

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Harsojo (2013) melakukan penelitian mengenai pembuatan serat nano dengan metode elektrospinning. Pembuatan serat nano dilakukan menggunakan PVA yang dilarutkan pada cairan aquades samai kadar 10% *wt*, kemudian diumpankan pada mesin elektrospinning dengan tegangan listrik dan jarak yang divariasi (tegangan 5, 10 dan 20 kV serta jarak 40 dan 60mm). Serat yang dihasilkan dari PVA 10% *wt* memiliki pola tidak lurus “*nonwoven*”. Tegangan yang lebih tinggi dan jarak yang lebih jauh dapat meningkatkan rata rata ukuran diameter serat nano.

Homayoni *et al.* (2009) melakukan penelitian mengenai pengaruh konsentrasi kitosan dan pelarut (asam asetat) terhadap diameter serat nano kitosan yang diproduksi dengan metode elektrospinning. Larutan polimer kitosan dipreparasi menggunakan serbuk kitosan yang dihidrolisis selama 48 jam yang menghasilkan berat molekul terendah ($0,294 \text{ g/mol} \times 10^6$). Preparasi larutan kitosan dilakukan dengan melarutkan kitosan serbuk pada konsentrasi 5:7:7,5 *wt* % dalam asam asetat masing-masing 90:70:80 %. Proses elektrospinning dilakukan pada tegangan 17 kV dan TCD 16 cm. hasil optimum diperoleh pada sampel 5 *wt* % kitosan dengan pelarut 90% asam asetat dengan diameter rata-rata 140 nm. Penambahan konsentrasi kitosan 7 dan 7,5 *wt* % menghasilkan kenaikan diameter serat nano dari 250 nm sampai 284 nm.

Darmawan *et al.* (2016) melakukan penelitian mengenai pengaruh perbandingan pencampuran larutan PVA/kitosan terhadap morfologi dan diameter serat nano. Larutan 10% PVA (*w/v*) disiapkan dengan cara melarutkan bubuk PVA ke dalam akuades menggunakan hot plate stirrer pada suhu 80 oC disertai pengadukan menggunakan magnetic stirrer. Larutan kitosan disiapkan dengan melarutkan 2% kitosan (*w/v*) ke dalam pelarut asam asetat 2%. Larutan kitosan dan PVA kemudian dicampur pada temperature 80°C dengan perbandingan 1:9 (*v/v*) (C1P9); 2:8 (*v/v*) (C2P8); 3:7 (*v/v*) (C3P7) dan 4:6 (*v/v*) (C4P6) hingga homogen.

Hasil uji viscometer menunjukkan C1P9 mendapatkan nilai viskositas tertinggi hingga 764,34 (CPs). Peningkatan presentase kitosan dalam campuran cenderung menurunkan nilai kekentalan. Komposit serat nano dipreparasi pada parameter tegangan 15 kV dan TCD 15 cm. Hasil uji SEM menunjukkan sampel Komposit kitosan-PVA 1:9 (v/v) menghasilkan serat nano yang paling bersih dan hampir tidak ditemukan adanya *beads* dibandingkan sampel lainnya. Serat nano kitosan-PVA dengan perbandingan 1:9; 2:8; 3:7; dan 4:6 (v/v) memiliki rata-rata diameter serat masing-masing sekitar $302,77 \pm 80,45$ nm; $257,17 \pm 54,14$ nm; $334,90 \pm 70,85$ nm; dan $200,39 \pm 6,36$ nm.

Liu *et al.* (2014) menuliskan penelitiannya mengenai pengaruh perbandingan pencampuran larutan PVA/kitosan terhadap nilai kekentalan larutan dan morfologi komposit serat nano yang diproduksi dengan metode elektrospinning. larutan kitosan disiapkan dengan melarutkan 8 wt % kitosan dalam 1% asam asetat. Sedangkan larutan PVA disiapkan dengan melarutkan 10 wt % PVA ke dalam cairan aquades. Selanjutnya larutan CS dan PVA dicampurkan dengan rasio pencampuran (2:1,1:1,1:2,1:3). Hasil uji SEM menunjukkan sampel dengan perbandingan pencampuran CS dan PVA 2:1 menghasilkan banyak *beads* dengan diameter serat nano 100 nm terdistribusi secara merata. Hasil optimum diperoleh sampel CS dan PVA 1:1 dengan struktur serat nano yang lurus dan tidak memiliki *beads* dengan ukuran rata-rata diameter 160 nm.

Judawisastra *et al.* (2012) melakukan penelitian mengenai pembuatan serat nano dari PVA/kitosan tanpa butir (*beads*) menggunakan metode elektrospinning. Butiran *beads* pada serat PVA/kitosan terbukti berhasil dihilangkan dengan menambahkan surfaktak ionic HDA sebanyak 1×10^{-6} mol ke dalam campuran PVA/kitosan dengan rasio berat 40:60 pada derajat destilasi rendah (65%). Diameter serat nano yang dihasilkan berkisar pada 200 nm.

Paipitak (2010) melakukan penelitian mengenai pembuatan komposit serat nano menggunakan larutan PVA/kitosan *blend* pada perbandingan PVA/CS 80:20. Konsentrasi kitosan divariasikan (3, 4, 5 wt %) dengan pengadukan selama 90 menit pada temperature 75°C di dalam cairan 2% asam asetat menggunakan *magnetic stirring*. Proses elektrospinning dilakukan pada tegangan variasi yaitu 21-25 kV

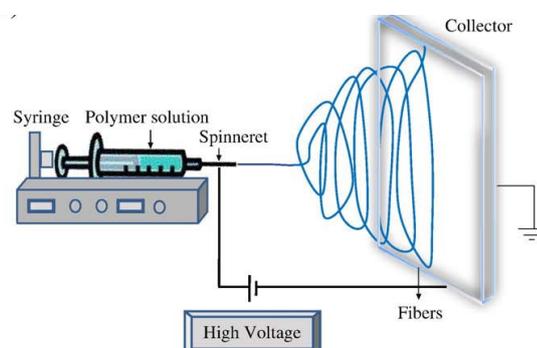
dan jarak tip ke kolektor 10 cm. pengamatan morfologi permukaan menggunakan SEM memperlihatkan sistem serat nano yang terdiri dari struktur serat nano. Konsentrasi kitosan mempengaruhi produktifitas *beads* pada serat nano, semakin meningkatnya konsentrasi kitosan maka produksi *beads* cenderung lebih sedikit. Formasi serat nano optimum dicapai oleh nanokomposit fiber PVA/kitosan pada konsentrasi kitosan 5 wt % dengan diameter serat nano yang cenderung seragam pada 100nm.

Biazar et al., (2015) melakukan penelitian lanjutan mengenai hasil pengujian paipitak (2010) dengan melakukan pengujian sifat mekanik pada nanokomposit fiber PVA/kitosan dengan parameter fabrikasi yang serupa. Hasil uji tarik menampilkan sifat mekanik yang lebih unggul dicapai pada konsentrasi 5% dengan nilai tegangan maksimal 11 MPa dan regangan 21%.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Elektrosinning

Elektrosinning berasal dari kata *electrostatic spinning* (Huang et al. 2006) merupakan teknologi pembentukan serat nano secara *electrostatic* yang beroperasi dengan memanfaatkan gaya elektrodinamika untuk menghasilkan benang polimer dengan diameter yang bisa mencapai 2 nm. Sean et al. (2006) menuliskan proses elektrosinning hampir mirip seperti proses *electrospraying*. Perbedaan kedua metode ini hanya terletak pada produk yang dihasilkan. Dalam elektrosinning produk yang dihasilkan berupa benang-benang yang kontinyu. Skematik komponen untuk proses elektrosinning ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.

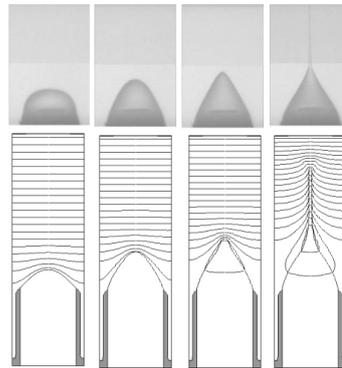


Gambar 2.1. Skematik komponen horisontal elektrosinning (Bhardwaj, 2010)

Elektrospinning memiliki 3 komponen utama yakni: (1) komponen pengumpan, komponen ini meliputi *syringe*, spinneret (jarum), *syringe pump*; (2) komponen pengumpul (*collector*); dan (3) komponen pembangkit daya listrik searah. Tegangan tinggi pada rentang tertentu dimediakan di antara dua buah catu. Elektroda positif dialirkan ke cairan polimer melalui spinneret untuk menghasilkan cairan bermuatan ketika dikenai medan listrik luar, dan elektroda negatif dipasangkan pada kolektor yang bertindak sebagai pengumpul fiber. Karena adanya gaya electrostatic larutan akan tertarik ke dalam kolektor yang akan menghasilkan serat.

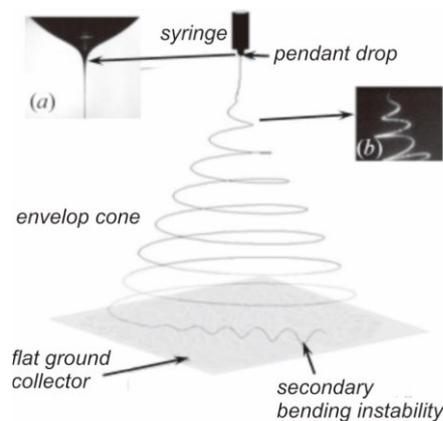
Dalam membentuk serat nano proses elektrospinning harus diawali dengan terbentuknya formasi taylor cone (benang berbentuk seperti kerucut diujung spinneret). Medan listrik yang mengenai taylor cone harus mampu mengimbangi tegangan permukaan larutan. Ketika medan listrik dinaikan, formasi jet polimer akan terbentuk. Polimer jet akan mengalami distorsi arah sehingga terjadi bending yang dilanjutkan dengan terbentuknya lintasan spiral hingga akhirnya serat terkumpul pada kolektor dalam bentuk solid. Proses tahapan terbentuknya serat nano terbagi menjadi 3, yaitu: (1) tahap inisiasi; (2) tahap *thinning fiber*; dan (3) Tahap jet *solidification*

Tahap inisiasi merupakan tahap dimana terbentuk tetesan larutan di ujung jarum (*tip*) yang terjadi akibat listrik tegangan tinggi dialirkan. Medan listrik muncul akibat adanya beda potensial antara ujung jarum dan kolektor yang mengakibatkan partikel-partikel larutan yang berada di ujung jarum (*tip*) menjadi bermuatan listrik sejenis sehingga muncul gaya elektrostatis (tolak-menolak) antar partikel. Ketika medan listrik akibat tegangan cukup tinggi, gaya listrik yang dicapai akan melampaui gaya tegangan permukaan larutan sehingga akan terjadi aliran jet pada ujung jarum. Aliran jet diawali dengan terbentuknya permukaan kerucut (taylor cone) yang mengarah ke kolektor. Selama aliran jet di area permukaan terbentuk maka akan terjadi gaya relaksasi akibat pengaruh tegangan permukaan sisa. Peristiwa terpancarnya larutan bermuatan disebut dengan aliran jet (*jet stream*) (Deniz, 2011). Tahap inisiasi ditampilkan pada ilustrasi gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skematik perubahan formasi larutan menjadi taylor cone (Zeng, 2011)

Tahap selanjutnya adalah tahap *thinning fiber* dimana diameter fiber mengecil akibat terjadinya peristiwa bending instability pada aliran jet. Awalnya aliran jet bergerak pada lintasan lurus, setelah itu akan terjadi gerakan bending, looping dan semakin jauh jarak yang ditempuh semakin kompleks gerakan yang terjadi. Bending instability diilustrasikan dalam bentuk spiral loop pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skematik proses terjadinya *thinning fiber* (a) *taylor cone*, (b) *bending instability* (Yarin et al. 2001)

Tahap terakhir yakni tahap jet *solidification* dimana polimer yang berada di area medan induksi mengalami penguapan. Penguapan ini dipengaruhi oleh faktor TCD. Semakin singkat waktu penguapan pelarut maka diperlukan jarak antara ujung jarum dengan kolektor yang semakin pendek. Akibatnya lamanya waktu penguapan memberikan berpengaruh yang signifikan pada ukuran diameter serat nano (Deniz, 2011).

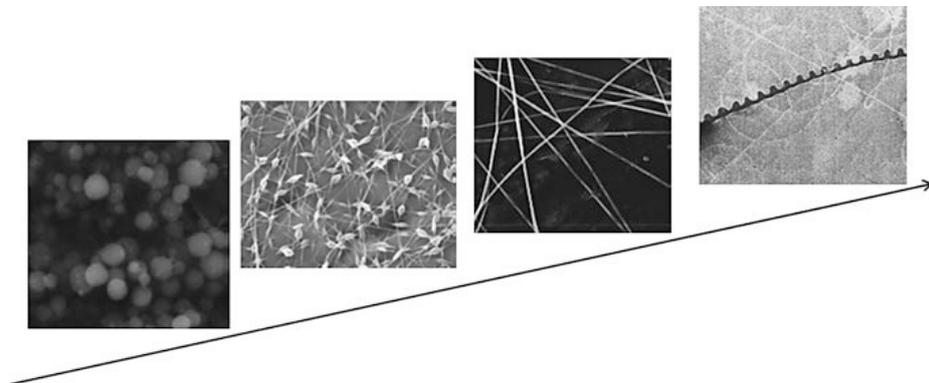
2.2.2. Parameter yang mempengaruhi proses electrospinning

Parameter yang mempengaruhi proses electrospinning dalam membuat serat nano mencakup 2 faktor utama, yaitu parameter larutan polimer yang digunakan serta parameter proses electrospinning (Li & Wang, 2013).

a. Parameter Larutan Polimer

1). Konsentrasi

Konsentrasi larutan berperan penting dalam pembentukan serat selama proses electrospinning. konsentrasi larutan yang sangat rendah cenderung memiliki partikel polimerik (nano) yang dapat memicu terjadinya proses *electrospray*. Meskipun begitu, konsentrasi yang sangat tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan *beads* atau butiran pada serat yang merugikan sifat dari serat nano. Untuk itu dibutuhkan konsentrasi yang cocok untuk mendapatkan serat nano dengan struktur yang halus.



Gambar 2.4. Hasil evolusi *nanofiber* dengan konsentrasi rendah ke tinggi (Li & Wang, 2013)

2). Viskositas

Telah terbukti bahwa serat kontinyu dan halus tidak dapat diperoleh pada viskositas yang sangat rendah. Sedangkan viskositas yang sangat tinggi menghasilkan sulitnya pelepasan polimer jet dari larutan. Pada umumnya viskositas larutan dapat diatur dengan menyesuaikan konsentrasi polimer (Li & Wang, 2013).

3). Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan merupakan gaya atau tarikan ke bawah yang mengakibatkan permukaan cairan berkontraksi saat larutan dalam keadaan tegang. Hal ini disebabkan oleh gaya-gaya tarik yang tidak seimbang pada antar muka larutan. Dengan tegangan permukaan yang tinggi akan terbentuknya butiran (beads) pada serat nano.

4). Konduktivitas Larutan

Konduktivitas larutan ditentukan oleh jenis polimer, jenis pelarut, dan kadar garam. Pada umumnya elektrospinning menggunakan aliran listrik tegangan tinggi dalam proses terjadinya polimer jet. Ketika konduktivitas larutan rendah, maka larutan polimer akan sulit tertarik sehingga diperlukan tegangan listrik yang besar.

b. Parameter Proses

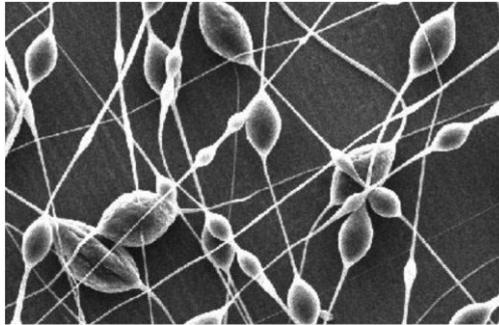
1). Medan Listrik

Dalam proses pembentukan serat nano medan listrik yang diberikan merupakan faktor yang sangat krusial karena pengaruhi besar beda potensial atau gaya elektrostatis pada proses elektrospinning sehingga mempengaruhi tahap inisiasi sampai tahap solidifikasi polimer. Besarnya beda potensial juga dapat mempengaruhi ukuran serat. Semakin tinggi beda potensial pada proses pembentukan maka ukuran serat akan semakin kecil. Hal ini diakibatkan karena medan listrik yang besar sehingga serat mengalami regangan lebih besar (Thompson et al. 2007).

2). Laju Aliran

Umumnya laju aliran yang rendah lebih dianjurkan agar tahapan pembentukan serat mendapat cukup waktu. Laju aliran yang sangat tinggi cenderung menghasilkan butiran serat (beads) sehingga serat nano yang dihasilkan akan menjadi kasar dan tidak halus. Beads dianggap sebagai serat yang berkualitas buruk (*fiber defect*) ditandai dengan bentuk menyerupai bintik/butiran pada serat nano. Karakas (2014) menuliskan dapal

penelitiannya bahwa faktor utama yang berkontribusi terhadap pembentukan beads diantaranya: berat molekul rendah, konsentrasi, viskositas, tegangan permukaan tinggi, dan kepadatan muatan rendah.



Gambar 2.5. *Beads nanofiber* (Qin, 2008)

3). Kolektor (Pengumpul Serat)

Kolektor bertindak sebagai substrat konduktif yang berfungsi untuk mengumpulkan serat bermuatan listrik. Umumnya, Aluminium foil digunakan sebagai kolektor karena selain murah dan sederhana. Dalam proses elektrospinning kolektor tergolong menjadi beberapa jenis diantaranya: *wire mesh, pin, grids, parallel* atau *gridded bar, rotating rods* atau *wheel, liquid bath* (Li & Wang, 2013).

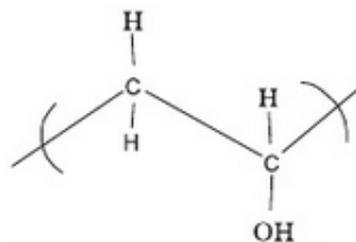
4). TCD

Tip to Collectors Distance (TCD) adalah jarak ujung jarum (tip) ke kolektor. TCD dapat mempengaruhi ukuran diameter dan morfologi serat nano. TCD yang kecil mengakibatkan serat tidak akan punya cukup waktu untuk proses *solidfy* sebelum mencapai kolektor. Sedangkan jarak yang terlalu jauh akan berpotensi terjadi *beads*. Hal ini diketahui bahwa satu aspek fisik penting dari serat elektrospinning adalah penguapan sehingga jarak optimum direkomendasikan.

2.3. Polivinyl Alkohol (PVA)

Polivinil alkohol merupakan padatan termoplastik yang tidak dapat larut pada sebagian besar pelarut organik dan minyak tetapi dapat larut dalam air (Harper & Petrie, 2003). Polivinil alkohol diproduksi secara komersial melalui proses

hidrolisis polivinil asetat dan alcohol. Hal ini dikarenakan monomer dari vinil alcohol tidak bisa dipolimerisasi secara alami menjadi PVA (Kirk-Othmer, 1997). Permeabilitas uap air yang dimiliki terbilang terendah dari semua polimer komersial. Meskipun begitu sensitivitas airnya telah membatasi penggunaannya (Beswick & Dunn, 2002). Secara umumnya polivinil alcohol berbentuk padatan serbuk (*powder*) yang memiliki densitas 1,2000-1,3020 g/cm³ dan dapat larut dalam air pada suhu 80°C (Sheftel, 2000). Struktur kimia dari polivinil alcohol ditampilkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Struktur kimia PVA (Jiang et al. 2010)

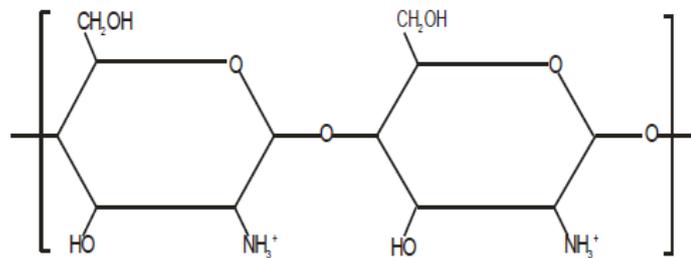
Secara umum polivinil alcohol merupakan plastik yang paling banyak digunakan dalam pembuatan film yang dapat larut dalam air. Hal ini diakibatkan kemampuannya dalam pengemulsi, membentuk film, dan sifat adhesifnya. Polivinil alcohol memiliki nilai kekuatan tarik yang tinggi, fleksibilitas yang baik, dan sifat penghalang oksigen yang baik (Ogur, 2005). Polivinil alcohol sudah banyak diaplikasikan dalam banyak bidang. Hodgkins & Taylor, (2000) menuliskan bahwa polivinil alcohol banyak diaplikasikan dalam bidang kesehatan (biomedical), bahan pembuat deterjen, lem dan film. Lin & Ku, (2008) juga menuliskan dalam penelitiannya bahwa polivinil alcohol banyak digunakan dalam pengolahan tekstil pada pembuatan bahan nilon dan dalam pembuatan serat. Spesifikasi umum dari fisik polivinil alcohol ditampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik fisik PVA (Ogur, 2005)

Karakterisasi	Nilai
Densitas (g/cm ³)	1,91 – 1,31
Titik leleh (°C)	180-240
Titik didih (°C)	228
Suhu penguraian (°C)	180

2.4. Kitosan

Kitosan merupakan salah satu polimer dari sakarida (polisakarida) yang diambil dari proses destilasi senyawa kitin yang terdapat pada kulit luar udang, kepiting, dan hewan crustacea lainnya (Tiyaboonchai, 2003). Kitosan memiliki sifat *biodegradable*, *biocompatible*, dan tidak beracun sehingga banyak dikembangkan dan diteliti dalam bidang farmasetika (Rismana *et al.*, 2014). Struktur kimia kitosan ditampilkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Struktur Kimia Kitosan (Rismana *et al.*, 2014)

Kitosan difabrikasi melalui N deasetilasi parsial dari polimer karbohidrat alami. Kitosan tidak larut dalam sebagian besar pelarut, tetapi kitosan dapat dilarutkan dalam asam organik pada pH kurang dari 6,5 seperti asam asetat, asam format, asam tartrat, dan asam sitrat (Nakom, 2008). Kitosan memiliki *biocompatibility* yang dibutuhkan untuk meningkatkan permeabilitas membran. Oleh karena itu, kitosan dapat dijadikan sebagai matriks imobilisasi dalam membentuk membran (Erdawati, 2008).

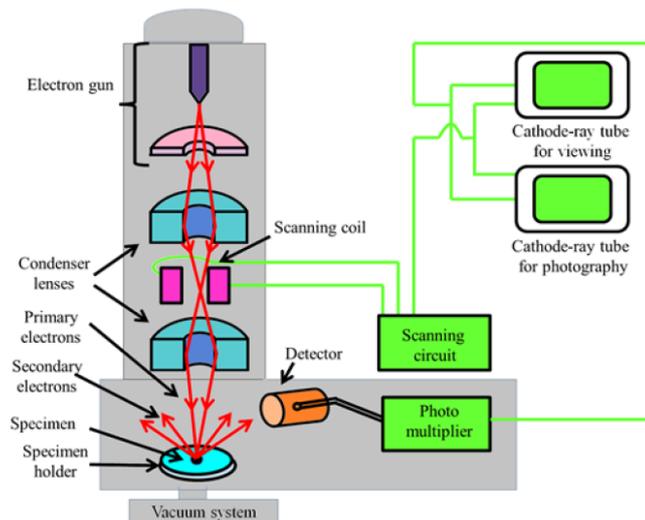
2.5. Instrumen Analitik

2.5.1. Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan suatu alat yang digunakan untuk meneliti atau mengamati morfologi permukaan atau mengukur ukuran partikel. Alat ini memiliki kemampuan untuk melakukan perbesaran $10 - 3 \times 10^6$ kali, depth of field $4 - 0.4$ mm, resolusi sebesar $1 - 10$ nm, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi sehingga banyak digunakan untuk penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

- 1). Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada Integrated Circuit (IC) dan chip, dan sebagainya).
- 2). Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, 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 (konduktivitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

Komponen utama SEM ditampilkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Komponen dan prinsip kerja SEM

Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari elektron *beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada elektron *gun*. Pada umumnya elektron *gun* yang digunakan adalah tungsten hairpin *gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda. Elektron *gun* menghasilkan elektron beam dari filamen. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda. Lensa magnetic atau lensa kondensor memfokuskan elektron

menuju suatu titik pada permukaan sampel sehingga elektron yang terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.

Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik secondary electron (SE) atau back scattered electron (BSE) dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor cathode-ray tube (CRT). Pengujian SEM dilakukan untuk memperoleh keadaan morfologi permukaan membran serat nano. Hasil gambar yang ditampilkan selanjutnya diolah untuk mendapatkan data perbandingan pengujian sifat tarik membran serat nano.

2.5.2. Mikroskop Optik

Mikroskop adalah alat bantu yang biasa digunakan untuk mengamati objek berukuran sangat kecil dengan cara memperbesar bayangan objek yang dapat diperbesar 40 kali, 100 kali, 400 kali, bahkan 1000 kali. Perbesaran yang mampu dijangkau semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Pengujian optic dimaksudkan untuk mempermudah proses optimasi kondisi electrospinning. Bagian - bagian dari mikroskop optik secara lebih lengkap terdapat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Bagian-bagian mikroskop optik

Sebuah mikroskop optik terdiri dari beberapa komponen lensa yang tersusun seperti lensa obyektif, okuler, kondensor, filter cahaya dan daya resolusi. Lensa obyektif terletak di bagian bawah yang menghadap langsung pada obyek yang akan diuji, sedangkan okuler merupakan lensa yang berada di atas berdekatan dengan mata. Lensa okuler menganggap bayangan sebagai suatu benda dan sebagai hasilnya adalah bayangan maya yang jauh lebih besar dari bayangan sebelumnya dan dapat dilihat oleh mata yang berada diatas lensa okuler. Komponen-komponen tersebut masing-masing memiliki fungsi dan kegunaan. Lensa obyektif berfungsi memperbesar bayangan pertama dari suatu cuplikan. Lensa okuler berfungsi memperbesar bayangan yang telah diperbesar oleh lensa obyektif, sedangkan lensa kondensor berfungsi memfokuskan cahaya yang datang dari sumber.

Mikroskop optik menggunakan cahaya sebagai sumber penerangan utama untuk mengamati sebuah objek. Instrument mikroskop optik yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada gambar 2.10.

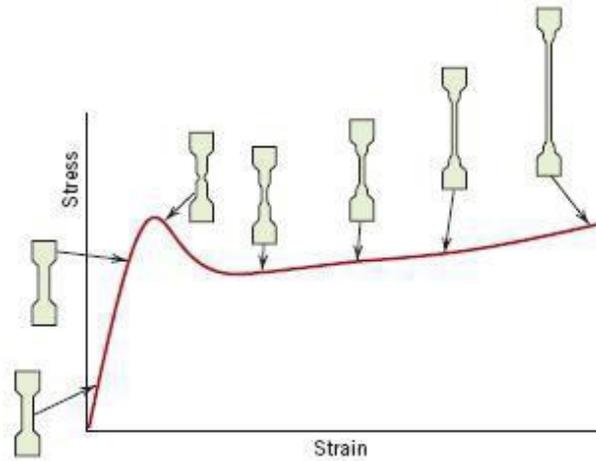


Gambar 2.10. mikroskop optik OLYMPUS-SZ61TR

2.6. Sifat Tarik

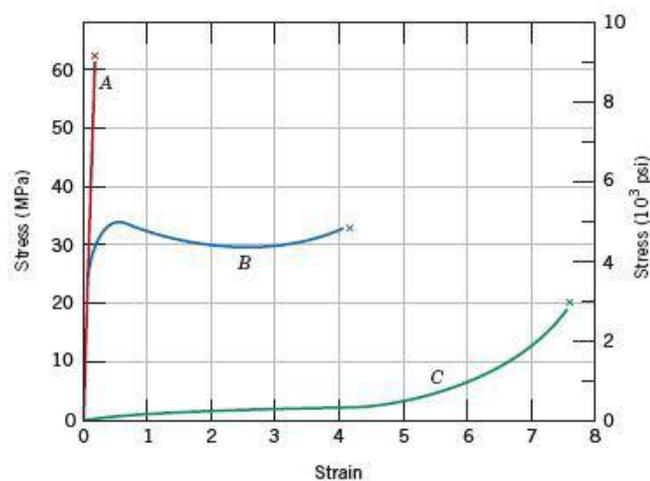
Polimer memiliki struktur dan perilaku fisis yang cenderung berbeda dari logam atau keramik silikat. Deformasi merupakan perubahan bentuk, dimensi dan posisi dari suatu benda dalam skala waktu dan ruang. Deformasi dapat dikategorikan menjadi 2 jenis yaitu deformasi permanen (plastis) dan deformasi sesaat/dinamis (elastis). Deformasi plastis adalah suatu regangan yang tidak dapat

kembali (*irreversible*), sedangkan deformasi elastis yaitu perubahan posisi/regangan yang dapat kembali seperti bentuk semula (*reversible*) (Andreas, 2007). Ilustrasi dijabarkan dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Kurva deformasi tegangan-regangan (Callister, 2006)

Suatu material akan mengalami pertambahan panjang jika dikenakan beban tarik. Sebaliknya jika material diberi beban tekan, material tersebut akan mengalami deformasi menjadi lebih pendek. Deformasi plastis selalu dihindari pada pembuatan suatu produk. Pada umumnya perhitungan desain dilandaskan pada tegangan pada daerah elastis (proporsional) (Callister, 2006). Kurva tegangan dan regangan polimer ditampilkan pada gambar 2.12.



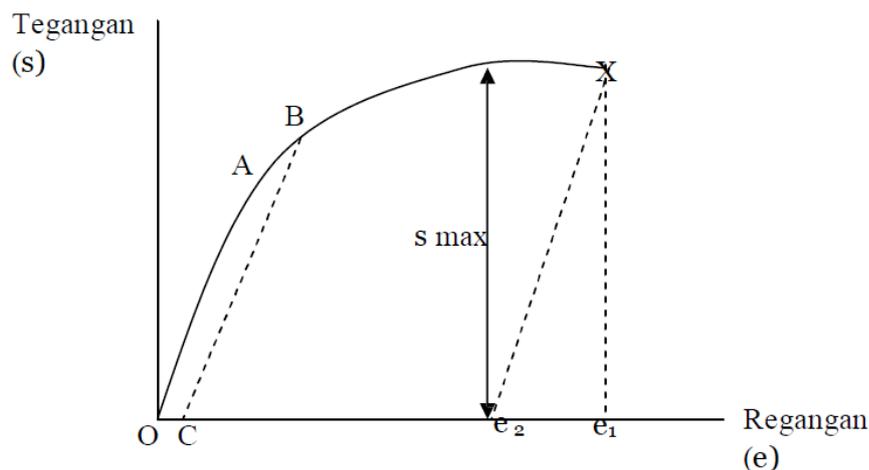
Gambar 2.12. Kurva tegangan-regangan untuk polimer umum; garis getas (brittle), garis plastis, dan elastomer (highly elastic) (Callister, 2006)

Sifat mampu bentuk suatu benda dapat diketahui dengan menganalisa nilai regangan dan tegangan dari benda tersebut. Perpanjangan dirumuskan dengan simbol e (dalam satuan panjang) seperti berikut:

$$e = \frac{L2 - L1}{L1}$$

Dimana $L1$ adalah panjang spesimen sebelum terjadi perubahan panjang dan $L2$ adalah panjang specimen setelah terjadi perubahan panjang akibat pembebanan. Semakin besar nilai regangan dari suatu benda berarti bahan tersebut memiliki sifat mampu bentuk yang baik pula.

Pengujian tarik ditampilkan dengan diagram hubungan antara tegangan dan regangan. Setiap bahan memiliki pola garis diagram yang berbeda-beda. Kekuatan tarik ditunjukkan dengan harga tegangan maksimum (S_{max}). Diagram tegangan-regangan uji tarik untuk bahan umum ditampilkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Kurva tegangan-regangan untuk polimer umum; garis getas (brittle), garis plastis, dan elastomer (*highly elastic*) (Callister, 2006)

Daerah elastis berawal dari titik O menuju titik A. titik A merupakan titik batas elastis dimana bahan mengalami tegangan terbesar yang dapat ditahan oleh bahan tanpa mengalami regangan plastis. Penentuan titik batas elastis sangat dipengaruhi oleh tingkat kepekaan instrument pengukur regangan. Oleh sebab itu, penentuannya sering diganti dengan batas proporsional. Batas proporsional terletak tepat pada penyimpangan garis batas elastis terhadap kelinierannya.