

BAB II

LANDASAN TEORI

1.1 Hidrogel

Istilah hidrogel hanya mengacu pada gel yang dibentuk dengan air sebagai komponen fase kontinu. Hidrogel dalam lingkungan berair akan membengkak dengan pelarut dan biasanya mengandung jumlah polimer yang sangat kecil dibandingkan dengan kandungan airnya. Stabilitas hidrogel, bagaimanapun, dapat menjadi keseimbangan yang rumit, dan banyak bahan menunjukkan penurunan volume secara tiba-tiba (atau runtuh) sebagai respons terhadap stimulus seperti pH, suhu, atau kekuatan ionik pelarut. (Linda S. Hirst 2008). Hidrogel adalah salah satu jenis makro molekul polimer hidrofilik yang berbentuk jaringan berikatan silang, mempunyai kemampuan mengembang dalam air (*swelling*), serta memiliki daya difusi air yang tinggi (Royyan Ifani Dini 2017).

Hidrogel termasuk salah satu material polimer yang relatif masih baru dan banyak digunakan pada berbagai bidang khususnya material biomedis, farmasi, obat-obatan dan pertanian. Hidrogel mempunyai kemampuan menyerap air dan menahannya dari puluhan persen sampai ribuan persen dari berat keringnya didalam ruang antara rantai polimer. Hidrogel bisa stabil secara kimia atau bisa juga terdegradasi yang pada akhirnya terdisintegrasikan dan larut. Hidrogel adalah jaringan polimer hidrofilik terikat silang yang memiliki kapasitas mengembang (*swelling*) dengan menyerap air atau cairan biologis namun tidak larut karena adanya ikatan silang. Beberapa bahan jika diletakkan bersama air dalam jumlah berlebih mampu memelar (*swell*) secara cepat dan mempertahankan air dalam jumlah cukup besar dalam struktur pemelaran. Bahan tidak larut dalam air dan mempertahankan struktur jaringan tiga dimensi. Struktur ikatan silang (*crosslinking*) dapat berupa ikatan kovalen atau ionik. Sifat tidak larut hidrogel disebabkan oleh adanya ikatan silang antar rantai molekul polimer, sedangkan sifat dapat menyerap air dan mengembang disebabkan oleh adanya gugus fungsi seperti -OH, -COOH, -CONH₂, -CONH, dan -SO₃H. Hidrogel diklasifikasikan menjadi dua kategori utama yaitu permanen/ kimia gel dan nonpermanen/ fisika gel. Permanen gel adalah jaringan

kovalen (*crosslinked*), sedangkan nonpermanen/ fisika gel terhubung bersama melalui belitan molekuler dan atau melalui interaksi ion, ikatan hidrogen atau interaksi hidrofobik (Sulistiyono 2019).

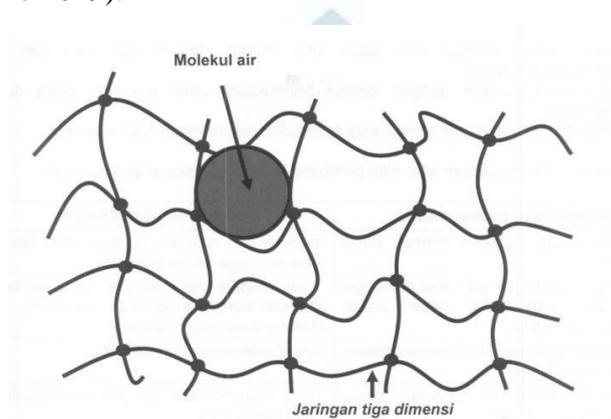


Gambar Error! No text of specified style in document..1 Hidrogel (Sumber : Dokumen Pribadi)

1.1.1 Sintesis Hidrogel

Sintesis hidrogel dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode polimerisasi cangkok, ikatan silang kimia, ikatan silang fisika, dan ikatan silang radiasi. Hidrogel dapat berbentuk amorf, kristal, atau semi kristal berdasarkan konfigurasi. Hidrogel amorf adalah struktur jaringan acak pada tingkat molekuler. Hidrogel kristal terdiri dari struktur jaringan polimer yang padat dengan urutan kristalisasi. Hidrogel tidak akan hancur selama mengembang karena adanya struktur yang berikatan silang, ikatan silang dapat dibentuk melalui ikatan silang secara fisika, (ikatan hidrogen) atau kimia (ikatan kovalen, atom, ionik). Berdasarkan metode ikatan silangnya, hidrogel dapat diklasifikasikan menjadi hidrogel kimia dan hidrogel fisik. Hidrogel kimia memiliki sambungan permanen yang terdiri dari ikatan silang kovalen dan makromer yang difungsikan akhir terpolimerisasi. Hidrogel fisik memiliki sambungan sementara yang terdiri dari interaksi fisik, seperti interaksi ionik, ikatan hidrogen, dan kristalisasi. Dengan demikian, sifat mekanik hidrogel fisik lebih buruk dibandingkan hidrogel kimia karena interaksi fisiknya yang lemah. Secara relatif, hidrogel fisik bersifat lunak dan memiliki kemampuan untuk berubah dari cair menjadi padat. Hidrogel kimia memiliki kekuatan mekanik yang lebih kuat, akan tetapi rentan terhadap efek samping. Hidrogel dapat disintesis secara konvensional melalui beberapa cara yaitu

polimerisasi monomer larut air dengan crosslinking agents bifungsional atau multifungsional. Hidrogel juga dapat dibuat dari polimer hidrofilik dengan bantuan crosslinking agents bifungsional atau multifungsional. Ikatan silang rantai pada hidrogel merupakan ikatan kovalen dalam bentuk struktur jaringan tiga dimensi sehingga berat molekul hidrogel cenderung menjadi tidak terhingga (*infinity*). Jaringan demikian dapat diilustrasikan pada **Gambar 2.2** Rongga antar rantai yang berikatan silang memungkinkan dilalui oleh zat terlarut. Dalam keadaan mengembang rongga ini biasanya terisi oleh air atau secara umum oleh molekul pelarut (Sulistiyono 2019).



Gambar Error! No text of specified style in document..2 Representasi Skematik Struktur Jaringan Tiga Dimensi Hidrogel (Sulistiyono 2019)

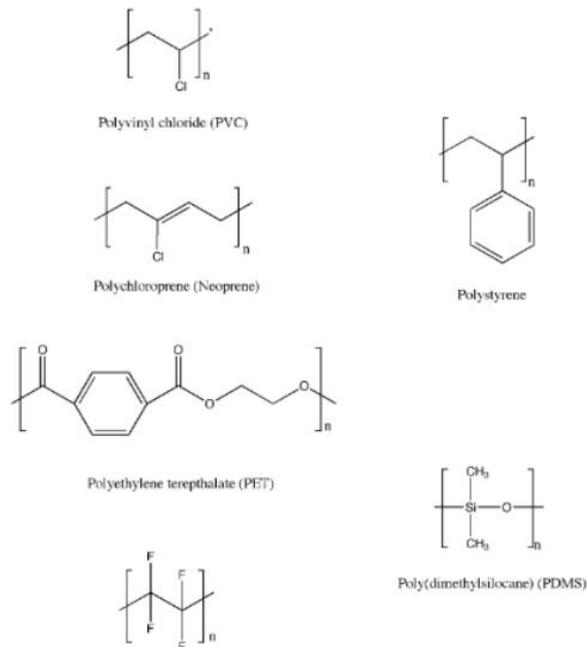
1.2 Polimer

Molekul berfilamen seperti polimer bisa sangat panjang (ribuan monomer) dan karena itu dapat terjat dalam larutan (dan mungkin terikat silang) untuk membentuk gel. Gel adalah contoh klasik dari bahan lunak; mereka tidak padat atau cair, tetapi di antara keduanya. Mereka tidak menunjukkan urutan jarak jauh tetapi mempertahankan sifat-sifat bahan padat (Linda S. Hirst 2008). Polimer merupakan rangkaian yang sangat panjang dari ribuan monomer dalam sebuah larutan yang membentuk ikatan silang untuk membentuk gel. Gel merupakan salah satu contoh material/bahan lunak, bahan lunak bukan padatan atau cairan, tetapi bahan lunak berada di antara padat dan cair. Bahan lunak mempertahankan sifat-sifat bahan padat, sehingga gel bahan lunak dapat mempertahankan bentuknya tanpa dukungan dan juga menunjukkan elastisitas. Contoh bahan lunak berupa gel adalah agar-agar

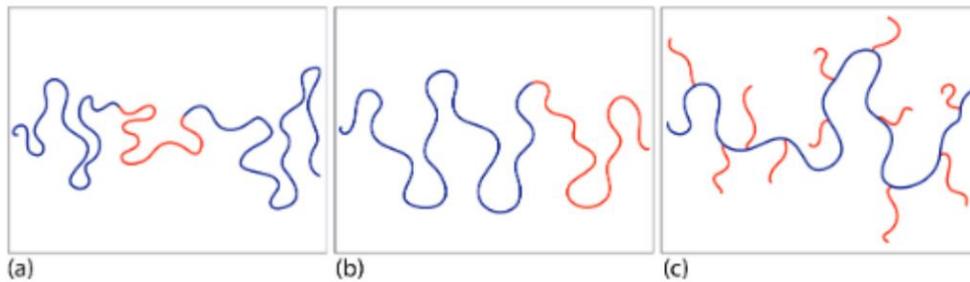
gelatin. Gel ini tampak berupa benda padat, tetapi jika gel diberi ganggana sampai titik tertentu, gel akan kembali ke semula. Gel sebenarnya mengandung sedikit polimer, porsi yang banyaknya (lebih dari 90%) adalah air. Meskipun gel sangat encer, sistem gel mempertahankan struktur yang stabil dengan sifat elastis. Gel terdiri dari dua fase yang berbeda; yaitu fase padat sebagai matriks dan fase cair sebagai medium dispersi. Fase padat umumnya berupa jaringan polimer yang mengikat medium dispersi di dalamnya. Medium dispersi bisa berupa cairan atau gas, tergantung pada jenis gel yang dimaksud. Fase padat dan fase cair bergabung membentuk struktur gel yang khas, yang memiliki karakteristik sifat fisik dan kimia tergantung pada komponen yang terlibat.

1.2.1 Struktur Polimer

Polimer adalah molekul rantai panjang yang terdiri dari sejumlah besar subunit berulang yang disebut monomer. Subunit ini dapat berupa gugus CH_2 , seperti halnya polietilen, atau subunit dapat berupa kumpulan atom yang jauh lebih kompleks. Bahkan molekul serumit protein adalah polimer, rantai panjang subunit asam amino yang berbeda. Oleh karena itu, definisi polimer dapat diterapkan pada berbagai struktur molekul yang sangat luas, sehingga sifat massal dari polimer yang berbeda beragam. Bagian struktur yang ditunjukkan dalam tanda kurung siku diulang sepanjang rantai polimer ditunjukkan pada **Gambar 2.3** Ketika polimer berkumpul menjadi rantai panjang, mereka dapat bervariasi sepanjang panjangnya dengan cara yang berbeda. Misalnya, rantai dapat terdiri dari monomer identik, tetapi orientasi monomer ini dapat bervariasi jika ada lebih dari satu cara di mana mereka dapat menempel pada rantai. Variasi dalam struktur ini dikenal sebagai gangguan sterik atau taktik. Jika hanya ada satu cara bagi monomer untuk berpasangan, maka polimer tersebut isotaktik.



Gambar Error! No text of specified style in document..3 Struktur kimia untuk beberapa polimer umum (Linda S. Hirst 2008)



Gambar Error! No text of specified style in document..4 struktur kopolimer yang berbeda: (a) kopolimer triblok, (b) kopolimer diblok, dan (c) kopolimer graft (Linda S. Hirst 2008)

Cara lain di mana polimer dapat bervariasi di sepanjang rantai adalah dengan komposisi tidak semua polimer terdiri dari unit pengulangan monomer tunggal, dan pada kenyataannya sangat umum untuk rantai polimer terdiri dari kombinasi dua atau lebih unit pengulangan yang berbeda. Bahan-bahan ini dikenal sebagai kopolimer dan dapat berupa pengulangan monomer reguler (ABABABABABABAB) atau acak (misalnya, ABBBAABABABAAABABB)

atau kopolimer blok (AAAAAABBBBBB) yang terdiri dari dua atau lebih segmen rantai dengan komposisi seragam yang berbeda sesuai dengan **Gambar 2.4** Semua polimer dicirikan oleh massa molekulnya yang sangat tinggi. Mereka adalah makromolekul yang biasanya terdiri dari ribuan subunit, tetapi di antara jenis polimer yang berbeda, massa molekul dapat memiliki rentang yang sangat besar, dari sekitar 1000 Da* hingga lebih dari 1.000.000 Da. Rantai monomer yang lebih pendek dengan kurang dari sekitar 20 unit berulang disebut sebagai oligomer.

Massa molekul polimer unit-N dapat dinyatakan sebagai jumlah massa subunit N :

$$M = \sum_{i=1}^N M_i \quad (2.1)$$

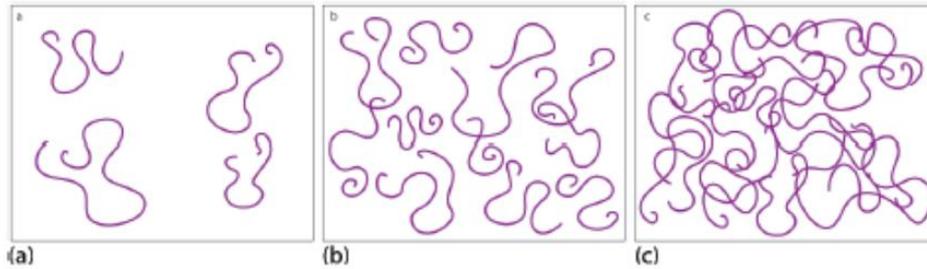
Untuk polimer yang terdiri dari dua monomer yang berbeda, ini akan memberikan massa total:

$$M = \sum_{i=1}^A M_i + \sum_{j=1}^B M_j \quad (2.2)$$

M_i adalah massa molekul monomer, di mana A adalah jumlah total monomer A dalam rantai, dan B adalah jumlah total monomer B. M_i adalah berat molekul monomer A, dan M_j adalah berat molekul monomer B. Perhitungan menggunakan Persamaan (2.2) akan tidak termasuk kelompok akhir kimia yang berbeda dari rantai monomer utama, dan untuk polimer bercabang tinggi, efek ini mungkin signifikan. Rumus ini juga hanya berlaku untuk bahan yang terdiri dari rantai polimer dengan panjang yang sama (polimer seragam). Dalam setiap polimer nyata, biasanya akan ada distribusi berat molekul yang luas dari molekul ke molekul (polimer tidak seragam). Karakteristik ini sering disebut sebagai polidispersitas atau dispersi material. Karena distribusi panjang ini, berat molekul tertentu untuk suatu polimer biasanya mewakili berat molekul rata-rata untuk makromolekul yang menyusun sistem polimer tersebut. Kebanyakan polimer sintetik tidak seragam, dengan distribusi dalam N (jumlah monomer dalam rantai tunggal) juga dikenal sebagai derajat polimerisasi. Sebagian besar polimer sintesis tidak memiliki struktur yang seragam, dengan jumlah monomer dalam setiap rantai tunggal yang

bervariasi, yang dikenal sebagai derajat polimerisasi N . Distribusi ini dapat diukur menggunakan indeks disperse dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$D = \frac{\overline{M}_w}{\overline{M}_n} \quad 2.3$$



Gambar Error! No text of specified style in document..5 larutan polimer dengan peningkatan konsentrasi: (a) encer, (b) semi-encer, dan (c) larutan polimer terjerat (Linda S. Hirst 2008)

Polimer saat berada dalam bentuk rantai bebas hanya berinteraksi dengan molekul pelarut yang berdekatan. Ketika konsentrasi polimer c dalam pelarut meningkat, rantai polimer individu mulai saling berinteraksi dan meningkatkan kepadatan. a dijelaskan dengan adanya penurunan mobilitas. Artinya, ada efek volume yang dikecualikan yang pada dasarnya meningkatkan total ruang yang diduduki oleh rantai polimer. Polimer dapat diidentifikasi menjadi tiga tahap yang berbeda untuk menggambarkan perilaku polimer dalam larutan: tahap encer, tahap semi encer, dan tahap terjerat.

- a. Tahap Encer: Dalam larutan encer polimer yang sebenarnya, konsentrasinya rendah sehingga molekul-molekul polimer dianggap tidak berinteraksi satu sama lain. Molekul-molekul tersebut cenderung berperilaku seperti rantai yang menghindari satu sama lain dan secara rata-rata melipat menjadi konfigurasi bola, yang ukurannya dapat ditentukan oleh jari-jari girasi R_g

atau akar rata-rata kuadrat jarak ujung ke ujung RRMS. Total volume larutan lebih besar dari hasil kali jumlah molekul dengan Rg^3 .

- b. Tahap Semi-encer: Pada tahap semi-encer, konsentrasi c kira-kira sama dengan c^* , di mana terjadi tumpang tindih antar rantai. Rata-rata polimer masih memiliki bentuk bulat; namun, volume diisi oleh polimer (sehingga setiap volume Rg^3 dalam larutan berisi sekitar satu molekul polimer), dan terjadi sedikit tumpang tindih antar rantai. Secara praktis, tahap ini dimulai pada fraksi volume sekitar 1%. Kita dapat memperkirakan ambang batas konsentrasi semi-encer dalam bentuk molekul per satuan volume.
- c. Tahap terjerat: menggambarkan situasi di mana kita memiliki larutan yang sangat tinggi konsentrasinya dengan rantai-rantai polimer membentang dan saling mengikat membentuk jaringan yang rumit. Batas dari tahap ini adalah ketika kita memiliki polimer murni dengan konsentrasi maksimal (c_{max}). Ini sebagian besar mengacu pada fase meleleh dari polimer.

1.3 Komposit

Material komposit adalah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit bersifat heterogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing-masing memiliki sifat yang berbeda dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan. Komposit pada dunia industri merupakan campuran antara polimer (bahan makromolekul dengan ukuran besar yang diturunkan dari minyak bumi ataupun bahan alam lainnya seperti karet dan serat). Dapat dikatakan bahwa komposit adalah gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat. Bahan tersebut tersusun atas dua bahan penyusun, yaitu bahan utama yang berfungsi sebagai pengikat dan bahan pendukung yang berfungsi sebagai penguat. Bahan penguat dapat dibuat menjadi serat, butiran, serpih atau dapat juga dalam bentuk lain. Bentuk (ukuran) dan struktur komponen-komponen campuran akan mempengaruhi sifat-sifat campuran dan apabila terjadi interaksi antar komponen maka akan memperbaiki sifat-sifat

campuran tersebut. Material komposit terbuat dari berbagai bahan dan dirancang untuk mencapai kombinasi sifat terbaik dari setiap komponen. Dibandingkan dengan material konvensional, material komposit memiliki banyak keunggulan, antara lain kekuatan yang dapat disesuaikan, bobot yang lebih ringan, kekuatan dan daya tahan yang lebih tinggi, ketahanan terhadap korosi dan ketahanan aus (Dwi Prastika Rangga 2022).

1.4 Agarose

Alga merah (*Rhodophyceae*) atau alga merah merupakan kelas yang termasuk spesies atau jenis bernilai ekonomis yang paling banyak dimanfaatkan. Tumbuhan ini hidup di dasar air laut sebagai fitobentos, menempel pada substrat lumpur, pasir, karang hidup, karang mati, cangkang moluska, batuan vulkanik, atau kayu. *Rhodophyceae* (alga merah) biasanya berwarna merah karena adanya protein *phycobilin*, terutama *phycoerythrin*. *Rhodophyceae* mempunyai warna yang beragam, mulai dari merah hingga coklat atau terkadang hijau karena jumlah pigmen yang terkandung dalam thallus bervariasi (Anonim n.d.)

Karena beberapa sifatnya, hidrogel yang terbuat dari alga merah dapat menjadi bahan yang sangat bermanfaat di lingkungan pertumbuhan dengan media tanpa tanah. Salah satu metode alternatif untuk menanam tanaman hidroponik adalah media tanam tanpa tanah. Hidrogel sering digunakan sebagai substrat tumbuh atau dalam aplikasi yang mengutamakan retensi air karena kemampuan mereka untuk menahan air dalam jumlah besar. Secara khusus, Agarose adalah hidrogel yang terbuat dari ekstrak alga merah yang dikenal sebagai agar atau gelatin (Anonim 2015). Karakteristik hidrogel dari alga merah yang relevan untuk media tanam tanpa tanah:

1. **Kapasitas Penyerapan Air:** Hidrogel alga merah memiliki kemampuan penyerapan air yang sangat baik, sehingga dapat menyediakan jumlah air yang cukup untuk tanaman.
2. **Pengaturan Kelembaban:** Hidrogel alga merah dapat mengontrol tingkat kelembaban, budidaya tanpa tanah ini menjaga kelembaban sangat penting.

3. **Struktur Jaringan** : Ketika hidrogel alga merah terhidrasi, mereka membentuk struktur jaringan tiga dimensi yang stabil untuk akar tanaman. Ini memungkinkan tanaman untuk tumbuh tanpa media tanah.
4. **Tahan Kekeringan**: Hidrogel alga merah dapat membantu media tanam tetap lembab lebih lama daripada media tanah biasa. Ini bermanfaat di tempat-tempat di mana penyiraman sering sulit.
5. **Komposisi Kimia**: Beberapa hidrogel dari alga merah dapat mengandung nutrisi seperti makro dan mikroelemen adalah komposisi kimia yang dapat memberikan nutrisi tambahan untuk tanaman.
6. **Biokompatibilitas**: Hidrogel alga merah umumnya dianggap biokompatibel dan aman bagi tanaman, jarang menimbulkan masalah alergi atau reaksi negatif terhadap tanaman.
7. **Kebersihan**: Media tanam tanpa tanah lebih bersih dan bebas dari patogen tanah.

Berbagai polimer alami dan sintetis disaring dalam penelitian pendahuluan kami, termasuk agarose, getah gellan, natrium alginat, getah kacang belalang, poliakrilamida, natrium poliakrilat, dan alkohol polivinil. Agarose dipilih sebagai bahan model dalam penelitian ini karena menghasilkan tingkat perkecambahan dan panjang batang tertinggi, sesuai dengan penelitian sebelumnya. Komposit hidrogel Agar-AC yang disiapkan menunjukkan penurunan rasio pembengkakan seiring dengan peningkatan kandungan AC (karbon aktif) hidrogel, tetapi kapasitas retensi air lebih tinggi (Cao and Li 2021).

1.5 Cangkang Telur

Telur terdiri atas tiga komponen pokok, yaitu kulit telur atau cangkang (kira-kira 11% dari berat total telur), putih telur (kira-kira 57% dari berat total) kuning telur (kira-kira 32% dari berat total telur). Kulit telur merupakan lapisan luar dari telur yang berfungsi untuk melindungi semua bagian telur dari luka atau kerusakan. Komposisi utama dari cangkang telur adalah kalsit, yaitu bentuk kristalin dari 94% kalsium karbonat, 1% kalsium fosfor, 4% zat-zat organik dan 1% magnesium karbonat. Komposisi kimia dari kulit telur terdiri dari 1,71% protein,

0,36% lemak, 0,93% air, 16,21% serat kasar, 71,34% abu. Serbuk kulit telur ayam mengandung sebesar $\pm 7,2$ g atau sekitar 39% kalsium, dalam bentuk kalsium karbonat. Terdapat pula strontium sebesar ± 161 μg , zat beracun seperti pb, Al, Cd, dan hg, begitu pula dengan B, Fe, Zn, P, Mg, N, F, Se, Cu dan Cr (Adquisiciones et al. 2019, Hal. 13).

Cangkang berperan sebagai benteng utama yang melindungi isi telur. Selama telur ada di uterus terjadi penambahan pigmen pada cangkang yang berfungsi sebagai pemberi warna kulit telur menjadi putih, kecoklatan, kehijauan atau bintik-bintik hitam. Pigmen telur ini berasal dari pigmen darah hemoglobin. Pembentukan bagian telur ayam dipengaruhi dari makanan yang dimakan oleh induknya. Pertama pembungkusan telur yang dikenal dengan sebutan cangkang telur. Cangkang telur ini membutuhkan kalsium dan posfor juga vitamin D dalam pembentukannya. Kekurangan akan mineral dan vitamin akan menyebabkan abnormalitas pada induk, anak dan telur. Struktur kulit telur sebagian besar tersusun oleh zat kapur yaitu kalsium karbonat. Salah satu sifat kalsium karbonat adalah dapat larut dalam asam walaupun tergolong dalam asam lemah salah satunya adalah asam cuka (Adquisiciones et al. 2019, Hal. 14).



Gambar Error! No text of specified style in document..6 Limbah Cangkang Telur
(Adquisiciones et al. 2019)

Pada penelitian (Zulfita and Dwi Raharjo 2012) menunjukkan efek pemberian kulit telur pada tanaman. Penggunaan serbuk cangkang telur diharapkan dapat meningkatkan pH tanah, namun hasil penelitian penggunaan serbuk cangkang telur dengan dosis 2,98 g/bag menunjukkan hasil yang kurang baik dalam hal perubahan volume akar tanaman cabai merah dibandingkan dengan pemberian

dolomit menghasilkan massa akar tertinggi. Dosis efektif pupuk keladi untuk tanaman cabai merah adalah 358g/bag dan dosis efektif pupuk cangkang telur pengganti kapur untuk meningkatkan pH tanah adalah 1,49 g/bag.

1.6 Uji Karakteristik

1.6.1 Densitas

Densitas adalah salah satu sifat dasar materi yang didefinisikan sebagai massa per satuan volume dari suatu material. Ini adalah sifat fisik yang penting digunakan dalam memahami struktur dan sifat fisik dan kimia dari material. Densitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jumlah dan susunan atom atau molekul dalam material, serta suhu dan tekanan di mana material tersebut ada. Massa jenis suatu benda adalah massa benda itu dibagi dengan volumenya. Dapat ditulis dengan persamaan:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.4)$$

Dimana m adalah massa suatu benda yang merupakan ukuran banyak zat yang terkandung dalam suatu benda, Sedangkan massa jenis atau densitas (ρ) adalah besaran yang menunjukkan perbandingan antara massa dengan volume suatu benda dan V adalah volume dari benda. Nilai densitas yang diperoleh dari pengukuran langsung digunakan sebagai pembanding untuk hasil pengukuran densitas bahan dengan metode magneto-archimedes (Basori and Saroja 2004).

1.6.2 *Swelling* dan *Weight loss*

Swelling merupakan salah satu sifat fisika yang dimiliki oleh hidrogel yang menggambarkan kemampuan hidrogel dalam menyerap air. Hidrogel mampu menyerap medium cairnya tanpa larut didalamnya jika polimer hidrogel mengembang (*swelling*) pada mediumnya. Kemampuan mengembang hidrogel akan menurun dan gel akan menjadi semakin keras/kuat ketika semakin banyak rantai yang berikatan silang pada suatu polimer. Pada penelitian ini, hidrogel pada awalnya direndam dalam DI Water hingga mencapai keadaan kesetimbangan. Kemudian hidrogel diambil dan setelah air sisa dihilangkan, hidrogel akan

ditimbang (Adirinarso 2023). Pengukuran persen ratio *swelling* dapat ditentukan dengan Rumus :

$$S(\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \% \quad (2.5)$$

Dimana W_s adalah berat hidrogel saat mengembang (*swollen*) dan W_d adalah berat hidrogel kering (*dry*) sebelum *swelling*. Sebelum menimbang hidrogel yang mengembang, dilakukan penghilangan sisa-sisa air pada permukaan hidrogel dengan menggunakan kertas saring yang ditempelkan pada permukaan hidrogel. Sementara *Weighloss*, berat kering hidrogel kemudian ditimbang lalu dilakukan *swelling* dan dikeringkan kembali. Hidrogel akan dimasukkan kedalam oven dengan suhu 50°C selama 5 hari hingga kering. Berat kering hidrogel setelah perendaman ditentukan dengan penimbangan menggunakan neraca analitis.

1.6.3 Mikroskop Optik

Mikroskop merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk melihat obyek berukuran kecil yang tidak dapat dilihat menggunakan mata secara langsung. Cara kerja sebuah mikroskop yaitu dengan menggunakan perbesaran lensa obyektif dan okuler untuk mendapatkan citra dari obyek yang diamati. Perbesaran lensa yang digunakan mikroskop berpengaruh pada kemampuan mikroskop untuk mengamati obyek berukuran kecil. Pada mikroskop digital, dapat diperoleh hasil dari obyek yang diamati sehingga mudah untuk disimpan dan diolah lebih lanjut (Putranto et al. 2020). Mikroskop cahaya mempunyai perbesaran maksimum 1000 kali. Mikroskop mempunyai kaki yang berat dan kokoh dengan tujuan agar dapat berdiri dengan stabil. Mikroskop cahaya memiliki tiga sistem lensa, yaitu lensa obyektif, lensa okuler, dan kondensor. Lensa obyektif dan lensa okuler terletak pada kedua ujung tabung mikroskop. Lensa okuler pada mikroskop bisa berbentuk lensa tunggal (monokuler) atau ganda (binokuler). Pada ujung bawah mikroskop terdapat tempat kedudukan lensa obyektif yang bisa dipasang tiga lensa atau lebih. Di bawah tabung mikroskop terdapat meja mikroskop yang merupakan tempat preparat. Sistem lensa yang ketiga adalah kondensor. Kondensor berperan untuk menerangi obyek dan lensa-lensa mikroskop yang lain (Groth 2019).



Gambar Error! No text of specified style in document..7 Mikroskop Optik
(Merlina 2021)

1.6.4 TG/DTA

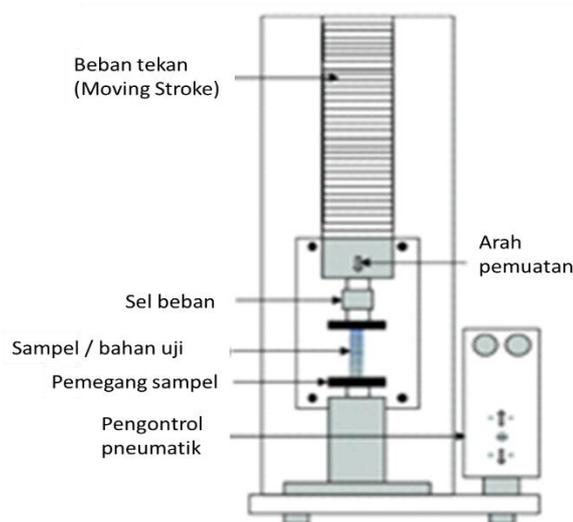
Differential Thermal Analysis (DTA) adalah suatu teknik analisis termal dimana perubahan material diukur sebagai fungsi temperatur. DTA digunakan untuk mempelajari sifat thermal dan perubahan fasa akibat perubahan entalpi dari suatu material. Selain itu, kurva DTA dapat digunakan sebagai finger print material sehingga dapat digunakan untuk analisis kualitatif. Metode ini mempunyai kelebihan antara lain instrument dapat digunakan pada suhu tinggi, bentuk dan volume sampel yang fleksibel, serta dapat menentukan suhu reaksi dan suhu transisi sampel. Prinsip analisis DTA adalah pengukuran perbedaan temperatur yang terjadi antara material sampel dan pembanding sebagai hasil dari reaksi dekomposisi. Sampel adalah material yang akan dianalisis, sedangkan material referensi adalah material dengan substansi yang diketahui dan tidak aktif secara termal. Dengan menggunakan DTA, material akan dipanaskan pada suhu tinggi dan mengalami reaksi dekomposisi. Dekomposisi material ini diamati dalam bentuk kurva DTA sebagai fungsi temperatur yang diplot terhadap waktu. Reaksi dekomposisi dipengaruhi oleh efek spesi lain, rasio ukuran dan volume, serta komposisi materi. Suhu dari sampel dan pembanding pada awalnya sama sampai terdapat kejadian yang mengakibatkan perubahan suhu seperti pelelehan, penguraian, atau perubahan

struktur kristal sehingga suhu pada sampel berbeda dengan pembanding. Bila suhu sampel lebih tinggi daripada suhu pembanding maka perubahan yang terjadi adalah eksotermal. Begitu pula sebaliknya, bila suhu sampel lebih rendah daripada suhu pembanding maka perubahan yang terjadi disebut endotermal (Shaaban et al. 2021)

Thermogravimetric Analisis (TGA) adalah suatu teknik analitik untuk menentukan stabilitas termal suatu material dan fraksi komponen volatile dengan menghitung perubahan berat yang dihubungkan dengan perubahan temperatur. Seperti analisis ketepatan yang tinggi pada tiga pengukuran: berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Suatu kurva hilangnya berat dapat digunakan untuk mengetahui titik hilangnya berat TGA biasanya digunakan riset dan pengujian untuk menentukan karakteristik material seperti polimer, untuk menentukan penurunan temperatur, kandungan material yang diserap, komponen anorganik dan organik di dalam material, dekomposisi bahan yang mudah meledak, dan residu bahan pelarut (Shaaban et al. 2021).

1.6.5 Uji Mekanik

Universal Testing Machine (UTM) adalah alat pengujian yang berfungsi untuk menguji tegangan tarik (tensile test), uji tekan (compression test) dan uji lengkung (bending test) suatu material agar dapat mengetahui karakteristik atau seberapa kuat material tersebut. Biasanya material yang dipakai pada metode ini adalah material yang mempunyai ukuran yang panjang. Cara menggunakannya adalah meletakkan material yang akan diuji tepat pada bagian atas UTM tepatnya di bawah top plate. Setelah itu kita bisa menyalakan Universal Testing Machine. Pada prinsipnya cara kerja metode ini adalah Universal Testing Machine akan menarik material yang diuji hingga putus. Setelah itu parameter akan menampilkan nilai atau data maksimal kekuatan pada material tersebut. Selain itu juga anda bisa mengetahui perbandingan panjang objek sebelum dan setelah proses dilakukan (Universal Testing Machine (UTM) 2017).



Gambar Error! No text of specified style in document..8 Universal Testing Machine (UTM) (Universal Testing Machine (UTM) 2017)

1.6.5.1 Tegangan

Tegangan tekan yang tinggi berarti gaya tekan lebih besar dari kemampuan suatu bahan atau struktur untuk bertahan tanpa mengalami deformasi atau kerusakan. Batas atas tegangan tekan tinggi bergantung pada material atau struktur tertentu yang dipertimbangkan serta kondisi penggunaan. Suatu material atau struktur dapat berubah bentuk, melengkung, atau patah bila terkena tegangan tekan yang tinggi. Intensitas gaya (gaya per satuan luas) disebut tegangan dan diberi notasi σ (sigma). Jadi gaya aksial P yang bekerja pada penampang adalah resultan dari tegangan yang terdistribusi kontinu. Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh potongan penampang, kita dapat melihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A dari batang tersebut. Dengan demikian, besarnya tegangan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.6)$$

Jadi dapat didefinisikan bahwa tegangan normal adalah intensitas gaya normal per unit luasan, yang dinyatakan dalam satuan N/m^2 disebut juga pascal (Pa) atau N/mm^2 disebut juga megapascal (MPa).

1.6.5.2 Regangan

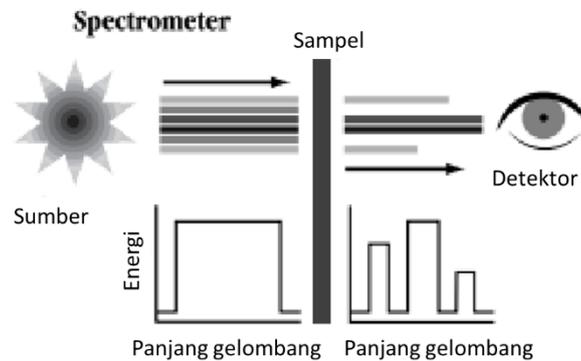
Regangan adalah satuan ukuran deformasi yang dialami suatu material sebagai respons terhadap gaya atau beban eksternal. Hal ini digambarkan sebagai rasio perubahan panjang atau bentuk material terhadap aslinya. Tegangan, atau gaya yang diterapkan per satuan luas, berhubungan dengan regangan berdasarkan kekakuan atau elastisitas material. Regangan yang diberi notasi ϵ (epsilon) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Jadi Perpanjangan per unit panjang disebut regangan normal, dinyatakan tidak berdimensi, artinya regangan tidak mempunyai satuan. Regangan ϵ disebut regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal. Jika hidrogel mengalami tarik, maka regangannya disebut regangan tarik, yang menunjukkan perpanjangan bahan. Demikian juga halnya jika hidrogel mengalami tekan, maka regangannya disebut regangan tekan, dan hidrogel tersebut memendek/hancur. Regangan tarik biasanya bertanda positif dan regangan tekan bertanda negatif (Mulyati 2014).

1.6.6 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Spektroskopi FTIR menggunakan sistem optik dengan laser yang berfungsi sebagai sumber radiasi yang kemudian diinterferensi oleh radiasi infra merah sehingga sinyal radiasi yang diterima detektor berkualitas baik dan utuh. Prinsip pengoperasian FTIR berupa sinar infra merah melewati celah pada sampel, dimana celah ini mengontrol jumlah energi yang ditransmisikan ke sampel. Sebagian sinar infra merah kemudian diserap oleh sampel dan sebagian lagi ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infra merah mencapai detektor dan sinyal yang diukur kemudian dikirim ke komputer. (Ouda 2012)



Gambar Error! No text of specified style in document..9 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

1.6.7 X-RAY Diffraction (XRD)

Teknik difraksi sinar-X (XRD) berperan penting dalam analisis padatan kristal dan amorf. XRD merupakan metode karakterisasi lapisan yang digunakan untuk mengidentifikasi senyawa kristal yang terbentuk. Teknik XRD dapat digunakan untuk menganalisis struktur kristal karena setiap unsur atau senyawa mempunyai pola tertentu. Prinsip kerja difraksi sinar-X dihasilkan dalam tabung sinar-X dengan cara memanaskan kawat atau filamen pijar hingga menghasilkan elektron, kemudian elektron dalam bentuk sinar-X tersebut dipercepat menuju sampel dengan memberikan arus listrik tarik sampelnya dengan elektron. Ketika elektron-elektron mempunyai energi yang cukup untuk mengeluarkan elektron-elektron dalam sampel (Anonim, 2013), bidang kristal akan membiaskan sinar-X dengan panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi kristal. XRD digunakan untuk membedakan bahan kristal dan amorf, mengukur berbagai keacakan dan ketidakteraturan kristal, mengkarakterisasi bahan kristal, dan mengidentifikasi mineral berbutir halus seperti tanah liat (C. Hayati 2020).