

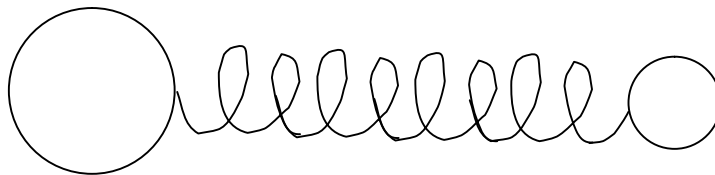
HANDOUT
SPEKTROSKOPI INFRA MERAH
(Infrared Spectroscopy, IR)

Oleh:

Susila Kristianingrum
susila.k@uny.ac.id

Setelah dipelajari spektroskopi UV – Vis, maka akan dipelajari spektroskopi IR. Dalam bab ini akan dipelajari vibrasi molekul, instrumentasi IR, spektra IR, dan analisis kualitatif dan kuantitatif.

Atom-atom di dalam suatu molekul tidak dapat diam melainkan bervibrasi (bergetar). Ikatan kimia yang menghubungkan dua atom dapat dimisalkan sebagai dua bola yang dihubungkan oleh pegas, dan ditunjukkan dalam Gambar 22.



Gambar 22. Model ikatan kimia

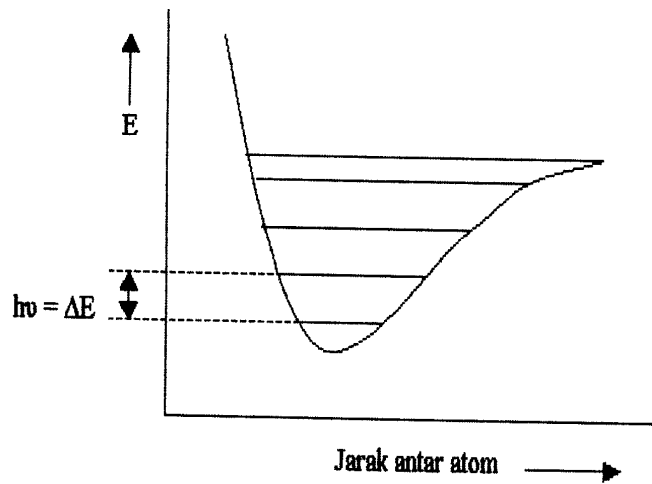
Bila radiasi infra merah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi dan terjadilah transisi diantara tingkat vibrasi (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi (*excited state*). Contoh suatu ikatan C – H yang bervibrasi 90 triliun kali dalam satu detik harus menyerap radiasi infra merah pada frekuensi tersebut ($9,0 \times 10^{13}$ Hz, 3000 cm^{-1}) untuk pindah ke tingkat vibrasi tereksitasi pertama. Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh *spektrofotometer infrared*, yang memplot jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi (atau panjang gelombang) radiasi. Plot tersebut

adalah spektrum infra merah yang memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul.

A. Vibrasi Molekul

Penyerapan radiasi inframerah menyebabkan perubahan energi (ΔE) dan dinyatakan sebagai :

$\Delta E = h \nu$, dengan tingkat-tingkat vibrasi ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Tingkat-tingkat vibrasi untuk suatu ikatan yang bervibrasi

Dimana h menyatakan tetapan Planck ($6,6242 \times 10^{-27}$ erg det) dan ν menyatakan tetapan frekuensi dalam Hertz (Hz). Hubungan diantara frekuensi dan panjang gelombang (λ) dinyatakan sebagai :

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

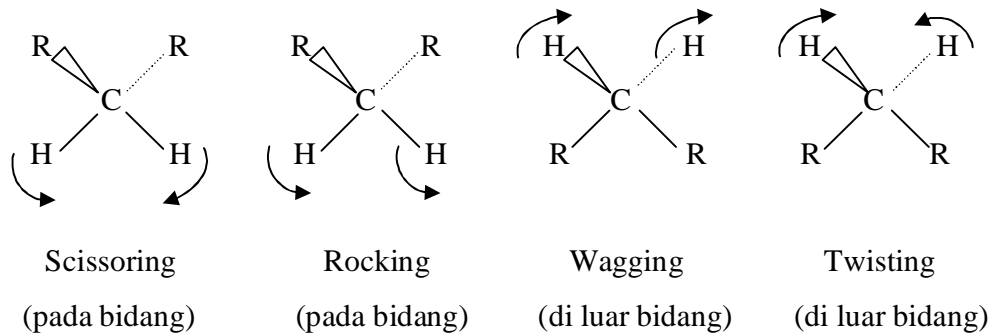
dimana c adalah kecepatan cahaya (3×10^{10} cm dt⁻¹) dan λ dinyatakan dalam cm. Kebalikan panjang gelombang ($\bar{\nu}$) menyatakan jumlah gelombang per cm. Jadi,

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$$

Jumlah gelombang ($\bar{\nu}$) berbanding lurus dengan frekuensi atau energi, karena itu bagian horizontal spektrum infra merah biasanya dinyatakan sebagai jumlah gelombang ($\bar{\nu}$) dalam cm⁻¹.

Molekul-molekul poliatom memperlihatkan dua jenis vibrasi molekul : stretching dan bending. Vibrasi ikatan yang melibatkan hidrogen sangat berarti, karena atom-atom dengan massa rendah cenderung lebih mudah bergerak daripada atom dengan massa lebih tinggi. Gambar 24 menunjukkan bentuk-bentuk vibrasi gugus metilen.

Vibrasi stretching :



Gambar 24. Bentuk vibrasi gugus metilen

Makin rumit struktur suatu molekul, semakin banyak bentuk-bentuk vibrasi yang mungkin terjadi. Akibatnya kita akan melihat banyak pita-pita absorpsi yang diperoleh pada spektrum infra merah, bahkan bisa lebih rumit lagi bergantung pada molekul dan kepekaan instrumen.

Hukum Hooke dapat membantu memperkirakan daerah dimana vibrasi terjadi.

$$\nu = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{f(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}}$$

Berdasarkan hukum Hooke

- ν = jumlah gelombang (cm^{-1})
- c = kecepatan cahaya (cm dt^{-1})
- m_1 = massa atom 1 (g)
- m_2 = masa atoam 2 (g)
- f = tetapan gaya ($\text{dyne cm}^{-1} = \text{g det}^{-1}$)

Semakin banyak besar tetapan gaya, semakin besar frekuensi vibrasi dan makin besar jarak, energi diantara tingkat-tingkat kuantum vibrasi. Tetapan gaya untuk ikatan tunggal atau rangkap- dua, dan rangkap tiga masing-masing 5×10^5 , 10×10^5 , dan 15×10^5 dyne cm^{-1} .

Contoh :

Perkiraan frekuensi stretching $^{12}\text{C} - ^1\text{H}$.

Penyelesaian :

Dengan persamaan

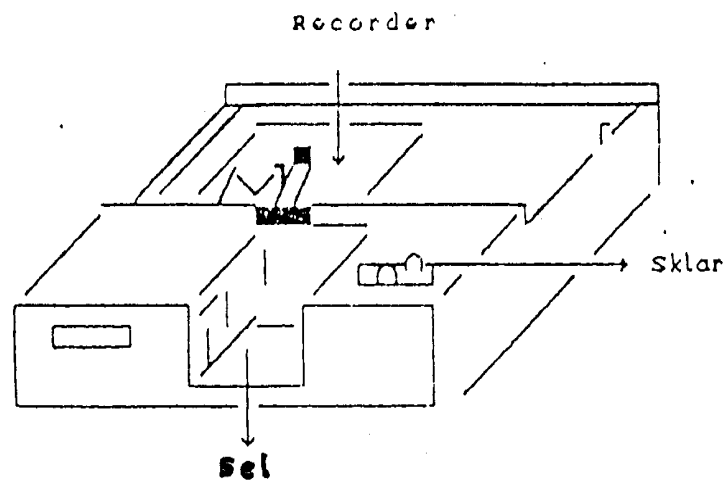
$$\nu = \frac{1}{2\pi (2,998 \times 10^{10} \text{ cm det}^{-1})} \sqrt{\frac{5 \times 10^{-5} \text{ g det}^{-2} \left(\frac{12}{6,023} + \frac{1}{6,023} \right) 10^{-23} \text{ g}}{\left(\frac{12}{6,023} \times 10^{-23} \text{ g} \right) \left(\frac{1}{6,023} \times 10^{-23} \text{ g} \right)}}$$

$$\nu = 3032 \text{ cm}^{-1}$$

Rentang absorbansi C – H sebenarnya 2850-3000 cm^{-1}

B. Instrumentasi Spektroskopi IR

Gambar 25 berikut menunjukkan spektrofotometer inframerah model 710b *Perkin – Elmer*.

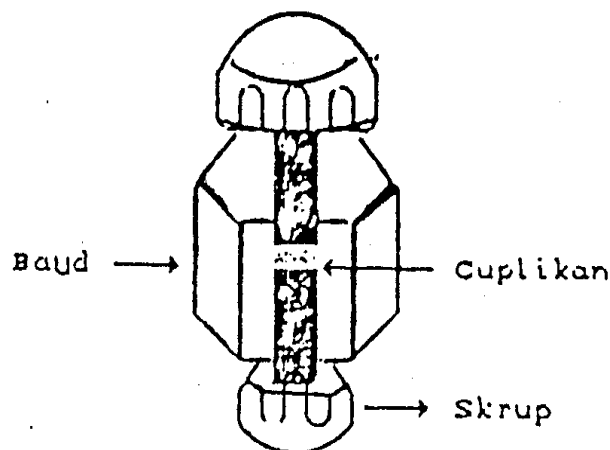


Gambar 25. Spektrofotometer inframerah model 710b *Perkin – Elmer*

Spektrofotometer canggih selalu dilengkapi recorder untuk menekan hasil percobaan. Alat perekam ini mempermudah dan mempercepat pengolahan data. Data absorpsi mulai dari panjang gelombang 2,5 mikron (ν 4000 cm^{-1}) hingga 25 mikron (ν 400 cm^{-1}) direkam secara otomatis. Bahkan spektrofotometer bias dilengkapi sistem komputer bias dibuat sesuai dengan yang diinginkan.

Spektrofotometer inframerah mempunyai sistem optik yang serupa dengan ultraviolet atau sinar tampak. Perbedaan utama terletak pada sumber energi dan sel. Sumber radiasi pada spektrofotometri bias *laser*. Oleh karena sinar inframerah mempunyai energi yang lebih rendah dari sinar ultraviolet atau sinar tampak, maka tebal sel yang dipakai pada spektrofotometer lebih tipis daripada untuk spektrofotometer lainnya (0,002 mm).

Oleh karena tidak ada pelarut yang sama sekali transparan terhadap sinar inframerah, maka cuplikan dapat diukur sebagai padatan atau cairan murninya. Cuplikan padat digerus dalam mortir kecil bersama kristal KBr kering dalam jumlah sedikit sekali (0,5-2 mg cuplikan + 100 mg KBr kering). Campuran tersebut dipres diantara dua skrup (Gambar 26) memakai kunci, kemudian kedua skrupnya dibuka dan band yang berisi tablet cuplikan tipis diletakkan di tempat sel spektrofotometer inframerah dengan lubang mengarah ke sumber radiasi.



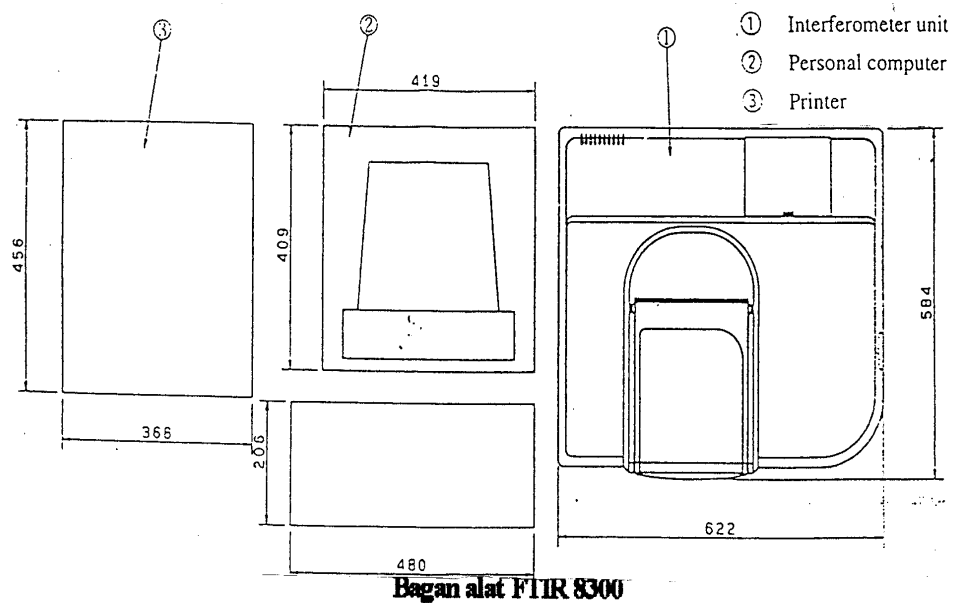
Gambar 26. Salah satu pembuatan cuplikan padat

Spektrofotometer FTIR 8300/8700

Spektrofotometer FTIR 8300/8700 merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa, khususnya senyawa organik, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa tersebut. Sedangkan analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan

menggunakan senyawa standar yang dibuat spektrumnya pada berbagai variasi konsentrasi.

FTIR 8300 / 8700 terdiri dari interferometer unit, personal komputer dan printer seperti terlihat pada bagan berikut :



Preparasi sampel:

A. Sampel cair

1. Sampel cair harus bebas air
2. Oleskan sampel pada *NaCl Window*. Tekanlah kedua *NaCl Window* sehingga tidak ada gelembung udara diantara keduanya.
3. Untuk analisis secara kuantitatif masukkan sampel dalam *Demountable Cell*.
4. Sampel siap dianalisis.

B. Sampel padat

1. Metode DRS – 8000

Sampel padat yang akan dianalisa dicampur dengan serbuk KBr (5 – 10 % sampel dalam serbuk KBr), kemudian tempatkan pada *sampel pan* dan siap untuk dianalisis.

2. Metode Pelet KBr

Campuran sampel padat dengan serbuk KBr (5 – 10 % sampel serbuk KBr). Campuran yang sudah homogen kemudian dibuat pellet KBr(pil KBr) dengan alat *MINI HAND PRESS*. Setelah terbentuk pil KBr siap untuk dianalisis.

C. Spektra IR

Hampir setiap senyawa yang memiliki ikatan kovalen, apakah senyawa organik atau anorganik, akan menyerap berbagai frekuensi radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang (λ) 0,5 – 1000 μm). Dalam kimia organik, fungsi utama dari spektrometri inframerah adalah mengenal (elusidasi) struktur molekul, khususnya gugus fungsional seperti OH, C = O, C = C. daerah yang paling berguna untuk mengenal struktur suatu senyawa adalah pada daerah 1-25 μm atau 10.000 – 400 cm^{-1} . Dalam praktek satuan yang lebih umum dipakai adalah satuan frekuensi (cm^{-1}) dan bukan satuan panjang gelombang. Serapan setiap tipe ikatan (N - H, C - H, O - H, C - X, C = O, C - O, C - C, C = C, C = N, dan sebagainya) hanya diperoleh dalam bagian-bagian kecil tertentu dari daerah vibrasi infra merah. Kisaran serapan yang kecil dapat digunakan untuk menentukan setiap tipe ikatan.

Dalam rangka memperoleh informasi struktur senyawa organik yang dianalisis, kita harus terbiasa dengan frekuensi atau panjang gelombang dimana berbagai gugus fungsional menyerap. Sebagai contoh, setiap serapan dalam kisaran 3000 + 150 cm^{-1} hampir selalu disebabkan adanya ikatan C=O (gugus karbonil). Dalam gambar berikut tersusun secara sistematis daerah serapan yang sesuai dengan ikatan yang terdapat dalam senyawa.

Bilangan gelombang dalam cm^{-1}							
4000	2500	2000	1800	1650	1550	650	
O-H	C-H	C=C C=N X=C=Y (C,O,N,S)	Sangat Sedikit Serapan	C=O	C=N C=C	C-Cl C-O C-N C-C	
N-H							
2,5	4	5	5,5	6,1	6,5	15,4	

Panjang gelombang dalam mikrometer

Daerah serapan infra merah

Alkana

Pita utama yang nampak dalam spektra IR alkana disebabkan oleh stretching C-H di daerah $2850-3000\text{ cm}^{-1}$, scissoring CH_2 dan CH_3 di daerah $1450-1470\text{ cm}^{-1}$, rocking CH_3 pada kurang lebih $1370-1380\text{ cm}^{-1}$. Dan pita rocking, pada $720-7725\text{ cm}^{-1}$. Pita-pita ini tidak dapat dijadikan patokan karena kebanyakan alkana mengandung gugus-gugus ini.

Alkena

Vibrasi stretching C-H alkena terjadi pada panjang gelombang yang lebih pendek daripada C-H alkana. Ingat bahwa ikatan karbon-hidrogen alkena mempunyai sifat lebih kuat daripada ikatan karbon-hidrogen alkana. Makin kuat ikatan, makin sukar bervibrasi dan memerlukan energi yang lebih tinggi. Jadi alkena yang mempunyai paling sedikit satu hidrogen menempel pada ikatan rangkap dua biasanya mengabsorpsi di daerah $3050-3150\text{ cm}^{-1}$ (Gambar 27).

Bentuk stretching C=C alkena terjadi pada daerah $1645-1670\text{ cm}^{-1}$. pita ini sangat jelas bila hanya satu gugus alkil menempel pada ikatan rangkap dua. Semakin banyak gugus alkil yang menempel, intensitas absorpsi berkurang karena vibrasi terjadi dengan perubahan momen dipol yang lebih kecil. Untuk alkena-alkena trisubstitusi, tetrasubstitusi C=C sering mempunyai intensitas yang rendah atau tidak teramati.

Alkuna dan Nitril

Alkuna ujung memperlihatkan pita stretching C-H yang tajam pada $3300-3320\text{ cm}^{-1}$ dan bentuk bending C-H yang jelas pada $600-700\text{ cm}^{-1}$. Stretching $\text{C}\equiv\text{N}$ pada alkuna ujung nampak pada $2100-2140\text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas sedang (Gambar 28) untuk stretching $\text{C}\equiv\text{C}$ alkuna dalam berupa pita lemah yang terjadi pada $2200-2260\text{ cm}^{-1}$.

Alkil halida

Ciri absorpsi alkil halida adalah pita yang disebabkan oleh stretching C-X. posisi untuk pita-pita ini adalah $1000-1350\text{ cm}^{-1}$ untuk C-F, $750-850\text{ cm}^{-1}$ untuk C-Cl, $500-680\text{ cm}^{-1}$ untuk C-Br, dan $200-500\text{ cm}^{-1}$ untuk C-I. Absorpsi-absorpsi ini tidak berguna untuk diagnosis.

Alkohol dan Eter

Alkohol dan eter mempunyai ciri absorpsi infra merah karena stretching C-O di daerah $1050-1200\text{ cm}^{-1}$. oleh karena pita-pita ini terjadi di daerah spektrum dimana

biasanya terdapat banyak pita lain, maka pita-pita tersebut tidak bermanfaat untuk diagnosis. Akan tetapi stretching O-H alkohol, yang terjadi di daerah 3200-3600 cm^{-1} , lebih berguna. Gambar 29 memperlihatkan spektrum infra merah t-butilalkohol stretching O-H sangat kuat yang berpusat pada 3360 cm^{-1} .

T- butilalkohol dilarutkan dalam karbon tetraklorida (karbon tetraklorida banyak digunakan sebagai pelarut di dalam studi infra merah karenanya relatif stabil dan “transparan” terhadap cahaya infra merah pada kebanyakan daerah spektra yang berguna).

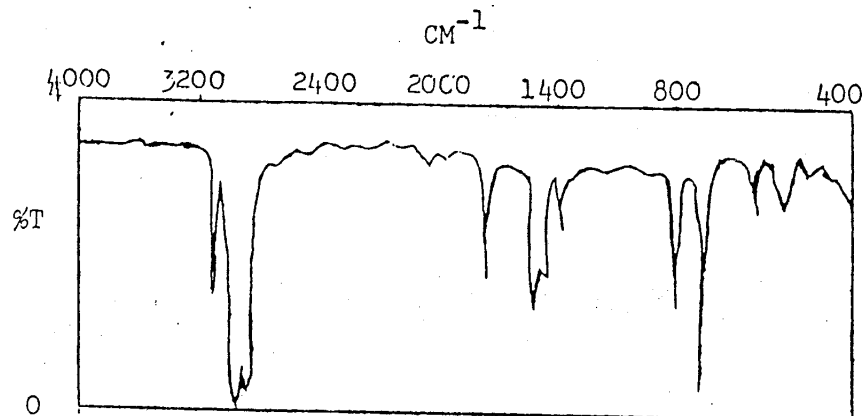
Aldehid dan Keton

Ciri absorpsi infra merah aldehid dan keton adalah vibrasi stretching C=O. oleh karena gugus karbonil polar sekali, stretching ikatan ini menghasilkan perubahan momen dipol yang cukup besar. Akibatnya stretching karbonil merupakan spektra yang intensitasnya tinggi. Oleh karena terjadi di daerah spektrum yang umumnya tidak ada absorpsi lain, maka stretching karbonil merupakan metode yang dapat diandalkan untuk mendiagnosis adanya gugus fungsional di dalam suatu senyawa (Gambar 30).

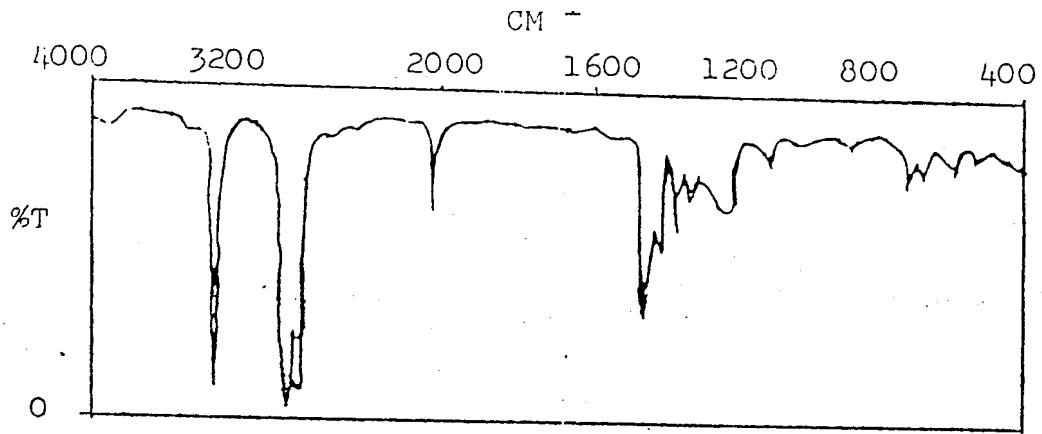
Untuk aldehid jenuh sederhana, pitanya terjadi pada 1725 cm^{-1} .

Tabel 7. Frekuensi stretching karbonil

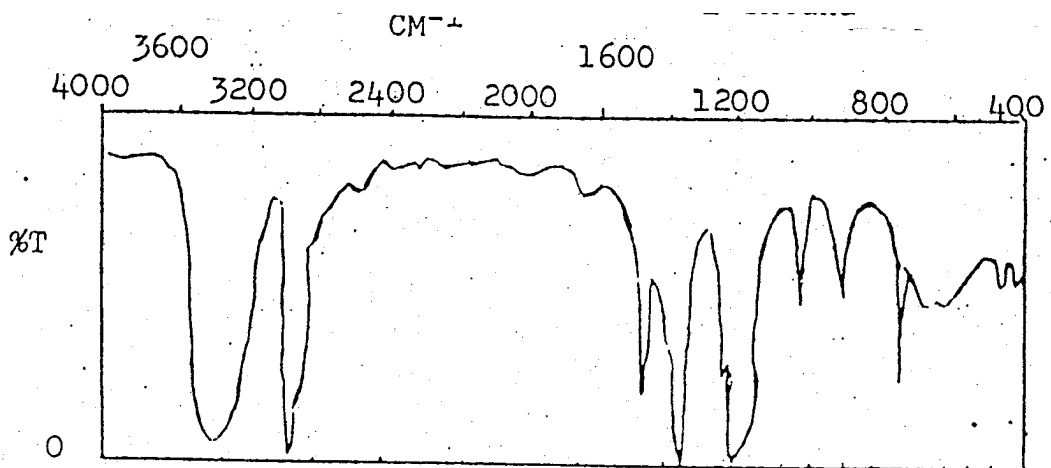
Jenis Keton	Frekuensi, cm^{-1}
Rantai terbuka normal	1715
Tiga anggota	1850
Empat anggota	1780
Lima anggota	1745
Enam anggota	1715
Tujuh anggota	1705



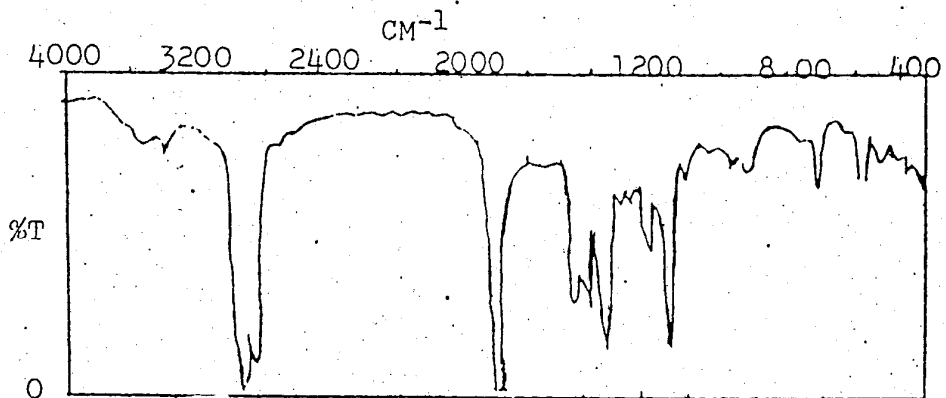
Gambar 1.27 Spektrum Inframerah 1-oktana



Gambar 1.28 Spektrum inframerah 1-oktuna



Gambar 1.29 Spektrum inframerah t-butylalkohol



Gambar 1.30 spektrum inframerah 2-heptanon

D. Analisis kualitatif dan kuantitatif dengan IR

Analisis kualitatif dengan IR

Sebagai pelengkap untuk memperoleh informasi struktur dari senyawa melalui interpretasi. Spektrum IR dapat dipakai tabel korelasi IR (Tabel 8) yang memuat informasi dimana gugus fungsional menyerap.

Ini umumnya berguna untuk mengklasifikasi seluruh daerah kedalam tiga sampai empat daerah yang lebar. Salah satu cara ialah dengan mengkategorikan sebagian daerah IR dekat ($0,7-2,5 \mu$); daerah fundamental ($2,5-5,0 \mu$); dan daerah IR jauh ($50-500 \mu$). Cara yang lain adalah dengan mengklasifikasikannya sebagai daerah sidik jari ($6,7-14 \mu$). Dari kedua klasifikasi ini tampak bahwa dalam kategori kedua semua daerahnya adalah fundamental, dan ini paling banyak digunakan.

- a) Daerah ulur hidrogen ($3700-2700 \text{ cm}^{-1}$). Puncak terjadi karena vibrasi ulur dari atom hidrogen dengan atom lainnya. Frekuensinya jauh lebih besar sehingga interaksi dapat diabaikan. Puncak absorpsi timbul pada daerah $3700-3100 \text{ cm}^{-1}$ karena vibrasi ulur dari O-H atau N-H. ikatan hidrogen menyebabkan puncak melebar dan terjadi pergeseran kearah bilangan gelombang yang lebih pendek. Sedangkan vibrasi C-H alifatik timbul pada $3000-2850 \text{ cm}^{-1}$. Perubahan struktur dari ikatan C-H akan menyebabkan puncak bergeser kearah yang maksimum. Ikatan $\text{C}\equiv\text{H}$ timbul pada 3300 cm^{-1} . Hidrogen pada gugus karbonil aldehid memberikan puncak pada $2745-2710 \text{ cm}^{-1}$. Puncak vibrasi ulur CH dapat didefinisikan dengan mengamati atom H oleh deuterium.
- b) Pada daerah ikatan rangkap tiga ($2700-1850 \text{ cm}^{-1}$), gugus-gugus yang mengabsorpsi terbatas, seperti untuk vibrasi ulur ikatan rangkap terjadi pada daerah $2250-2225 \text{ cm}^{-1}$ (Misal : untuk $-\text{C}\equiv\text{N}$ pada 2120 cm^{-1} , $-\text{C}^-\equiv\text{N}^-$ pada 2260 cm^{-1}). Puncak untuk SH adalah pada $2600-2550 \text{ cm}^{-1}$ untuk pH pada $2240-2350 \text{ cm}^{-1}$ dan SiH pada $2260-2090 \text{ cm}^{-1}$.
- c) Pada daerah ikatan rangkap dua ($1950 - 1550 \text{ cm}^{-1}$), vibrasi ulur dari gugus karbonil dapat dikarakteristikan di sini, seperti aldehid, asam, aminola, karbonat, semuanya mempunyai puncak pada 1700 cm^{-1} . Ester, halida-halida asam, anhidrida-anhidrida asam, mengabsorpsi pada $1770-1725 \text{ cm}^{-1}$. Konjugasi

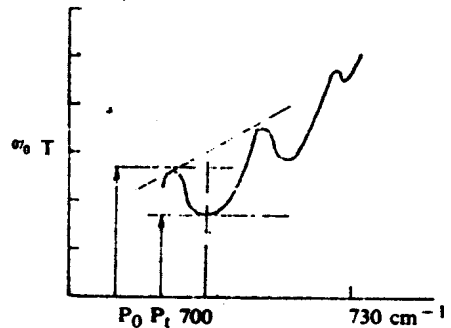
- menyebabkan puncak absorpsi menjadi lebih rendah sampai 1700 cm^{-1} . Puncak yang disebabkan oleh vibrasi ulur dari $\text{C}=\text{C}$ - dan $\text{C}=\text{N}$ terletak pada $1690\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$, berguna untuk identifikasi olefin. Cincin aromatik menunjukkan puncak dalam daerah $1650\text{-}1450\text{ cm}^{-1}$, yang dengan derajat substitusi rendah (*low degree of substitution*) menunjukkan puncak pada $1600, 1580, 1500,$ dan 1450 cm^{-1} .
- d) Daerah sidik jari berada pada $1500\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$, dimana sedikit saja perbedaan dalam struktur dan susunan molekul, akan menyebabkan distribusi puncak absorpsi berubah. Dalam daerah ini, untuk memastikan suatu senyawa organik adalah dengan cara membandingkan dengan perbandingannya. Pita absorpsi disebabkan karena bermacam-macam interaksi, sehingga tidak mungkin dapat menginterpretasikan dengan tepat.

Analisis Kuantitatif dengan IR

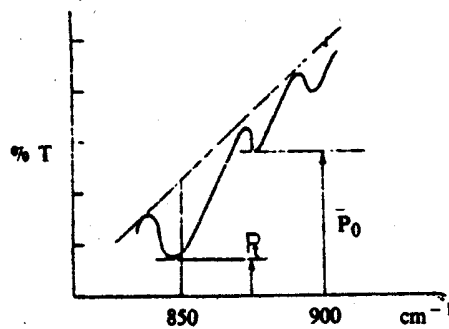
Dalam penentuan analisis kuantitatif dengan IR digunakan hukum Beer. Kita dapat menghitung absorptivitas molar (ϵ) pada panjang gelombang tertentu, dimana salah satu komponennya mengabsorpsi dengan kuat sedang komponen lain lemah atau tidak mengabsorpsi. Absorbansi zat yang tidak diketahui jumlahnya ditentukan pada panjang gelombang ini secara simultan. Hukum Beer tidak dapat digunakan pada nilai absorbansi yang tinggi. Oleh karena itu digunakan metode empiris.

Metode *Base line* (gambar) adalah untuk menyeleksi pita absorpsi yang dianalisa tidak jatuh kembali pada pita komponen yang dianalisis. Jika P_0 menunjukkan intensitas sinar yang didapat dengan cara menarik garis lurus tangensial pada kurva spektrum absorpsi pada pita absorpsi yang dianalisis. Transmittan P , diukur dari titik absorpsi maksimum. Kurva kalibrasi didapat dengan cara menyalurkan nilai $\log (P_0/P_t)$ terhadap konsentrasi.

Karena pita IR yang sempit, menyebabkan deviasi dari hukum Beer (yang dapat menyebabkan hubungan antara absorbansi dan konsentrasi menjadi tidak linier) kemungkinan kecil. Analisis kuantitatifnya ditunjukkan pada Gambar 31 dan 32.



Gambar 1.31 Analisis kuantitatif.



Gambar 1.32 Analisis kuantitatif senyawa organik.

Spektroskopi infra merah dapat digunakan untuk menganalisis campuran hidrokarbon aromatik, seperti C_8C_{10} (mengandung xylene dalam bentuk orto, meta, para dan etil benzena), dengan sikloheksana sebagai pelarut. Kita ambil puncak disekitar panjang gelombang 12-15 μ , kita hitung absorptivitas molar semua senyawa pada 13,47; 13,01; 12,58; 14,36 μ yang merupakan daerah puncak dan menulis empat persamaan simultan untuk menghitung konsentrasi masing-masing senyawa.

Kebanyakan penggunaan spektroskopi infra merah dalam analisis kuantitatif adalah untuk menganalisis kandungan udara, misalnya jika udara mengandung polutan seperti CO, metil etil keton, methanol, etilen oksida dan uap $CHCl_3$. sampel udara yang mengandung polutan atmosfer dianalisa dengan alat IR. Polutan lain seperti CS_2 , HCN, SO_2 , nitrobenzene, vinil klorida, diboran, kloropena, metil merkaptan, piridin, juga dapat dianalisa secara kuantitatif dengan spektrofotometer infra merah.

Teknik infra merah dalam analisis kuantitatif mempunyai keterbatasan yang tidak dapat diabaikan. Pertama tidak adanya hubungan antara hukum Beer dan kompleksitas spektrum sehingga tumpang-tindihnya puncak-puncak. Kedua, sempitnya puncak, akibat dari sinar hamburan menyebabkan pemakaian lebar slit menjadi lebih besar. Sel yang sempit juga tidak banyak digunakan untuk mengerjakan pekerjaan praktis.

Tabel 8. Pita Absorpsi Infra Merah

Gugus	Senyawa	Frekuensi (cm ⁻¹)	Lingkungan spektral cm ⁻¹ (μ)	Nama lingkungannya	
OH	Alkohol	3580-3650	3333-3704 (2,7-3,0 μ)	Lingkungan vibrasi ulur hidrogen	
	Asam	2500-2700			
NH	Amina primer dan sekunder	-3500 3310-3500	2857-3333 (3,0-3,5 μ)		
	Amida	3140-3320			
	Alkana	3300			
CH	Alkena	3010-3095	2500-2857 (4,0-4,5 μ)		
	Aromatik	-3030			
	Alkana	2853-2962			
	Aldehida	2700-2900			
SH	Sulfur	2500-2700	Lingkungan ikatan ganda tiga		
C=C	Alkana	2190-2260		2222-2500 (4,5-5,0 μ)	
	C≡N	Alkilnitril			2240-2260
-N=C=N	Iosianat	2240-2275		2000-2222 (5,0-5,5 μ)	
	Arilnitril	2220-2240			
	Diimida	2130-2155			
-N ₃	Azida	2120-2160		Lingkungan ikatan ganda dua	
>CO	Aldehid	1720-1740			1667-1818 (6,0-6,5 μ)
	Keton	1675-1725			
	Asam karboksilat	1700-1725			
	Ester	2000-2300			
CN	Asilhalida	1755-1850	1670-1700		
	Amida	1670-1700			
CO	Oksim	1640-1690	Daerah sidik jari		
C=O	β-diketon	1540-1640			1538-1667 (6,5-7,5 μ)
	Ester	1650			
C=C	Alkena	1620-1680		1538-1667 (6,5-7,5 μ)	
N-H(b)	Amina	1575-1650			
-N=N-	Azo	1575-1630		1538-1667	
-C-NO ₂	Nitro	1550-1570			
-C-NO ₂	Nitro aromatik	1300-1570		1053-1333 (7,5-9,5 μ)	
C-O-C	Eter	1230-1270			
-(CH ₂) _n	Senyawaan lain	-722		666-900 (11-15,0 μ)	

Daftar Pustaka:

1. Dasli Nurdin. (1986). *Eludasi Struktur Senyawa Organik*. Bandung : Angkasa.
2. Garry D. Christian. (1971). *Analytical Chemistry 2nd Edition*. New York : John Wileys & Sons.
3. Khopkar SM. (1990). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta : UI Press.
4. Larry G Hargis. (1988). *Analytical Chemistry. Principles And Technigues*. New Jersey : Prentice Hall Inc.
5. Pecsok and Shield. (1968) *Modern Methods of Chemical Analysis*. New York : John Wiley & Sons.