

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Korosi

Korosi secara umum didefinisikan sebagai suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan yang disebabkan oleh terjadinya reaksi antara bahan dengan lingkungannya. Korosi pada logam (perkaratan) yaitu peristiwa perusakan pada logam yang disebabkan oleh reaksi oksidasi. Kerusakan terhadap logam-logam tersebut dipengaruhi oleh adanya gas oksigen, amoniak, klorida, air, larutan garam, basa, asam, dan juga akibat arus listrik. Pada umumnya korosi yang paling banyak terjadi adalah korosi oleh udara dan air (Fontana, 1986).

Korosi menjadi masalah ekonomi karena menyangkut umur, penyusutan dan efisiensi pemakaian suatu bahan maupun peralatan terutama dalam kegiatan industri. Banyak sekali kerugian yang diakibatkan oleh korosi. Kerusakan pada pipa gas, pipa minyak, kapal, dan alat-alat lain yang terbuat dari besi atau baja. Milyaran dollar AS telah dikeluarkan setiap tahunnya untuk merawat jembatan, peralatan perkantoran, kendaraan bermotor, mesin-mesin industri, serta peralatan elektronik lainnya agar konstruksinya dapat bertahan lama (Akhadi, 1991).

Keberadaan gas CO_2 di dalam air dapat mempercepat reaksi korosi logam. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh keasaman dari gas CO_2 sehingga dapat membentuk ion karbonat. Ion karbonat ini bertindak sebagai ligan dan mengkatalisis reaksi pelarutan logam sehingga akan terjadi proses korosi.

Apabila logam yang dimaksud adalah baja karbon maka produk korosi yang akan

terbentuk adalah besi karbonat (FeCO_3) yang dapat mengendap pada permukaan logam membentuk lapisan tipis (Yuliani, 2005).

Proses pencegahan korosi dapat dilakukan, diantaranya dengan pelapisan pada permukaan logam, perlindungan katodik maupun anodik dan penambahan inhibitor korosi (Haryono dkk, 2010). Penambahan inhibitor korosi merupakan cara yang paling efektif untuk menghambat korosi, karena dalam penggunaannya memerlukan biaya yang relatif murah dan prosesnya sederhana (Ilim, 2007).

B. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi adalah zat yang ketika ditambahkan dalam konsentrasi kecil pada lingkungan, efektif mengurangi laju korosi logam pada lingkungan tersebut (Rahim and Kassim, 2008). Sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara adsorpsi untuk membentuk suatu lapisan tipis dan melalui pengaruh lingkungan (misalnya pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi (Dalimunthe, 2004). Pada umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat dan senyawa-senyawa amina (Haryono dkk., 2010).

1. Inhibitor organik

Pada umumnya senyawa-senyawa organik yang dapat digunakan sebagai inhibitor adalah senyawa-senyawa yang mampu membentuk senyawa kompleks baik kompleks yang terlarut maupun kompleks yang mengendap. Untuk itu diperlukan adanya gugus gugus fungsi yang mengandung atom-atom yang mampu

membentuk ikatan kovalen terkoordinasi, yaitu atom nitrogen, belerang dan oksigen pada suatu senyawa tertentu (Dalimunthe, 2004). Atom O, N, dan S ditemukan memiliki kebasaan yang lebih tinggi dan kepadatan elektron dan dengan demikian bertindak sebagai inhibitor korosi. Atom O, N, dan S adalah pusat aktif untuk proses adsorpsi pada permukaan logam. Efisiensi inhibisi mengikuti urutan $O < N < S < P$. Ketersediaan elektron tak berikatan (pasangan elektron bebas) dalam molekul inhibitor memfasilitasi transfer elektron dari inhibitor dengan logam. Ikatan kovalen koordinat yang melibatkan transfer elektron dari inhibitor pada permukaan logam dapat terbentuk. Dengan demikian terjadi adsorpsi antara permukaan logam dan inhibitor yang membentuk lapisan pelindung pada logam (Rani and Basu, 2011).

Inhibitor organik diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu sintetik dan alami. Inhibitor sintetik seringkali digunakan dalam menghambat laju korosi logam, namun inhibitor ini selain mahal juga ternyata berbahaya bagi manusia dan lingkungan karena bersifat toksik. Oleh karena itu saat ini sedang dikembangkan *green inhibitor* (inhibitor yang ramah lingkungan) yang bersifat non-toksik, murah, sudah tersedia di alam, mudah diperbaharui dan tidak merusak lingkungan (El-Etre and Abdallah, 2000).

Green inhibitor ini berasal dari tumbuh-tumbuhan atau biji-bijian. Tumbuh-tumbuhan yang digunakan biasanya yang mengandung tanin, asam-asam organik maupun asam-asam amino, dan alkaloid yang diketahui mempunyai kemampuan menghambat korosi (Oguzie, 2007). *Green inhibitor* dari tumbuhan, yang sering digunakan biasanya berbentuk ekstrak. Pada ekstrak daun ketapang (*Terminalia*

catappa L.), sifat inhibisi dan adsorpsinya disebabkan karena adanya saponin, tanin, flavanoid, terpen dan alkaloid (Rani and Basu, 2011).

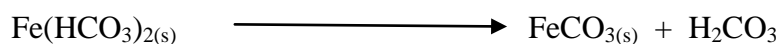
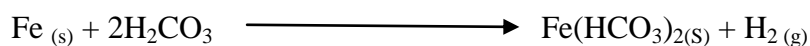
2. Inhibitor anorganik

Inhibitor anorganik dapat menghambat material logam baik secara anodik atau katodik karena memiliki gugus aktif (Wiston, 2000). Inhibitor ini terdiri dari beberapa senyawa anorganik antara lain : fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat, molibdat dan arsenat. Senyawa-senyawa tersebut sangat berguna dalam aplikasi pelapisan korosi, namun inhibitor ini memiliki kelemahan yaitu bersifat toksik (Ameer *et al.*, 2000).

3. Mekanisme proteksi

Reaksi yang terjadi antara logam Fe^{2+} dengan medium korosif diperkirakan menghasilkan $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, dan oksidasi lebih lanjut menghasilkan FeCO_3 yang merupakan produk korosi yang tidak diinginkan karena mempercepat laju korosi.

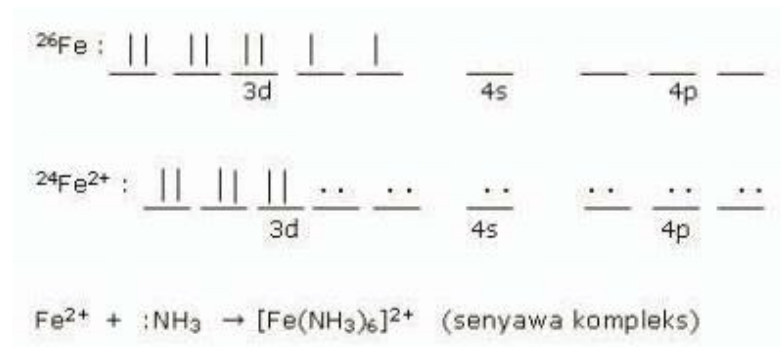
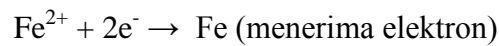
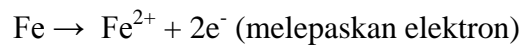
Reaksi yang terjadi:



Sedangkan reaksi antara Fe^{2+} dengan inhibitor ekstrak etilasetat menghasilkan senyawa kompleks sebagai produk korosi yang diharapkan dapat menghambat laju korosi. Pada inhibitor ekstrak etilasetat diduga adanya senyawa tanin yang mengandung gugus O-H yang diharapkan mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam baja lunak ketika ion Fe^{2+} terdifusi ke dalam larutan

korosif sehingga diharapkan produk-produk korosi yang terbentuk memiliki kestabilan yang lebih baik dibanding dengan Fe^{2+} saja (Haryono dkk., 2010)

Reaksi antara Fe^{2+} dengan inhibitor ekstrak bahan alam menghasilkan senyawa kompleks. Inhibitor ekstrak bahan alam, misalnya yang mengandung nitrogen, mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam *mild steel* ketika ion Fe^{2+} terdifusi ke dalam larutan elektrolit, reaksinya adalah:



Gambar 2.1. Mekanisme proteksi (Haryono dkk. 2010).

Produk yang terbentuk di atas mempunyai kestabilan yang tinggi dibanding dengan Fe saja, sehingga sampel besi atau baja yang diberikan inhibitor ekstrak bahan alam akan lebih tahan (terproteksi) terhadap korosi. Contoh lainnya, dapat juga dilihat dari struktur senyawa nikotin dan kafein yang terdapat dalam ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi, pada senyawa kafein dan nikotin yang mengandung gugus atom nitrogen akan menyumbangkan pasangan elektron bebasnya untuk mendonorkan elektron pada logam Fe^{2+} sehingga terbentuk senyawa kompleks dengan mekanisme yang sama.

Banyak tanaman di Indonesia yang memiliki kandungan senyawa nitrogen atau alkaloid, di antaranya adalah daun teh, pepaya, daun lada, lidah buaya, buah pinang dan sebagainya. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan tanaman buah asam keranji sebagai inhibitor korosi baja lunak.

C. Asam Kranji

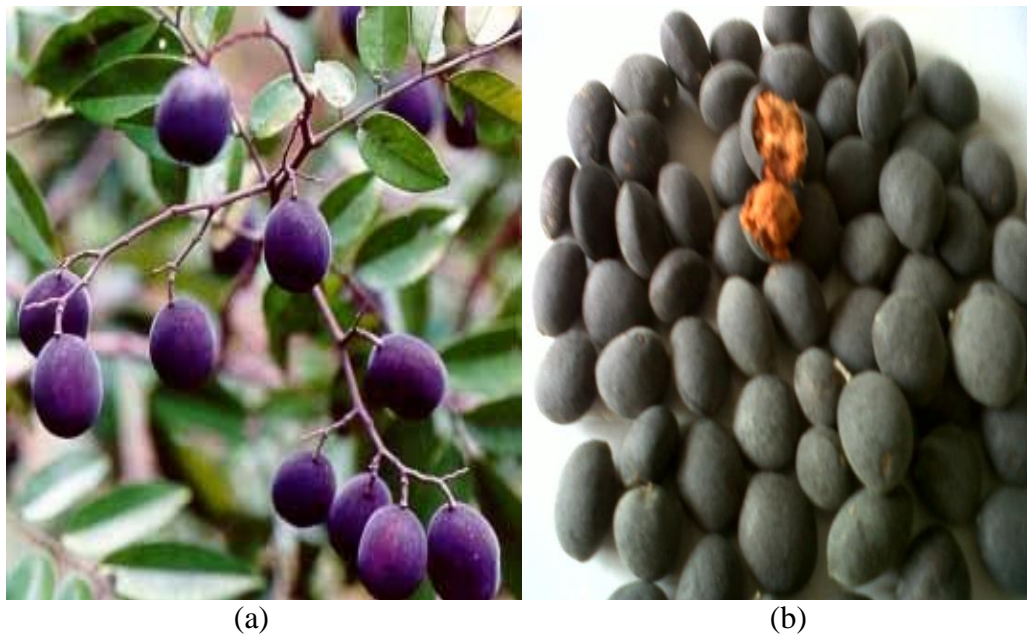
Asam kranji (*Dialium indum*) adalah tanaman yang ditemukan di Thailand Selatan, Malaysia, dan Indonesia. Ini termasuk dalam keluarga *Leguminosae*, buah asam kranji ini biasa untuk dikonsumsi, bentuknya seperti buah anggur berukuran kecil dengan warna ungu ketika muda dan kecokelatan bila sudah dikeringkan. Karena dinilai kayunya yang keras dan kuat, maka spesies ini terancam, dengan adanya penebangan liar dan pemukiman manusia. Rasa buah ini mirip dengan asam. Di Thailand, buah asam kranji disebut dengan "*Luk Yee*" atau "*Yee*", sedangkan di Malaysia dan Indonesia orang biasa menyebutnya dengan nama "Keranji". Buah asam kranji ini digunakan sebagai makanan ringan seperti permen di Thailand. Buah asam kranji juga dapat ditemukan di negara-negara Afrika Barat seperti Sierra Leone, Senegal, Nigeria dimana dikenal sebagai *awin* dalam bahasa Yoruba, *icheku* dalam bahasa Igbo dan *kurm Tsamiyar* di Hausa (Wang, 1992).

Nama umum buah asam kranji yaitu:

Indonesia : Asam kranji, kranji, asam cina, kuranji, ki pranji
(Sunda), parangi

Inggris : *Velvet tamarind*, *tamarind plum*

Thailand : *Luk yee*, *yee*



Gambar 2.2. Tumbuhan buah asam keranji (a). Segar (b). Kering

1. Klasifikasi

Kingdom	: Plantae (Tumbuhan)
Subkingdom	: Tracheobionta (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: Spermatophyta (Menghasilkan biji)
Divisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida (Berkeping dua / dikotil)
Sub Kelas	: Rosidae
Ordo	: Fabales
Famili	: Fabaceae (Suku polong-polongan)
Genus	: <i>Dialium</i>
Spesies	: <i>Dialium indum</i>

2. Kandungan kimia asam kranji

Tabel 2.1 Komposisi buah asam dalam persen (%) :

No	Senyawa	Berat(%)
1	Bahan organik(Saponin, flavonoida, dan polifenol)	98
2	Protein	0,68
3	Lemak	0,54
4	Serat	0,07
5	Karbohidrat	0,71

3. Manfaat asam keranji

Buah asam ini banyak digunakan sebagai pengasam makanan di daerah Kalimantan. Di Jakarta asam ini dulu sering dijajakan di sekolah-sekolah sebagai jajanan anak. Bentuk buahnya sebesar kelereng, warna kulitnya jika sudah diperam berwarna kehitaman dengan daging buah kecoklatan. Rasanya asam namun tidak seasam asam jawa. Tapi juga ada yang manis, masyarakat Kalimantan Barat biasa menyebutnya buah asam kranji madu. Rasanya seperti coklat dan madu, sangat lezat.

Dilihat dari kandungan kimia dari buah asam keranji yaitu daun dan buah *Dialium indum* mengandung saponin, flavonoida dan polifenol, daging buah berkhasiat sebagai obat sariawan, gusi berdarah dan sakit diare, sedangkan rebusan daunnya untuk mencuci besi yang berkarat. Dari kandungan kimia yang ada dalam buah asam keranji, maka buah ini mempunyai kemampuan sebagai inhibitor korosi(Wang, 1992).

D. Metode Pemisahan

Ekstraksi merupakan salah satu proses penarikan komponen/zat aktif dengan menggunakan pelarut tertentu. Prinsip ekstraksi didasarkan pada distribusi zat terlarut dengan perbandingan tertentu antara dua pelarut yang tidak saling bercampur (Khopkar, 2002). Ekstraksi digolongkan ke dalam dua bagian besar berdasarkan bentuk fasa yang diekstraksi yaitu ekstraksi cair-cair dan ekstraksi cair-padat. Untuk ekstraksi cair-cair dapat menggunakan corong pisah, sedangkan ekstraksi cair-padat terdiri dari beberapa cara yaitu maserasi, perkolasi dan sokletasi (Harborne, 1984).

Maserasi merupakan proses ekstraksi dengan cara perendaman sampel menggunakan pelarut organik pada suhu ruang. Proses ini sangat menguntungkan dalam proses isolasi senyawa organik bahan alam karena dengan perendaman sampel akan terjadi pemecahan dinding dan membran sel akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel, sehingga metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma akan terlarut dalam pelarut organik serta struktur senyawa tidak akan mudah rusak (Harborne, 1984).

H. Metode Analisis Korosi

1. Polarisasi potensiodinamik

Polarisasi potensiodinamik adalah metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik. Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik, walaupun tidak ada arus yang diberikan di luar sistem. Hal ini disebabkan ada perbedaan potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya (Sunarya, 2008). Laju korosi dapat ditentukan dengan metode ini dengan menggunakan potensiostat dengan tiga elektroda, yaitu elektroda acuan tipe kalomel (SCE), elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja berupa spesimen baja. Data yang didapat dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik/katodik yang menyatakan hubungan antara arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) sebagai fungsi potensial (mV). Menurut Kandias (2009) selanjutnya kurva tersebut diekstraposisi untuk dapat menentukan laju korosi dan arus korosi melalui Persamaan (1).

$$I_{\text{corr}} = \frac{\beta_a \beta_c}{2,303 (\beta_a + \beta_c)} \frac{1}{R_p} \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{\text{corr}} = 3,27 \times 10^{-3} \frac{A_e}{\rho} I_{\text{corr}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- I_{corr} = rapat arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
- β_a, β_c = slop Tafel anodik dan slop Tafel katodik
- R_p = hambatan polarisasi
- V_{corr} = laju korosi Faraday
- A_e = massa ekivalen logam (g/mol.ekivalen)
- ρ = massa jenis logam (g/cm^3)

1.1. Metode Tafel

Kecepatan atau laju korosi yang terjadi pada logam dalam lingkungan elektrolit baik tanpa atau dengan adanya inhibitor korosi dapat dilakukan dengan menggunakan metode Tafel. Pengukuran dengan metode Tafel untuk kinerja inhibisi dilakukan dalam sel elektrokimia dengan sistem tiga elektroda, yaitu sampel baja karbon sebagai elektroda kerja, elektroda Pt sebagai elektroda bantu, dan elektroda kalomel sebagai elektroda pembanding.

Kinetika elektrokimia untuk korosi pada logam dapat dikarakterisasi dengan menentukan tiga parameter yaitu densitas hantaran (I_{corr}), potensial korosi (E_{corr}), dan slop Tafel katodik (β_a dan β_c). Hasil pengolahan data ketiga parameter di atas dapat menentukan harga hambatan polarisasi (R_p) serta densitas hantaran (I_{corr}) dan dari hasil kedua olahan ini dapat dinyatakan sebagai laju korosi Faraday (V_{corr} atau CF) dalam satuan milimeter pertahun (Kandias, 2009).

Hambatan polarisasi, R_p (ohm, cm^2) adalah suatu besaran yang menentukan laju korosi suatu logam dalam lingkungan larutan korosif berdasarkan kemiringan

kurva potensial sebagai fungsi rapat arus disekitar potensial korosinya. R_p diasosiasikan dengan hukum Stren Geary, pada Persamaan(1).

Nilai R_p ini menunjukkan laju korosi, jika nilai R_p sangat kecil maka sistem sangat korosif. Sedangkan β_a dan β_c merupakan kemiringan Tafel anodik dan Tafel katodik. β merupakan nilai terapan Stern Greary (Fahrurrozie, 2009). Prinsip polarisasi Tafel adalah antaraksi antarmuka antara larutan uji dengan elektroda. Interaksi ini menimbulkan polarisasi logam dan arus tertentu.

Berdasarkan ekstrapolasi Tafel ini dapat diketahui dominasi reaksi yang terjadi antara anodik dan katodik. Jika potensial anodik dapat bergeser kearah negatif maka polarisasi atau reaksi anodik yang berperan ditandai dengan terjadinya oksidasi pada baja karbon. Namun jika potensial korosi bergeser kearah positif maka reaksi katodik berperan ditandai dengan terjadinya reduksi ion-ion H^+ yang banyak.

1.2. Laju korosi

Dalam suatu sistem reaksi terdapat suatu reaksi antara komponen-komponen didalamnya, yang secara mikro melibatkan elektron-elektron. Begitu juga dalam proses korosi, transfer elektron menuju ke permukaan logam berlangsung secara kesinambungan hingga secara kesetimbangan. Untuk mencapainya, biasanya dilakukan OCP (*open circuit potensial*) dengan cara menstabilkan interaksi antara larutan dengan logam (arus korosi) selama beberapa saat. Transfer elektron tersebut merupakan parameter menentukan laju korosi logam (Sunarya, 2008). Laju korosi dapat dilakukan dengan metode polarisasi potensiodinamik. Data yang didapat dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik atau katodik yang

menyatakan hubungan arus antara arus ($\mu A \cdot cm^{-2}$) sebagai fungsi potensial (mV). Selanjutnya kurva tersebut diekstrapolasi untuk menentukan laju korosi dan arus melalui Persamaan (1) dan (2). Untuk menghitung persentase proteksi dari inhibitor yang digunakan dengan menggunakan pada Persamaan (3).

$$\% \text{ proteksi} = (I_{corr_0} - I_{corr_i}) \times 1 / I_{corr_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: I_{corr_0} = laju korosi tanpa inhibitor
 I_{corr_i} = laju korosi dengan inhibitor.

2. Metode kehilangan berat (*weight loss*)

Metode *weight loss* menunjukkan plot antara laju korosi terhadap waktu perendaman merupakan persentase inhibisi inhibitor yang dapat disusun berdasarkan indikasi dari hambatan polarisasinya yang dapat disusun berdasarkan indikasi dari hambatan polarisasinya serta urutan kemampuan masing-masing inhibitor ketika terserang pada permukaan logam. Kemudian data yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung *weight loss* dengan menggunakan pada Persamaan (4).

$$CR(mmpy) = 10 \times (Wt/A) \times (1/D) \times (365/t) \dots\dots\dots (4)$$

CR = laju korosi (mmpy)
Wt = berat (gram) yaitu antara berat awal dikurang dengan berat akhir
A = luas sampel (cm^2)
D = density ($gram/cm^2$)

Untuk menghitung persentase proteksi dari inhibitor yang digunakan dengan menggunakan Persamaan (5).

$$\% \text{ proteksi} = (Cr_0 - Cr_i) \times 1 / Cr_0 \times 100 \% \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan: Cr_0 = laju korosi tanpa inhibitor
 CR_i = laju korosi dengan inhibitor.

I. Analisis Spektrofotometri

1. *Spektrophotometri fourier transform infrared (FTIR)*

Spektrofotometri FT-IR merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75 – 1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000 – 10 cm^{-1} .

Radiasi elektromagnetik dikemukakan pertama kali oleh *James Clark Maxwell*, yang menyatakan bahwa cahaya secara fisis merupakan gelombang elektromagnetik, artinya mempunyai vektor listrik dan vektor magnetik yang keduanya saling tegak lurus dengan arah rambatan (Hsu, 1994).

Pada dasarnya Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah hampir sama dengan Spektrofotometer IR dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati contoh. Dasar pemikiran dari Spektrofotometer FTIR adalah dari persamaan gelombang yang dirumuskan oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) seorang ahli matematika dari Perancis.

Pada sistem optik FTIR digunakan radiasi LASER (*light amplification by stimulated emission of radiation*) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik.

Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer FTIR adalah TGS (*tetra glycerine sulphate*) atau MCT (*mercury cadmium telluride*). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekwensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah.

Vibrasi yang digunakan untuk identifikasi adalah vibrasi tekuk, khususnya vibrasi *rocking* (goyangan), yaitu yang berada di daerah bilangan gelombang 2000 – 400 cm^{-1} . Karena di daerah antara 4000 – 2000 cm^{-1} merupakan daerah yang khusus yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional. Daerah 4000 – 2000 cm^{-1} ini menunjukkan absorpsi yang disebabkan oleh vibrasi regangan. Sedangkan daerah antara 2000 – 400 cm^{-1} seringkali sangat rumit, karena vibrasi regangan maupun bengkokan mengakibatkan absorpsi pada daerah tersebut. Dalam daerah 2000 – 400 cm^{-1} tiap senyawa organik mempunyai absorpsi yang unik, sehingga daerah tersebut sering juga disebut sebagai daerah sidik jari (*fingerprint region*).

Meskipun pada daerah 4000 – 2000 cm^{-1} menunjukkan absorpsi yang sama, pada daerah 2000 – 400 cm^{-1} juga harus menunjukkan pola yang sama sehingga dapat disimpulkan bahwa dua senyawa adalah sama.

Pada analisis dengan spektrofotometer FTIR diharapkan gugus fungsi terlihat pita serapan pada daerah 3500-3000 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik vibrasi ulur OH, pita serapan diatas 3300 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik vibrasi ulur NH amina. Pita serapan lainnya yang menunjukkan adanya vibrasi NH amina yaitu pada daerah 1650-1550 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi tekuk NH_2 (amina

primer), diharapkan muncul pita serapan pada daerah $1250\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur CN, pita serapan daerah $3000\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan karakteristik vibrasi ulur CH, pita serapan lainnya pada daerah $1470\text{-}1350\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk CH, dan pita serapan pada daerah $1250\text{-}970\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk C-O (Hsu, 1994).

Secara keseluruhan, analisis menggunakan Spektrofotometer FTIR memiliki dua kelebihan utama dibandingkan metoda konvensional lainnya, yaitu:

1. Dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat daripada menggunakan cara sekuensial atau *scanning*.
2. Sensitifitas dari metode Spektrofotometri FTIR lebih besar daripada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah (*slitless*) (Hsu, 1994).

2. *Scanning electron microscope* (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah jenis mikroskop elektron untuk memindai gambar permukaan suatu sampel padat dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola pemindai pixel (Fansuri dan Martianingsih, 2011). SEM merupakan alat yang dapat digunakan untuk mempelajari atau mengamati rincian bentuk maupun struktur mikro, topografi, morfologi permukaan dari suatu obyek, seperti bahan logam dan polimer keramik yang tidak dapat dilihat dengan mata atau dengan mikroskop optik.

Prinsip kerja SEM, dengan cara mengalirkan arus pada kawat filamen tersebut dan perlakuan pemanasan, sehingga dihasilkan elektron. Elektron tersebut

dikumpulkan dengan tegangan tinggi dan berkas elektron difokuskan dengan sederetan lensa elektromagnetik. Ketika berkas elektron mengenai target, informasi dikumpulkan melalui tabung sinar katoda yang mengatur intensitasnya. Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, elektron kehilangan energi, karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama, sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri dari target. Elektron ini kemudian dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Wagiyo dan Handayani, 1997).