

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Viskositas dan Daya Hantar Listrik (DHL) Larutan NeCs/PVA

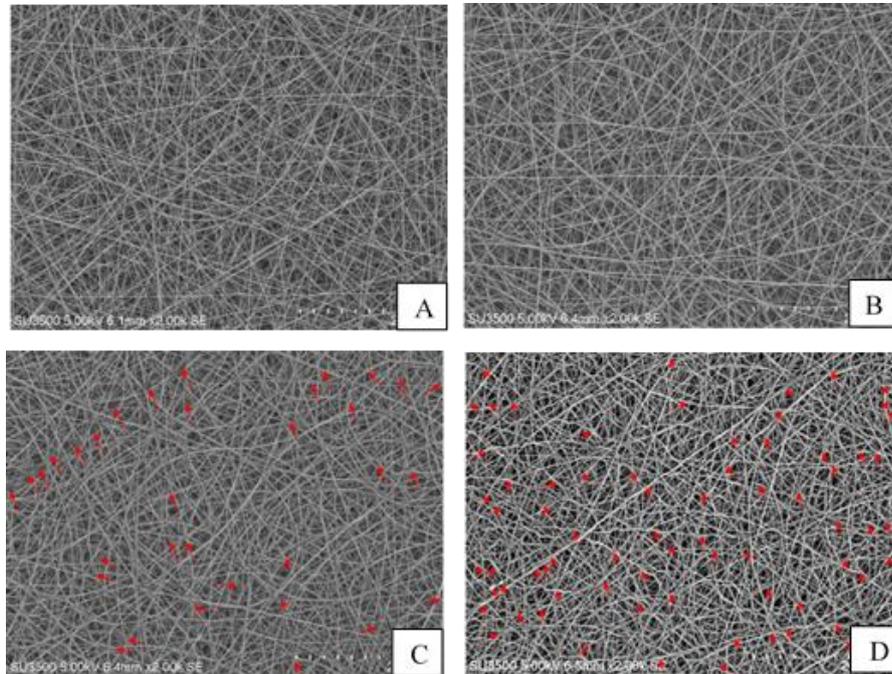
Salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses pembentukan membran *nanofiber* adalah sifat fisis dari larutan meliputi viskositas dan konduktivitas (Garg dkk., 2014). Sifat fisis dari larutan diukur dengan menggunakan viskometer dan konduktometer. Hasil dari kedua pengujian ini ditampilkan pada tabel 4.1. Penambahan konsentrasi NeCs akan menaikkan nilai konduktivitas dari larutan, akan tetapi nilai viskositas larutan menjadi turun saat penambahan konsentrasi NeCs. Hal ini terjadi karena NeCs yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai viskositas yang rendah, namun memiliki nilai konduktivitas yang tinggi.

Tabel 4.1 Hasil Uji Viskositas dan DHL

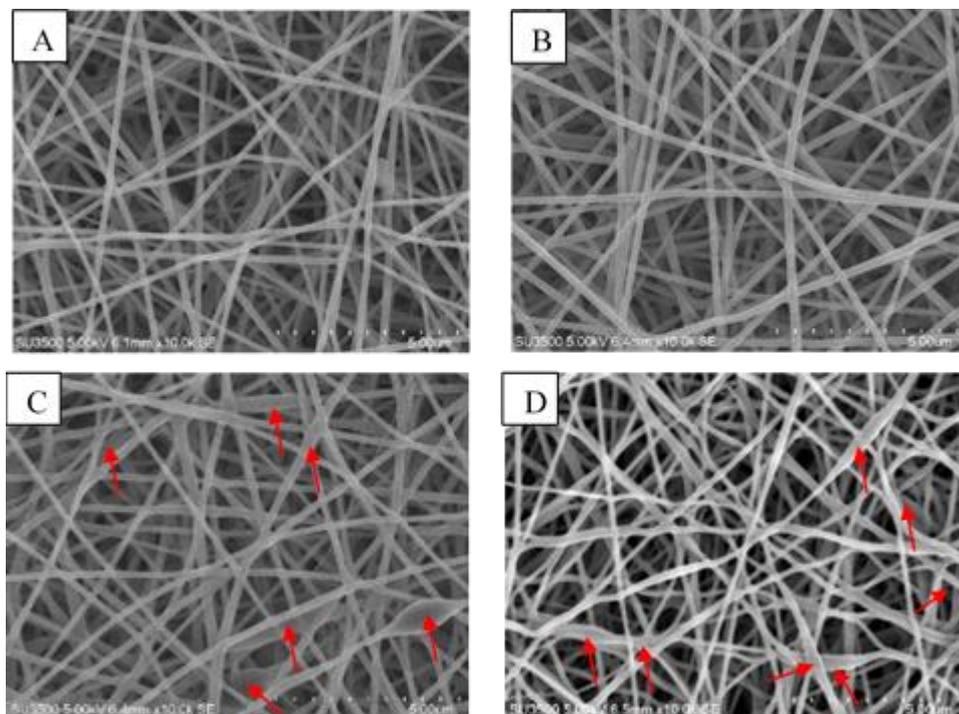
Konsentrasi	Viskositas	DHL
0%	577,9	539,67
5%	369,9	590,00
10%	313,9	613,33
15%	218,5	651,67

Dalam penelitian lain juga terjadi hal yang sama (Panboon,2005; Darmawan dkk., 2016;). Penambahan konsentrasi kitosan pada larutan PVA/Kitosan akan menyebabkan nilai viskositas menurun, namun sebaliknya nilai konduktivitas naik. Nilai viskositas yang terlalu rendah akan menyebabkan larutan mudah menetes dari jarum saat proses *electrospinning* dan nilai viskositas yang terlalu tinggi akan menyebabkan *fiber* sulit terbentuk.

4.2 Analisis Morfologi Membran Nanofiber



Gambar 4.1 Morfologi hasil SEM membran PVA/NeCs (A) 0%, (B) 5%, (C) 10%, (D) 15% perbesaran 2000 kali

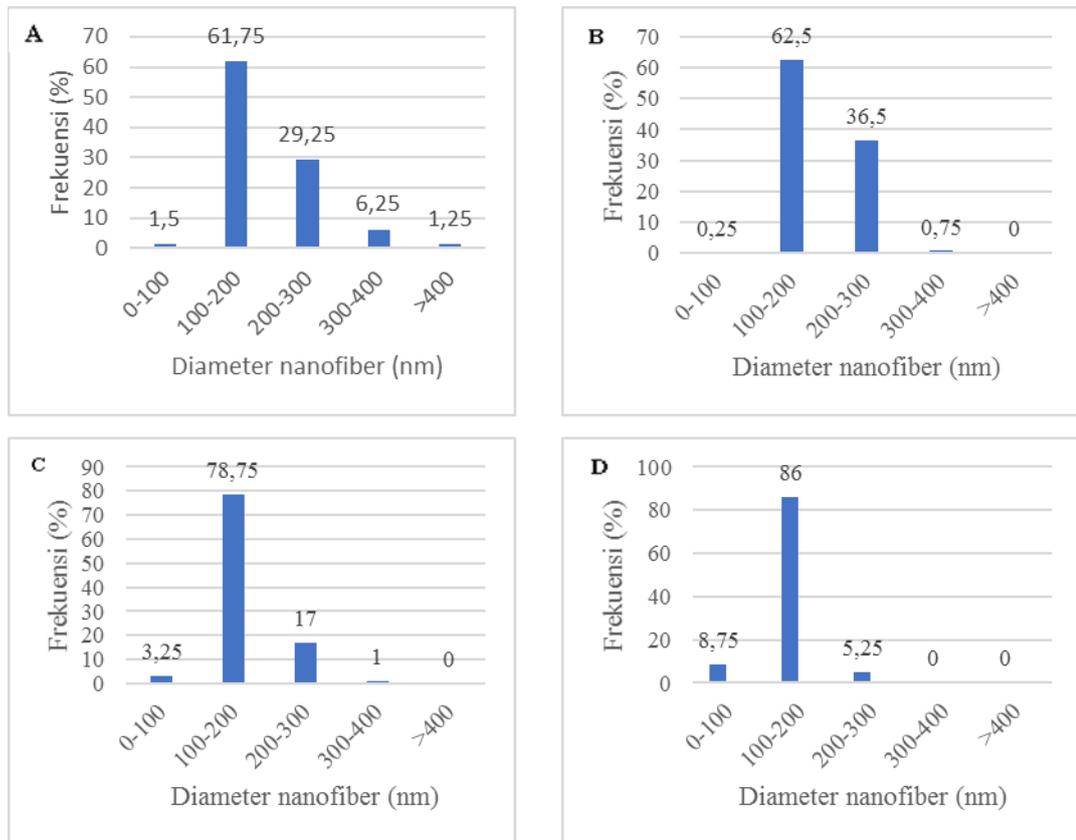


Gambar 4.2 Morfologi hasil SEM membran PVA/NeCs (A) 0%, (B) 5%, (C) 10%, (D) 15% perbesaran 5000 kali

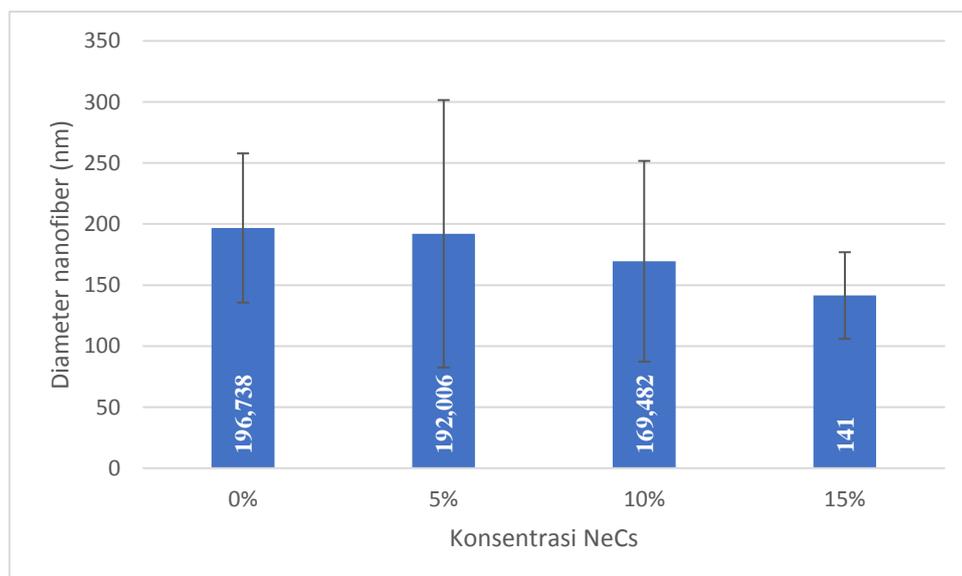
Pengamatan morfologi membran serat nano dilakukan menggunakan SEM. Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa membran *nanofiber* PVA/NeCs berhasil dibuat menggunakan metode *electrospinning*. Peningkatan konsentrasi NeCs pada larutan menyebabkan timbulnya *bead* pada membran *nanofiber* 10% dan 15% (gambar 4.1 C,D dan gambar 4.2 C,D). Sedangkan pada konsentrasi NeCs 0% dan 5% (gambar 4.1 A,B dan gambar 4.2 A,B) tidak ditemukan *bead* pada membran *nanofiber*.

Pada gambar 4.2A membran *nanofiber* PVA/NeCs 0% memiliki diameter serat yang belum seragam. Penyebab dari hal ini adalah larutan memiliki DHL yang rendah, sehingga *nanofiber* masih kurang merata ukurannya (Herdiawan dkk., 2013). Hasil SEM membran PVA/NeCs 5% (gambar 4.2B) menunjukkan mulai terbentuknya *nanofiber* yang seragam. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan 5% NeCs dapat menyeragamkan ukuran *nanofiber*. Pada membran PVA/NeCs 10% (gambar 4.2C) *nanofiber* yang terbentuk semakin seragam dan ukurannya menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Sedangkan pada membran PVA/NeCs 15% (gambar 4.2.D) bentuk morfologinya tidak berbeda jauh dengan membran PVA/NeCs 10% dengan ukuran *nanofiber* yang lebih kecil lagi.

Membran PVA/NeCs 0% memiliki ukuran *nanofiber* yang belum seragam, karena ukurannya masih tersebar pada beberapa ukuran yaitu 1,5% berukuran 0-100 nm, 61,75% berukuran 100-200 nm, 29,25% berukuran 200-300 nm, 6,25% berukuran 300-400 nm dan 1,25% berukuran >400 nm (gambar 4.3A). Namun pada membran PVA/NeCs 5% (gambar 4.3B) ukuran *nanofiber* mulai seragam pada ukuran 100-200 nm (62,5%) dan 200-300 nm (36,5%). Hal yang sama juga terjadi pada membran PVA/NeCs 10% (gambar 4.3C) ukuran *nanofiber* seragam pada range 100-200 nm (78,75 %) dan 200-300 nm (17%). Kemudian pada membran PVA/NeCs 15% (gambar 4.3D) *nanofiber* berukuran 100-200 nm mendominasi dengan frekuensi sebanyak 86%. Dari gambar 4.4 juga dapat diamati bahwa peningkatan konsentrasi NeCs akan menyebabkan diameter rata-rata *nanofiber* mengecil.



Gambar 4.3 Distribusi diameter nanofiber pada membran dengan konsentrasi (A) NeCs 0%, (B) NeCs 5%, (C) NeCs 10%, (D) NeCs 15%



Gambar 4.4 Diameter rata-rata membran *nanofiber*

Pada tabel 4.2 dapat dilihat tabel pengaruh nilai viskositas terhadap diameter. Seiring dengan berkurangnya nilai viskositas dari larutan terjadilah pengurangan ukuran diameter *nanofiber*. Hal ini membuktikan bahwa viskositas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi penurunan ukuran diameter *nanofiber*. Larutan yang memiliki viskositas rendah akan lebih mudah menghasilkan *nanofiber* berukuran kecil dibandingkan dengan larutan dengan viskositas tinggi karena *solvent* (zat pelarut) larutan akan banyak menguap saat proses *electrospinning*. Larutan dengan nilai viskositas tinggi menghasilkan *nanofiber* dengan diameter yang lebih besar disebabkan karena dapat menahan *jet stream* menjadi stabil (Herdiawan dkk., 2013) .

Tabel 4.2 Pengaruh viskositas terhadap diameter rata rata membran

Konsentrasi	Viskositas	Diameter
0%	577,9	196,738
5%	369,9	192,006
10%	313,9	169,482
15%	218,5	141,446

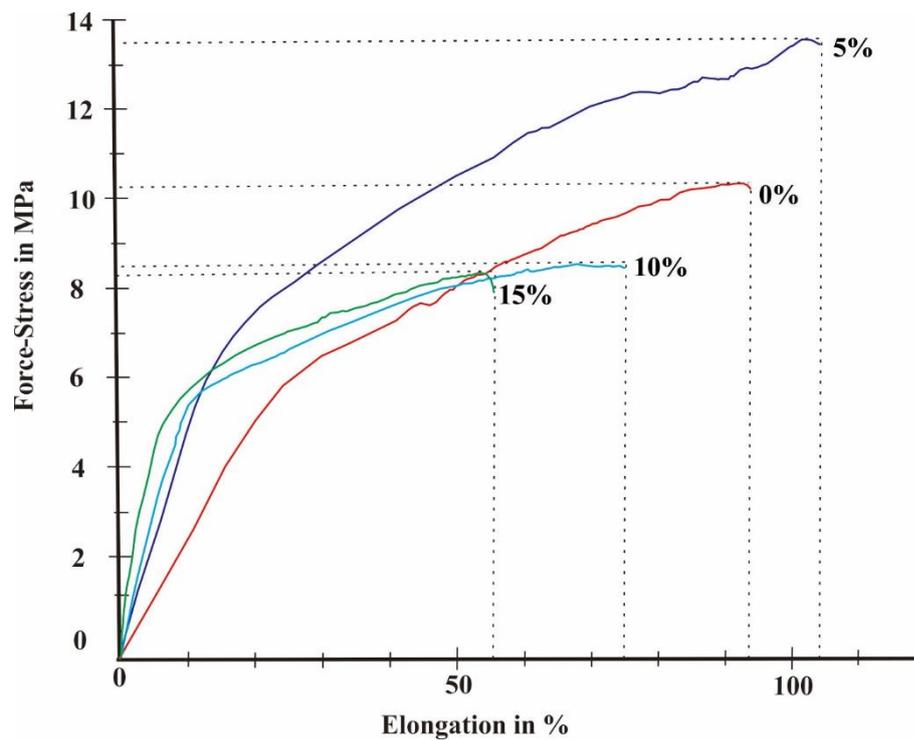
Selain viskositas, konduktivitas juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi pengurangan ukuran diameter *nanofiber*. Berbanding terbalik dengan viskositas, semakin tinggi nilai dari konduktivitas larutan maka diameter membran *nanofiber* yang terbentuk akan semakin mengecil (tabel 4.3). Dengan nilai konduktivitas yang meningkat, medan listrik yang dialirkan pada larutan akan memiliki sedikit hambatan sehingga pembentukan *taylor cone* dan *jet stream* menjadi lebih stabil (Koosha dkk., 2015).

Tabel 4.3 Pengaruh DHL terhadap diameter rata rata membran

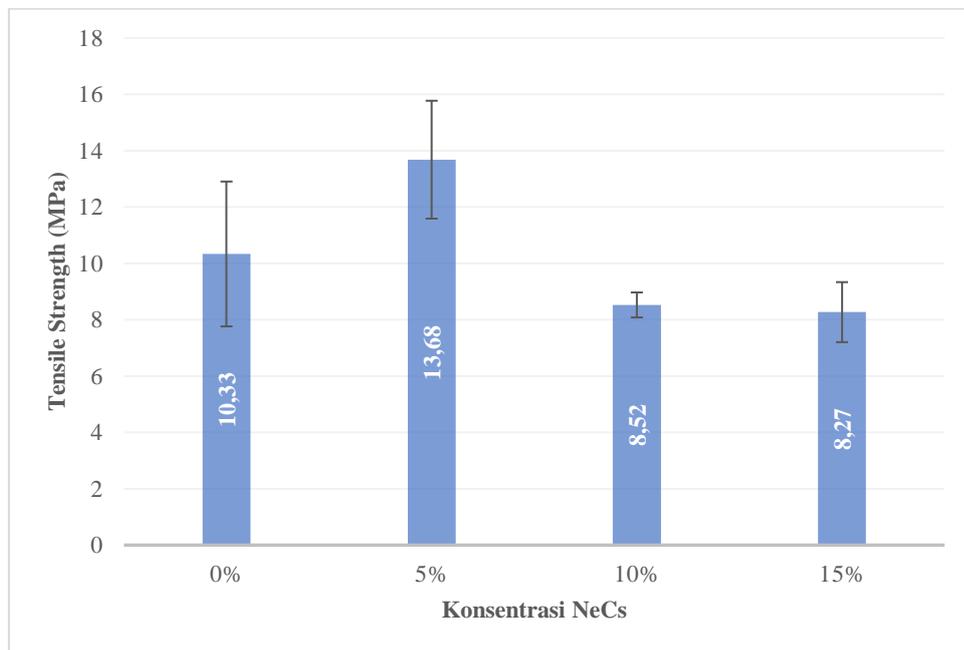
Konsentrasi	DHL	Diameter
0%	539,67	196,738
5%	590,00	192,006
10%	613,33	169,482
15%	651,67	141,446

4.3 Sifat Tarik Membran Nanofiber PVA/NeCs

Analisis sifat mekanik dilakukan setelah membran PVA/NeCs di uji tarik menggunakan standar ASTM D882. Nilai kuat tarik (*tensile strength*), regangan (*elongation*), dan modulus elastisitas dihitung menggunakan rumus persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3. Kurva regangan-tegangan hasil uji tarik membran *nanofiber* PVA/NeCs dapat dilihat pada gambar 4.5.



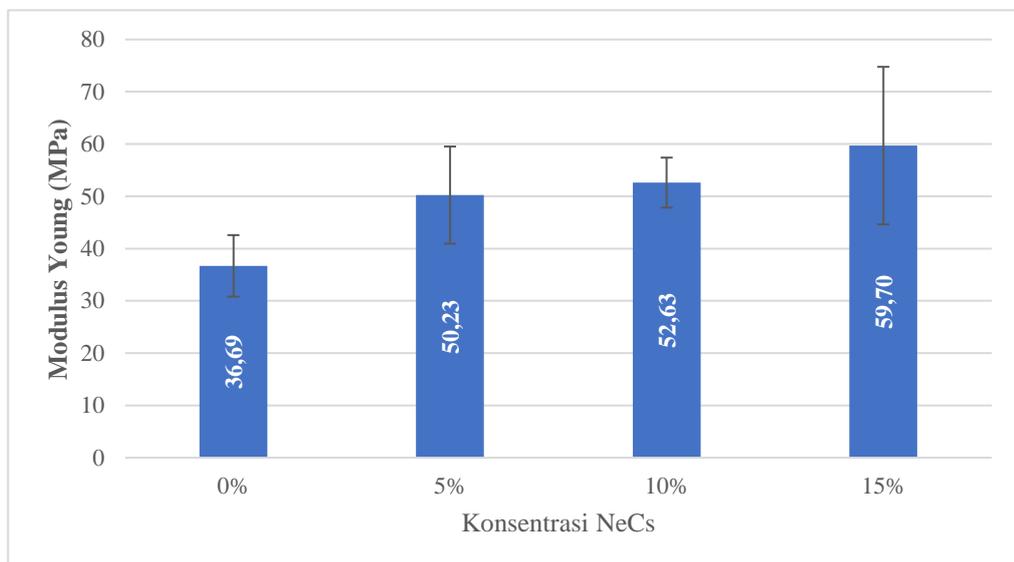
Gambar 4.5 Hasil kurva tegangan-regangan membran PVA/NeCs



Gambar 4.6 Nilai kuat tarik rata-rata membran *nanofiber*

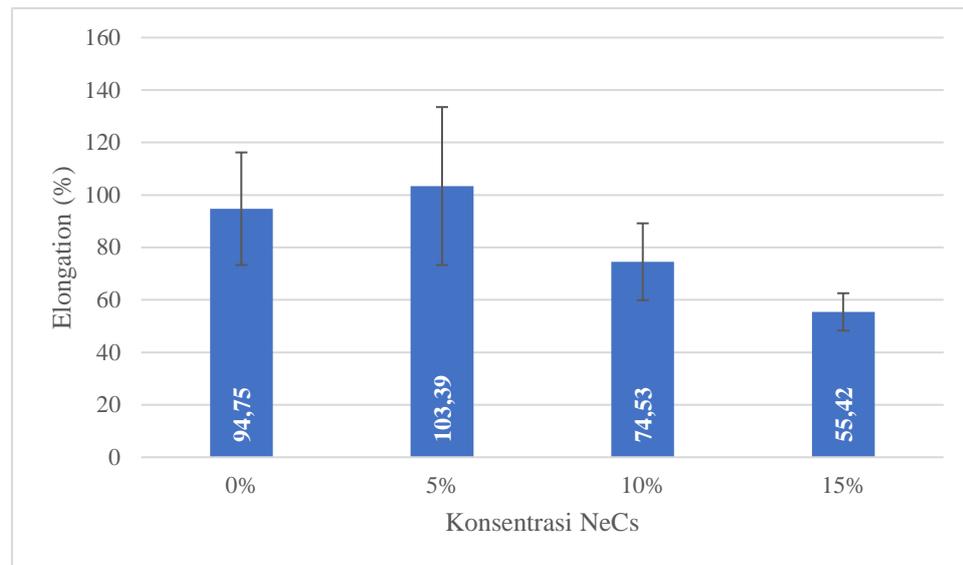
Kuat tarik membran *nanofiber* PVA/NeCs memiliki nilai 8,27 MPa (PVA/NeCs 15%) sampai 13,68 MPa (PVA/NeCs 5%). Pada gambar 4.6 nilai kuat tarik membran *nanofiber* PVA/NeCs meningkat pada penambahan konsentrasi NeCs 5% dan menurun setelah penambahan NeCs 10% dan 15%. Hal ini terjadi karena NeCs yang digunakan merupakan *amorf* sehingga menyebabkan membran *nanofiber* bersifat kaku (*brittle*) (Jia dkk., 2007). Selain itu, menurunnya nilai kuat tarik dari membran *nanofiber* PVA/NeCs 10% dan 15% disebabkan karena munculnya *bead* pada kedua membran tersebut (gambar 4.1 dan 4.2). *Bead* yang terbentuk akan mempengaruhi ikatan antar nanofiber sehingga menyebabkan turunnya kuat tarik membran. Berdasarkan hasil nilai kuat tarik ini, membran *nanofiber* PVA/NeCs ini sudah masuk pada standar *tensile strength* native skin, yaitu antara 5,0 – 30 MPa (Miguel dkk., 2017).

Gambar 4.7 nilai modulus elastisitas membran *nanofiber* mengalami peningkatan saat penambahan konsentrasi NeCs. Kenaikan modulus elastisitas ini terjadi karena beberapa faktor yaitu (i) penurunan diameter *nanofiber* dapat menyebabkan nilai kekakuan naik dan modulus elastisitasnya naik (Pelipenko dkk., 2013), (ii) munculnya gaya inter dan intra molekular pada saat penambahan kitosan yang menjadi penyebab peningkatan kekakuan membran (Islam dkk., 2015). Nilai modulus elastisitas dari membran ini masih terlalu tinggi dari nilai modulus elastisitas *native skin* 4,6 – 20 MPa (Miguel dkk., 2017).



Gambar 4.7 Nilai Modulus Elastisitas membran nanofiber

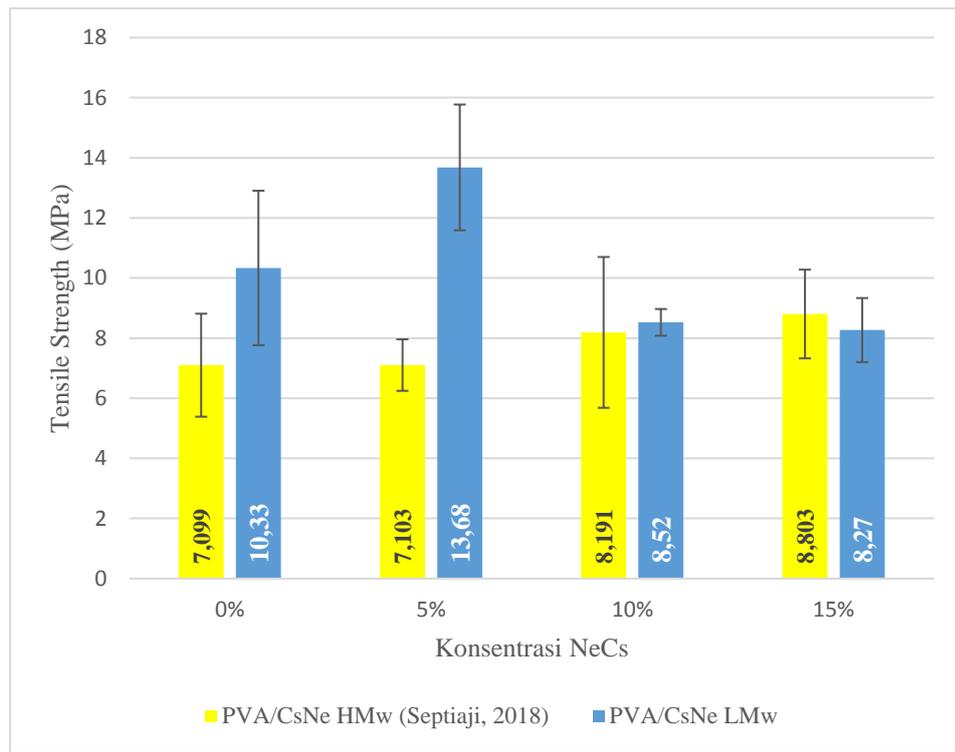
Berdasarkan gambar 4.8 membran *nanofiber* mengalami kenaikan nilai *elongasi*/regangan pada penambahan NeCs sebanyak 5% dan menurun setelah penambahan NeCs 10 % dan 15%. Nilai regangan tertinggi didapat pada membran PVA/NeCs 5% dengan nilai 103,39 dan nilai terendah didapatkan pada membran PVA/NeCs 15% dengan nilai 55,42. Hasil nilai regangan ini sudah memenuhi standar regangan dari *native skin* yaitu 35,00-115,00 % (Miguel dkk., 2017).



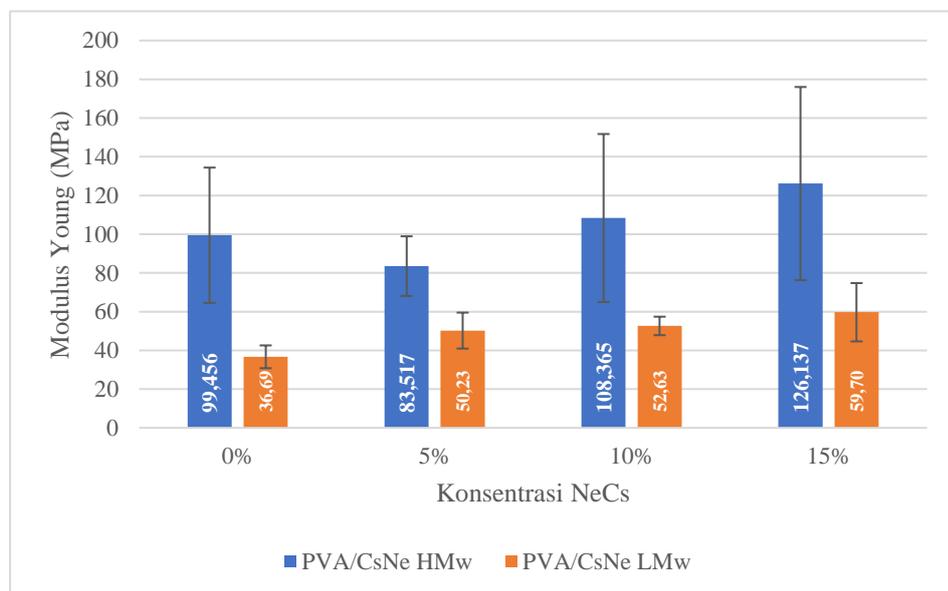
Gambar 4.8 Nilai regangan membran *nanofiber*

4.4 Perbandingan sifat mekanis membran *nanofiber* NeCs/PVA

Perbandingan nilai kuat tarik (*tensile strength*) antara membran *nanofiber* PVA/NeCs LMw dengan PVA/NeCs HMw dapat dilihat pada Gambar 4.9. Grafik menunjukkan bahwa nilai kuat tarik membran *nanofiber* PVA/NeCs LMw lebih besar dibandingkan dengan membran PVA/NeCs LMw. Selain itu nilai modulus elastisitas (gambar 4.10) yang sangat tinggi (83,517-126,137 MPa) juga menjadi penyebab membran menjadi sangat kaku sehingga menyebabkan nilai kuat tariknya kecil. Modulus elastisitas dari membran PVA/NeCs HMw juga masih sangat jauh dari nilai modulus elastisitas *native skin* dibandingkan dengan PVA/NeCs LMw. Oleh karena itu, membran PVA/NeCs LMw dipilih dalam uji *in vivo* pada luka mencit.



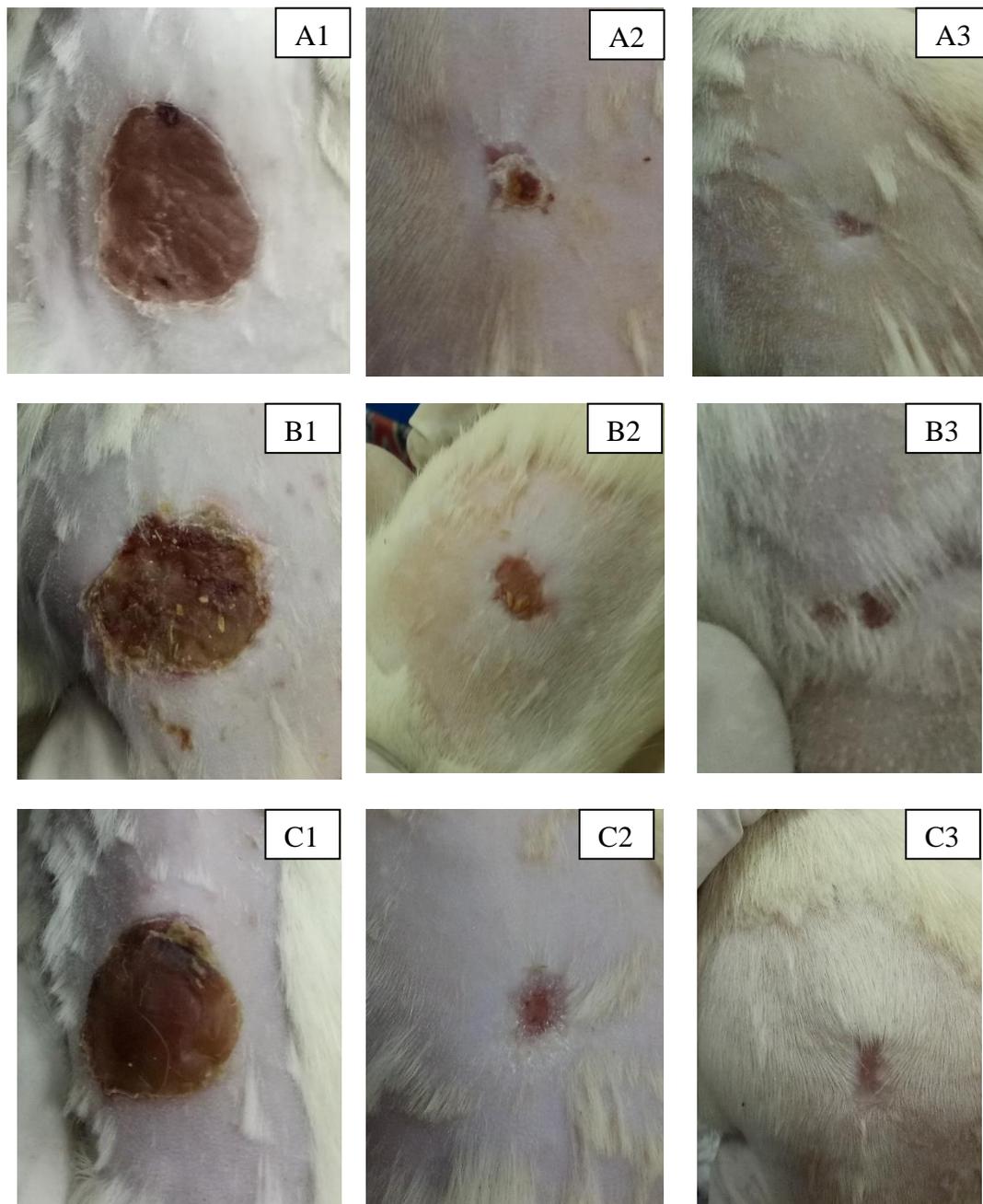
Gambar 4.9 . Perbandingan nilai kuat tarik membran PVA/NeCs HMw dengan membran PVA/NeCs LMw



4.10 . Perbandingan nilai modulus elastisitas membran PVA/NeCs HMw dengan membran PVA/NeCs LMw

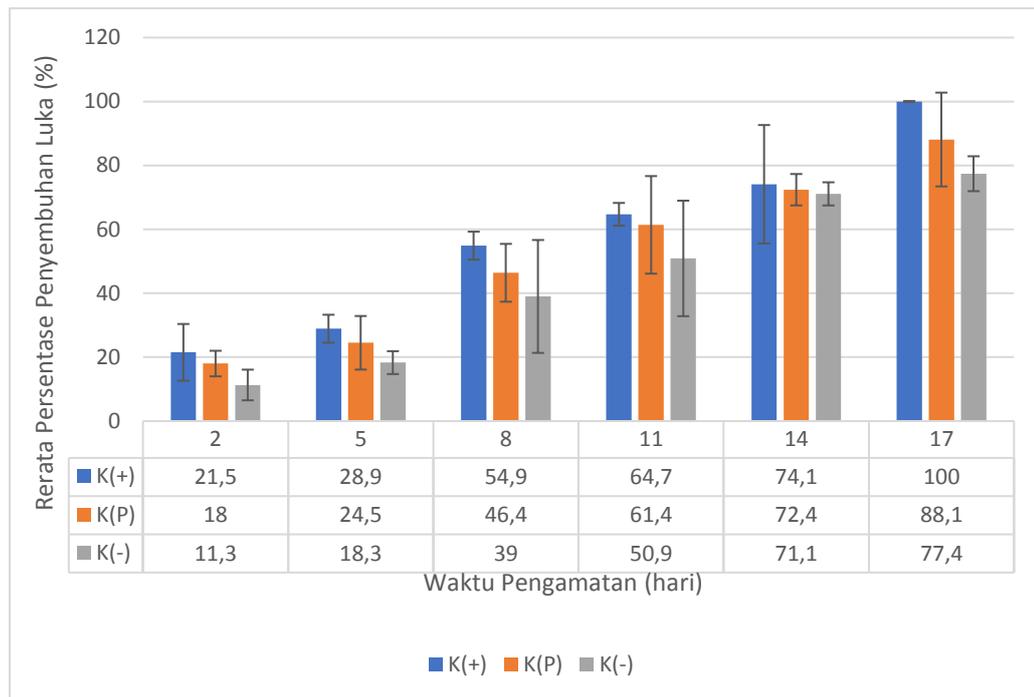
4.5 Aplikasi pada Luka Mencit

Pengamatan efektifitas penggunaan membrane penutup luka CsNe/PVA terhadap penyembuhan luka sayat menggunakan metode *in vivo*. Penelitian ini dilakukan secara makroskopis dengan mengukur diameter luka sayat pada hari ke 2, 5, 8, 11,14, dan 17. Pengukuran diameter luka sayat dilakukan pada 15 ekor hewan uji yang dibagi menjadi 3 kelompok. Kelompok I sebagai kontrol positif/Sofra-Tulle), Kelompok II sebagai kelompok perlakuan (membran PVA/NeCs 15%) dan Kelompok III sebagai kontrol negatif (membran PVA/NeCs 0%). Pengaruh penggunaan membran PVA/NeCs 0%, PVA/NeCs 15% dan *Sofra-Tulle* pada luka sayat bisa dapat dilihat pada gambar 4.11. Rata-rata persentase penyembuhan luka sayat dinilai berdasarkan perubahan diameter luka sayat pada setiap waktu pengamatan yang ditampilkan pada gambar 4.12



Gambar 4.11 Hasil penyembuhan luka pada hari ke 8 (A), hari ke 14 (B) dan hari ke 17 (C)

Luka yang dibalut menggunakan membran PVA/NeCs 15% (gambar 4.11 A1-A3) dapat menutup pada hari ke 17 seperti pada luka yang dibalut menggunakan *Sofra-Tulle* (gambar 4.11 C1-C3). Sedangkan luka yang dibalut menggunakan PVA/NeCs 0% (gambar 4.11 B1-B3) belum menutup pada hari ke 17.



Gambar 4.12 Perkembangan luka pada mencit

Hasil penelitian (gambar 4.12) menunjukkan bahwa penyembuhan luka terjadi pada lima hari pertama yaitu pada fase inflamasi. Adanya perbedaan progresifitas penyembuhan luka pada hari ke-5 pada ketiga kelompok dalam penelitian ini disebabkan karena adanya perbedaan kandungan pembalut luka (PVA/NeCS 15%, PVA/NeCs 0% dan *Sofra-Tulle*). Kelompok perlakuan (PVA/NeCS 15%) menunjukkan persentase penyembuhan luka yang mendekati dengan kontrol positif. Hasil penelitian juga sesuai dengan penelitian Isele dkk., (2016) yang menyatakan bahwa kitosan memiliki kemampuan menginisiasi pembelahan sel fibroblast dan menstimulasi sintesis kolagen yang sangat berperan penting dalam proses penyembuhan luka. Kitosan juga telah terbukti mampu meningkatkan daya re-epitelisasi dan regenerasi dari lapisan granular pada kulit (Azad dkk, 2004).