

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Luminesensi

Luminesensi merupakan istilah umum untuk menggambarkan proses dimana bahan menyerap energi dari luar sumber dan memancarkan kembali energi itu dalam bentuk terlihat cahaya. Sumber energi eksternal biasanya sumber radiasi elektromagnetik. Fotoluminesensi didefinisikan sebagai jenis luminesensi yang tereksitasi oleh radiasi elektromagnetik (biasanya sinar *ultra-violet*). Proses eksitasi terjadi ketika energi radiasi sinar UV diserap oleh sebuah molekul yang dapat mengakibatkan molekul tersebut tereksitasi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Molekul dapat kembali ke keadaan dasar dengan cara mengemisikan cahaya. Fotoluminesensi dibagi menjadi dua jenis yaitu fluoresensi dan fosforesensi. Kedua jenis luminesensi tersebut dibedakan berdasarkan keadaan eksitasi dan emisinya. Fluoresensi merupakan emisi yang dipancarkan oleh molekul keadaan *singlet* tereksitasi menuju ke keadaan dasar. Sedangkan Fosforesensi merupakan emisi yang dihasilkan dari transisi terlarang dari keadaan *triplet* ke keadaan *singlet* dasar. Energi molekul dihilangkan dengan melalui serangkaian keadaan getaran.

Fluoresensi adalah proses transisi yang diizinkan (*allowed transition*), sedangkan fosforesensi adalah transisi yang dilarang (*forbidden transition*). Satu perbedaan penting antara fluoresensi dan fosforesensi adalah bahwa fosforesensi lebih bergeser pada spektrum merah. Perbedaan penting lainnya adalah dalam skala waktu. Fluoresensi adalah proses berumur pendek yang hanya berlangsung 10^{-12} hingga 10^{-6} detik. Sedangkan pada fosforesensi berasal dari transisi terlarang $T_1 \rightarrow S_0$ dan karena itu fosforesensi berumur panjang, berlangsung 10^{-4} hingga 100 detik. *Afterglow* adalah ciri khas fosforesensi. Hal tersebut dapat membantu pemahaman tentang mengapa fosforesensi lebih bergeser pada spektrum merah daripada

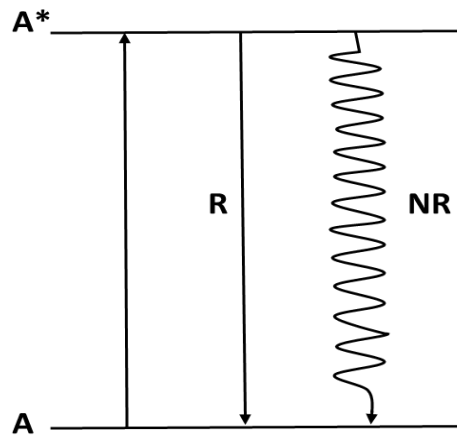
fluoresensi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa keadaan *triplet* (T_1) memiliki tingkat energi yang lebih rendah daripada keadaan *singlet* (S_1) dan dengan demikian kesenjangan energi ($S_1 - S_0 > T_1 - S_0$) juga lebih kecil [15,16].

2.2 Material Fosfor

Proses yang melibatkan penyerapan energi dan emisi cahaya diklasifikasikan secara umum dengan istilah *luminescence*. Bahan luminesensi disebut dengan fosfor, yaitu bahan padat yang memancarkan cahaya ketika terkena oleh radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik ini dipancarkan dalam bentuk cahaya, ketika elektron turun ke tingkat yang lebih rendah. Radiasi yang biasanya digunakan adalah radiasi sinar *ultra-violet* (UV). Dalam material *luminescence*, penyerapan energi terjadi baik oleh *host* atau oleh aktivator (pusat emisi terlokalisasi) seperti unsur tanah jarang. Penerapan fosfor dapat diklasifikasikan sebagai sumber cahaya diwakili oleh lampu neon, perangkat tampilan yang diwakili oleh tabung sinar katoda, sistem detektor diwakili oleh layar *X-ray* dan aplikasi sederhana lainnya, seperti cat bercahaya [17,18] dan juga diaplikasikan dalam penerangan umum, *light emitting diodes* (LED), *flat panel display*, optoelektronik dan *bio-imaging* [11].

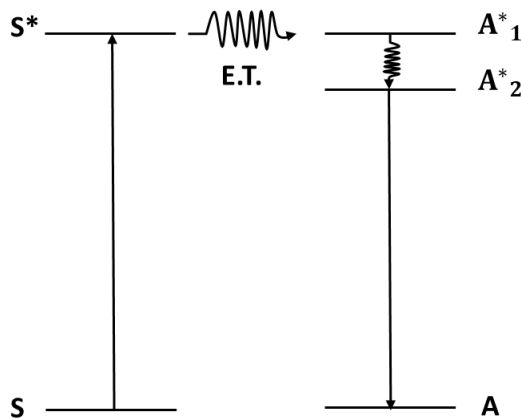
2.3 Mekanisme Fotoluminesensi

Fotoluminesensi didefinisikan sebagai jenis luminesensi yang tereksitasi oleh radiasi elektromagnetik (biasanya sinar *ultra-violet*). Pada sistem fotoluminesensi terdiri dari kisi inang (*host lattice*) dan pusat luminesensi, sering disebut sebagai aktivator. Proses penyerapan dan emisi terjadi di pusat luminesensi. Radiasi yang menarik diserap oleh aktivator, kemudian meningkatkannya ke keadaan tereksitasi. Setelah itu dari keadaan tereksitasi kembali ke keadaan dasar dengan cara mengemisikan radiasi. Namun saat proses emisi radiasi didapatkan fakta bahwa proses emisi radiasi memiliki pesaing, yaitu kembalinya nonradiatif ke keadaan dasar. Berikut ini contoh penggambaran pada penyerapan energi hingga menuju ke keadaan tereksitasi dan kembali dengan memancarkan radiasi dan nonradiatif.



Gambar 2. 1 Mekanisme fotoluminesensi, dengan A sebagai keadaan dasar, A* sebagai keadaan tereksitasi, R sebagai keadaan kembali ke keadaan dasar dengan mengemisikan radiasi dan NR sebagai keadaan kembali tanpa radiasi [18].

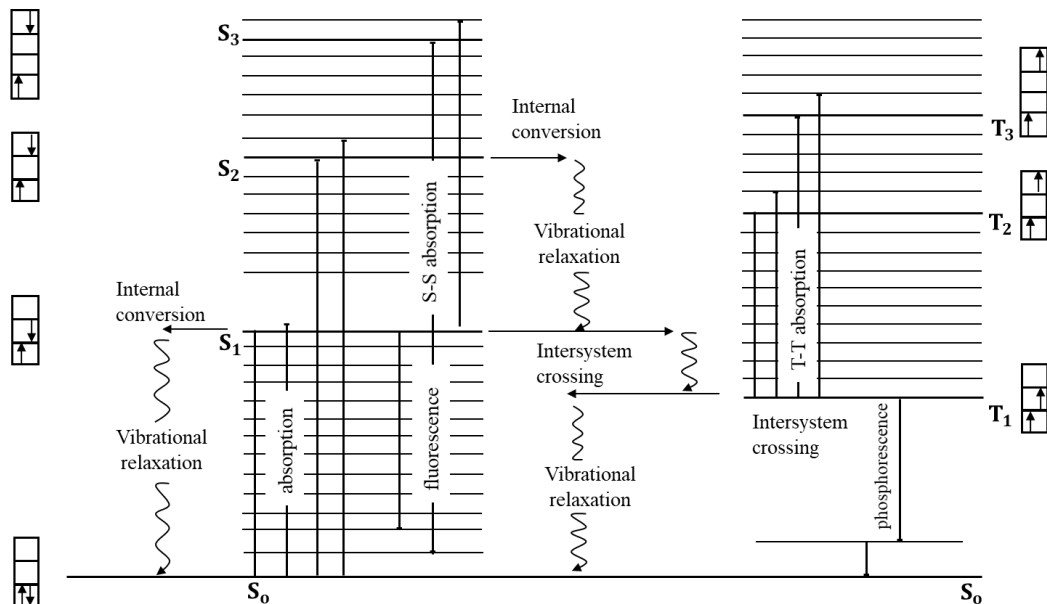
Pada bahan luminesensi ada juga yang memiliki proses mekanisme lebih rumit daripada yang digambarkan pada **Gambar 2.1**, dimana radiasi yang datang tidak diserap oleh aktivator, melainkan di tempat lain yang disebut dengan *sensitizer* yang kemudian dilanjutkan transfer energi ke aktivator. *Sensitizer* merupakan ion penyerap yang keberadaannya sama dengan *host lattice*. Berikut ini contoh penggambaran ilustrasinya:



Gambar 2. 2 Mekanisme transfer energi fotoluminesensi dengan S* sebagai *sensitizer* dengan E.T. adalah transfer energi ke A sebagai aktivator [18].

2.4 Diagram Jablonski

Diagram Jablonski sering digunakan untuk menunjukkan hasil yang mungkin terjadi ketika molekul menyerap energi. Diagram Jablonski pada dasarnya adalah diagram energi, yang disusun dengan energi pada sumbu vertikal. Tingkat energi dapat dilambangkan secara kuantitatif, tetapi sebagian besar diagram ini menggunakan tingkat energi secara skematis. Sedangkan garis horizontal pada diagram ini adalah mewakili batas keadaan energi elektronik. Di dalam masing-masing keadaan energi elektronik adalah beberapa keadaan energi vibrasi yang dapat digabungkan dengan keadaan elektronik.



Gambar 2. 3 Diagram Jablonski [16].

Dalam keadaan normal, sebagian besar molekul berada dalam kondisi dasar (S₀). Keadaan energi terendah untuk molekul ini adalah keadaan *singlet* dimana elektron dengan putaran berlawanan dipasangkan dalam orbital molekul. Selanjutnya, dalam diagram ini, terdapat S₁, S₂, dan S₃ yang merupakan tingkat keadaan energi yang lebih tinggi dari keadaan dasar (*ground state*). Keadaan S₃ mempunyai lebih banyak energi daripada S₂ dan S₁ lebih banyak energi daripada keadaan dasar, S₀. Demikian pula, dengan keadaan T₁, T₂ dan T₃ (*triplet*) yang hanya dapat dimulai dari keadaan *singlet* yang tereksitasi melalui proses yang disebut lintas sistem (*intersystem crossing*). Pada keadaan *triplet* spin elektron memiliki putaran paralel yang dimana

keadaan sebelumnya memiliki spin elektron yang berpasangan dengan arah yang berlawanan [16,19].

a. Tingkat Energi

Tingkat energi molekul ditunjukkan oleh garis hitam horizontal, dengan energi yang meningkat sepanjang sumbu vertikal diagram. Dalam setiap keadaan energi elektronik terdapat beberapa keadaan energi vibrasi. Penamaan keadaan elektronik didasarkan pada konfigurasi momentum sudut putar dari masing-masing keadaan. Keadaan *singlet*, memiliki keadaan elektron berpasangan dengan spin elektron yang berlawanan, seperti yang digambarkan oleh panah di kotak di sebelah kiri diagram yang menggambarkan orbital molekul. Keadaan *triplet*, memiliki dua elektron yang tidak terikat, berada pada orbital yang terpisah dengan spin putaran paralel, seperti yang digambarkan pada sisi sebelah kanan diagram. Pada keadaan *triplet* dilambangkan dengan T dan cenderung memiliki umur emisi yang lama.

b. Absorbansi

Absorbansi adalah proses elektron tereksitasi dari tingkat energi yang lebih rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan cara penyerapan foton, digambarkan pada diagram dengan tanda panah hitam vertikal. Penyerapan foton akan menyebabkan ion atau molekul tereksitasi dari keadaan dasar. Proses absorbansi merupakan transisi pertama dan transisi tercepat yang terjadi pada skala waktu 10^{-15} detik pada diagram Jablonski. Transisi dari keadaan dasar menuju ke keadaan tereksitasi yang dipisahkan oleh ΔE menggambarkan distribusi Boltzmann. Besar energi untuk keadaan ini merupakan fungsi dari konstanta Boltzmann dan suhu sistem. Elektron yang terletak pada keadaan rendah akan beralih ke keadaan elektronik tereksitasi serta beberapa keadaan getaran tereksitasi.

$$\frac{p_2}{p_1} = e^{-\frac{\Delta E}{k_B T}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Pada kondisi suhu kamar, menurut distribusi Boltzmann, sebagian besar molekul dalam suatu populasi tetap berada pada tingkat getaran terendah dari keadaan *singlet elektronik* tanah (S_0). Distribusi Boltzmann merupakan distribusi

probabilitas yang memberikan gambaran probabilitas bahwa suatu sistem akan berada dalam keadaan tertentu sebagai fungsi dari energi suatu keadaan dan suhu sistem, distribusi tersebut ditulis pada persamaan 2.1, dimana p_2 dan p_1 adalah probabilitas suatu molekul dalam keadaan berenergi tinggi dan keadaan energi yang lebih rendah, ΔE adalah energi keadaan rendah menuju ke keadaan tinggi dan $k_B T$ adalah konstanta Boltzmann (k_B) dan suhu termodinamik (T). Penyerapan foton menyebabkan molekul dari keadaan dasar S_0 menuju ke tingkat keadaan *singlet* tereksitasi (S_1, S_2, S_3). Sedangkan eksitasi langsung ke keadaan tereksitasi *triplet* (T_1, T_2, T_3) tidak dimungkinkan terjadi karena konservasi momentum sudut [20].

c. Relaksasi Getaran (*Vibrational Relaxation*)

Setelah sebuah molekul atau elektron berada pada keadaan tereksitasi melalui proses absorpsi, molekul tersebut dalam keadaan tidak seimbang dan pada akhirnya akan menghilangkan energi yang telah diperolehnya dan kembali ke keadaan dasar. Ada beberapa cara untuk menghilangkan energi tersebut, cara pertama untuk menghilangkan energi tersebut adalah melalui relaksasi getaran. Relaksasi getaran merupakan transisi non-radiasi ke tingkat getaran yang lebih rendah dalam kondisi elektronik yang sama, dimana energi getaran berlebih hilang ke mode getaran di dalam molekul yang sama (intramolekul) atau molekul sekitarnya (antar molekul) hingga tingkat getaran terendah dari keadaan elektronik tercapai. Relaksasi getaran terjadi pada skala waktu yang cepat antara 10^{-14} - 10^{-11} detik. Relaksasi getaran adalah energi yang disimpan oleh elektron dari foton dan dilepaskan ke mode getaran lain sebagai energi kinetik. Energi kinetik ini dapat tetap berada dalam molekul yang sama atau dapat ditransfer ke molekul lain di sekitar molekul tereksitasi. Relaksasi ini terjadi diantara tingkat getaran. Karena relaksasi getaran adalah transisi yang sangat cepat, sangat mungkin terjadi secara langsung setelah absorpsi [21].

d. Konversi Internal (*Internal Conversion*)

Konversi intramolekul adalah proses disipasi energi nonradiatif, seperti konversi radiatif, tidak mengarah pada perubahan kimia. Energi molekul dihilangkan dengan melalui serangkaian keadaan getaran [16]. Jika tingkat energi vibrasi sangat

tumpang tindih dengan keadaan tingkat energi elektronik, kemungkinan elektron yang tereksitasi dapat bertransisi dari tingkat vibrasi pada satu keadaan elektronik ke tingkat vibrasi lain dengan keadaan elektronik yang lebih rendah seperti S_2 ke S_1 . Proses ini disebut konversi internal dan secara mekanis sama dengan relaksasi getaran. Konversi internal terjadi pada waktu yang sama dengan relaksasi getaran, tetapi karena kurangnya vibrasi dan keadaan energi elektronik yang saling tumpang tindih serta perbedaan energi yang besar antara *ground state* dengan keadaan tereksitasi pertama, maka mengakibatkan konversi internal terjadi sangat lambat untuk sebuah elektron kembali ke keadaan dasar (*ground state*) [21].

e. Fluoresensi

Fluoresensi merupakan transisi radiatif antara dua keadaan elektronik. Dalam fluoresensi molekul yang digunakan sebagai proses fluoresensi dikenal dengan istilah fluorofor. Proses untuk melepas energi setelah penerimaan energi dari foton adalah dengan cara memancarkan foton atau mengemisikan kembali foton tersebut. Hal ini diketahui sebagai fluoresensi. Emisi foton ini terjadi pada transisi radiasi keadaan *singlet* tereksitasi ke keadaan *ground state* ($S_1 \rightarrow S_0$) berlangsung pada proses yang lambat dengan skala waktu 10^{-10} hingga 10^{-7} s, sehingga fluoresensi adalah proses yang dapat dilakukan oleh elektron untuk menghilangkan energi, terkhusus pada keadaan energi elektronik yang lebih tinggi ke keadaan tereksitasi pertama (*ground state*). Fluoresensi juga merupakan proses yang sering diketahui antara keadaan elektron tereksitasi pertama dengan keadaan dasar pada molekul tertentu karena pada energi yang lebih tinggi, sangat besar kemungkinan bahwa energi akan terdisipasi dengan cara konversi internal dan relaksasi getaran. Pada tingkat tereksitasi pertama, fluoresensi dapat bersaing dalam hal skala waktu dengan proses nonradiasi yang lain [21].

f. Persilangan Antar Sistem (*Intersystem Crossing*) & Fosforesensi

Cara lain yang dapat dilakukan oleh elektron untuk menghilangkan energi diketahui dengan istilah persilangan antar sistem (*Intersystem Crossing*). Pada proses ini terjadi perubahan arah spin elektron setelah melewati transisi terlarang yaitu pada transisi keadaan *singlet* ke keadaan *triplet*. Persilangan antar sistem ini adalah

proses yang sangat lambat dalam diagram Jablonski [21]. Persilangan antar sistem berkaitan dengan interaksi spin-orbit. Transfer energi intramolekul bersaing dengan pendaran. Transfer energi intramolekul mencakup dua proses konversi internal dan persimpangan lintas sistem. Konversi internal dapat mengurangi fluoresensi sedangkan persimpangan lintas sistem dapat mengurangi fosforesensi terbukti bahwa tidak hanya pengurangan saat transfer energi tertentu diperlukan tetapi bagian tertentu juga harus bekerja sama untuk membuat bagian lain lebih efisien. Sebagai contoh, persilangan lintas sistem yang cepat menjadikan keadaan *triplet* cepat dalam proses mendisipasi energi dengan konversi internal atau fosfor. Untuk fosforesensi yang efisien, persilangan lintas sistem harus cepat dan konversi internal lambat [16].

g. Skala Waktu

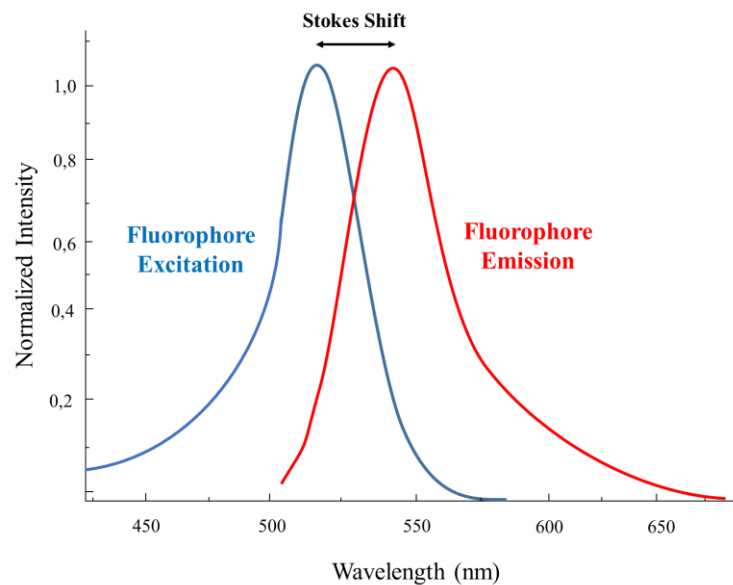
Diagram Jablonski menggambarkan jenis transisi yang terjadi dalam molekul. Proses transisi yang terjadi memiliki skala waktu yang berbeda antara satu dengan yang lain. Berikut ini merupakan tabel skala waktu untuk setiap proses transisi baik secara radiasi ataupun nonradiasi [21].

Tabel 2. 1 Skala waktu pada setiap transisi diagram Jablonski.

Transisi	Skala waktu	Proses radiasi
Absorbansi	10^{-15} s	Radiasi
Relaksasi Getaran	10^{-14} - 10^{-11} s	Nonradiasi
Konversi Internal	10^{-14} - 10^{-11} s	Nonradiasi
Fluoresensi	10^{-9} - 10^{-7} s	Radiasi
Persilangan Antar Sistem	10^{-8} - 10^{-3} s	Nonradiasi
Fosforesensi	10^{-4} - 10^{-1} s	Radiasi

2.5 Stokes Shift

Setiap molekul fluoresensi dicirikan oleh spektrum eksitasi dan spektrum emisi. Spektrum eksitasi adalah plot variasi intensitas fluoresensi sebagai fungsi dari panjang gelombang eksitasi, keadaan tereksitasi (S_1 , S_2 dan S_3) dengan proses penyerapan $S_0 \rightarrow S_1$, $S_0 \rightarrow S_2$ dan $S_0 \rightarrow S_3$, sedangkan spektrum emisi adalah variasi intensitas fluoresensi sebagai fungsi dari panjang gelombang emisi, bentuk spektrum emisi ini berkaitan dengan transisi tingkat vibrasi terendah yaitu melalui proses keadaan tereksitasi (S_1) ke tingkat vibrasi *ground state* (S_0). Diagram Jablonski menyiratkan bahwa foton yang dipancarkan memiliki energi lebih sedikit daripada foton yang diserap. Oleh karena itu emisi fluoresensi terjadi pada panjang gelombang yang lebih tinggi daripada penyerapan (eksitasi). Hilangnya energi diantara foton yang diserap dengan foton yang dipancarkan merupakan akibat dari relaksasi getaran (*vibration relaxation*), sehingga perbedaan ini disebut sebagai Stokes shift [22,23].



Gambar 2. 4 Spektrum fluoresensi molekul dan Stokes shift[23].

2.6 Quantum Yield and Fluorescence Intensity

Quantum yield merupakan ukuran dari total emisi cahaya pada seluruh rentang spektrum fluoresensi. Hal tersebut dihitung sebagai rasio emisi fluoresensi terhadap kehilangan energi nonradiatif. Emisi cahaya fluoresensi yang semakin terang dapat

menyebabkan nilai *quantum yield* semakin besar, begitu sebaliknya jika emisi cahaya semakin redup maka nilai *quantum yield* semakin kecil [19].

Pada diagram Jablonski proses deeksitasi tidak hanya melalui proses emisi fluoresensi tetapi juga bersaing dengan proses nonradiatif. Proses tersebut dapat disebut *quenching* fluoresensi, yang didefinisikan sebagai penurunan intensitas fluoresensi dan penurunan umur (*lifetime*) dari keadaan tereksitasi. *Lifetime* pada fluoresensi dapat dihitung melalui persamaan berikut ini:

$$\tau = \frac{1}{k_{tot}} = \frac{1}{k_r + k_{nr}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dari persamaan diatas diketahui bahwa k_r adalah konstanta radiasi, k_{nr} adalah konstanta nonradiasi, τ adalah jumlah dari setiap proses yang bersaing dengan nonradiasi, sedangkan *lifetime* untuk radiasi adalah sebagai berikut :

$$\tau_r = \frac{1}{k_r} \dots\dots\dots (2.3)$$

Kedua persamaan diatas berkaitan dengan *quantum yield* yang didefinisikan sebagai jumlah foton yang diserap dan jumlah foton yang dipancarkan [24]. *quantum yield* fluoresensi selalu kurang dari satu, serta bergantung dengan jenis eksitasi dan jumlah energi yang terlibat dalam eksitasi tersebut [16]. Maka didapatkan perumusan *quantum yield* sebagai berikut:

$$\phi = \frac{\tau}{\tau_r} = \frac{k_r}{k_r + k_{nr}} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.7 Parameter Fluoresensi

Pada emisi cahaya fluoresensi dapat mengalami penurunan emisi, berikut ini terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil emisi flouresensi.

1. Tingkat energi dari radiasi yang diserap harus lebih rendah daripada energi ikatan terlemah dalam molekul. Bahan yang terdegradasi kurang memancarkan radiasi fluoresensi.
2. Proses terjadinya *intersystem crossing* harus lambat (*intersystem crossing*

yang lebih lambat akan meningkatkan emisi fluoresensi dan mengurangi fosforesensi).

3. Transfer energi intramolekul harus lambat (proses ini bersaing dengan emisi radiasi fluoresen) [16].

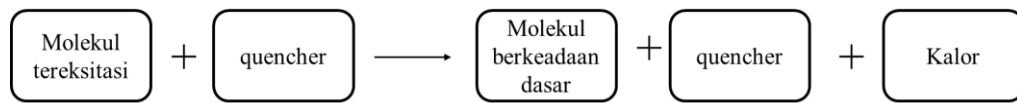
2.7.1 *Bleaching & Quenching*

Bleaching adalah istilah umum untuk setiap proses yang menyebabkan emisi fluoresen memudar secara permanen. Pada proses *bleaching* terjadi interaksi antara fluorofor *triplet* dengan oksigen, kemudian molekul keadaan *triplet* dapat mentransfer energinya ke oksigen (molekul *triplet* di keadaan dasar). Selanjutnya oksigen tersebut yang memicu molekul keadaan *singlet*. Oksigen *singlet* merupakan molekul reaktif yang dapat berpartisipasi dalam berbagai jenis reaksi kimia dengan molekul organik. Reaksi kimia ini secara kovalen dapat mengubah fluorofor untuk menonaktifkan kemampuannya untuk berfluoresensi. Salah satu cara untuk mengurangi *bleaching* yaitu dengan tidak menggunakan lebih banyak cahaya dari yang dibutuhkan oleh sampel.

Sedangkan *quenching* adalah proses kehilangan fluoresensi yang disebabkan oleh interaksi nonkovalen antara fluorofor dan lingkungan molekulnya. Proses *quenching* dibedakan menjadi dua macam yaitu *collisonal* atau *dynamic quenching* dan *static quenching*. Pada proses *dynamic quenching* terjadi pada keadaan dari molekul tereksitasi, sedangkan proses *static quenching* terjadi ketika molekul berada di keadaan dasar berinteraksi dengan molekul lain (biasanya fluorofor identik lainnya).

Pada molekul terdapat beberapa proses *quenching* yang mungkin terjadi. Proses yang berlangsung dalam keadaan *triplet* memiliki umur yang panjang (*lifetime*) memberikan peluang besar bagi molekul dengan elektron tereksitasi untuk berinteraksi dengan molekul lain dibandingkan dengan proses *singlet* yang lebih singkat. Oleh karena itu, sebagian besar *quenching* berkaitan dengan proses dalam keadaan *triplet* [19].

Proses *quenching* dapat digambarkan sebagai berikut:



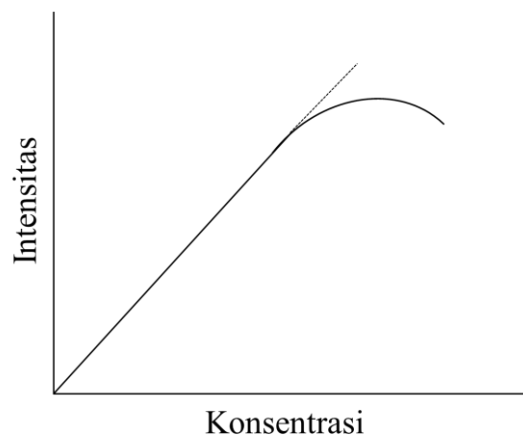
Gambar 2. 5 Ilustrasi proses *quenching*.

2.7.2 *Lifetime*

Lifetime merupakan umur atau waktu hidup molekul yang berada pada keadaan tereksitasi yang kemudian akan kembali ke keadaan dasar. *Lifetime* berkaitan dengan proses nonradiasi dan radiasi, serta dapat diketahui dengan menyinari sampel dengan radiasi cahaya dari luar yang singkat diikuti dengan menentukan peluruhan dari intensitas fluoresensi.

2.7.3 Pengaruh Konsentrasi

Pada konsentrasi yang lebih tinggi, mengakibatkan fluoresensi kurang berbanding lurus terhadap konsentrasi dan bahkan dapat berkurang dengan meningkatnya konsentrasi, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2. 6**. Pada konsentrasi tinggi, distribusi radiasi pengekstasi tidaklah seragam di segala tempat sampel tersebut. Lapisan pertama sampel dapat menyerap cukup banyak sehingga lapisan-lapisan yang lebih dalam tidak dapat dieksitasi secara penuh [25].



Gambar 2. 6 Emisi fluoresensi terhadap pengaruh konsentrasi [25].

2.7.4 Pengaruh Suhu

Kenaikan suhu hampir selalu diikuti dengan turunnya emisi fluoresensi karena frekuensi benturan akan lebih banyak diantara molekul, sehingga meningkatkan kemungkinan deaktivasi oleh konversi internal dan relaksasi vibrasi.

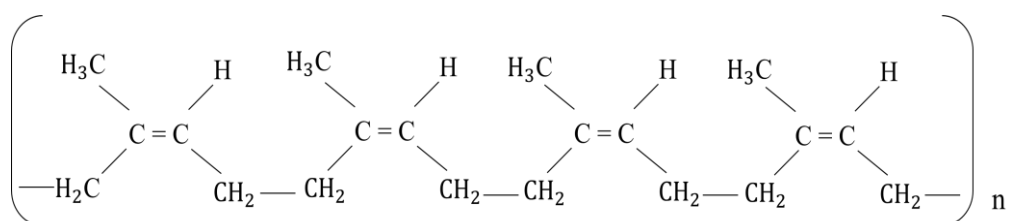
2.7.5 Efek Pelarut

Pelarut mempengaruhi fluoresensi yaitu dapat menstabilisasi perbedaan keadaan dasar dan tereksitasi, dengan demikian mengubah peluang dan energi dari absorbansi dan emisi. Pelarut polar menggeser emisi dari panjang gelombang pendek ke daerah panjang gelombang yang lebih panjang.

2.8 Getah Karet

Karet alam adalah polimer isoprene (C_5H_8)_n yang mempunyai bobot molekul yang besar, susunannya adalah $-CH-C(CH_3)=CH-CH_2-$, karet *Hevea* yang diperoleh dari pohon *Hevea brasiliensis* adalah bentuk alamiah dari 1,4 – polyisoprene [13]. Karet alam tersusun dari hidrokarbon dan mengandung sejumlah kecil bagian bukan karet, seperti lemak, glikolipid, fosfolipid (asam lemak), protein dan bahan organik lainnya. Karet alam yang berwujud cair disebut lateks. Lateks merupakan suatu cairan yang berwarna putih atau putih kekuning-kuningan, yang terdiri atas partikel karet dan bahan non karet yang terlarut di dalam air [14].

Menurut Triwijoso dan Siswantoro (1989), karet alam memiliki rumus umum (C_5H_8)_n, n adalah bilangan yang menunjukkan jumlah monomer, berkisar antara 3000-15000. Semakin besar harga n maka molekul karet semakin panjang, semakin besar bobot molekul, dan semakin kental (*viscous*) [26].



Gambar 2. 7 Struktur ruang 1,4 cis polyisoprena [26].

Karet alam memiliki komposisi yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2. 2 Komposisi Karet [27].

Karet	25,0 – 40,0 %
Karbohidrat	1,0 – 2,0 %
Protein dan senyawa nitrogen	1,0 – 1,5 %
Lipid dan terpen	1,0 – 1,5 %
Senyawa anorganik	0,1 – 0,5 %
Air	60 – 75 %
pH	6,8 – 7,0
Gula	1,5 %
Resin (Zat-zat bersifat damar)	1 %
Debu	0,5 %

2.9 Sintering

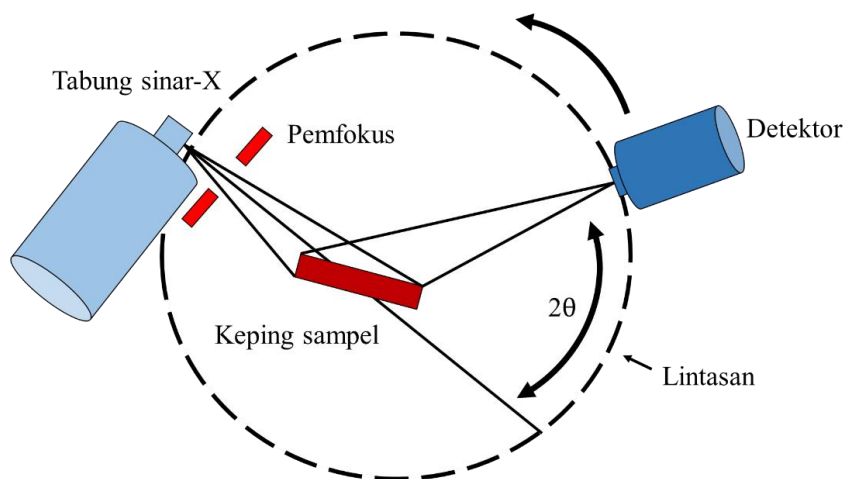
Sintering merupakan pemanasan yang dilakukan pada temperatur dibawah titik leleh material. Temperatur pada proses *sintering* biasanya dilakukan dibawah titik leleh bahan dasarnya (sekitar 60% - 80% dari titik leleh bahan dasarnya). Proses *sintering* dapat menghilangkan pori-pori diantara partikel awal, kemudian bersenyawa dan menghasilkan ikatan yang kuat diantara partikel-partikel yang

berdekatan. Pada proses *sintering*, kenaikan suhu dan waktu *sintering* dapat meningkatkan kristalinitas suatu bahan [28].

2.10 Karakterisasi Fosfor BCNO

2.10.1 X – Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar X merupakan metode analisa yang memanfaatkan interaksi antara sinar-x dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang (λ) berkisar 10 nm sampai 100 pikometer. Analisa bahan dengan menggunakan difraksi sinar X umumnya untuk menentukan struktur kristal, ukuran struktur kristal, komposisi, konstanta kisi, dan tingkat kristanilitas. Sinar X dapat dihasilkan dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam sebuah tabung ruang vakum dengan tegangan tinggi. Sinar X dapat terbentuk melalui interferensi konstruktif. Pada prinsip kerja dari sinar X, berkas sinar X yang keluar dari tabung hampa udara akan disaring untuk mendapatkan sinar monokromatik, kemudian akan difokuskan dan ditembakkan pada sampel. Sinar X yang dipantulkan dari sampel akan ditangkap oleh detektor.



Gambar 2. 8 Skema XRD [29].

Hukum dasar yang berkaitan dengan metode XRD adalah Hukum Bragg. Ketika sinar X mengenai atom dalam kisi kristal, masing-masing atom berperan sebagai sumber hamburan (*scattering*). Kisi kristal mempunyai peran sebagai rangkaian bidang pencerminan yang sejajar. Hukum Bragg menunjukkan bahwa bidang yang

berisi atom-atom di dalam kristal akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi sudut tertentu, sehingga difraksi sinar X memenuhi Hukum Bragg:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana n adalah orde difraksi, λ adalah panjang gelombang sinar X, θ adalah sudut difraksi dan d adalah jarak kisi.

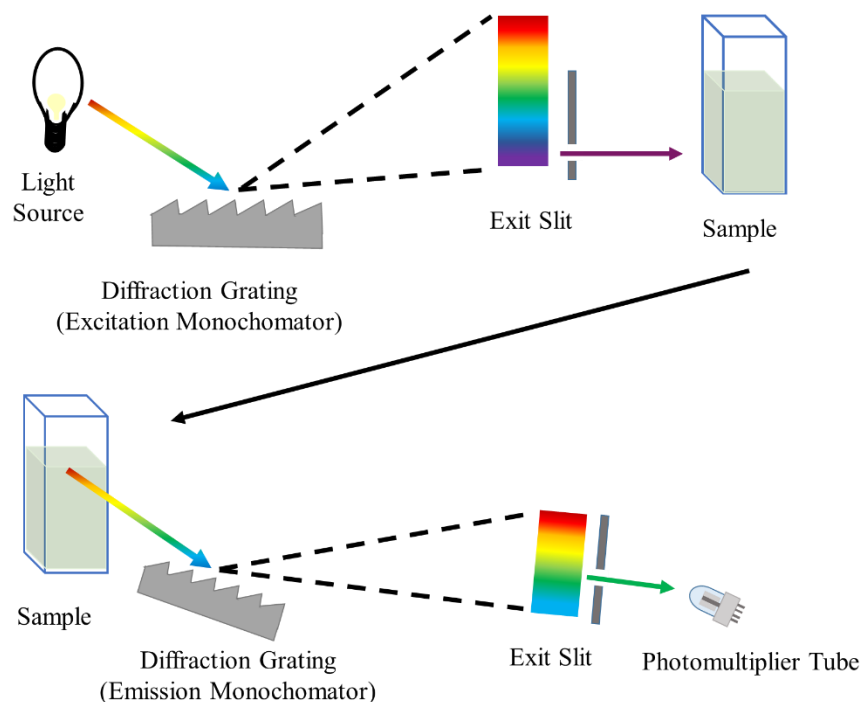
XRD bekerja dengan penembakan sinar X ke material dan dengan penerapan metode Scherrer untuk mengukur kristalinitas material. Persamaan Scherrer sebagai berikut:

$$D = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana λ adalah panjang gelombang sinar X dan β adalah lebar puncak difraksi sampel pada setengah maksimum (*full width at half maximum*/FWHM) dalam radian [29,30].

2.10.2 *Photoluminescence Spectroscopy (PL Spectroscopy)*

Photoluminescence spectroscopy (PL spectroscopy) digunakan untuk mengetahui intensitas pendaran dan puncak yang dihasilkan [2]. Parameter yang akan diketahui dari karakterisasi ini adalah panjang gelombang eksitasi, panjang gelombang emisi dan intensitas yang dipancarkan oleh fosfor. Biasanya dalam karakterisasi ini, lampu yang digunakan adalah laser xenon, yang dapat memancarkan spectrum kontinu dengan panjang gelombang 200 nm - 800 nm. *Diffraction grating* adalah komponen dari monokromator, yang digunakan untuk memilih panjang gelombang cahaya tertentu dari sumber cahaya polikromatik. Dalam monoktomator, kisi difraksi diputar untuk mengubah panjang gelombang yang selaras untuk mencapai sampel dan melewati celah keluar. Untuk mendeteksi cahaya dari sampel dapat dilakukan dengan pendekatan monokromator emisi yang bekerja menggunakan prinsip yang sama seperti di sebelumnya. Perbedaannya, pada monokromatik emisi panjang gelombang untuk mencapai detektor.



Gambar 2. 9 Skema *Photoluminescence spectroscopy* (PL spectroscopy).

2.10.3 *Fourier Transform Infrared Spectrophotometer* (FTIR Spectrophotometer)

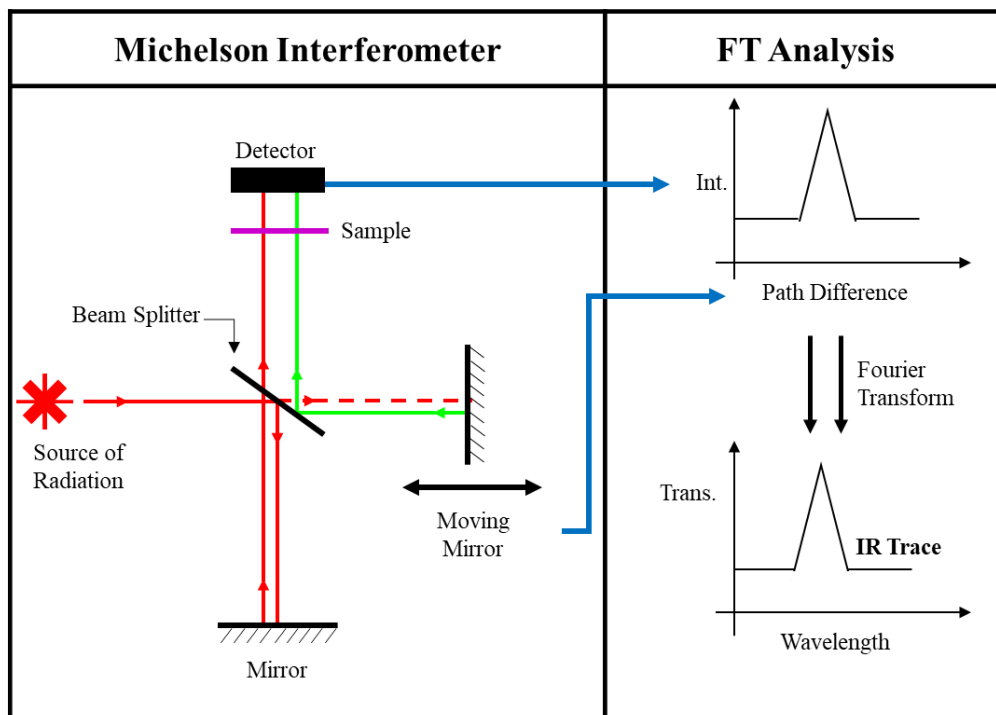
Spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik. Radiasi inframerah yang melalui sampel, sebagian akan diserap dan sebagian lainnya akan dilewatkan. Sebagian radiasi yang mungkin diserap oleh sampel akan merubah momen dipol ketika terjadi vibrasi. Spektrum inframerah (IR) dibagi menjadi tiga daerah bilangan gelombang: spektrum *far-IR* ($<400\text{ cm}^{-1}$), spektrum *mid-IR* ($400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$), dan spektrum *near-IR* ($4000\text{--}13000\text{ cm}^{-1}$).

Metode spektroskopi inframerah adalah suatu metode yang meliputi teknik serapan (*absorption*), teknik emisi (*emission*), dan teknik fluoresensi (*fluorescence*). Salah satu instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi adalah *Fourier transform infrared* (FTIR).

Fourier transform infrared (FTIR) adalah salah satu teknik analisis yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi sampel dalam bentuk cairan, larutan, pasta, bubuk, film, serat, dan gas. FTIR digunakan untuk identifikasi material dan

identifikasi keberadaan gugus-gugus fungsi yang ada dalam spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Walaupun demikian metode ini tidak dapat digunakan untuk menganalisis material logam karena radiasi elektromagnetik akan mengalami refleksi dengan kuat jika berinteraksi dengan logam.

Dalam spektrometer FTIR, interferometer yang umumnya digunakan adalah interferometer Michelson. Interferometer memiliki fungsi untuk menghasilkan *interferogram*. Interferometer ini terdiri dari sumber IR, dua cermin tegak lurus, *beam splitter*, dan detektor. Skema interferometer dapat dilihat pada **Gambar 2.10**. Sinar dari sumber akan dilewatkan menuju *beam splitter*, kemudian sinar tersebut sebagian dipantulkan ke salah satu cermin dan sebagian ditransmisikan ke cermin yang lain. Masing-masing sinar akan dipantulkan kembali oleh cermin menuju *beam splitter* sehingga terjadi rekombinasi dan interferensi yang selanjutnya akan diteruskan menuju sampel sampai terdeteksi oleh detektor. Sinyal dari detektor disebut dengan *interferogram*, selanjutnya *interferogram* tersebut melakukan transformasi *Fourier* menghasilkan spektrum yang terlihat pada **Gambar 2.10** [30,31].



Gambar 2. 10 Skema FTIR spectrophotometer [30].