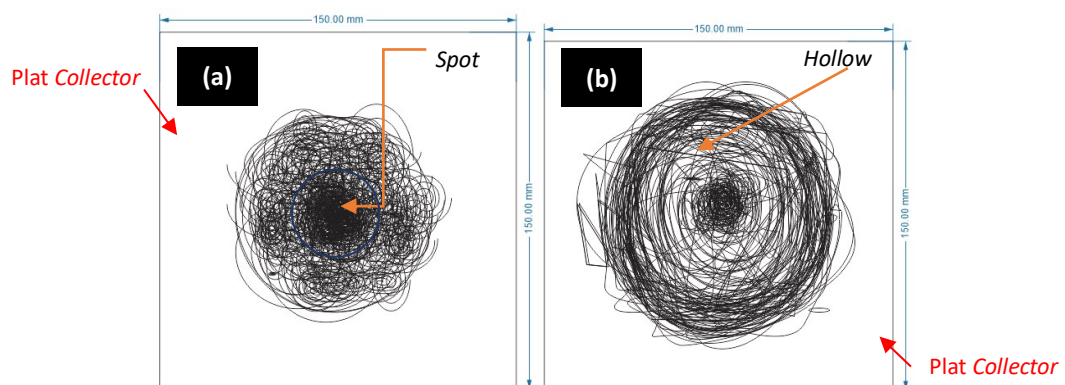


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Optimasi Kondisi Elektrosinning

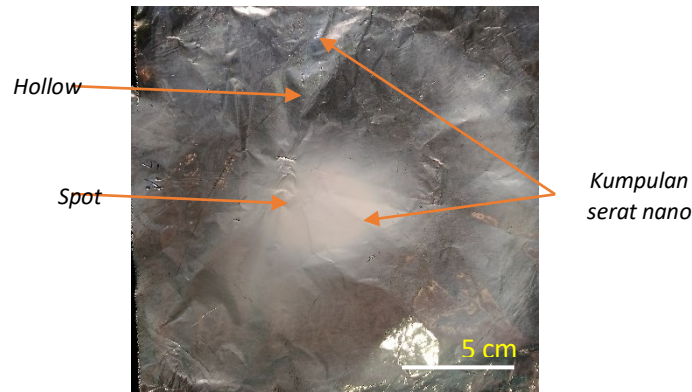
Optimasi proses pembuatan membran serat nano PVA/kitosan bertujuan untuk menganalisa pengaruh parameter elektrosinning sehingga didapatkan sifat/karakteristik membran yang paling baik. Variable yang dituju meliputi: waktu proses pembuatan, distriusi serat nano serta morfologi serat nano. Beberapa istilah umum meliputi: “*spot*, *hollow*, dan *circle*” digunakan untuk mempermudah analisis dalam serangkaian proses optimasi. *Spot* merupakan suatu kondisi dimana distribusi serat hanya mengarah pada satu titik pusat. *Spot* pada umumnya terjadi karena laju aliran polimer pada kondisi *jet stream* terlalu cepat sehingga *instability room* tidak terbentuk sempurna. Hal ini juga dapat menyebabkan proses penguapan tidak maksimal sehingga ikatan yang dimiliki serat nano cenderung tidak baik. *Hollow* merupakan suatu kondisi dimana serat nano membentuk melingkar menyerupai sebuah cincin dengan titik pusat. Sedangkan *circle* merupakan luas area membran yang terkumpul pada kolektor serat nano. Dalam penelitian ini *circle* digolongkan menjadi 3 (tiga) ukuran, yaitu *small circle*, *medium circle*, dan *higher*. *Spot* dan *hollow* yang terbentuk pada membran serat nano diilustrasikan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. (a) ilustrasi *spot* pada membran serat nano; (b) ilustrasi *hollow* pada membran serat nano

Jarak TCD sangat mempengaruhi pendistribusian serat nano. Semakin kecil jarak TCD, semakin besar kemungkinan terjadi *spot* dan *hollow*. Kondisi ini dapat

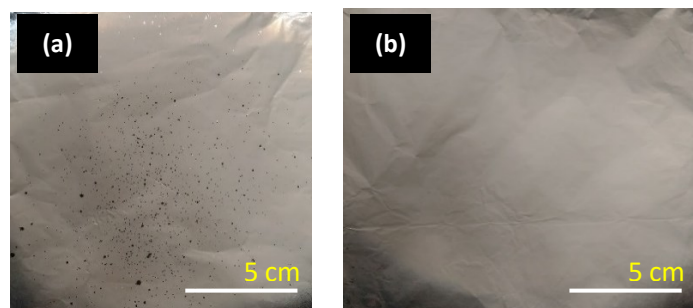
diatasi dengan memperbesar jarak. Akan tetapi jarak TCD yang semakin besar akan mengakibatkan waktu penebalan semakin lama. *Spot* dan *hollow* terbentuk ditampilkan oleh gambar 4.2.



Gambar 4.2. *Spot* dan *hollow* membran serat nano.

Selain parameter pembuatan *elektrospinning*, kondisi larutan “viskositas dan homogenitas” juga mempengaruhi membran serat nano yang dihasilkan. Larutan polimer dengan keseragaman rendah cenderung sulit untuk diproses elektrospinning. Pembentukan *jet stream* menjadi tidak stabil, molekul polimer akan saling memisahkan sehingga mengakibatkan tetes berlebih pada ujung tip. Pada saat terjadi tetes, jet polimer tidak langsung terbentuk melainkan terjadi *spraying* yang menghasilkan bitnik pada membran.

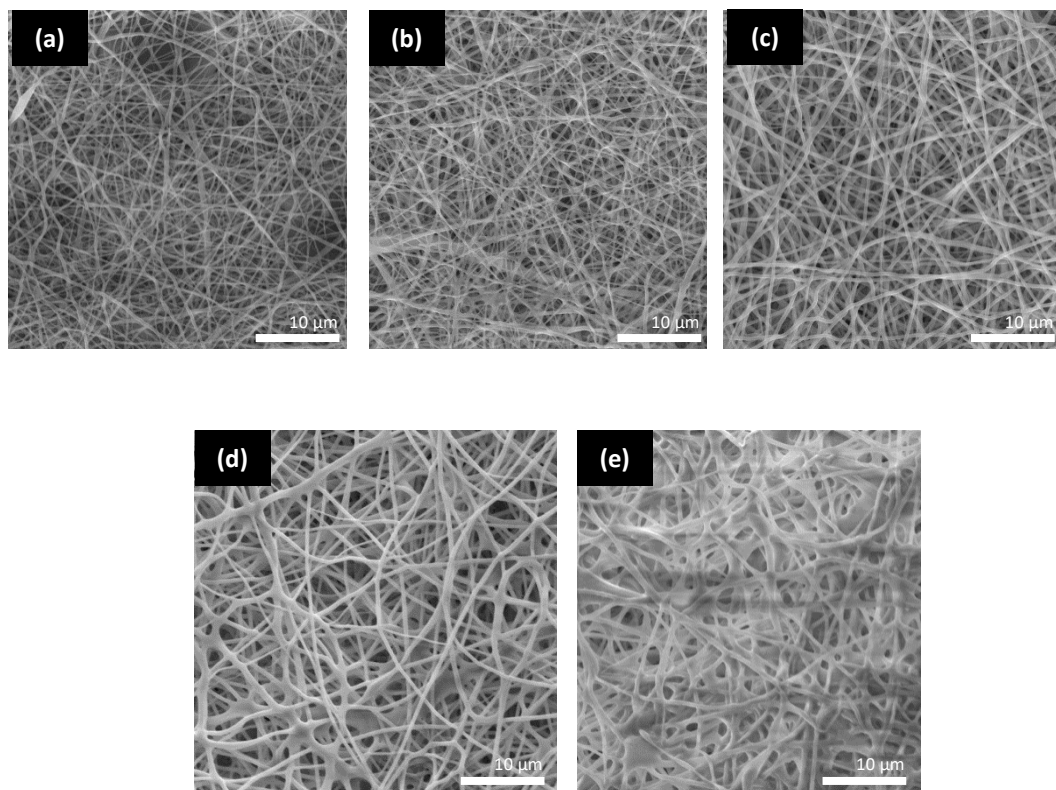
Dalam proses pembuatan membran serat nano PVA/kitosan kondisi optimum dicapai pada tegangan 18 kV dan TCD 16,5 cm. membran serat nano yang terbentuk memiliki permukaan yang halus dan terdistribusi secara merata. Permukaan membran serat nano ditampilkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. a) foto bitnik akibat polimer yang kurang homogen.
b) foto “*fine* membran serat nano”.

4.2. Analisis Morfologi Membran Serat nano

4.3. Membran serat nano PVA/kitosan difabrikasi dengan perbandingan PVA dan kitosan 95:5 pada variasi konsentrasi kitosan pada 0%, 1%, 3%, dan 5% dan 7% dalam pelarut asam asetat 2%. Analisis morfologi serat nano dilakukan dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Foto SEM diperlihatkan oleh gambar 4.4.

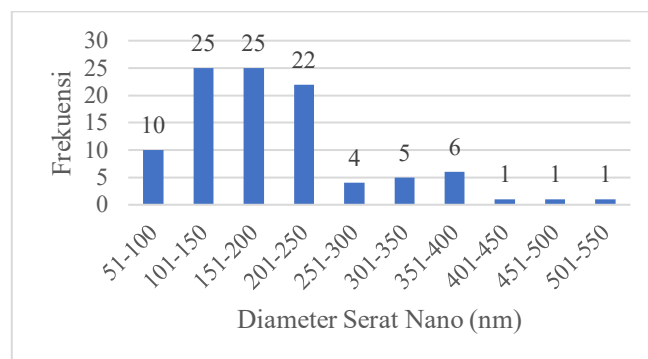


Gambar 4.4. Foto morfologi serat nano PVA/kitosan menggunakan SEM; (a) 0%; (b) 1%; (c) 3%; (d) 5%; (e)7%.

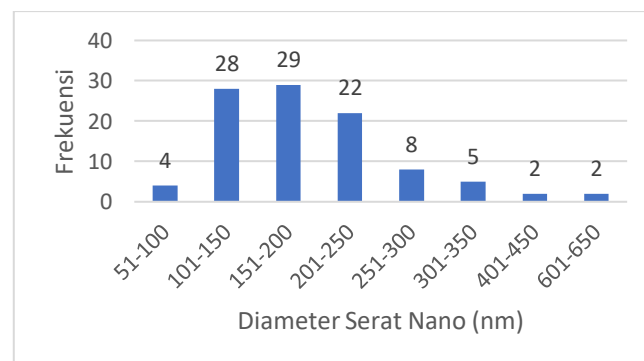
Gambar 4.4 memperlihatkan perbandingan antara penampakan serat nano konsentrasi 0 % sampai 7% PVA/kitosan *blend*. Gambar 4.4a menunjukkan serat nano yang dihasilkan memiliki *beads* meskipun hanya tersebar pada beberapa titik. Penambahan konsentrasi kitosan sampai 7% menunjukkan produktivitas *beads* menurun. Hal ini membuktikan bahwa Konsentrasi kitosan mempengaruhi produktivitas *beads* pada serat nano. Semakin meningkatnya konsentrasi kitosan maka produksi *beads* cenderung lebih sedikit (Paipitak *et al.* 2010). Hal tersebut

dikuatkan pada penelitian (Judawisastra *et al.* 2012) bahwa peningkatan konsentrasi akan mengakibatkan peningkatan massa molekul reaktif dari polimer dalam larutan akibat perubahan viskositas sehingga kemampuan electrospinning membentuk serat tanpa *beads* akan meningkat.

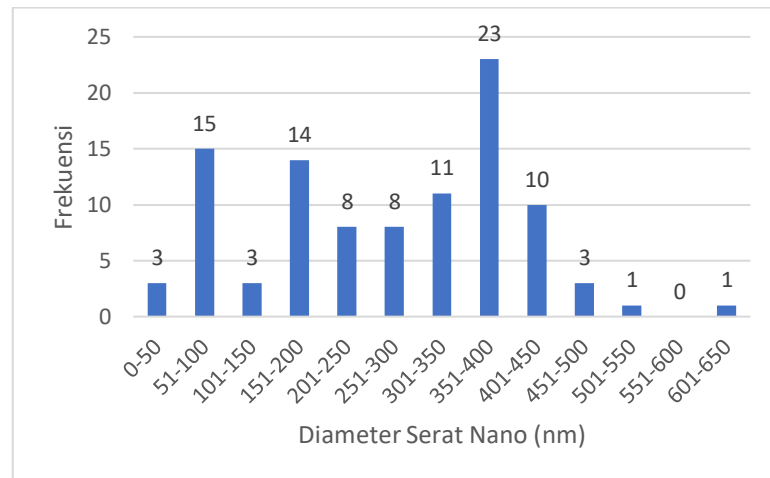
Gambar 4.4 d dan 4.4e memperlihatkan morfologi serat nano dengan struktur serat yang semakin terpecah. Hal tersebut dikarenakan tingkat kepekatan kitosan yang semakin tinggi menyebabkan terjadinya efek dekomposisi serat terhadap udara pada waktu inkubasi semakin membesar (Liu *et al.* 2014). Serat nano tanpa penambahan kitosan menunjukkan distribusi ukuran diameter serat yang sangat bervariasi. Penambahan kitosan sampai 7% menunjukkan pola diameter struktur serat nano yang semakin membesar. Untuk menunjukkan perubahan diameter struktur serat nano dilakukan melalui pengukuran menggunakan software Image-J. Pengujian dilakukan dengan mengukur 100 serat secara acak pada gambar SEM. Hasil pengukuran ditampilkan oleh gambar 4.5 - 4.10.



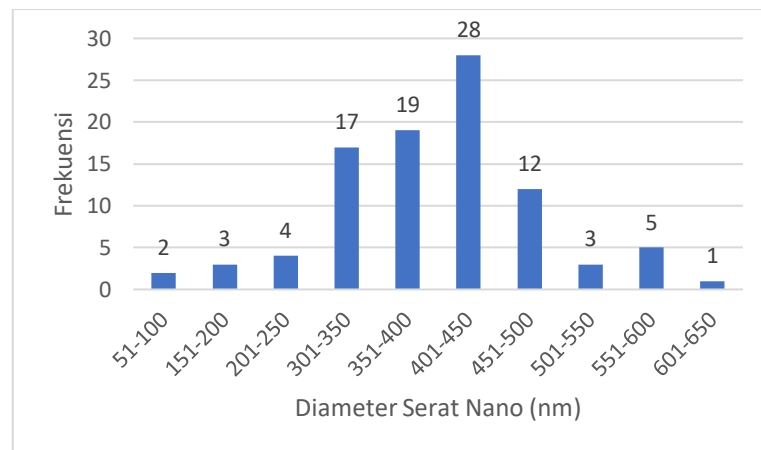
Gambar 4.5. Distribusi diameter serat nano PVA murni



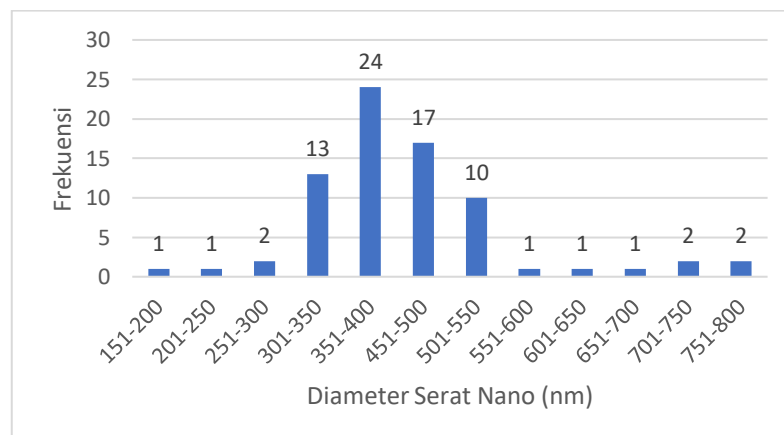
Gambar 4.6. Distribusi diameter serat nano PVA/kitosan 1%



Gambar 4.7. Distribusi diameter serat nano PVA/kitosan 3%

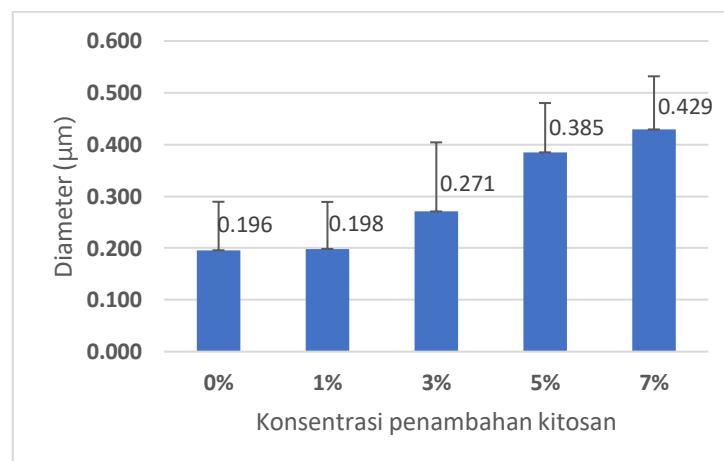


Gambar 4.8. Distribusi diameter serat nano PVA/kitosan 5%



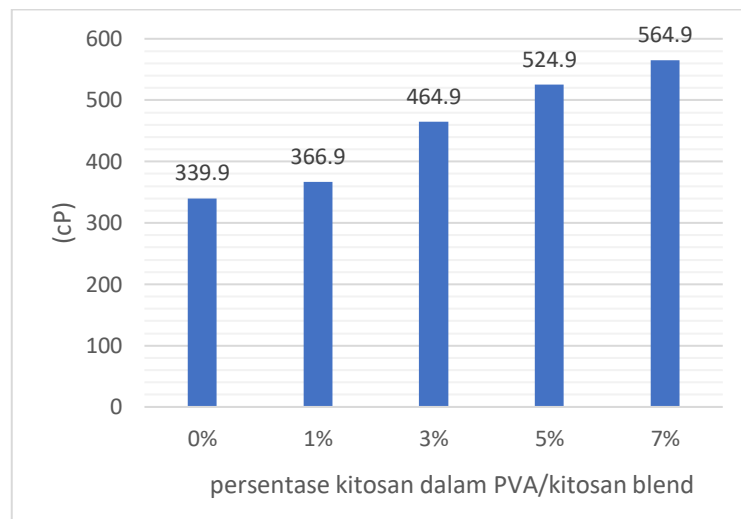
Gambar 4.9. Distribusi diameter serat nano PVA/kitosan 7%

Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan distribusi serat nano yang didominasi oleh serat berukuran 150 nm. Penambahan kitosan 1% menunjukkan efek yang tidak terlalu signifikan terhadap diameter serat nano PVA murni terlihat dari persebaran ukuran diameter serat yang didominasi oleh serat berukuran 150 nm. Sedangkan hasil pengukuran yang ditampilkan gambar 4.6 - 4.9 menunjukkan diameter serat nano yang semakin membesar. Hal ini mengindikasikan penambahan konsentrasi kitosan sampai 7% konsentrasi mengakibatkan peningkatan ukuran diameter serat nano hingga mencapai 800 nm pada konsentrasi 7%, meskipun pada konsentrasi ini masih didominasi serat nano berukuran 350 nm. Tetapi, pada penambahan konsentrasi kitosan 3%, diameter serat nano memperlihatkan distribusi yang paling tidak seragam. Sampel serat nano PVA/kitosan 3% menunjukkan pertumbuhan serat dengan ukuran kurang dari 100 nm yang sangat banyak meskipun pada konsentrasi ini didominasi oleh serat berukuran 350 nm. Fenomena ini kemungkinan disebabkan akibat adanya interaksi antara kelompok hidrogen pada penambahan konsentrasi PVA/kitosan sehingga meningkatkan tolakan *coulombic* dan kekuatan elektrostatis yang menyebabkan molekul akan menjadi semakin dekat satu sama lain dan diameter serat akan semakin mengecil (Abdullah *et al.* 2014).



Gambar 4.10. Korelasi antara diameter rata-rata serat nano terhadap konsentrasi PVA/kitosan

Gambar 4.10 menunjukkan penambahan konsentrasi kitosan terhadap PVA/kitosan *blend* yang semakin tinggi menyebabkan pertumbuhan ukuran diameter serat nano. Hal tersebut dikarenakan penambahan konsentrasi kitosan terhadap PVA/kitosan mengakibatkan viskositas larutan meningkat. Dengan viskositas yang tinggi akibat bertambahnya konsentrasi larutan menyebabkan berkurangnya penguapan pada zona *instability* yang akan menyebabkan bertambah besarnya diameter serat nano (Deniz, 2015). Hasil pengujian viskositas larutan ditampilkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Korelasi antara persentase kitosan dalam PVA/kitosan *blend* terhadap nilai viskositas larutan

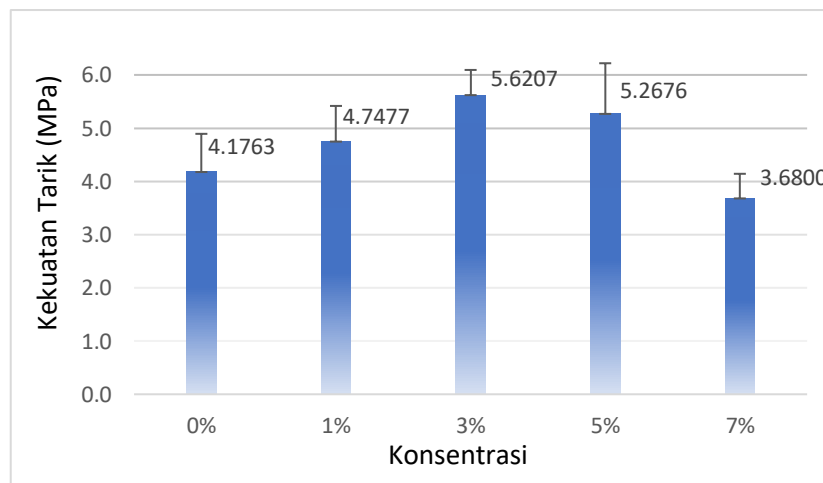
Gambar 4.11 menunjukkan Korelasi antara persentase kitosan dalam PVA/kitosan *blend* terhadap nilai viskositas larutan. Penambahan konsentrasi kitosan 1% mengakibatkan kenaikan yang tidak terlalu signifikan terhadap sampel PVA murni. Hal ini sebanding dengan data yang ditampilkan pada uji pengukuran diameter serat nano dimana pertambahan ukuran diameter serat terlihat tidak terlalu tinggi. Disamping itu penambahan persentase kitosan dalam PVA/kitosan *blend* sampai konsentrasi kitosan 7% mengakibatkan diameter rata-rata serat nano meningkat. Dengan begitu data yang diperoleh sebanding dengan data yang ditampilkan pada penelitian sebelumnya (Deniz, 2015).

4.4. Analisis Sifat Tarik Membran Serat Nano PVA/Kitosan

Pengujian tarik dilakukan guna mendapatkan data dari sifat tarik, regangan, dan sifat elastisitas dari membran serat nano PVA/kitosan *blend*. Analisis dan perhitungan dilakukan menurut persamaan yang ditampilkan pada persamaan (3.1); (3.2); dan (3.3)s. data hasil pengujian sifat tarik membran serat nano PVA/kitosan *blend* ditunjukkan pada gambar 4.12, gambar 4.13, dan gambar 4.15.

Tabel 4.1. Pengaruh konsentrasi kitosan terhadap sifat tarik

Sampel	Kekuatan Tarik (MPa)				
	0%	1%	3%	5%	7%
1	3,3638	3,9955	6,1506	5,4570	4,2130
2	4,7217	5,2803	5,4704	6,1107	3,3861
3	4,4433	4,9673	5,2411	4,2351	3,4411
Rata-rata	4,1763	4,7477	5,6207	5,2676	3,6800
s	0,72	0,67	0,47	0,95	0,46



Gambar 4.12. Grafik pengaruh konsentrasi kitosan terhadap sifat tarik dari membran serat nano PVA/kitosan *blend*

Tabel 4.1 dan gambar 4.12 menampilkan nilai kuat tarik rata-rata dari sampel membran serat nano PVA/kitosan *blend* pada variasi konsentrasi kitosan. Berdasarkan data yang diperoleh, nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada sampel

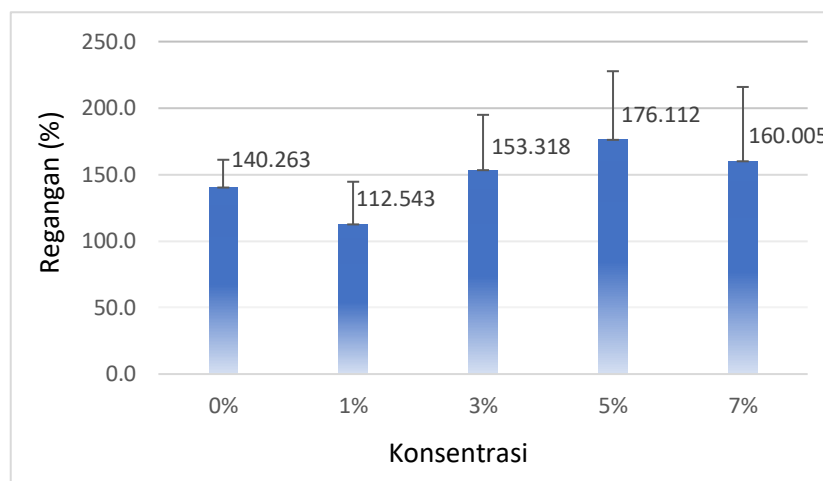
dengan penambahan 3% konsentrasi kitosan yakni sebesar $5,6207 \pm 0,47$ MPa. Hal ini disebabkan oleh persebaran ukuran diameter serat nano pada yang dapat diamati bahwa pada konsentrasi penambahan 3% kitosan terjadi pertumbuhan serat dengan diameter kurang dari 100 nm yang sangat banyak sehingga mempengaruhi nilai kuat tarik membran serat nano. Namun pada penambahan 5% dan 7% konsentrasi kitosan menyebabkan nilai kuat tarik membran serat nano cenderung menurun.

Distribusi serat nano dengan penambahan 1% kitosan mengalami peningkatan ukuran diameter serat, sedangkan nilai kuat tarik yang dihasilkan cenderung meningkat dibandingkan dengan sampel membran serat nano PVA murni. Hal tersebut diakibatkan karena pengaruh penambahan kitosan pada PVA murni karena pada dasarnya serat nano kitosan murni memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada PVA (Biazar *et al.* 2015). Nilai kuat tarik terendah diperoleh pada sampel membran serat nano dengan penambahan 7% konsentrasi kitosan hingga mencapai $3,68 \pm 0,46$ MPa. Hal tersebut diakibatkan karena morfologi serat nano yang memperlihatkan struktur serat nano yang terpecah sehingga menurunkan nilai kuat tarik membran serat nano. Konsentrasi kitosan yang terlalu tinggi menyebabkan efek degradasi serat terhadap udara lingkungan pada waktu inkubasi semakin besar (Liu *et al.* 2014). Disamping itu diameter rata rata serat nano akibat penambahan konsentrasi kitosan 5% sampai 7% menunjukkan pola kenaikan ukuran diameter yang sangat signifikan yang mana mengakibatkan nilai kuat tarik membran serat nano semakin menurun. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa diameter serat nano yang semakin kecil akan mengakibatkan nilai kuat tarik membran serat nano meningkat, dan sebaliknya jika diameter serat nano semakin besar maka akan didapatkan nilai kuat tarik yang lebih rendah.

4.5. Analisis Regangan Membran serat nano PVA/kitosan

Tabel 4.2. Pengaruh konsentrasi kitosan terhadap regangan

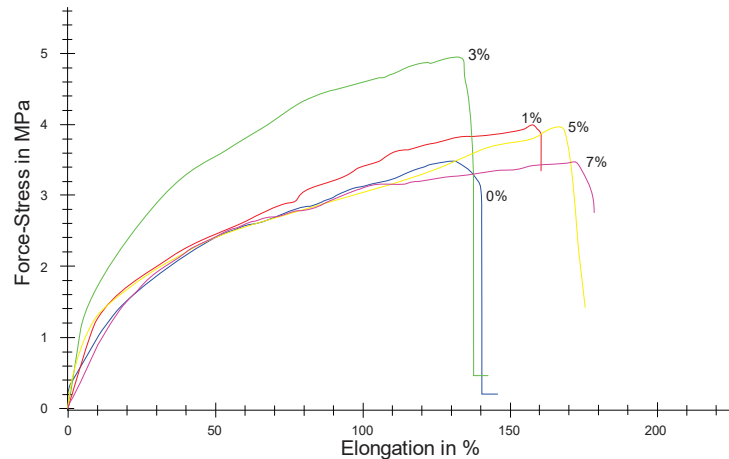
Sampel	Regangan (%)				
	0%	1%	3%	5%	7%
A	153.632	124.882	126.191	231.043	98.639
B	150.953	76.126	201.233	128.603	208.010
C	116.204	136.622	132.531	168.689	173.366
Rata-rata	140.263	112.543	153.318	176.112	160.05
s	20.9	32.1	41.6	51.6	55.9



Gambar 4.13. Grafik pengaruh konsentrasi kitosan terhadap regangan dari membran serat nano PVA/kitosan *blend*

Table 4.2 dan gambar 4.13 menampilkan data regangan yang dihasilkan dari pengujian tarik membran serat nano PVA/kitosan *blend*. Regangan yang dihasilkan pada sampel membran serat nano PVA murni mencapai 140,2 %. Nilai tersebut lebih tinggi daripada regangan pada sampel membran serat nano kitosan 1% (112,5 %) hal ini disebabkan oleh kitosan yang pada dasarnya memiliki nilai regangan yang rendah dari pada PVA murni (Biazar *et al.* 2015). Meskipun begitu penambahan kitosan sampai konsentrasi 5% menunjukkan pola peningkatan regangan dari membran PVA/kitosan. Hal ini membuktikan bahwa sifat membran pada konsentrasi yang semakin tinggi dengan persentase pencampuran 95:5

PVA/kitosan dihasilkan regangan yang semakin tinggi. Hasil pengujian tarik ditampilkan pada gambar 4.14.



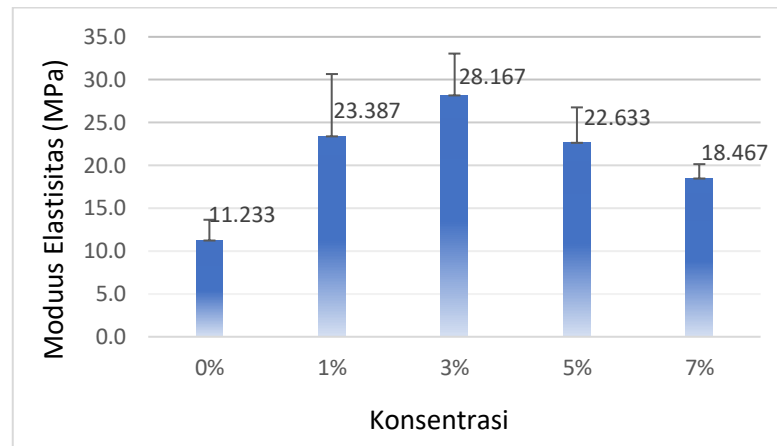
Gambar 4.14. Kurva pengaruh konsentrasi kitosan terhadap regangan membran serat nano PVA/Kitosan *blend*

Berdasarkan Annaidh *et al.* (2011) pada penelitian Jansen and Rottier (1958), standar material untuk medis yang diperbolehkan yakni memiliki nilai elongasi antara 17%-207%, sedangkan nilai kuat tarik antara 1MPa-24 MPa. Pada penelitian ini dihasilkan membran serat nano dengan nilai kuat tarik yang berkisar antara 3,68-5,62 MPa dengan nilai regangan antara 112-176 % sehingga material tersebut termasuk ke dalam standar tersebut. Hal ini membuktikan bahwa bahan polimer PVA/kitosan *blend* untuk pembuatan serat nano dengan konsentrasi (0, 1, 3, 5, dan 7%) berpotensi untuk diaplikasikan sebagai pembalut luka (wound dressing).

4.6. Analisis Modulus Elastisitas Membran Serat Nano PVA/kitosan

Tabel 4.3. Pengaruh konsentrasi kitosan terhadap modulus elastisitas

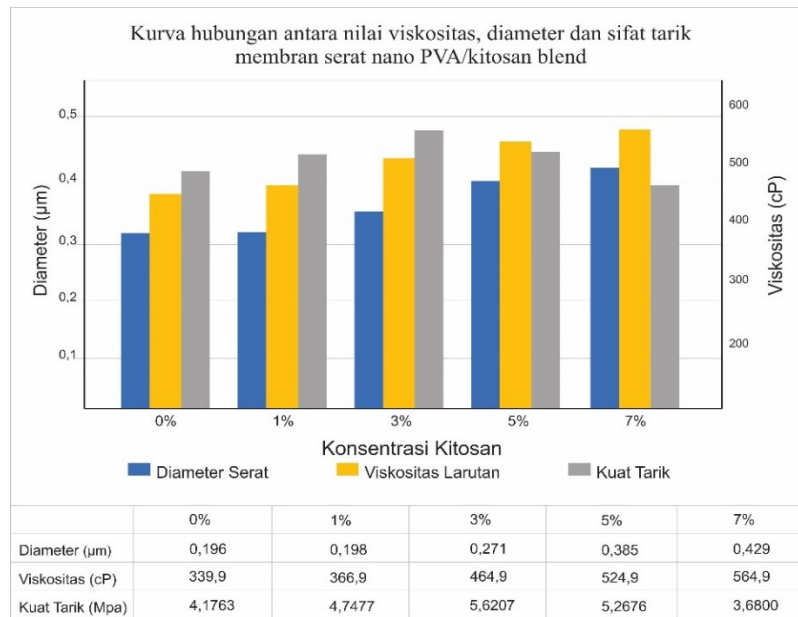
Sampel	Modulus Elastisitas (Mpa)				
	0%	1%	3%	5%	7%
A	14.000	31.660	33.800	26.200	17.600
B	10.200	20.500	25.200	23.600	20.400
C	9.500	18.000	25.500	18.100	17.400
Rata-rata	11.233	23.387	28.167	22.633	18.467
s	2.421	7.273	4.881	4.136	1.677



Gambar 4.15. Grafik pengaruh konsentrasi kitosan terhadap modulus elastisitas dari membran serat nano PVA/kitosan *blend*

Tabel 4.3 menampilkan data modulus elastisitas yang diperoleh dari perhitungan tegangan dan regangan persamaan 3.3 dengan pengaruh penambahan variasi persentase kitosan. Dapat diamati pada gambar 4.15 bahwa sampel membran serat nano dari PVA murni memiliki nilai modulus elastisitas terendah sebesar $11,233 \pm 2,4$ MPa. Hal tersebut dikarenakan pada kondisi tanpa pencampuran kitosan sifat membran didominasi oleh perilaku plastis sehingga didapatkan nilai kuat tarik yang relatif rendah dengan regangan yang tinggi. Sedangkan penambahan presentase kitosan terhadap PVA/kitosan 1% sampai 7% *blend* menunjukkan pola berbanding lurus terhadap nilai kuat tarik membran serat nano. Nilai modulus elastisitas membran serat nano pada penambahan presentase kitosan 3% PVA/kitosan *blend* mendapatkan nilai tertinggi yaitu sebesar $28,167 \pm 4,8$ MPa.

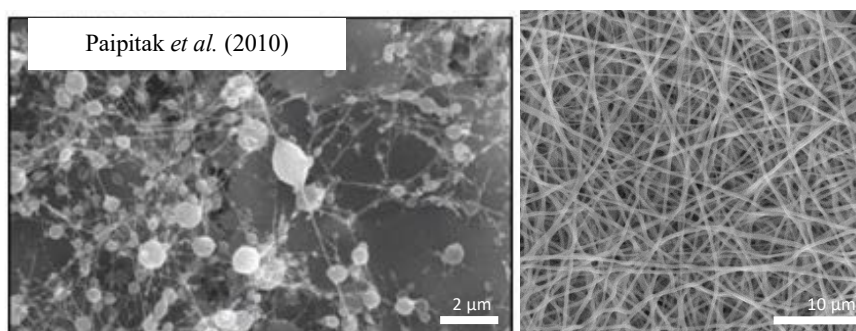
Konsentrasi kitosan yang semakin tinggi menghasilkan larutan dengan viskositas yang tinggi pula, sedangkan viskositas yang semakin tinggi menghasilkan diameter fiber yang relatif semakin besar. Sifat tarik yang dihasilkan menunjukkan peningkatan nilai kuat tarik sampai konsentrasi 3% penambahan kitosan. Penambahan konsentrasi kitosan lebih dari 3% menunjukkan pola penurunan nilai kuat tarik membran serat nano PVA/kitosan *Blend*. Berikut gambar 4.16 menampilkan diagram korelasi antara nilai viskositas, diameter dan sifat tarik dari membran serat nano.



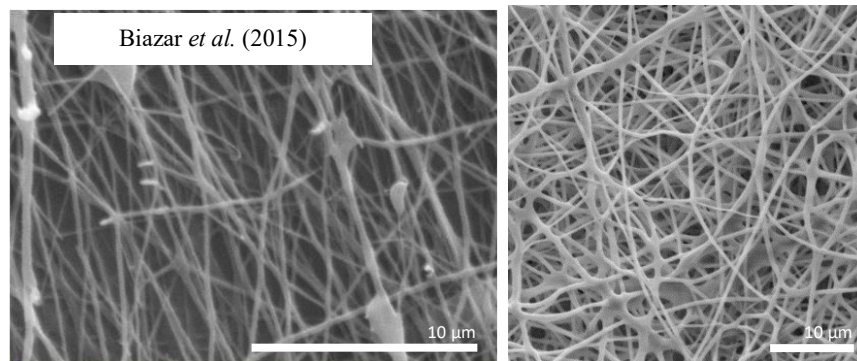
Gambar 4.16. Kurva hubungan antara nilai viskositas, diameter dan sifat tarik membran serat nano PVA/kitosan *blend*

4.7. Perbandingan hasil penelitian

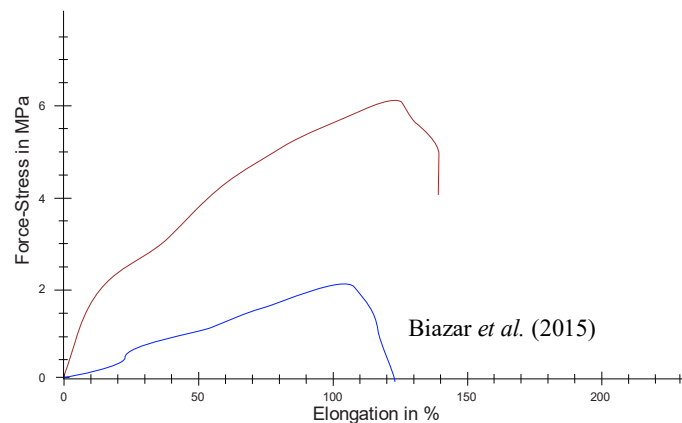
Pada penelitian ini dilakukan perbandingan hasil penelitian kondisi morfologi permukaan membran dan diameter rata-rata serat nano dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Paipitak *et al.* (2010) dan Biazar *et al.* (2015) dengan bahan yang sama PVA/Kitosan. Perbandingan morfologi serat nano PVA/Kitosan 3% ditunjukkan pada gambar 4.1 sedangkan gambar 4.18 Perbandingan morfologi serat nano PVA/Kitosan 5% dengan penelitian Biazar *et al.* (2015).



Gambar 4.17. Perbandingan morfologi serat nano PVA/Kitosan 3% dengan penelitian Paipitak *et al.* (2010)



Gambar 4.18. Perbandingan morfologi serat nano PVA/Kitosan 5% dengan penelitian Biazar *et al.* (2015)



Gambar 4.19. Kurva perbandingan morfologi serat nano PVA/Kitosan 5% dengan penelitian Biazar *et al.* (2015)

Dapat diamati pada gambar 4.17, presentase pencampuran PVA/kitosan 8:2 yang dilakukan Paipitak *et al.* (2010) menunjukkan Pertumbuhan *beads* yang relatif banyak meskipun diameter rata-rata serat nano yang dihasilkan mencapai 100 nm. Hal ini dikarenakan, perbedaan parameter tegangan dan jarak TCD yang digunakan lebih besar yaitu 21-25 kV dan 10 cm. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan tegangan 18 kV dan jarak TCD 16,5 cm. Kondisi tersebut didukung dengan penelitian yang dilakukan Thompson *et al.* (2007) yang menyatakan bahwa ketika semakin besar tegangan yang digunakan dan jarak TCD semakin dekat akan membuat beda potensial antar kutub positif dan negatif juga semakin meningkat.

Semakin tinggi beda potensial maka ukuran serat akan semakin kecil karena medan listrik yang besar membuat serat mengalami regangan lebih besar.

Perbandingan penelitian Biazar *et al.* (2015) ditampilkan pada gambar 4.18 dan 4.19. Perbandingan morfologi serat nano PVA/Kitosan 5% pada persentase pencampuran 8:2 menunjukkan struktur serat yang tampak lebih lurus meskipun masih ditemukan beberapa beads, namun kekuatan yang dimiliki lebih rendah seperti ditunjukkan pada gambar 4.18. Hal ini dikarenakan, efek dari Pertumbuhan *beads* yang mengakibatkan ikatan silang antar serat menurun (*uncroslink*) Robaitullah (2017).