

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Harti *et al.* (2009) adalah membahas tentang pengaruh pemberian lendir bekicot terhadap penyembuhan luka. Penelitian menggunakan 16 tikus putih jantan sebagai sampelnya. Intervensi yang digunakan dengan bahan dasar *detarium microcarpum* kemudian dibagi menjadi 2 jenis, yang pertama pencampuran antara madu dengan lendir bekicot, sedangkan jenis yang kedua hanya dicampur dengan lendir bekicot murni (tanpa madu). Lendir bekicot yang digunakan dalam berbagai kadar mulai dari 200 mg, 400 mg, 600 mg, 800 mg, 1000 mg. Intervensi dilakukan setiap 2 hari sekali dan pengukuran luka dilakukan setiap 3 hari sekali. Hasil yang didapatkan yaitu campuran antara madu dan lendir bekicot lebih efektif dalam penyembuhan luka dari pada hanya lendir bekicot. Lendir bekicot mempunyai peran penting dalam penyembuhan luka terutama dalam regenerasi jaringan baru melalui respon imunnya, juga melalui observasi terlihat bahwa tidak timbulnya keloid dalam penyembuhan luka.

Putra, (2008) membahas tentang efektifitas lendir bekicot 100% dan sediaan krim lendir bekicot 5% terhadap lama penyembuhan luka bakar. Jenis penelitian ini menggunakan penelitian *simple random sampling*. Sampel yang digunakan adalah mencit sebanyak 20 ekor yang dibagi menjadi 4 kelompok diantaranya (K1) tanpa perlakuan apapun, (K2) dengan pemberian *bioplacenton*, (P1) dengan pemberian lendir bekicot 100%, dan (P2) dengan sediaan krim lendir bekicot 5%. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata penyembuhan luka bakar pada (K1) adalah 16 hari, (K2) : 12,40 hari, P1 : 13,80 hari, dan P2 : 11,40 hari. Hasil uji *One-Way analysis of varience* (ANOVA) didapatkan *p value* : 0,02 (*p value* <0,05) dan nilai F hitung (8,109) >F tabel (5,292) dapat disimpulkan bahwa lendir bekicot berperan penting terhadap lamanya penyembuhan luka. Hasil *least significant difference* (LSD) menunjukkan bahwa kelompok yang paling mempunyai hubungan signifikan adalah kelompok (K1) dengan kelompok (P2)

dimana *mean difference* adalah 4600. Hal ini dapat disimpulkan bahwa sediaan krim lendir bekicot 5% paling efektif terhadap lama penyembuhan luka bakar yaitu dengan lama penyembuhan luka bakar selama 11,4 hari.

Wahyudi dan Sugiyana (2011) membahas tentang pembuatan serat nano dengan menggunakan metode *electrospinning* dari bahan polimer : PVA, kitosan dan nilon-6. Optimasi proses pembuatan serat nano dilakukan dengan mempelajari pengaruh jenis polimer, konsentrasi polimer dan parameter operasi *electrospinning* (tegangan listrik dan jarak antara *spinnerate-collector*) terhadap struktur dan morfologi serat nano yang dihasilkan. Proses *electrospinning* menggunakan bahan dasar PVA konsentrasi (15%) dengan tegangan listrik antara (15–20 kV), dan jarak spinneret–kolektor antara (10–12 cm) menghasilkan morfologi struktur serat nano yang tidak kontinyu dengan diameter antara (70–150 nm). Proses *electrospinning* dengan menggunakan bahan baku polimer larutan kitosan (2%) dalam asam asetat tidak dapat menghasilkan formasi ideal serat nano, serat yang dihasilkan masih berupa gumpalan. Hal ini dipengaruhi oleh viskositas larutan kitosan yang tinggi. Proses *electrospinning* menggunakan larutan nilon-6 (20%) pada kondisi optimum tegangan listrik (20 kV), dan jarak *spinnerate-collector* 10 cm menghasilkan serat nano yang kontinyu dengan diameter berkisar antara 100–350 nm.

Meilanny *et al.* (2015) melakukan penelitian tentang pembuatan serat nano berbasis alginat-PVA dengan penambahan lendir bekicot dengan menggunakan metode *electrospinning*. Percobaan ini dilakukan pada jarak (8 cm) dengan variasi tegangan (17 kV, 20 kV, 23 kV, 25 kV, dan 27 kV). Pengujian dilakukan menggunakan uji *fourier transform infra red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk, dan analisa struktur mikro menggunakan SEM. Hasil uji FTIR menunjukkan bahwa dengan penambahan lendir bekicot tidak menghasilkan gugus fungsi yang baru, sedangkan hasil uji SEM menunjukkan bahwa pada tegangan 17 kV sudah mulai terbentuk serat, namun masih banyak terdapat *beads* yang disebabkan karena banyaknya polimer yang tidak tertarik oleh energi listrik. Pada tegangan 20 kV *beads* yang muncul sudah mulai berkurang. Pada tegangan 23 kV dihasilkan serat yang kontinyu dan *beads* yang minimal. Ukuran serat yang

dihasilkan antara 100-300 nm. Pada tegangan 25 kV terdapat serat namun tidak kontinyu yang disebabkan karena tidak seimbangya tegangan listrik dan daya tarik polimer yang tidak seimbang. Pada tegangan 27 kV juga tidak dihasilkan membran yang kontinyu karena tingginya tegangan listrik.

Triyana, (2013) membahas tentang pembuatan serat PVA dari campuran prosentase PVA 10% berat di dalam aquadest yang diumpankan pada alat *electrospinning* menghasilkan serat PVA acak (*non woven*) dalam orde ratusan nanometer sampai submikrometer telah dapat dihasilkan bila pemasangan alat dilakukan pada tegangan listrik DC di atas 5 kV. Pada tegangan lebih tinggi dan jarak yang lebih jauh dapat dihasilkan serat nano yang tidak mengandung bendolan/*beads*.

Herdiawan *et al.* (2013) membahas tentang pembuatan Co-PVDF *nanofiber* komposit dengan menggunakan teknik *electrospinning*. PVDF dicampur  $Co(Ac)_2$ , kemudian dilarutkan di dalam pelarut 1-metil-2-pirolidon (NMP). Terhadap larutan tersebut dilakukan *electrospinning* dengan beberapa parameter diantaranya perbedaan konsentrasi PVDF dan  $Co(Ac)_2$ , tegangan, laju alir, dan jarak kolektor. Struktur dan sifat fisik dan kimia *nanofiber* dikarakterisasi dengan mikroskop cahaya, SEM, EDX, FTIR dan XRD. Hasil sintesis *nanofiber* yang paling baik diperoleh pada konsentrasi 21%, tegangan 21 kV, kecepatan alir 0,05 mL/menit, jarak 12 cm dimana morfologi permukaan seratnya halus, seragam, kontinyu, serta tidak ada *beads*. Hasil analisa FTIR menunjukkan bahwa *Co-nanofiber* komposit telah terbentuk dengan adanya pergeseran puncak serapan pada  $879,54\text{ cm}^{-1}$  menjadi  $881,47\text{ cm}^{-1}$  dan adanya serapan khas  $Co(Ac)_2$  pada  $1670,35\text{ cm}^{-1}$ .

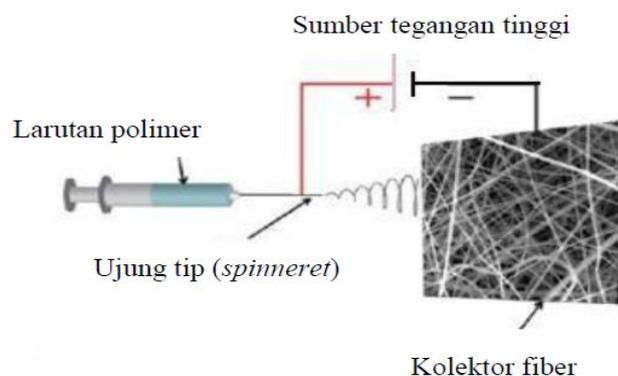
Penelitian yang pernah dilakukan oleh Mutia *et al.* (2012) membahas tentang pembuatan *webs* (lembaran tipis) atau membran dari serat alginat/PVA melalui metode *elektrospining*. Percobaan dilakukan dengan menggunakan variasi komposisi larutan pinal alginat 3%/PVA 10% (7/3, 6/4, 5/5, 4/6, 3/7), jarak (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm) dan tegangan (12 kV, 15 kV, 18 kV, 23 kV). Pengujian terhadap produk akhir meliputi analisa gugus fungsi, analisa struktur mikro, uji resistensi terhadap mikroba dan uji pre klinis. Hasil penelitian menunjukkan

proses *electrospinning* menggunakan larutan alginat 3%/PVA 10% 4/6, pada tegangan 15 kV dengan jarak 15 cm, akan menghasilkan *webs* serat dengan ukuran diameter mayoritas antara 100 nm-300 nm. Selain itu, produk tersebut bersifat anti bakteri dan lolos uji pre klinis, karena tidak menyebabkan iritasi serta dapat berfungsi sebagai pembalut luka dengan kualitas yang lebih baik dibanding pembalut luka alginat konvensional, yaitu mampu mempercepat penyembuhan luka dari 24 jam menjadi 1 jam.

## 2.2. Landasan Teori

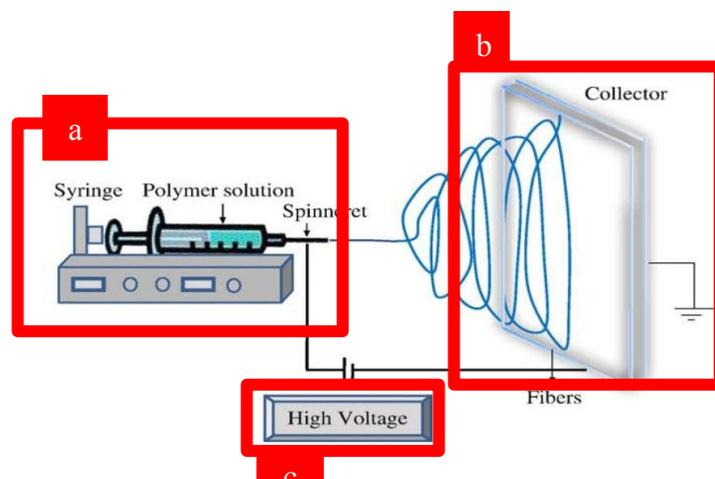
### 2.2.1. Electrospinning

*Electrospinning* adalah sebuah metode menggunakan sumber elektrik untuk membentuk suatu garis-garis halus (serat nano) dalam ukuran nano atau mikrometer dari suatu cairan (Hikmawati *et al.* 2015). Pada prinsipnya metode *electrospinning* adalah larutan polimer diberi muatan oleh listrik. Larutan polimer dialirkan melalui *spinnerate* yang melekat pada *syringe* dengan memanfaatkan gaya elektrostatis yang muncul dari partikel akibat adanya tegangan tinggi antara *spinnerate* dengan *collector*. Polimer yang keluar dari *spinnerate* membentuk serat nano secara terus menerus akibat adanya gaya elektrostatis yang muncul dari partikel bermuatan akibat adanya tegangan tinggi antara *spinnerate* dengan *collector*. Pada titik ini tetesan dari larutan polimer diujung *spinnerate* membentuk kerucut, biasanya disebut sebagai *taylor cone* (Herdiawan *et al.* 2013) seperti pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Skema alat *electrospinning* (Herdiawan *et al.* 2013)

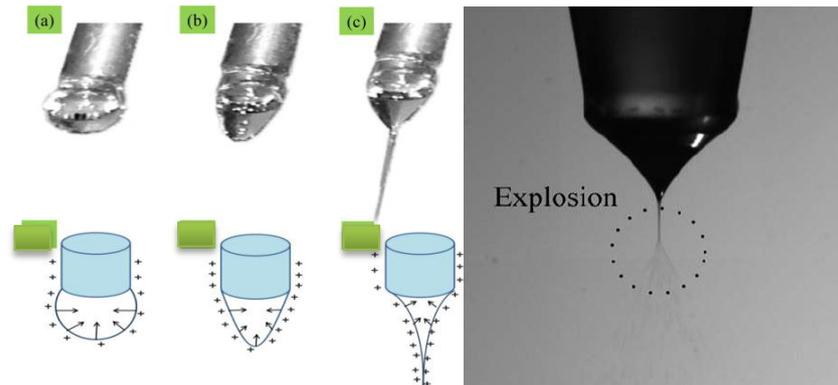
Bagian utama alat *electrospinning* tersusun atas pengumpan polimer (*syringe*) termasuk jarum berdiameter kecil (*spinnerate*), pengumpul serat (*collector*), dan catu daya tegangan tinggi (*high voltage*). *Syringe* adalah Suatu alat yang berfungsi sebagai pengumpan polimer dengan debit tertentu, berupa pompa suntik beserta polimer cair didalamnya. *Collector* adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengumpulkan serat yang keluar dari ujung *spinnerate* akibat adanya gaya elektrostatis. *Collector* dapat berupa plat logam. Jarak *spinnerate* dengan *collector* menjadi salah satu variable yang mempengaruhi morfologi serat yang dihasilkan. *High voltage* adalah suatu komponen yang digunakan untuk menghasilkan gaya elektrostatis, yang berfungsi untuk meluncurkan polimer dari *syringe* menuju *collector*. *High voltage* merupakan komponen vital dalam proses *electrospinning*, karena *high voltage* adalah penghasil gaya elektrostatis. Gaya elektrostatis adalah suatu gaya yang memungkinkan polimer untuk terpancar menuju *collector* seperti yang terlihat pada pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Bagian utama alat *electrospinning*; (a) pengumpan polimer (*syringe*), (b) pengumpul serat (*collector*), (c) catu daya tegangan tinggi (*high voltage*)

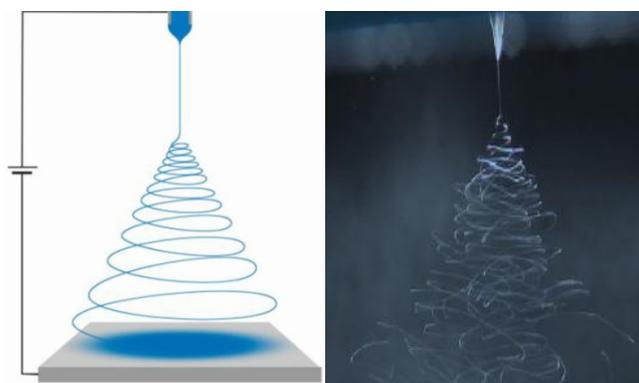
Secara umum proses pembentukan serat nano menggunakan metode *electrospinning* terbagi menjadi tiga tahap yang diperkenalkan sebagai *Jet Modeling* (Deniz, 2011).

Tahap pertama adalah proses inisiasi, yaitu terbentuknya tetesan larutan pada ujung jarum, sehingga terjadi tetesan awal yang diikuti terbentuknya *taylor cone* hingga larutan mulai terpancar menuju kolektor. Ilustrasi proses inisiasi ditampilkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Skema aliran jet (*jet stream*) dan *taylor cone* ; (a) kondisi awal saat terjadi beda potensial, (b) larutan mulai terpancar, (c) permukaan kerucut mengalami relaksasi, (Deniz, 2011)

Tahap kedua adalah proses penipisan (*thining*) diameter serat. Aliran jet mulanya bergerak dalam lintasan lurus, setelah itu akan terjadi gerakan seperti *bending*, *looping*, semakin jauh jarak ujung tip dengan *collector*, akan mengakibatkan penurunan ukuran diameter serat. Ilustrasi proses *bending instability* ditampilkan pada Gambar 2.4



**Gambar 2.4.** Skema proses saat terjadinya pengecilan serat, *bending instability* (Muhaimin *et al.* 2014)

Tahap ketiga adalah proses penguapan pelarut dan pembekuan serat (*jet solidification*). Semakin singkat waktu penguapan pelarut maka diperlukan jarak antara ujung jarum dengan kolektor yang semakin pendek, begitu pula sebaliknya. Akibat lamanya waktu penguapan memberikan pengaruh yang signifikan pada ukuran diameter serat nano yang dihasilkan (Deniz, 2011).

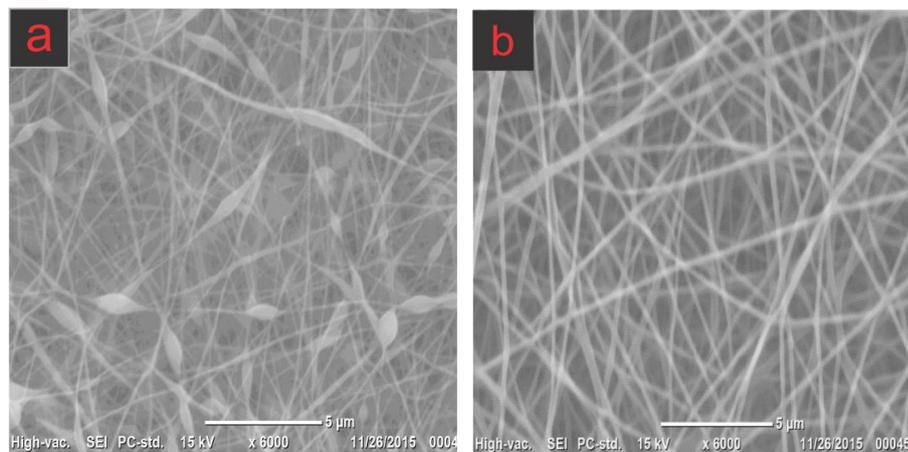
### **2.2.2. Parameter yang mempengaruhi proses *electrospinning***

Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil dari serat nano yang difabrikasi menggunakan metode *electrospinning*. Parameter tersebut sangat menentukan struktur permukaan dan morfologi serat nano, parameter diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama yaitu karakteristik larutan (termasuk viskositas larutan atau konsentrasi, kerapatan muatan larutan, tegangan permukaan, berat molekul polimer, dan konstanta dielektrik), *variable kontrol* (tegangan, jarak dari ujung spinneret ke kolektor, laju alir, kolektor dan diameter ujung jarum), faktor lingkungan (suhu, kelembaban, kecepatan udara) (Herdiawan *et al.* 2013).

#### **2.2.2.1. Karakteristik larutan**

Karakteristik konsentrasi larutan polimer berbanding lurus dengan viskositas larutan, yang memiliki pengaruh besar pada morfologi serat nano. Jika konsentrasi polimer terlalu rendah, maka akan terbentuk serat nano berbentuk seperti noda bulat atau bintik (*beads*) pada permukaan serat nano dan tetesan akibat viskositas yang terlalu rendah. Peningkatan viskositas larutan secara signifikan, menghasilkan serat yang lebih seragam. Namun, larutan yang terlalu kental proses *electrospinning* tidak mungkin bisa dilakukan karena terjadi penyumbatan di ujung jarum (pelarut menguap lebih cepat). Diameter serat nano juga dipengaruhi oleh konsentrasi larutan polimer. Viskositas yang terlalu tinggi dari larutan menghasilkan serat yang lebih tebal. Larutan yang konduktivitas atau kerapatan muatannya lebih tinggi umumnya membantu untuk menghasilkan serat yang lebih seragam. Konduktivitas dapat ditingkatkan dengan penambahan *zat volatil garam* (Thopson *et al.* 2007).

*Beads* merupakan tetesan cairan seperti noda hitam pada serat, yang menyebabkan kualitas serat menjadi buruk. terbentuk *beads* pada serat disebabkan oleh pengaruh tegangan permukaan larutan, ketika tegangan permukaan mendominasi gaya *coloumb* medan listrik pada larutan yang memancar (jet), mengakibatkan aliran jet tersebut tidak cukup untuk diregangkan oleh medan listrik, selain itu polimer pada jet tidak cukup teruapkan karena viskositas pada polimer terlalu rendah sehingga tetesan polimer sampai ke *collector*. Ketika viskositas pada polimer ditingkatkan bentuk *beads* berubah dari bentuk bola (*spherical*) menjadi lebih lonjong (*spindle*) dan akhirnya akan seragam dengan permukaan serat. Hal ini diakibatkan tegangan permukaannya menurun sehingga jet cukup diregangkan oleh medan listrik dan juga tetesan polimer didalam larutan jet jumlahnya sedikit sehingga cukup teruapkan. Dengan adanya peningkatan viskositas larutan, daya tahan terhadap putusnya jet juga meningkat sehingga dihasilkan serat yang kontinyu (Herdiawan *et al.* 2013).



**Gambar2.5.** (a) serat nano terdapat *beads*, (b) serat nano tanpa *beads*  
(Herdiawan *et al.* 2013)

Sebaran ukuran diameter serat nano merupakan faktor penting yang mempengaruhi kualitas serat nano yang difabrikasi menggunakan metode *electrospinning*. Dalam dunia industri, serat nano adalah serat yang mempunyai diameter kurang dari 500 nm (0,5 mikron), sedangkan serat yang telah diproduksi

dan diperdagangkan mempunyai diameter antara 50 nm sampai 300 nm (Lee *et al.* 2007).

#### **2.2.2.2. Variable control**

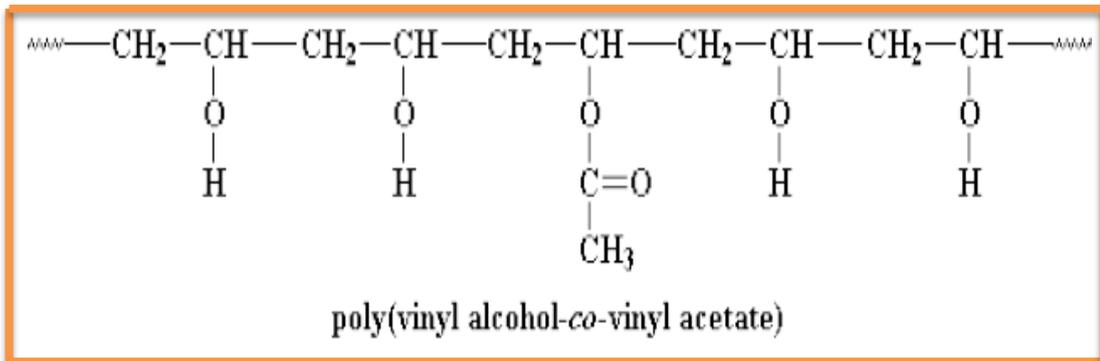
*Variable control* merupakan faktor penting yang mempengaruhi proses *electrospinning*. *Variable control* proses *electrospinning* meliputi tegangan listrik, laju aliran larutan, dan jarak antara *spinnerate* ke *collector* (TCD). Semakin jauh TCD akan mengakibatkan waktu penguapan larutan semakin lama sehingga didapatkan diameter serat yang lebih kecil, sedangkan jarak yang lebih pendek akan menyebabkan ukuran diameter serat yang lebih besar, karena tidak cukup waktu bagi larutan untuk menguap sebelum sampai ke *collector*. Diameter serat juga dipengaruhi besarnya beda potensial. Semakin besar beda potensial, maka ukuran serat akan semakin kecil karena medan listrik yang besar membuat serat mengalami regangan lebih besar. Hal tersebut akan mengakibatkan penurunan diameter serat karena regangan yang semakin besar (Rieger, 2013).

### **2.5. Polyvinyl Alkohol (PVA)**

PVA pertama kali dibuat oleh Herman dan Haehnel pada tahun 1924 (Enggitadan & Santoso, 2015). PVA merupakan salah satu polimer *hidrofilik* (larut dalam air) berbentuk bubuk halus, tidak berbau, berwarna putih kekuningan, dan memiliki densitas 1,3 gram/cm<sup>3</sup> pada 20°C dengan kisaran *pH* 3,5–7,0 jika dilarutkan dengan konsentrasi 40 gram/liter pada 20°C, (Putra, 2008). PVA juga bersifat larut dalam air, *nontoxic*, *biokompatibel* dan *biodegradable*, sehingga banyak digunakan untuk aplikasi di berbagai bidang, antara lain bidang medis dan farmasi (Enggitadan & Santoso, 2015).

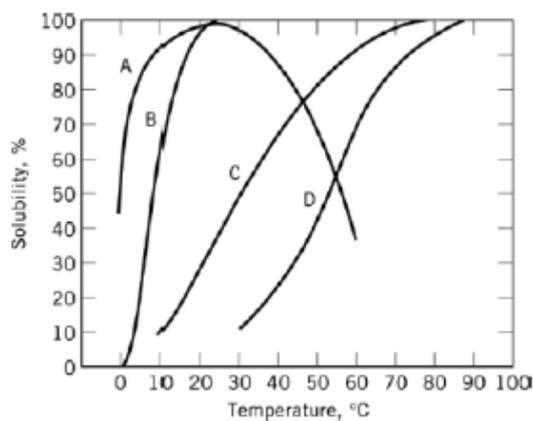
Selain diaplikasikan di bidang biomedis, PVA juga banyak digunakan sebagai pelapis kertas (*paper coating*), pengkilap permukaan (*warpsizing*), bahan adesif dan sensor kelembaban. PVA juga mempunyai sifat fisik yang elastis, ketercampuran hayati yang baik, serta memiliki kemampuan yang tinggi untuk mengembang dalam air, lembut, tidak korosif dan bersifat adesif serta mempunyai kekuatan tarik yang baik (Rieger *et al.* 2013). Produk PVA dijumpai sebagai

kopolimer dari *vinil asetat* dan *vinil alkohol*. Rumus struktur PVA dengan kopolimer *vinil asetat* dijabarkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Struktur Struktur Poli (vinil Alkohol) (Rieger *et al.* 2013)

Menurut (Rieger *et al.* 2013) sifat fisis dari PVA ditentukan oleh kondisi polimerisasi dari *poli (vinil asetat)*, kondisi pada saat hidrolisis, proses pengeringan, dan proses penggilingan. PVA dalam kondisi ruangan berbentuk bubuk putih dengan titik lebur berkisar antara 220-267°C. PVA larut pada pelarut yang bersifat polar seperti air, *dimethyl sulfoxide*, *acetamide* serta *dimethylformamide*. Kelarutan PVA adalah fungsi dari derajat polimerisasi serta derajat hidrolisis, yang diilustrasikan pada Gambar 2.7.

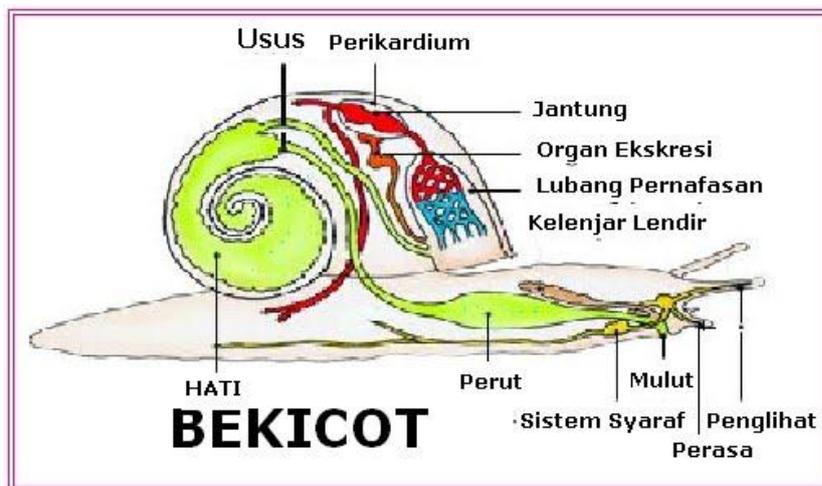


**Gambar 2.7.** Pengaruh derajat polimerisasi terhadap kelarutan PVA (Rieger *et al.* 2013)

Kurva A hingga D mewakili polimer dengan derajat hidrolisis paling rendah (A) hingga paling tinggi (D). Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa, semakin tinggi derajat hidrolisis PVA, maka semakin tinggi pula suhu yang dibutuhkan untuk melarutkannya.

#### 2.4. Lendir bekicot (*Achatina fulica*)

Bekicot memiliki sebuah cangkang berbentuk kerucut yang berukuran dua kali lebih besar dari tubuhnya, dan terdiri dari delapan sampai sembilan ruas lingkaran ketika telah dewasa. Cangkang bekicot berwarna coklat kemerahan dengan corak vertical berwarna kuning tetapi pewarnaan dari bekicot tergantung pada keadaan lingkungan. Bekicot memiliki panjang rata-rata antara 5-10 cm dan berat rata-rata dari 32 gram (Putra, 2008). Morfologi bekicot ditampilkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8.** Morfologi bekicot Putra, (2008)

Bekicot memiliki banyak manfaat dari daging hingga ke lendirnya. Bekicot merupakan sumber protein hewani yang bermutu tinggi yang mengandung asam-asam amino dan esensial lengkap, dan mempunyai kandungan zat besi yang tinggi (Harti et al. 2015). Berdasarkan hasil penelitian Harti *et al.* (2015), lendir bekicot mengandung suatu bahan yang dapat menyembuhkan luka pada kulit manusia. Lendir bekicot mengandung bahan kimia antara lain *achatin*

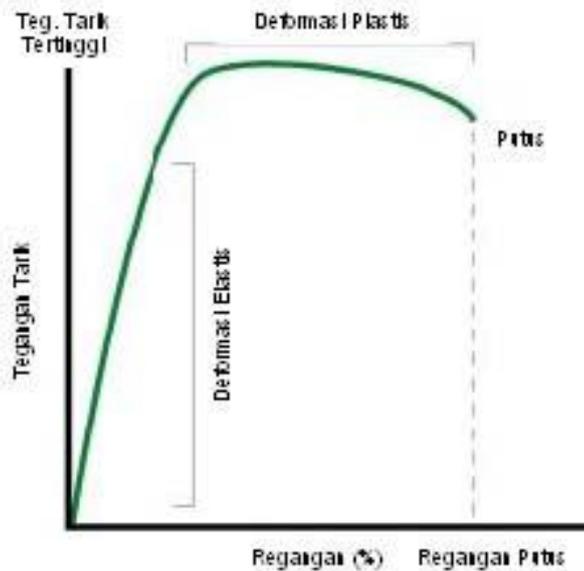
*isolat, heparan sulfat, dan calsium*. Kandungan *achatin isolat* bermanfaat sebagai antibakteri dan antinyeri, sedangkan *calsium* berperan dalam hemostasis (Purnasari *et al.* 2012) . *Protein Ahasin* lendir bekicot merupakan protein yang mempunyai fungsi biologik penting, selain dimaksud untuk mencegah terjadinya penguapan, membantu pergerakan secara halus, juga diperlukan untuk melindungi tubuh dari luka-luka mekanis (Gigi *et al.* 2015). Berdasarkan hasil penelitian (Meilanny, 2013) luka yang diberi lendir bekicot tidak terdapat *edema* dan *pus*, hal tersebut dapat disimpulkan tidak adanya infeksi pada luka. Faktor antibakteri *achasin* ini menurut (Otsuka, 1991) dapat bekerja dengan cara menyerang atau menghambat pembentukan bagian-bagian yang umum dari *strain* bakteri seperti, lapisan *peptidoglikan* dan *membran sitoplasma*. Lapisan *peptidoglikan* (Harti, 2009) adalah komponen pembentuk dinding sel, dimana pada bakteri dinding sel ini diperlukan cukup kuat untuk menahan tekanan *osmose* dari luar

## **2.5. Sifat mekanik**

Sifat mekanik didefinisikan sebagai ukuran kemampuan material untuk menahan gaya atau tegangan. Pada saat menahan beban, atom-atom atau struktur molekul berada dalam kesetimbangan. Gaya ikatan pada struktur menahan setiap usaha untuk mengganggu kesetimbangan ini, misalnya gaya luar atau beban. Setiap material yang diberi gaya akan mengalami deformasi. Selama deformasi, material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi.

Perubahan ukuran secara fisik ini disebut deformasi. Ada dua macam deformasi yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban ditiadakan, maka material akan kembali keukuran semula. Sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas. Penambahan beban pada material yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini material telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya material

akan mengalami putus pada kekuatan patah. Pada gambar 2.9. menunjukkan material mengalami deformasi setelah diberi gaya.



**Gambar 2.9.** Grafik deformasi tegangan-regangan (Sumaryono, 2012).

#### Hukum Hook

Tegangan adalah tahanan material terhadap gaya atau beban. Tegangan diukur dalam bentuk gaya per luas. Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan dimana tegangan tersebut diterapkan. Tegangan normal berupa tarikan atau tekanan. Tegangan dihasilkan dari gaya seperti : tarikan, tekanan atau geseran yang menarik, mendorong, melintir, memotong atau mengubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara. Untuk mendefinisikan tegangan adalah dengan menyatakan bahwa tegangan adalah jumlah gaya dibagi luas permukaan dimana gaya tersebut bereaksi. Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*).

Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah material ketika ditarik, sebelum material tersebut patah.

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- $\sigma$  = Kekuatan tarik bahan (MPa)
- $F_{maks}$  = Tegangan maksimum (Newton)
- $A_o$  = Luas penampang mula-mula ( $mm^2$ )

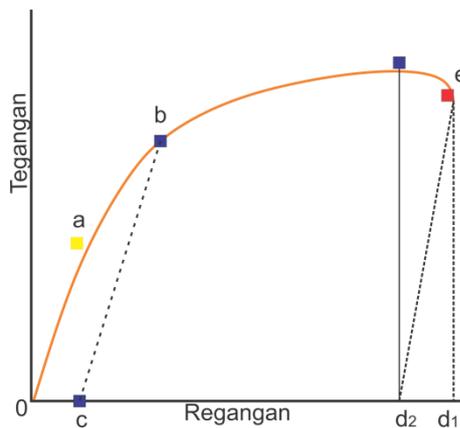
Regangan didefinisikan sebagai perubahan ukuran atau bentuk material dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau yang menekan pada material. Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier akan berakhir sampai pada titik mulur.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- $E$  = Modulus elastisitas (MPa)
- $\sigma$  = Tegangan (MPa)
- $\epsilon$  = Regangan

Pada pengujian tarik akan dihasilkan diagram hubungan antara tegangan dan regangan. Bentuk diagram tegangan-regangan pada tiap bahan adalah berbeda-beda, namun yang biasanya diperoleh dari pengujian tarik bahan yang ulet bisa dilihat pada Gambar 2.10 berikut.



**Gambar 2.10.** Diagram tegangan-regangan uji tarik bahan ulet; (a) getas (brittle); (b) plastis; (c) elastomer (*highly elastic*) (Sumaryono, 2012).

Daerah elastis terdapat pada bagian linear garis (Oa). Titik (a) yaitu batas elastis dimana bahan mengalami tegangan terbesar yang dapat ditahan oleh bahan

tanpa mengalami rengangan permanen apabila beban sudah ditiadakan. Penentuan titik batas elastis sangat dipengaruhi oleh tingkat kepekaan instrument pengukur regangan. Itulah sebabnya, penentuan batas elastis sering diganti dengan batas proporsional. Batas proporsional sendiri adalah tegangan dimana garis lengkung tegangan-regangan menyimpang dari kelinierannya. Titik (b) menunjukkan kekuatan luluh (*yield strength*) tegangan akan menghasilkan deformasi permanen dalam jumlah kecil atau sama dengan regangan sebesar 0,2%. Dalam hal ini digunakan metode *offset*. Dengan menarik garis sejajar dengan daerah proporsional pada jarak 0,2% atau titik (c). Perpotongan antara garis *offset* dengan diagram ditentukan sebagai titik luluh bahan. Bahan yang bersifat ulet, biasanya setelah pembebanan ditiadakan, regangan total akan berkurang dari  $d_1$  menjadi ( $d_2$ ). Maka regangan yang diambil untuk menentukan offset adalah ( $d_2$ ). Pada titik (e) bahan akan putus.