	0.37482
256.6822	0.375652
257.6794	0.375861
258.6774	0.375861
259.675	0.376277
260.6724	0.376486
261.6696	0.37711
262.6674	0.377318
263.6644	0.377735
264.6622	0.378151
265.66	0.378359
266.6572	0.378568
267.6544	0.378568
268.6522	0.378984
269.649	0.379193
270.6472	0.380234
271.644	0.380442
272.6426	0.380442
273.639	0.380858
274.6378	0.382108
275.634	0.382108
276.632	0.382316
277.6288	0.382524
278.627	0.382524
279.6242	0.382941
280.622	0.383149

281.619	0.383565
282.617	0.383982
283.6138	0.383982
284.612	0.383982
285.6086	0.383982
286.607	0.384398
287.6036	0.385023
288.602	0.385023
289.5988	0.385023
290.5972	0.386064
291.5938	0.386272
292.5918	0.386897
293.589	0.386897
294.5872	0.387314
295.5842	0.387522
296.5822	0.387938
297.579	0.387938
298.5772	0.387938
299.574	0.387938
300.5722	0.388355
301.569	0.388355
302.5668	0.390229
303.564	0.390229
304.5626	0.390229
305.5594	0.390437
306.5574	0.39127
307.5542	0.39127
308.5524	0.391478
309.5492	0.391686
310.5476	0.391895
311.5442	0.392519
312.5424	0.392519
313.5392	0.393561
314.537	0.393561
315.534	0.393977
316.5326	0.393977
317.5294	0.393977
318.5274	0.395226
319.524	0.395226
320.5222	0.396059
321.5194	0.396059
322.5172	0.396268
323.5146	0.396684

324.5122	0.3971
325.5096	0.397309
326.5074	0.398766
327.5046	0.398766
328.5022	0.398766
329.4994	0.398975
330.4972	0.399183
331.4946	0.399183
332.4918	0.400016
333.4894	0.400432
334.4874	0.400849
335.4846	0.401265
336.4822	0.401265
337.4796	0.401265
338.4776	0.401682
339.4746	0.40189
340.4722	0.402931
341.4692	0.403348
342.467	0.403764
343.474	0.403764
344.4724	0.403764
345.469	0.40418
346.4672	0.40418
347.4638	0.404389
348.4622	0.404805
349.4588	0.405013
350.457	0.405221
351.454	0.405638
352.4522	0.406055
353.4492	0.406679
354.4472	0.407096
355.4444	0.407096
356.442	0.407096
357.4394	0.40772
358.437	0.40772
359.4348	0.40772
360.432	0.408345
361.4292	0.408762
362.4266	0.408762
363.424	0.40897
364.4218	0.409803
365.4196	0.409803
366.4168	0.410011

367.4146	0.410428
368.412	0.410428
369.4092	0.410428
370.4072	0.410636
371.404	0.410636
372.402	0.41126
373.3992	0.41126
374.3974	0.41126
375.3942	0.411677
376.3922	0.411677
377.3894	0.411677
378.3876	0.412301
379.3842	0.41251
380.3824	0.412718
381.3794	0.412926
382.3776	0.413343
383.3746	0.413343
384.3724	0.414384
385.3698	0.414384
386.3676	0.414384
387.3646	0.4148
388.363	0.4148
389.3598	0.4148
390.3574	0.415008
391.3548	0.415217
392.3528	0.415633
393.3502	0.415842
394.3478	0.415842
395.345	0.416674
396.3428	0.417507
397.3404	0.417507
398.3382	0.417507
399.3356	0.41834
400.3328	0.418757
401.3304	0.418757
402.328	0.418757
403.3252	0.418757
404.323	0.419381
405.3204	0.41959
406.3178	0.41959
407.3152	0.41959
408.3134	0.420006
409.3104	0.420006

410.3078	0.420214
411.3052	0.420631
412.3032	0.421047
413.3004	0.421255
414.2976	0.421464
415.295	0.421672
416.2924	0.421672
417.29	0.422505
418.2874	0.422505
419.2852	0.42313
420.2824	0.423546
421.28	0.423546
422.2776	0.423754
423.2752	0.424171
424.272	0.424795
425.2704	0.426253
426.2676	0.426253
427.2656	0.426253
428.2624	0.426669
429.2604	0.426669
430.2574	0.427086
431.2556	0.427294
432.2522	0.427711
433.2504	0.427711
434.2474	0.428335
435.2454	0.428335
436.2416	0.428335
437.2404	0.42896
438.237	0.429168
439.2356	0.429376
440.2322	0.429793
441.2304	0.430001
442.2272	0.431459
443.2254	0.431667
444.2222	0.431667
445.2204	0.431667
446.2172	0.431667
447.2154	0.431667
448.2118	0.4325
449.2104	0.432917
450.2066	0.433333
451.2056	0.433541
452.2022	0.433541

453.2008	0.433541
454.1968	0.434583
455.1954	0.434999
456.192	0.43604
457.1908	0.436665
458.1872	0.436665
459.1858	0.436873
460.1822	0.43729
461.1808	0.43729
462.177	0.437498
463.1756	0.438122
464.172	0.438122
465.171	0.438955
466.1668	0.438955
467.1658	0.438955
468.162	0.439372
469.1614	0.440205
470.1568	0.441246
471.156	0.441662
472.1516	0.441662
473.1506	0.441662
474.1468	0.442704
475.1456	0.442704
476.1414	0.443328
477.1406	0.443745
478.137	0.443745
479.1352	0.443745
480.1322	0.443953
481.1304	0.444994
482.1266	0.445827
483.1258	0.445827
484.122	0.445827
485.1204	0.447076
486.1174	0.447076
487.1158	0.447285
488.1122	0.448534
489.1106	0.44895
490.1074	0.449159
491.1056	0.449784
492.1024	0.449784
493.101	0.449784
494.0974	0.4502
495.0956	0.4502

496.0924	0.4502
497.0908	0.451241
498.0872	0.451658
499.0862	0.452074
500.0824	0.452699
501.0806	0.452907
502.0772	0.453323
503.0758	0.454156
504.0726	0.454989
505.0706	0.455197
506.0676	0.455822
507.0658	0.455822
508.063	0.455822
509.0606	0.456447
510.0578	0.456655
511.0556	0.457072
512.0532	0.457488
513.051	0.457904
514.0484	0.458737
515.0456	0.461028
516.0436	0.46082
517.0408	0.46082
518.0382	0.46082
519.036	0.46082
520.0334	0.46082
521.0308	0.461653
522.0286	0.461861
523.0258	0.462486
524.0236	0.462486
525.0206	0.462486
526.0186	0.462694
527.0158	0.46311
528.0134	0.464152
529.0108	0.46436
530.0086	0.464776
531.0058	0.465609
532.0036	0.465817
533.0006	0.466442
533.9984	0.466442
534.9956	0.466859
535.9934	0.467067
536.991	0.467691
537.9888	0.4679

538.986	0.4679
539.9838	0.468525
540.981	0.468941
541.9786	0.469566
542.976	0.47019
543.9738	0.47019
544.9708	0.47019
545.9688	0.471856
546.966	0.471856
547.9638	0.472897
548.961	0.473314
549.9588	0.473314
550.956	0.473314
551.9538	0.473939
552.9508	0.473939
553.9484	0.473939
554.9456	0.474355
555.9436	0.474355
556.9414	0.474563
557.9388	0.475396
558.9358	0.475396
559.9336	0.476229
560.931	0.476229
561.9284	0.47727
562.9258	0.47727
563.9234	0.477478
564.921	0.478311
565.9188	0.478311
566.916	0.479144
567.9138	0.479144
568.911	0.480394
569.9088	0.480394
570.9062	0.480394
571.9036	0.480602
572.9014	0.481019
573.8986	0.481227
574.8956	0.481851
575.8936	0.482476
576.8912	0.482476
577.8888	0.483517
578.8864	0.483725
579.8838	0.483725
580.8816	0.48435

581.879	0.484767
582.8768	0.484767
583.8738	0.484767
584.8714	0.484767
585.8688	0.485391
586.8664	0.485808
587.8638	0.486016
588.8614	0.486432
589.8588	0.486641
590.8566	0.486641
591.854	0.487682
592.8514	0.488515
593.849	0.488515
594.8464	0.488723
595.8442	0.489139
596.8416	0.489348
597.8392	0.49018
598.8364	0.49018
599.834	0.49018
600.8314	0.491014
601.8292	0.491014
602.8264	0.491222
603.8238	0.491222
604.8206	0.492055
605.8186	0.492888
606.8162	0.493721
607.8138	0.493721
608.8112	0.493721
609.8086	0.494345
610.8066	0.494553
611.8036	0.49497
612.8012	0.495595
613.799	0.495595
614.7966	0.495595
615.7938	0.495595
616.7912	0.496219
617.7886	0.496428
618.7864	0.497052
619.7836	0.497677
620.7814	0.498094
621.779	0.498094
622.7766	0.498302
623.7744	0.498718

624.7714	0.499343
625.7696	0.499759
626.7668	0.500176
627.764	0.500384
628.7616	0.500384
629.759	0.500592
630.7566	0.501009
631.7542	0.501633
632.7516	0.50205
633.7492	0.50205
634.747	0.50205
635.7444	0.502883
636.742	0.503299
637.7392	0.503924
638.7368	0.504132
639.734	0.504132
640.7322	0.504549
641.7294	0.504549

642.727	0.504549
643.7242	0.504965
644.722	0.505174
645.7194	0.506215
646.717	0.506215
647.7144	0.506215
648.712	0.506215
649.7096	0.506423
650.7072	0.506839
651.7046	0.507672
652.7022	0.507672
653.6998	0.508505
654.6972	0.508505
655.6946	0.508922
656.6922	0.509338
657.6896	0.509338
658.6872	0.509338
659.6844	0.509338

660.682	0.509338
661.6796	0.509338
662.677	0.509338
663.6744	0.510379
664.6728	0.510379
665.6694	0.510379
666.667	0.510379
667.6644	0.510379
668.6618	0.510588
669.6592	0.511004
670.657	0.511212
671.6542	0.511212
672.6522	0.511212
673.6486	0.511212
674.647	0.511212
675.644	0.511212

Fraksi Volume
Selulosa 2%

Fraksi volume 2%	
X = ϵ (%)	Y = σ (N/mm ²)
0.022	0.006633
0.088	0.006633
0.2114	0.007236
0.4074	0.008241
0.6944	0.009848
1.097	0.011657
1.64	0.014873
2.36	0.01829
3.2884	0.022511
4.2858	0.028339
5.2826	0.033565
6.2808	0.03859
7.2774	0.043011
8.275599	0.047835
9.2722	0.053463
10.2706	0.058286
11.2672	0.06311
12.2652	0.068135
13.2622	0.072355
14.2602	0.07738
15.2572	0.082606
16.2556	0.087429
17.2522	0.091851
18.2504	0.096876
19.2472	0.101096
20.2454	0.104915
21.2424	0.109337
22.2406	0.113558
23.2372	0.118382
24.2356	0.122602
25.2324	0.126823
26.2304	0.131446
27.2272	0.135264
28.2252	0.139887
29.2222	0.144108
30.221	0.148731
31.2176	0.15275

32.2152	0.156569
33.2124	0.160589
34.2102	0.16481
35.2074	0.168829
36.2058	0.172648
37.2028	0.176065
38.2008	0.180085
39.198	0.183702
40.196	0.186717
41.1926	0.190536
42.1908	0.194355
43.1874	0.197973
44.1854	0.201389
45.1824	0.205409
46.1808	0.208625
47.1776	0.212644
48.1758	0.216262
49.1728	0.219478
50.1706	0.223297
51.1678	0.226312
52.166	0.229527
53.1628	0.23214
54.1608	0.235356
55.1578	0.238572
56.1556	0.24219
57.153	0.244803
58.1506	0.248018
59.1476	0.251234
60.1458	0.254048
61.143	0.257264
62.1404	0.260278
63.1378	0.263695
64.1356	0.265906
65.133	0.269122
66.1302	0.271735
67.1278	0.274548
68.1254	0.277563
69.123	0.279171
70.1208	0.282387
71.1178	0.285
72.1158	0.287412
73.1124	0.291432
74.1106	0.293642

75.1074	0.296054
76.1058	0.299069
77.1026	0.30128
78.1004	0.303692
79.0978	0.306104
80.0954	0.308515
81.0928	0.31153
82.0904	0.31354
83.08739	0.31555
84.08559	0.318364
85.0826	0.319771
86.0806	0.322384
87.0778	0.324795
88.0754	0.327609
89.0726	0.329217
90.0704	0.331629
91.068	0.334644
92.0654	0.336051
93.0628	0.338463
94.06039	0.340874
95.058	0.343085
96.056	0.344693
97.0532	0.346502
98.0506	0.347708
99.04819	0.349517
100.0456	0.351728
101.043	0.353536
102.0406	0.35635
103.038	0.357958
104.036	0.359767
105.033	0.361375
106.031	0.363184
107.028	0.365194
108.0264	0.367204
109.0234	0.36841
110.0216	0.370218
111.0186	0.372429
112.0164	0.373233
113.0136	0.374841
114.0116	0.376851
115.0088	0.378459
116.0066	0.380268
117.0038	0.381474

118.0016	0.382881
118.998	0.384891
119.996	0.386699
120.9932	0.388307
121.9914	0.389915
122.9882	0.390518
123.9864	0.392126
124.9834	0.393734
125.9814	0.394739
126.9788	0.397151
127.9766	0.398759
128.9732	0.39896
129.9718	0.400165
130.9688	0.401773
131.9664	0.403381
132.9636	0.403783
133.962	0.405793
134.9584	0.407401
135.956	0.408808
136.9534	0.409813
137.9516	0.411421
138.9484	0.411823
139.9464	0.413431
140.9434	0.414436
141.9414	0.416044
142.9386	0.417451
143.9362	0.417852
144.9336	0.419259
145.9312	0.420264
146.9284	0.421872
147.9262	0.423078
148.9234	0.423882
149.9208	0.424485
150.9182	0.426696
151.916	0.4275
152.9134	0.42951
153.9112	0.430314
154.9086	0.430515
155.9064	0.43152
156.9034	0.432725
157.901	0.433127
158.8986	0.434132
159.8964	0.435137

160.8932	0.436343
161.891	0.436946
162.8886	0.43775
163.8862	0.439157
164.8836	0.43976
165.8808	0.441368
166.8788	0.442172
167.8758	0.442775
168.874	0.443579
169.8708	0.445388
170.869	0.44579
171.866	0.446192
172.8638	0.447397
173.8608	0.448001
174.859	0.449005
175.8558	0.449206
176.854	0.450814
177.8508	0.451819
178.8488	0.452422
179.8456	0.453829
180.8438	0.454633
181.8406	0.455437
182.839	0.455839
183.8358	0.456643
184.8338	0.457849
185.8306	0.458452
186.8284	0.458854
187.8262	0.459457
188.8238	0.459457
189.8202	0.460462
190.819	0.460864
191.8158	0.461869
192.814	0.462673
193.8104	0.463075
194.8094	0.46408
195.8056	0.464683
196.804	0.465486
197.8006	0.466291
198.7988	0.467094
199.7956	0.468099
200.794	0.468501
201.7906	0.468903
202.7894	0.469104

203.7856	0.469908
204.7842	0.47031
205.7806	0.471315
206.779	0.471918
207.7754	0.471918
208.7742	0.473124
209.7706	0.474129
210.7688	0.474531
211.7652	0.474933
212.7646	0.475737
213.7604	0.476742
214.7596	0.476742
215.7556	0.477546
216.754	0.477746
217.7508	0.478752
218.7492	0.478953
219.746	0.478953
220.7444	0.479354
221.7406	0.480561
222.7394	0.480762
223.7356	0.481364
224.7346	0.48257
225.7308	0.483173
226.7292	0.484379
227.726	0.484379
228.7244	0.484982
229.7212	0.485183
230.7192	0.485585
231.716	0.486389
232.7142	0.48659
233.7112	0.486791
234.7092	0.487394
235.7062	0.488198
236.7044	0.488801
237.7014	0.489806
238.6996	0.490409
239.6966	0.491012
240.6942	0.491414
241.6916	0.492419
242.69	0.492419
243.6866	0.493223
244.6848	0.493625
245.6818	0.493826

246.6798	0.494429
247.6772	0.495032
248.6752	0.495032
249.672	0.495233
250.67	0.495835
251.6672	0.496036
252.6648	0.496438
253.662	0.497042
254.66	0.497845
255.6574	0.498649
256.6548	0.499252
257.6524	0.499453
258.6498	0.501061
259.6472	0.501664
260.6448	0.501664
261.6424	0.501865
262.6398	0.502267
263.6376	0.502468
264.6348	0.50287
265.632	0.50287
266.6294	0.503473
267.627	0.504076
268.6244	0.504277
269.622	0.505483
270.6196	0.506689
271.6168	0.50689
272.6144	0.507091
273.612	0.507694
274.6092	0.508096
275.607	0.508297
276.6044	0.508699
277.602	0.509302
278.5996	0.509704
279.597	0.509704
280.5944	0.509905
281.5918	0.510306
282.5892	0.51091
283.587	0.511312
284.5844	0.511914
285.582	0.512718
286.5796	0.513321
287.577	0.513924
288.5748	0.514125

289.572	0.514728
290.5696	0.514929
291.5672	0.515733
292.5644	0.516336
293.562	0.516537
294.5594	0.516537
295.5572	0.516738
296.5544	0.517542
297.5524	0.518346
298.5496	0.518949
299.5472	0.519552
300.5438	0.519954
301.5422	0.520758
302.5394	0.521562
303.5372	0.521964
304.5348	0.522969
305.5322	0.522969
306.53	0.522969
307.5274	0.52317
308.5252	0.52317
309.5224	0.523572
310.5198	0.523974
311.5174	0.524979
312.515	0.524979
313.5122	0.525783
314.5102	0.525783
315.5074	0.526385
316.5052	0.527391
317.5026	0.527793
318.4998	0.527793
319.4976	0.529199
320.4952	0.5294
321.4928	0.529802
322.4898	0.530003
323.4876	0.530204
324.485	0.530807
325.4826	0.53141
326.48	0.53141
327.4776	0.531611
328.4748	0.532817
329.4724	0.533219
330.4692	0.533219
331.468	0.533822

332.4648	0.535229
333.4624	0.53543
334.4592	0.535832
335.4576	0.536033
336.4548	0.536033
337.4522	0.536435
338.4498	0.536435
339.4474	0.537038
340.4448	0.537641
341.4424	0.537641
342.4394	0.538244
343.438	0.538847
344.4346	0.539048
345.4324	0.539651
346.43	0.540254
347.4276	0.540856
348.4248	0.541058
349.4226	0.54146
350.4198	0.541661
351.4176	0.542665
352.4148	0.543067
353.4126	0.543269
354.4098	0.544474
355.4074	0.544474
356.4046	0.544876
357.4024	0.544876
358.4	0.545077
359.3976	0.545479
360.3948	0.546886
361.3928	0.547288
362.3898	0.547489
363.3878	0.54769
364.385	0.547891
365.383	0.548494
366.3804	0.548896
367.3778	0.549499
368.3752	0.550102
369.3728	0.550102
370.3702	0.550102
371.368	0.550504
372.3656	0.550705
373.3626	0.55171
374.3602	0.551911

375.3582	0.553117
376.3554	0.553318
377.3534	0.553318
378.3508	0.553318
379.3484	0.554524
380.3458	0.55573
381.3432	0.55573
382.3406	0.55573
383.3382	0.55573
384.3356	0.55573
385.333	0.556132
386.3306	0.556735
387.328	0.557337
388.3258	0.558744
389.3234	0.558744
390.3214	0.558744
391.3186	0.559951
392.3158	0.560955
393.313	0.561558
394.3108	0.56196
395.308	0.562362
396.3058	0.562362
397.3032	0.562764
398.3008	0.562764
399.298	0.562764
400.2958	0.563166
401.293	0.563769
402.2906	0.564171
403.2882	0.564573
404.2858	0.564975
405.283	0.565176
406.2812	0.56598
407.278	0.566985
408.2762	0.567387
409.2732	0.56799
410.2714	0.56799
411.2676	0.568995
412.2654	0.569799
413.2624	0.569799
414.2606	0.569799
415.2574	0.569799
416.2556	0.570402
417.2524	0.570603

418.2504	0.571206
419.2476	0.572211
420.2458	0.573215
421.2424	0.573416
422.2402	0.573416
423.2376	0.57402
424.2356	0.574422
425.2324	0.574823
426.2306	0.575225
427.2274	0.575426
428.2252	0.575627
429.2224	0.575828
430.2204	0.576231
431.2176	0.576431
432.2152	0.576632
433.2132	0.577436
434.211	0.577838
435.2076	0.578039
436.2058	0.578843
437.2024	0.579044
438.2004	0.579848
439.1976	0.579848
440.1958	0.581255
441.1924	0.581255
442.191	0.581255
443.1876	0.582059
444.1858	0.582461
445.1828	0.582461
446.1808	0.583265
447.178	0.583466
448.1756	0.583868
449.1726	0.584873
450.1712	0.585275
451.1682	0.586079
452.166	0.586883
453.163	0.587486
454.161	0.587486
455.1582	0.587687
456.1558	0.588491
457.153	0.588491
458.1506	0.588893
459.1478	0.588893
460.1458	0.588893

461.1428	0.589294
462.141	0.589294
463.1378	0.5903
464.136	0.591103
465.1328	0.591304
466.1308	0.59251
467.1278	0.59251
468.1258	0.592912
469.123	0.593716
470.1212	0.59452
471.1176	0.59452
472.1158	0.594721
473.1128	0.595123
474.1108	0.595123
475.108	0.595726
476.1056	0.595927
477.1026	0.596731
478.1002	0.597133
479.0976	0.597133
480.096	0.597133
481.093	0.598138
482.0906	0.598942
483.0878	0.600148
484.0856	0.60055
485.0828	0.600952
486.0798	0.601354
487.0776	0.601354
488.0752	0.601555
489.073	0.601555
490.0706	0.602158
491.0676	0.602359
492.0656	0.603364
493.0624	0.603364
494.0608	0.603565
495.0578	0.603765
496.0556	0.604771
497.0528	0.605976
498.0508	0.606177
499.048	0.60658
500.0456	0.60658
501.0432	0.606781
502.0408	0.607986
503.038	0.608388

504.0356	0.609192
505.033	0.609192
506.0306	0.609192
507.028	0.609393
508.0258	0.609795
509.023	0.610599
510.021	0.611202
511.0182	0.612006
512.0162	0.612207
513.0132	0.612408
514.0112	0.613413
515.0082	0.614016
516.006	0.614619
517.0032	0.614619
518.0012	0.614619
518.998	0.61482
519.9964	0.61482
520.9932	0.615423
521.991	0.615825
522.9884	0.615825
523.9864	0.616428
524.9834	0.617031
525.9814	0.617433
526.9784	0.618237
527.9768	0.61884
528.9734	0.619443
529.9712	0.619644
530.9686	0.620045
531.9662	0.62085
532.9636	0.62085
533.9616	0.621051
534.9592	0.621252
535.957	0.621654
536.9538	0.621854
537.9522	0.622055
538.9486	0.622256
539.9468	0.623061
540.9438	0.623261
541.942	0.624266
542.9388	0.625673
543.937	0.626075
544.9338	0.626075
545.9318	0.626075

546.9288	0.626879
547.927	0.62708
548.9238	0.627482
549.922	0.627683
550.9186	0.627884
551.9168	0.627884
552.9138	0.627884
553.9118	0.628688
554.9092	0.629894
555.9066	0.630899
556.904	0.631502
557.9014	0.631703
558.8988	0.632105
559.8962	0.632708
560.8942	0.632708
561.8912	0.633914
562.8886	0.634115
563.886	0.634316
564.8838	0.634316
565.8812	0.634517
566.8786	0.634718
567.8762	0.636124
568.8738	0.636526
569.8708	0.636929
570.8686	0.637532
571.8662	0.637933
572.864	0.638536
573.861	0.639139
574.859	0.639541
575.856	0.640144
576.8538	0.640747
577.8508	0.641149
578.849	0.641149
579.846	0.64135
580.844	0.64135
581.841	0.642154
582.8388	0.642556
583.8362	0.64336
584.834	0.643561
585.8306	0.643963
586.8288	0.64537
587.8256	0.645772
588.824	0.646375

589.8204	0.646576
590.8188	0.64738
591.8154	0.647983
592.8142	0.648184
593.8102	0.648787
594.8088	0.648787
595.8054	0.649189
596.804	0.649591
597.8006	0.649993
598.7992	0.650194
599.7952	0.6514
600.794	0.652003
601.7902	0.652404
602.7896	0.653611
603.7856	0.653611
604.7844	0.653812
605.7806	0.654615
606.779	0.655017
607.7754	0.655419
608.7744	0.656022
609.7704	0.656223
610.7688	0.656223
611.7654	0.656223
612.7642	0.656424
613.7602	0.657027
614.7592	0.657429
615.7554	0.658434
616.7538	0.659439
617.7506	0.65964
618.749	0.660042
619.7456	0.661248
620.7438	0.661449
621.7406	0.66165
622.7392	0.66165
623.736	0.66165
624.7342	0.66165
625.7308	0.662655
626.7288	0.662856
627.7258	0.663459
628.7242	0.664464
629.721	0.664866
630.719	0.664866
631.716	0.665268

632.7146	0.666474
633.7108	0.666474
634.7098	0.666675
635.706	0.666675
636.7046	0.667278
637.7014	0.66768
638.6996	0.668283
639.6964	0.668283
640.6944	0.668283
641.6914	0.668885
642.6894	0.66969
643.6864	0.670292
644.6846	0.670493
645.6816	0.670895
646.6796	0.6719
647.6762	0.672503
648.6742	0.673307
649.6716	0.673709
650.6692	0.673709
651.6668	0.67391
652.6642	0.67592
653.662	0.67592
654.659	0.67592
655.657	0.67592
656.6542	0.67592
657.6518	0.676121
658.6494	0.676925
659.647	0.678131
660.6442	0.678131
661.6418	0.678734
662.6392	0.679337
663.637	0.679739
664.6342	0.680543
665.6318	0.680744
666.6292	0.680945
667.627	0.680945
668.6244	0.680945

669.6218	0.681347
670.6194	0.681347
671.6168	0.681548
672.6142	0.68195
673.612	0.682151
674.6094	0.682553
675.607	0.682955
676.6044	0.683558
677.602	0.684562
678.5996	0.685769
679.597	0.685969
680.5942	0.685969
681.592	0.686371
682.5894	0.686572
683.5872	0.686572
684.5844	0.686572
685.5824	0.686773
686.5792	0.687376
687.5772	0.687376
688.5744	0.687577
689.572	0.687778
690.5688	0.688582
691.5674	0.689185
692.5644	0.689989
693.5626	0.69019
694.5596	0.69019
695.5576	0.690793
696.555	0.691195
697.552	0.691396
698.5504	0.691396
699.5474	0.691396
700.5452	0.691396
701.5428	0.691597
702.5404	0.691798
703.5378	0.691798
704.535	0.693004
705.5322	0.693808

706.5302	0.694411
707.5272	0.695416
708.5252	0.695416
709.5224	0.695416
710.5198	0.69622
711.5176	0.696421
712.5148	0.696421
713.5126	0.696622
714.51	0.696622
715.5078	0.696823
716.505	0.697024
717.5026	0.697426
718.5	0.698029
719.4974	0.698431
720.494	0.698431
721.4926	0.699234
722.4896	0.699837
723.4878	0.699837
724.4848	0.699837
725.4828	0.699837
726.4802	0.699837
727.4778	0.699837
728.475	0.699837
729.4726	0.699837
730.47	0.699837
731.4674	0.699837
732.4648	0.699837
733.4624	0.699837
734.4598	0.70024
735.4574	0.700441
736.4548	0.701043
737.4526	0.701043
738.4498	0.701445
739.4478	0.701445

Fraksi Volume
Selulosa 4%

Fraksi volume 4%	
X = ϵ (%)	Y = σ (N/mm ²)
0.0216	0.007202
0.0874	0.007202
0.2108	0.007202
0.4068	0.008261
0.6954	0.008897
1.0962	0.01038
1.6396	0.012922
2.3598	0.015675
3.2882	0.019488
4.2848	0.024149
5.283	0.028385
6.28	0.032622
7.2776	0.037282
8.2746	0.041519
9.2726	0.045332
10.27	0.049992
11.268	0.05444
12.265	0.058042
13.2626	0.062066
14.2602	0.065667
15.2574	0.069268
16.2552	0.073929
17.2526	0.07753
18.25	0.081131
19.2474	0.084732
20.2448	0.088969
21.2426	0.09257
22.24	0.096171
23.2376	0.100196
24.2352	0.103585
25.2328	0.108033
26.23	0.111423
27.2278	0.114388
28.225	0.117989
29.2228	0.120955
30.2206	0.124768
31.2178	0.128369

32.216	0.130699
33.213	0.134512
34.2104	0.137478
35.2076	0.140867
36.2054	0.143833
37.2026	0.146374
38.1996	0.149764
39.1974	0.153153
40.1954	0.156119
41.1928	0.159296
42.1898	0.161415
43.1878	0.163957
44.1852	0.167134
45.1826	0.169252
46.18	0.171794
47.1774	0.17476
48.1748	0.176878
49.1726	0.179632
50.1698	0.182174
51.1676	0.185351
52.1646	0.187046
53.1626	0.1898
54.1594	0.192342
55.1576	0.194672
56.1546	0.196155
57.153	0.19912
58.1498	0.201662
59.148	0.204204
60.1446	0.205899
61.1428	0.207805
62.1396	0.210347
63.1376	0.212677
64.1346	0.213737
65.1326	0.216279
66.1296	0.219244
67.1274	0.221574
68.1246	0.222633
69.1228	0.224964
70.1196	0.22687
71.1174	0.2292
72.1148	0.230471
73.1128	0.232802
74.1092	0.234284

75.1084	0.236614
76.1052	0.23725
77.1028	0.238733
78.1002	0.241275
79.0976	0.242334
80.0952	0.244876
81.0928	0.246147
82.09	0.24763
83.0878	0.249112
84.0852	0.250383
85.08279	0.25229
86.0804	0.253349
87.078	0.255255
88.0756	0.256738
89.073	0.258221
90.07059	0.259704
91.068	0.260339
92.0654	0.262246
93.063	0.262881
94.0602	0.264576
95.058	0.266271
96.05579	0.267118
97.0528	0.268601
98.0514	0.270507
99.04819	0.271143
100.0456	0.272626
101.043	0.273896
102.0402	0.275591
103.0378	0.276862
104.0358	0.277498
105.0328	0.278557
106.0308	0.279192
107.0278	0.280251
108.0256	0.28131
109.0228	0.281946
110.0204	0.283429
111.0178	0.284488
112.0156	0.285759
113.0128	0.287454
114.0106	0.287877
115.0076	0.28936
116.0056	0.290631
117.0026	0.29169

118.0006	0.292749
118.9978	0.293597
119.9956	0.293597
120.993	0.294656
121.9904	0.294868
122.9874	0.295927
123.9854	0.297198
124.9824	0.297833
125.9802	0.298892
126.9776	0.300799
127.9764	0.300799
128.9726	0.301646
129.9702	0.302494
130.9672	0.303341
131.9652	0.304612
132.9624	0.304824
133.9604	0.305671
134.9576	0.306095
135.9552	0.306942
136.952	0.307366
137.9502	0.308213
138.9472	0.308636
139.9454	0.308848
140.9424	0.310331
141.9406	0.310967
142.9376	0.312026
143.9356	0.313297
144.9324	0.31372
145.9306	0.314356
146.9276	0.315415
147.9262	0.315839
148.9228	0.316051
149.9206	0.317322
150.9174	0.317322
151.9162	0.318169
152.913	0.318592
153.911	0.319016
154.9082	0.320075
155.906	0.320499
156.9032	0.321982
157.9014	0.322406
158.8984	0.323465
159.8958	0.323889

160.8934	0.324312
161.891	0.325159
162.8882	0.326218
163.886	0.326854
164.8828	0.327489
165.8808	0.327489
166.878	0.327489
167.8758	0.327913
168.873	0.328761
169.871	0.328972
170.8678	0.33109
171.866	0.331514
172.863	0.331726
173.861	0.33215
174.858	0.332997
175.8558	0.333421
176.8532	0.33448
177.8516	0.335115
178.8482	0.335539
179.846	0.335963
180.8434	0.336386
181.8416	0.336386
182.8382	0.337657
183.8358	0.338504
184.833	0.338504
185.8302	0.33914
186.828	0.339776
187.8258	0.340835
188.8232	0.341682
189.82	0.341682
190.818	0.342318
191.8156	0.342741
192.8128	0.343165
193.8106	0.343377
194.808	0.344436
195.8058	0.344436
196.8026	0.344648
197.801	0.345071
198.798	0.345707
199.7954	0.345707
200.7928	0.346554
201.7904	0.347401
202.7876	0.348249

203.7858	0.34846
204.7826	0.349732
205.7808	0.349943
206.7776	0.350367
207.7754	0.351638
208.773	0.351638
209.7704	0.352062
210.768	0.352697
211.7654	0.352909
212.7634	0.353545
213.7604	0.353968
214.7582	0.353968
215.7552	0.355239
216.7528	0.355663
217.7506	0.355875
218.7486	0.356087
219.7454	0.357993
220.743	0.357993
221.7408	0.35884
222.7384	0.359476
223.7358	0.359476
224.7332	0.359899
225.7304	0.359899
226.7282	0.360111
227.7258	0.360535
228.7232	0.361382
229.721	0.361382
230.7182	0.362018
231.7164	0.362441
232.713	0.363077
233.711	0.364772
234.708	0.365831
235.7066	0.365831
236.7032	0.365831
237.7014	0.366466
238.6986	0.366466
239.6962	0.366678
240.6934	0.367525
241.6912	0.367737
242.6886	0.367949
243.6862	0.367949
244.6836	0.368585
245.6812	0.368796

246.6784	0.369855
247.676	0.37155
248.6736	0.37155
249.6712	0.37155
250.6684	0.37155
251.6662	0.372186
252.6636	0.372397
253.661	0.373033
254.6588	0.373457
255.656	0.374092
256.6536	0.374092
257.651	0.374092
258.6484	0.374304
259.646	0.374939
260.6434	0.37621
261.6414	0.376634
262.6384	0.376634
263.636	0.377269
264.6334	0.377693
265.6312	0.378964
266.6286	0.379388
267.6262	0.380023
268.6234	0.380023
269.6208	0.380235
270.6186	0.380447
271.616	0.381083
272.6136	0.381506
273.6106	0.382777
274.6084	0.383413
275.6058	0.383836
276.6034	0.38426
277.6004	0.385319
278.5984	0.385531
279.5958	0.38659
280.5938	0.386802
281.591	0.387014
282.5888	0.387226
283.5864	0.388073
284.584	0.388285
285.5814	0.388285

286.579	0.389132
287.5762	0.389767
288.5742	0.389979
289.5712	0.389979
290.5692	0.389979
291.5664	0.390403
292.5642	0.391039
293.561	0.392098
294.5592	0.393157
295.556	0.393792
296.5544	0.394428
297.551	0.394428
298.5494	0.395911
299.5462	0.395911
300.5444	0.396334
301.541	0.396334
302.5392	0.396334
303.5362	0.39697
304.5342	0.397182
305.5312	0.398664
306.5294	0.398876
307.5258	0.399512
308.5236	0.399512
309.5204	0.400783
310.5194	0.401206
311.5156	0.40163
312.514	0.402054
313.5106	0.402265
314.5088	0.402901
315.5056	0.402901
316.5038	0.402901
317.501	0.403748
318.4988	0.403748
319.4954	0.403748
320.494	0.40396
321.4904	0.404596
322.4894	0.405655
323.4854	0.405867
324.484	0.40629
325.4806	0.406926

326.479	0.407561
327.4756	0.407561
328.4738	0.408409
329.4708	0.408409
330.469	0.40862
331.4662	0.409256
332.464	0.409679
333.4608	0.409679
334.4588	0.410103
335.4556	0.410951
336.454	0.411162
337.4508	0.41201
338.4488	0.412857
339.446	0.412857
340.4446	0.412857
341.4408	0.413281
342.4396	0.413916
343.4356	0.41434
344.4344	0.41434
345.431	0.41434
346.429	0.41434
347.4262	0.415187
348.4248	0.415187
349.4212	0.415187
350.4194	0.415187
351.4164	0.415399
352.4146	0.416246
353.4116	0.41667
354.4094	0.417094
355.4066	0.417517
356.4044	0.417517
357.4016	0.417941
358.3994	0.418153
359.3968	0.418365
360.3946	0.418365
361.392	0.418788
362.3894	0.419212
363.387	0.419424
364.3844	0.419635

Fraksi Volume

Selulosa 6%

Fraksi volume 6%	
$X = \varepsilon$ (%)	$Y = \sigma$ (N/mm ²)
0.0216	0.006776
0.0866	0.006981
0.211	0.007186
0.4076	0.008008
0.6956	0.008829
1.0956	0.010472
1.6386	0.013757
2.3576	0.017247
3.2874	0.023202
4.2832	0.028951
5.2816	0.033879
6.2782	0.04045
7.2772	0.045788
8.2736	0.051126
9.271399	0.056876
10.2688	0.06283
11.2662	0.068169
12.2634	0.073507
13.2616	0.078846
14.2586	0.083774
15.2562	0.089728
16.2532	0.09404
17.2516	0.098968
18.2486	0.104101
19.2464	0.108618
20.2434	0.114162
21.2412	0.118063
22.2384	0.123607
23.2362	0.127919
24.2334	0.132231
25.231	0.137775
26.2282	0.141471
27.2264	0.146193
28.2234	0.150505
29.221	0.153585

30.2186	0.157691	73.1118	0.308812
31.2162	0.161182	74.1094	0.311482
32.2134	0.165083	75.10699	0.312919
33.2112	0.169806	76.10419	0.315588
34.2082	0.173502	77.102	0.318052
35.206	0.176787	78.099	0.320721
36.203	0.181304	79.0972	0.323596
37.2014	0.186027	80.0942	0.325033
38.1984	0.19116	81.0928	0.327497
39.196	0.195882	82.0892	0.330166
40.193	0.199168	83.08739	0.33263
41.1912	0.203069	84.08459	0.336121
42.1882	0.20697	85.0822	0.337558
43.1862	0.210461	86.0796	0.340433
44.1832	0.212514	87.0776	0.34187
45.1812	0.216826	88.0748	0.344539
46.1784	0.219906	89.0726	0.345772
47.176	0.223602	90.0694	0.34803
48.1734	0.227913	91.0668	0.350289
49.1712	0.231404	92.0646	0.351726
50.1684	0.2351	93.0618	0.353574
51.1662	0.238796	94.0592	0.355422
52.163	0.242492	95.057	0.357681
53.1612	0.24742	96.0544	0.359323
54.1584	0.250294	97.0516	0.362198
55.1564	0.253785	98.0494	0.36384
56.1538	0.257275	99.0468	0.365688
57.151	0.260355	100.0442	0.36692
58.1488	0.263435	101.042	0.368768
59.1462	0.267131	102.0394	0.371438
60.1436	0.270211	103.0368	0.372875
61.1414	0.27288	104.0342	0.373901
62.1388	0.276371	105.032	0.375339
63.1362	0.27904	106.029	0.376365
64.1338	0.28253	107.027	0.378213
65.1312	0.286432	108.024	0.37965
66.1286	0.289101	109.022	0.381088
67.1262	0.291565	110.019	0.382936
68.1236	0.294439	111.017	0.384168
69.122	0.297725	112.014	0.385605
70.1186	0.301215	113.0118	0.387453
71.1166	0.303474	114.0092	0.390122
72.1142	0.306554	115.0068	0.390944

116.0042	0.392586
117.002	0.394023
117.9994	0.395461
118.9966	0.396077
119.9946	0.396898
120.9916	0.398335
121.9898	0.399362
122.9866	0.401005
123.9846	0.40162
124.9816	0.403674
125.9798	0.405111
126.9758	0.406959
127.9742	0.40737
128.9714	0.409628
129.9698	0.411271
130.9666	0.411887
131.9646	0.412503
132.9614	0.412914
133.9594	0.41394
134.9568	0.415172
135.9544	0.416404
136.9518	0.417431
137.9496	0.418457
138.9462	0.418663
139.9446	0.420305
140.9416	0.421537
141.9396	0.42318
142.9366	0.424412
143.9346	0.425644
144.9314	0.426671
145.9294	0.428108
146.9264	0.428519
147.9248	0.429135
148.9216	0.430366
149.9196	0.430777
150.9164	0.431188
151.9144	0.432009
152.9112	0.43283
153.9098	0.433857
154.9064	0.435089
155.9052	0.436116
156.9014	0.436937
157.8998	0.437963

158.8962	0.439196
159.8952	0.439811
160.8912	0.440222
161.89	0.441044
162.8862	0.44207
163.885	0.442481
164.881	0.442892
165.8798	0.442892
166.8764	0.443918
167.8754	0.444739
168.8712	0.44515
169.8702	0.445766
170.8662	0.446587
171.8648	0.447408
172.8612	0.448846
173.8598	0.449051
174.856	0.450283
175.8548	0.451105
176.8514	0.451105
177.8496	0.45172
178.8464	0.452336
179.845	0.452336
180.842	0.453363
181.8398	0.454184
182.8366	0.454801
183.835	0.455622
184.8318	0.456238
185.8302	0.457059
186.827	0.459112
187.8248	0.459317
188.8218	0.460139
189.8206	0.460755
190.817	0.46096
191.8156	0.461576
192.8118	0.462398
193.8106	0.462808
194.8074	0.463424
195.8056	0.463629
196.8026	0.463835
197.8006	0.464656
198.7972	0.465067
199.7954	0.465683
200.7926	0.466709

201.7906	0.467325
202.787	0.467941
203.7856	0.468763
204.7822	0.469379
205.7804	0.4702
206.7776	0.471021
207.7754	0.471226
208.7724	0.471637
209.7706	0.472253
210.7676	0.472664
211.7654	0.472869
212.7626	0.473485
213.76	0.473896
214.7576	0.474923
215.755	0.475538
216.7532	0.475744
217.7506	0.476154
218.7482	0.476565
219.746	0.477797
220.7432	0.478002
221.7406	0.478618
222.7382	0.479029
223.7358	0.47985
224.7332	0.47985
225.7308	0.480056
226.7282	0.480466
227.7256	0.480672
228.7232	0.481082
229.7202	0.481904
230.718	0.482725
231.7156	0.483135
232.713	0.483752
233.711	0.484573
234.708	0.485394
235.705	0.486421
236.7028	0.486421
237.7002	0.486421
238.6976	0.486421
239.6952	0.487037
240.6928	0.487242
241.69	0.488269
242.6876	0.488474
243.6852	0.48868

244.6826	0.489706
245.68	0.490117
246.6776	0.490322
247.6746	0.491349
248.6726	0.49217
249.67	0.492786
250.6678	0.492786
251.665	0.493402
252.6628	0.494223
253.6602	0.494634
254.658	0.49525
255.6554	0.49525
256.653	0.495455
257.6504	0.495455
258.6478	0.495866
259.6452	0.496277
260.6428	0.496687
261.6404	0.497098
262.638	0.497919
263.6356	0.49833
264.633	0.499151
265.6304	0.500178
266.628	0.500178
267.6258	0.500589
268.6232	0.500999
269.6206	0.50182
270.6182	0.502026
271.6156	0.502231
272.613	0.502436
273.6104	0.503463
274.608	0.504079
275.6054	0.504284
276.6028	0.505106
277.5998	0.505311
278.598	0.505927
279.5952	0.506748
280.593	0.506953
281.5904	0.50757
282.5882	0.508186
283.5854	0.508186
284.5832	0.508801
285.5804	0.509007
286.5782	0.509212

287.5754	0.509212
288.5732	0.509212
289.5702	0.510034
290.5682	0.510444
291.5654	0.510855
292.563	0.51106
293.5602	0.512498
294.5582	0.512908
295.5554	0.513113
296.5532	0.513935
297.5504	0.51414
298.548	0.514551
299.5454	0.514961
300.543	0.515167
301.5404	0.515167
302.538	0.515783
303.5354	0.515988
304.533	0.515988
305.5302	0.516809
306.5278	0.517631
307.5246	0.517631
308.5228	0.518452
309.5202	0.519273
310.518	0.520095
311.515	0.520095
312.513	0.5203
313.5102	0.52071
314.5078	0.52071
315.505	0.52071
316.5028	0.52071
317.5004	0.521121
318.498	0.521532
319.4954	0.522148
320.4932	0.522353
321.4904	0.522969
322.4882	0.522969
323.4854	0.524407
324.4832	0.525228
325.4808	0.525228
326.4784	0.525638
327.4758	0.525638
328.4736	0.526665
329.4708	0.527281

330.4686	0.527281
331.4658	0.527281
332.4636	0.527486
333.4608	0.527486
334.4584	0.528308
335.456	0.528513
336.4534	0.529129
337.4516	0.530156
338.4488	0.530156
339.446	0.530771
340.4436	0.530771
341.4408	0.532004
342.4386	0.532209
343.436	0.532414
344.4334	0.532619
345.4312	0.532619
346.4284	0.532619
347.4262	0.532619
348.4236	0.532619
349.421	0.532619
350.4186	0.532825
351.4158	0.533441
352.4134	0.533646
353.4112	0.534262
354.4084	0.535289
355.406	0.536316
356.4034	0.536316
357.4018	0.537137
358.3986	0.537137
359.396	0.537342
360.3932	0.537342
361.3914	0.537342
362.3882	0.537342
363.3866	0.537958
364.3828	0.538163
365.3812	0.53919
366.3782	0.540011
367.377	0.540627
368.3734	0.540627
369.371	0.541654
370.3682	0.54268
371.3662	0.54268
372.3632	0.542886

373.362	0.542886	406.2784	0.551304	439.196	0.558901
374.358	0.542886	407.2764	0.55151	440.1932	0.558901
375.3564	0.542886	408.2734	0.55151	441.1912	0.559517
376.3532	0.543091	409.2714	0.55151	442.1884	0.559517
377.3514	0.543296	410.2686	0.55192	443.1864	0.560134
378.3486	0.543296	411.266	0.552331	444.1834	0.560544
379.3464	0.543502	412.2634	0.552947	445.1812	0.56116
380.3434	0.543502	413.2614	0.552947	446.1786	0.56116
381.3416	0.543913	414.2586	0.554179	447.1762	0.561776
382.3382	0.544528	415.2562	0.555	448.1736	0.561981
383.3366	0.545144	416.2538	0.555206	449.171	0.562392
384.3328	0.545966	417.2514	0.555616	450.1686	0.562392
385.3308	0.546171	418.2486	0.555822	451.166	0.562392
386.3282	0.546992	419.2464	0.556232	452.164	0.562392
387.326	0.546992	420.244	0.556232	453.1612	0.562392
388.3232	0.547198	421.2418	0.556643	454.1588	0.562392
389.3212	0.547198	422.2388	0.556643	455.156	0.563213
390.318	0.547403	423.2364	0.556848	456.1538	0.563213
391.3162	0.547403	424.2336	0.557053	457.1512	0.563624
392.3132	0.547403	425.231	0.557053	458.1488	0.56424
393.3112	0.547608	426.2284	0.55767	459.1462	0.565267
394.3082	0.547608	427.2264	0.558696	460.1438	0.565472
395.306	0.54884	428.2238	0.559928	461.1416	0.566088
396.303	0.54884	429.2212	0.559928	462.1386	0.566088
397.3016	0.549251	430.2184	0.560339	463.1364	0.566088
398.2982	0.549456	431.2164	0.560339	464.1338	0.566088
399.2964	0.549662	432.2134	0.560339	465.1312	0.566498
400.2932	0.550072	433.2112	0.560339	466.1284	0.566498
401.2912	0.550688	434.2084	0.560339	467.1266	0.566498
402.2882	0.550688	435.206	0.559723	468.1236	0.566498
403.2864	0.551304	436.2034	0.559723		
404.2836	0.551304	437.2012	0.559312		
405.2814	0.551304	438.198	0.558901		

Fraksi Volume
Selulosa 8%

Fraksi volume 8%	
$X = \epsilon$ (%)	$Y = \sigma$ (N/mm ²)
0.0222	0.005954
0.0882	0.006304
0.2122	0.007005
0.4088	0.00788
0.6968	0.009106
1.098	0.011908
1.6422	0.014885
2.3636	0.018913
3.2924	0.024342
4.2892	0.031697
5.2868	0.037826
6.2842	0.044831
7.2816	0.051836
8.2792	0.057615
9.276199	0.064444
10.2742	0.070749
11.2716	0.077053
12.2692	0.082482
13.2666	0.087911
14.264	0.093514
15.2622	0.099819
16.259	0.104897
17.2568	0.110851
18.2542	0.11558
19.2518	0.120483
20.249	0.125562
21.2468	0.13029
22.2442	0.135543
23.2418	0.140097
24.239	0.144475
25.2372	0.149028
26.2342	0.153055
27.232	0.157083
28.2296	0.161811
29.2268	0.164964
30.2246	0.169867
31.2218	0.174595

32.2196	0.178448
33.2168	0.183001
34.2148	0.187204
35.212	0.191407
36.2096	0.196485
37.2068	0.201039
38.2044	0.205942
39.2012	0.21102
40.1996	0.215223
41.1968	0.219251
42.1948	0.223804
43.1918	0.227657
44.1896	0.231685
45.1872	0.235712
46.1846	0.23939
47.1822	0.243418
48.1796	0.24692
49.177	0.250247
50.1746	0.25445
51.1718	0.257778
52.1696	0.261455
53.167	0.264782
54.1644	0.26916
55.1618	0.272138
56.1596	0.274764
57.1568	0.278792
58.1554	0.28282
59.152	0.286147
60.1496	0.288774
61.1468	0.291576
62.1446	0.294553
63.142	0.29788
64.1394	0.300507
65.1364	0.304184
66.1346	0.306636
67.1316	0.309438
68.1296	0.313116
69.1262	0.315392
70.1248	0.318544
71.1214	0.321872
72.1192	0.323798
73.117	0.3266
74.1142	0.329402

75.1116	0.331328
76.10979	0.33413
77.1068	0.335881
78.1046	0.338158
79.1018	0.340259
80.0996	0.342536
81.0966	0.344988
82.0946	0.347439
83.0918	0.350066
84.0896	0.352168
85.0868	0.35532
86.0848	0.357246
87.082	0.359172
88.07999	0.361099
89.0774	0.363375
90.075	0.364776
91.0724	0.366703
92.07	0.368804
93.0674	0.37003
94.0648	0.371956
95.06219	0.373708
96.0598	0.375634
97.0572	0.378086
98.05479	0.379486
99.0528	0.381062
100.0502	0.383164
101.0474	0.38544
102.0452	0.387017
103.0424	0.388593
104.04	0.389818
105.0374	0.390869
106.0358	0.39227
107.0328	0.393146
108.0302	0.394722
109.0276	0.396123
110.0254	0.397349
111.023	0.3991
112.0204	0.400326
113.018	0.402077
114.0154	0.403128
115.0132	0.405054
116.0102	0.406105
117.0084	0.407506

118.0056	0.408907
119.0032	0.409782
120.0006	0.411183
120.9982	0.412584
121.9954	0.413635
122.9932	0.414686
123.9902	0.415911
124.988	0.416787
125.985	0.418188
126.983	0.418714
127.98	0.420464
128.9788	0.421866
129.9752	0.422741
130.9724	0.423617
131.9698	0.424668
132.9676	0.425018
133.9652	0.426769
134.9624	0.42782
135.9604	0.428345
136.9576	0.428871
137.9542	0.429396
138.9524	0.430622
139.9492	0.430797
140.9476	0.432373
141.9444	0.433949
142.942	0.434825
143.9392	0.43535
144.9376	0.436576
145.934	0.437276
146.9324	0.438852
147.9292	0.439203
148.9278	0.439728
149.9242	0.440428
150.9228	0.440779
151.9192	0.441129
152.9176	0.442355
153.9144	0.443405
154.9126	0.443931
155.9094	0.444806
156.9072	0.445507
157.9044	0.446382
158.903	0.446382
159.8994	0.448309

160.8976	0.449535
161.8946	0.45006
162.8932	0.45076
163.8896	0.451811
164.8878	0.452161
165.8844	0.452161
166.8828	0.452337
167.8798	0.452862
168.8776	0.454263
169.8748	0.454263
170.873	0.454263
171.8698	0.455489
172.8678	0.456189
173.8648	0.45759
174.863	0.458641
175.8598	0.458991
176.8578	0.459342
177.855	0.460392
178.8532	0.460742
179.85	0.461092
180.8484	0.461618
181.845	0.462318
182.843	0.462669
183.84	0.463369
184.838	0.463719
185.835	0.464245
186.8326	0.465295
187.8298	0.466171
188.8282	0.466521
189.8252	0.467397
190.8228	0.467747
191.8202	0.468798
192.818	0.469323
193.815	0.470024
194.8128	0.470374
195.81	0.470724
196.8076	0.470724
197.8046	0.470899
198.803	0.471074
199.8004	0.471775
200.7976	0.472651
201.795	0.473526
202.7924	0.473526

203.7894	0.474577
204.788	0.474927
205.7844	0.475628
206.7824	0.476678
207.7798	0.477204
208.7776	0.477204
209.7748	0.477554
210.7724	0.477554
211.77	0.477554
212.7672	0.478254
213.7648	0.47843
214.7624	0.47878
215.7596	0.47948
216.7572	0.480006
217.7542	0.480706
218.7526	0.481932
219.7502	0.482457
220.7472	0.482457
221.7452	0.483158
222.7426	0.483333
223.74	0.484033
224.7376	0.484209
225.735	0.484734
226.7324	0.485084
227.73	0.485084
228.7276	0.485084
229.7248	0.485084
230.7226	0.485434
231.72	0.486135
232.718	0.486835
233.7146	0.487361
234.7128	0.487886
235.7098	0.487886
236.708	0.489112
237.7052	0.489462
238.7028	0.489813
239.7004	0.490163
240.698	0.490688
241.6952	0.490863
242.6928	0.490863
243.6902	0.491213
244.6878	0.491739
245.6852	0.492264

246.683	0.49349
247.68	0.49384
248.678	0.494366
249.6758	0.494716
250.6734	0.495241
251.6702	0.495942
252.6684	0.496817
253.6652	0.496992
254.663	0.496992
255.6604	0.497518
256.6582	0.497518
257.6552	0.497868
258.6532	0.497868
259.6506	0.498218
260.6484	0.498393
261.6454	0.498568
262.644	0.499269
263.64	0.499969
264.6382	0.50067
265.6358	0.50102
266.6334	0.501545
267.6306	0.501545
268.628	0.501896

269.6258	0.502071
270.6232	0.502421
271.6208	0.502771
272.6184	0.502771
273.616	0.502771
274.6132	0.503472
275.6108	0.503822
276.6084	0.504172
277.6058	0.504523
278.603	0.505048
279.601	0.505748
280.5986	0.506274
281.5958	0.506799
282.5936	0.506799
283.5906	0.506799
284.5878	0.507149
285.5856	0.507499
286.5828	0.507499
287.5804	0.507499
288.578	0.507499
289.5756	0.507675
290.5728	0.507675
291.5704	0.50785

292.5682	0.50855
293.5656	0.508901
294.5628	0.509601
295.5608	0.509776
296.5582	0.510827
297.5558	0.511352
298.5536	0.511352
299.551	0.511352
300.5478	0.511352
301.5458	0.511352
302.5428	0.511352
303.541	0.511352
304.5378	0.511527
305.5358	0.512403
306.5328	0.512578
307.5312	0.512753
308.527	0.513804
309.5258	0.514154
310.5226	0.514154
311.521	0.51468
312.5174	0.51468
313.5162	0.51468
314.5124	0.51468