

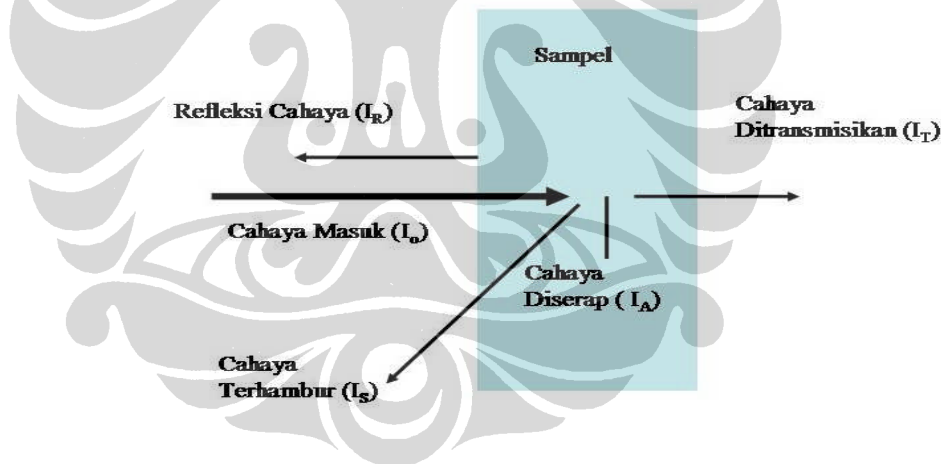
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Reflektansi Cahaya

Spektroskopi reflektansi adalah studi tentang cahaya yang terpantul atau terhambur dari padat, cair atau gas sebagai fungsi panjang gelombang. Jika suatu bahan disinari, cahaya yang keluar menjauhi bahan tidak semata-mata berasal dari pemantulan oleh permukaan luar saja, akan tetapi cahaya juga bisa berasal dari fraksi cahaya yang berhasil lolos masuk ke dalam bahan, terpantul dan terhambur berulang kali oleh butiran-butiran bahan dan akhirnya keluar lagi dari permukaan semula menjauhi bahan. Kestimbangan energi dari interaksi cahaya yang masuk dengan sampel dapat dilihat pada Gambar 2.1. Menurut hukum kekekalan energi, kestimbangan energi untuk cahaya yang masuk dapat ditulis:

$$I_0 = I_A + I_T + I_R + I_S \quad (2.1)$$



Gambar 2.1 Kestimbangan energi dari interaksi cahaya yang masuk dengan sampel [13]

Pada setiap benturan dengan butiran bahan yang dijumpainya, sebagian dari cahaya atau foton tadi terserap. Jika butiran bahan cerah, sebagian besar foton akan terhambur dan proses perjalanan acak cahaya dapat terjadi ratusan kali. Jika bahan gelap, sebagian besar foton akan terserap pada tiap-tiap benturan, dan secara esensial semua foton akan terserap hanya dalam beberapa benturan saja. Jumlah foton yang terhambur dan terserap oleh butiran bergantung pada ukuran butiran.

Jika ukuran butiran besar, reflektansi turun. Butiran yang besar memiliki lintasan internal yang besar, penyerapan foton berlangsung mengikuti hukum Beer-Lambert. Pada butiran yang lebih kecil, secara proporsional ada lebih banyak pantulan permukaan dibandingkan panjang lintasan internal foton, sehingga reflektansi lebih tinggi. Berdasarkan hukum Beer-Lambert penyerapan foton yang menjalar dalam sebuah medium penyerap dinyatakan sebagai:

$$I = I_0 e^{-kx} \quad (2.2)$$

dengan : I adalah intensitas terukur

I_0 adalah intensitas cahaya mula-mula

k adalah koefisien serapan bahan (dalam 1/cm)

x adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh foton di dalam medium (cm).

Persamaan (2.2) di atas berlaku untuk satu panjang gelombang tertentu. Pada panjang gelombang yang lain, nilai koefisien serapan berbeda dan intensitas terukur bervariasi. Koefisien serapan sebagai fungsi panjang gelombang adalah parameter fundamental yang melukiskan interaksi foton dengan bahan. [14]

2.2 Absorpsi

Penyerapan foton oleh bahan dapat terjadi melalui berbagai macam cara. Proses penyerapan dan ketergantungannya terhadap panjang gelombang memberikan kemungkinan untuk menurunkan informasi perihal kimia bahan melalui cahaya yang dipantulkannya atau yang diemisikannya. Secara umum ada dua macam proses yang menyebabkan terjadinya penyerapan foton oleh bahan, yaitu elektronik dan vibrasional.

Proses elektronik berhubungan dengan transisi atau perpindahan tingkat energi elektron dalam atom atau ion-ion penyusun bahan, sedangkan proses vibratif berhubungan dengan perpindahan tingkat energi getar molekul-molekul penyusun bahan. Pada proses elektronik, energi foton yang terserap digunakan untuk memindahkan elektron pada keadaan eksitasi. Energi yang diperlukan sesuai dengan energi foton pada daerah ultra ungu sampai cahaya tampak. Pada proses vibrasional, energi yang diserap digunakan untuk memindahkan molekul ke

frekuensi getar yang lebih tinggi. Energi yang diperlukan dalam transisi vibrasi sesuai dengan daerah infra merah. [12]

Proses vibratif dapat dijelaskan dengan menganalogikan struktur molekul atau kristal bahan sebagai sebuah sistem yang terdiri dari bola-bola atom penyusun bahan yang saling terikat oleh pegas tak bermassa. Dalam sistem semacam ini, frekuensi vibrasi tergantung pada kekuatan masing-masing pegas dan massa bola yang diikatnya. Frekuensi getaran (ν) untuk model osilator harmonis dua bola dengan massa m_1 dan m_2 adalah:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (2.3)$$

dengan k tetapan gaya, dan $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ adalah massa tereduksi.

Di dalam molekul, energi getaran tercatu dapat dituliskan:

$$E\nu = \left[\nu + \frac{1}{2} h\nu \right] \quad (2.4)$$

dengan h tetapan Plank dan ν adalah bilangan kuantum vibrasi (0, 1, 2, 3, ...). Dengan demikian di dalam molekul, vibrasi pada satu keadaan di atasnya memerlukan energi sebesar ΔE yang dapat ditulis :

$$\Delta E = h\nu = \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (2.5)$$

Untuk sebuah molekul yang terdiri dari N atom, ada $3N-6$ modus normal vibrasi yang disebut vibrasi dasar. Vibrasi juga dapat terjadi pada frekuensi yang secara kasar merupakan kelipatan dari frekuensi dasar. Vibrasi tambahan disebut *overtone* jika hanya melibatkan multiplikasi dari sebuah vibrasi dasar, dan kombinasi jika melibatkan jenis vibrasi yang berbeda. Serapan infra merah oleh proses vibrasional hanya akan terjadi jika proses vibrasi tersebut menghasilkan perubahan momen dwi kutub dalam molekul yang bersangkutan. Molekul semacam itu dikatakan infra merah aktif. [15]

Biasanya, frekuensi vibrasi dasar disimbolkan oleh huruf Yunani ν dengan sebuah subskrip. Sebuah molekul dengan vibrasi dasar ν_1 , ν_2 dan ν_3 dapat memiliki *overtone* dan kombinasi kira-kira pada $2\nu_1$, $3\nu_1$, $2\nu_2$, $\nu_1 + \nu_2$, dan

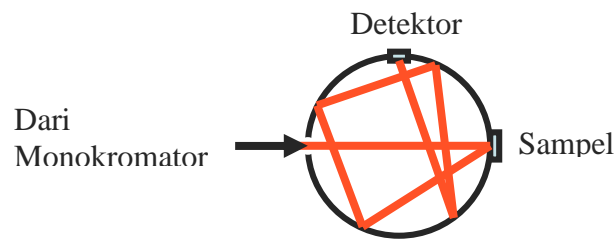
seterusnya. Tiap *overtone* atau kombinasi yang lebih tinggi pada umumnya akan 30 sampai 100 kali lebih lemah dari *overtone* atau kombinasi di bawahnya.

Molekul air (H_2O) terdiri dari 3 atom atau $N = 3$, oleh karena itu memiliki sejumlah $(3N-6) = 3$ vibrasi dasar, yaitu regang OH simetris (ν_1), lentur H-O-H (ν_2), dan regang OH asimetris (ν_3). Pada molekul yang terisolasi (fasa gas), ν_1 terjadi pada 2738 nm, ν_2 pada 6270 nm, dan ν_3 pada 2663 nm. Dalam fasa cair, frekuensi dasar tersebut bergeser karena adanya ikatan hidrogen, $\nu_1 = 3106$ nm, $\nu_2 = 6079$ nm, dan $\nu_3 = 2903$ nm. Air dalam bahan tambang (mineral), memperlihatkan *overtone*, pertama regang OH pada 1400 nm, dan kombinasi dari regang OH dan lentur H-O-H pada 1900 nm [14].

2.3 Metoda Reflektansi Inframerah

Inframerah spektroskopi pada sampel dapat menyerap dan memancarkan. Informasi mengenai sampel dapat diperoleh dengan mempelajari refleksi radiasi [18]. Tiga jenis fenomena reflektansi yang digunakan, yaitu: spekular, *diffuse*, dan internal refleksi. Reflektansi spekular terjadi pada permukaan yang halus, namun reflektansi *diffuse* terjadi pada permukaan yang tidak teratur (*irregularities*). Pada permukaan padat diperoleh informasi reflektansi sebagai fungsi panjang gelombang, sudut datang, dan polarisasi berkas yang masuk.

Metoda reflektansi *diffuse* digunakan untuk mempelajari permukaan yang tidak teratur. Dengan permukaan itu pancaran yang direfleksikan tidak terikat pada sudut. Beberapa pengukuran seringkali dibuat dengan mengintegrasikan lapisan, hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pada umumnya, dengan teknik refleksi pancaran daya dari sampel diperoleh sebagai fungsi panjang gelombang pada berkas inframerah. Reflektor referensi kemudian ditempatkan pada lapisan dan spektrumnya diperoleh. Spektrum reflektansi dari sampel digunakan sebagai acuan agar dapat dihitung dengan perbandingan.



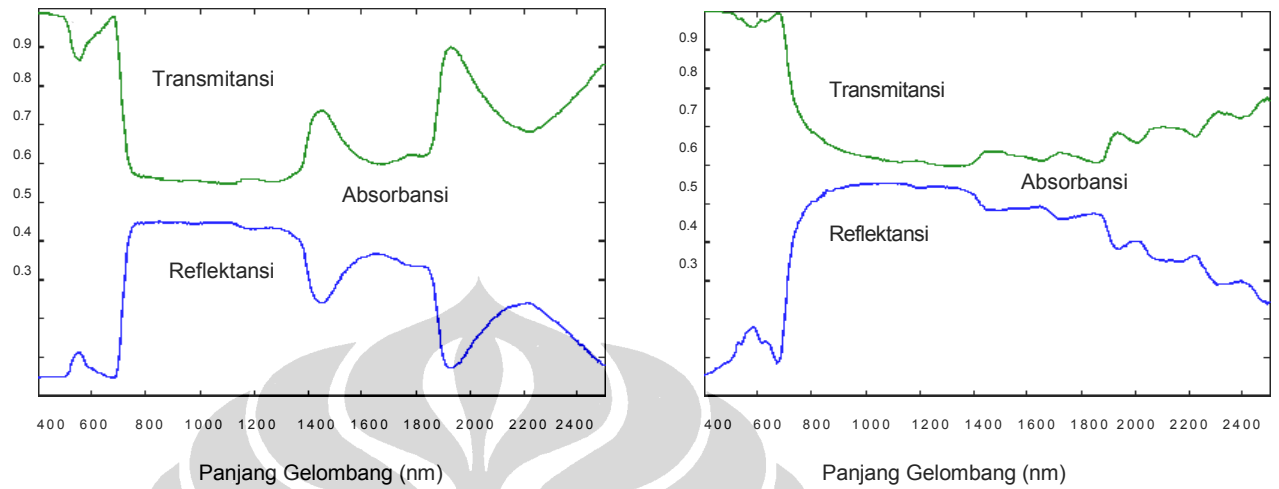
Gambar 2.2 Pengukuran reflektansi *diffuse* dengan penutup wadah

2.4 Reflektansi Pada Daun

Daun bukan pemantul baur dan pemantul spekular murni. Dalam reflektansi, dampak pantulan spekular biasanya diabaikan karena daun disinari dari arah normal atau mendekati normal. Dalam spektroskopi, analisis spektrum justru didasarkan pada komponen baur, karena komponen ini yang lebih banyak membawa informasi dibandingkan komponen spekular. Pantulan spekular daun baru berdampak cukup nyata pada sudut datang besar. Sifat baur pantulan daun berasal dari hamburan berganda oleh struktur dalam daun. Teori Willstatter-Stol menerangkan sifat baur pantulan daun [12]. Teori ini didasarkan pada asumsi hanya cahaya yang terpantul secara total pada sudut kritis yang dapat dihitung sebagai penyebab utama pada reflektansi daun. Teori ini disempurnakan oleh Kumar dan Silva memperbaiki penjelasan Willstatter-Stol dengan memasukkan pantulan-pantulan lain di luar sudut kritis dan perbatasan lain selain perbatasan dinding sel udara sebagai penyumbang cukup besar terhadap proses reflektif [12].

Pengukuran reflektansi terdapat pada sehelai daun, sebagian memiliki karakteristik biologi seperti konsentrasi pigmen atau kadar air [16]. Variasi spektral hubungannya dengan komposisi daun dan struktur biokimia, yang tergantung pada banyak faktor seperti jenis tanaman, pengembangan atau posisi daun di tanaman. Daerah optik dari 400 nm sampai 2500 nm, dan dibagi atas tiga bagian : *visible* (400-800 nm) yang ditandai dengan absorpsi cahaya yang kuat oleh pigmen-pigmen fotosintetis pada daun yang hijau, *near infrared* (800-1100 nm) pada daerah ini absorpsi dibatasi pada zat kering dimana hamburan berganda di dalam daun, yang dihubungkan dengan pecahan perbatasan udara, yaitu struktur internal, memandu level reflektansi dan transmitansi, *middle infrared* (1100-2500 nm) adalah daerah absorpsi yang kuat, terutama air dalam daun yang segar dan daun

yang kering ketika daun menjadi layu. Gambar 2.3 menunjukkan spektra pengukuran reflektansi dan transmitansi pada daun *poplar* (*Populus canadensis*).



Gambar 2.3 Spektrum reflektansi dan transmitansi pada (a) daun segar
(b) daun yang kering

2.5 Faktor Yang Mempengaruhi Reflektansi Daun

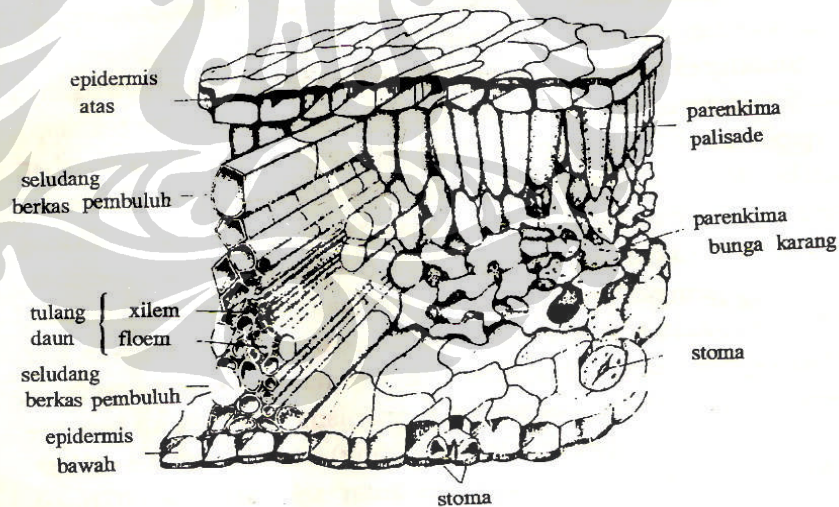
Daun pada tumbuhan dikotil memiliki reflektansi yang relatif lebih tinggi daripada daun tumbuhan monokotil, karena perbedaan struktur dalam daun. Banyaknya ruang kosong pada daun dikotil menyebabkan semakin banyaknya proses pemantulan berulang di dalam daun sehingga reflektansinya menjadi lebih besar. Perbedaan susunan jaringan parenkimatik (mesofil) yang berkedudukan diantara epidermis daun bagian atas dan bawah, juga mempengaruhi reflektansi daun. Pada bagian tampak, reflektansi permukaan atas daun (adaksial) sedikit lebih rendah daripada permukaan bawah daun (abaksial), karena perbedaan konsentrasi kloroplas sebagai penyerap cahaya di daerah palisade. Di daerah infra merah, pengaruh serapan tidak ada, reflektansi dari permukaan adaksial dan permukaan abaksial sama. Tingkat kemasakan dan penuaan juga merupakan faktor yang menyebabkan perubahan susunan mesofil dan klorofil.

Daun muda yang belum masak memiliki mesofil yang lebih rapat daripada daun tua. Oleh karena itu pada daerah tampak, reflektansi hanya berubah sedikit terhadap kemasakan daun, sedangkan di daerah infra merah reflektansi daun meningkat terhadap tingkat kemasakan. Pada daun tua, reflektansi di daerah

tampak dan infra merah meningkat, karena berkurangnya klorofil dan meningkatnya jumlah ruang udara antar sel.

Rambut daun pada umumnya meningkatkan reflektansi, tetapi tidak pada semua jenis daun, pengaruhnya juga tidak sama pada seluruh daerah spektrum. Lapisan lilin (wax) berpengaruh meningkatkan reflektansi pada seluruh daerah spektrum. Peningkatan cukup tinggi terjadi di daerah biru dan ultra ungu, karena mekanisme hamburan yang diakibatkan oleh ukuran partikel lilin yang memenuhi kriteria hamburan Rayleigh.

Gangguan fisiologis juga dapat menyebabkan perubahan reflektansi daun. Setiap gangguan fisiologis terhadap daun menyebabkan kenaikan reflektansi di daerah tampak. Namun, gangguan fisiologis bukanlah faktor yang berpengaruh langsung terhadap perubahan reflektansi, justru pengaruh sekunder dari gangguan fisiologis, misalnya perubahan kandungan klorofil, struktur mesofil, karakteristik permukaan daun (berkurangnya kandungan air) yang berpengaruh terhadap reflektansi daun [12]. Gambar 2.4 merupakan struktur dalam daun.



Gambar 2.4 Gambar bagian daun [17].

2.6 Kadar Air

Kadar air adalah besaran yang menyatakan kuantitas kandungan air dalam bahan, umumnya dinyatakan dalam persen berat. Kadar air dapat didefinisikan pada dua pengertian, basis basah dan basis kering. Kadar air basis basah adalah persentase berat air dalam bahan terhadap berat total bahan sebelum air

dikeluarkan, sedangkan kadar air basis kering adalah persentase berat air dalam bahan terhadap berat kering bahan, yaitu berat bahan setelah semua kandungan air di dalamnya dikeluarkan. Secara matematis kadar air dapat ditulis sebagai berikut :

$$KA_{bb} = \frac{Wa}{Wbb} \times 100\% \quad (2-6)$$

$$KA_{bk} = \frac{Wa}{Wbk} \times 100\% \quad (2-7)$$

dengan : KA_{bb} = kadar air basis basah

Wa = berat air dalam bahan

Wbb = berat total bahan dalam keadaan basah (sebelum dikeringkan)

KA_{bk} = kadar air basis kering

Wbk = berat total bahan kering (setelah semua air dikeluarkan)

Pada daun, selain persen berat besaran lain yang juga sering digunakan untuk menyatakan kuantitas air yang terkandung di dalamnya adalah kadar air relatif ($RWC = Relative Water Content$) atau turgiditas relatif ($RT = Relative Turgidity$) yang didefinisikan sebagai nisbah volume air dalam daun terhadap volume maksimum air dalam daun tersebut pada keadaan turgor penuh. RWC dirumuskan sebagai berikut :

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \quad (2-8)$$

dengan : FW = berat daun segar

DW = berat daun kering

TW = berat daun dalam keadaan turgor penuh.