

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Metode FDTD (*Finite Difference Time Domain*)

*Finite Difference Time Domain* (FDTD) adalah metode yang menggunakan pendekatan pada domain ruang dan waktu. Metode FDTD diperkenalkan pertama kali oleh Kane Yee pada tahun 1966 untuk menganalisis medan elektromagnet. Metoda ini sekarang banyak diterapkan sebagai metoda analisis yang utama. Salah satu alasan pemilihan metode ini adalah mudah untuk menganalisis permasalahan yang didasarkan pada persamaan integral yang sangat sulit dilakukan bila dipecahkan dengan *Moment Method* dan lain-lain. Selain itu untuk menggunakan metode ini tidak memerlukan dasar-dasar pengetahuan yang mendalam (Sumantyo, 1998).

Metode FDTD diaplikasikan untuk berbagai masalah seperti propagasi, radiasi, dan penyebaran gelombang elektromagnetik. Persamaan Curl Maxwell menunjukkan letak medan listrik dan medan magnet. Hal ini karena muatan dan pergerakan muatan digabungkan satu sama lain sehingga keduanya saling menjaga bahkan ketika tidak ada muatan atau arus (Gracia dkk, 2006).

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.2)$$

$$-\nabla \times \vec{E} = \partial_t \vec{B}, \quad \nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \partial_t \vec{D} \quad (2.3)$$

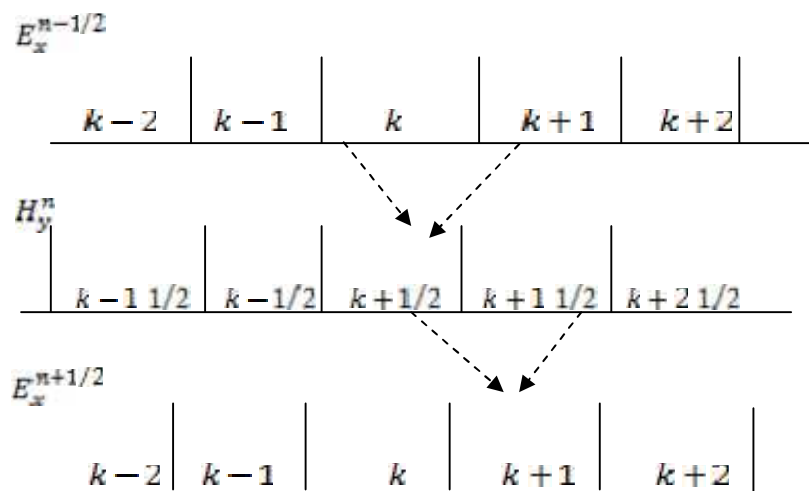
Persamaan tersebut menghubungkan kerapatan muatan  $\rho$ , kerapatan arus  $\vec{j}$ , dan empat vektor medan magnet yaitu vektor perpindahan  $\vec{D}$ , vektor medan listrik  $\vec{E}$ , vektor kerapatan fluks magnet  $\vec{B}$ , dan vektor medan magnet  $\vec{H}$ . Semua persamaan tersebut terletak dalam domain ruang dan waktu  $(\vec{r}, t)$ . Vektor perpindahan  $\vec{D}$  dihubungkan dengan medan listrik  $\vec{E}$  oleh konstitusi hubungan yang bergantung pada *material properties*, dan kerapatan fluks magnet  $\vec{B}$  dihubungkan dengan vektor medan magnet  $\vec{H}$ . Untuk medium isotropis linier,  $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ , dan  $\vec{B} = \mu \vec{H}$ , dengan  $\epsilon$  (permitivitas medium) dan  $\mu$  (permeabilitas medium). Persamaan (2.2), konstitusi hubungan, dan asumsi bahwa nilai medan elektromagnet diketahui pada saat suatu waktu ditentukan oleh sebuah sistem persamaan diferensial yang mempunyai solusi unik karena secara terus-menerus bergantung pada data awal (Gracia, 2006).

Pada metode FDTD, aproksimasi nilai tengah untuk domain waktu dan ruang diterapkan untuk persamaan gelombang elektromagnetik berdimensi satu. Sehingga persamaan menjadi:

$$\frac{E_x^{n+1/2}(k) - E_x^{n-1/2}(k)}{\Delta t} = -\frac{1}{\epsilon_0} \frac{H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)}{\Delta x} \quad (2.4a)$$

$$\frac{H_y^{n+1/2}(k+1/2) - H_y^{n-1/2}(k+1/2)}{\Delta t} = -\frac{1}{\mu_0} \frac{E_x^{n+1/2}(k+1) - E_x^{n+1/2}(k)}{\Delta x} \quad (2.4b)$$

Nilai *superscript*  $n$  pada persamaan di atas menunjukkan waktu, di mana waktu sebenarnya adalah  $t = \Delta t \cdot n$ . Sedangkan nilai  $k$  menunjukkan jarak di mana jarak sebenarnya adalah  $z = \Delta x \cdot k$ . Persamaan (2.4a) dan (2.4b) mengasumsikan bahwa medan listrik ( $E$ ) dan medan magnet ( $H$ ) berada diantara ruang dan waktu. Medan magnet ( $H$ ) menggunakan argumen  $k + 1/2$  dan  $k - 1/2$  untuk menunjukkan bahwa nilai  $H$  terletak diantara nilai medan listrik ( $E$ ). Pada gambar di bawah ini, *superscript*  $n + 1/2$  dan  $n - 1/2$  menunjukkan bahwa terjadi kesalahan setelah atau sebelum  $n$  berturut-turut.



Gambar 2.1. Penyisipan medan listrik dan medan magnet pada metode FDTD.

(Sumber: Sullivan, 2000)

Untuk menghitung  $H_y(k + 1/2)$ , jarak yang digunakan adalah jarak yang berdekatan pada  $E_x$  yaitu  $k$  dan  $k + 1$ . Dengan cara yang sama, untuk menghitung  $E_x(k + 1)$  dibutuhkan nilai  $k + 1/2$  dan  $k + 1 1/2$  pada  $H_y$ .

Persamaan (2.3a) dan (2.3b) dapat disusun menjadi :

$$E_x^{n+1/2}(k) = E_x^{n-1/2}(k) - \frac{\Delta t}{\epsilon_0 \Delta x} [H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)] \quad (2.5a)$$

$$H_y^{n+1}(k+1/2) = H_y^n(k+1/2) - \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta x} [E_x^{n+1/2}(k+1) - E_x^{n+1/2}(k)] \quad (2.5b)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa perhitungan medan listrik atau medan magnet pada waktu dan tempat didapatkan dari penjumlahan medan magnet dan listrik pada waktu dan tempat sebelumnya. Hal ini merupakan paradigma dasar dari metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD) (Yee, 1966).

## 2.2 Medan Elektromagnetik

Teori elektromagnetik merupakan suatu teori yang menjelaskan hubungan antara medan listrik dan medan magnet, yang menimbulkan rambatan gelombang elektromagnetik. Teori ini dikemukakan oleh James Clark Maxwell pada tahun 1865. Menurut Maxwell, medan listrik yang berubah akan menimbulkan medan magnet. Sementara itu, Faraday berpendapat bahwa perubahan medan magnet menimbulkan medan listrik. Dengan demikian, keterkaitan antara medan listrik dan medan magnet menyebabkan timbulnya gelombang elektromagnetik. atau dapat dikatakan bahwa gelombang elektromagnetik adalah gelombang paduan antara medan listrik dengan medan magnet yang disebabkan oleh muatan listrik bergerak dipercepat.

Maxwell menurunkan persamaan rambatan gelombang elektromagnetik dalam ruang hampa sebesar:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2.6)$$

Dimana  $\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ )

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

$c$  = cepat rambat gelombang elektromagnetik (m/s)

### 2.2.1 Medan elektromagnetik pada ruang terbuka

Persamaan Curl Maxwell didefinisikan sebagai :

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_0} \nabla \times H \quad (2.7a)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \nabla \times E \quad (2.7b)$$

**E** dan **H** pada persamaan ini merupakan vektor. Persamaan di atas merupakan persamaan umum yang merepresentasikan ruang tiga dimensi. Untuk ruang satu dimensi digunakan perambatan gelombang pada arah z, sehingga yang akan digunakan adalah medan listrik (**E**) pada arah x dan medan magnet (**H**) pada arah y. Sehingga persamaan menjadi :

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{1}{\epsilon_0} \frac{\partial H_y}{\partial z} \quad (2.8a)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial E_x}{\partial z} \quad (2.8b)$$

Persamaan (2.8a) dan (2.8b) dibedakan dengan penggunaan  $\epsilon_0$  dan  $\mu_0$  pada masing-masing persamaan. Hubungan antara  $\epsilon_0$  dan  $\mu_0$  ditunjukkan pada persamaan berikut (Taflove, 1975):

$$\vec{E} = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E \quad (2.9)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.9) pada persamaan (2.8a) dan (2.8b), maka persamaan menjadi :

$$\tilde{E}_x^{n+1/2}(k) = \tilde{E}_x^{n-1/2}(k) - \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{\Delta t}{\Delta x} [H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)] \quad (2.10a)$$

$$H_y^{n+1}(k+1/2) = H_y^n(k+1/2) - \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{\Delta t}{\Delta x} [\tilde{E}_x^{n+1/2}(k+1) - \tilde{E}_x^{n+1/2}(k)] \quad (2.10b)$$

Pada medan elektromagnetik berdimensi satu, *time step*  $\Delta t$  didefinisikan sebagai :

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\frac{1}{2} \cdot c_0} \quad (2.11)$$

Dimana  $c_0$  merupakan kecepatan cahaya pada ruang terbuka. Sehingga,

$$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{\Delta t}{\Delta x} = c_0 \cdot \frac{\Delta x/2 \cdot \epsilon_0}{\Delta x} = \frac{1}{2} \quad (2.12)$$

Dengan demikian, persamaan (2.8a) dan (2.8b) menjadi :

$$\tilde{E}_x^{n+1/2}(k) = \tilde{E}_x^{n-1/2}(k) - \frac{1}{2} [H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)] \quad (2.13a)$$

$$H_y^{n+1}(k+1/2) = H_y^n(k+1/2) - \frac{1}{2} [\tilde{E}_x^{n+1/2}(k+1) - \tilde{E}_x^{n+1/2}(k)] \quad (2.13b)$$

### 2.2.2 Medan elektromagnetik pada ruang terbuka dengan penambahan kondisi batas serap

Pada saat mengaplikasikan metoda FDTD untuk memecahkan persoalan ruang terbuka, misalnya analisa hamburan gelombang elektromagnetik, wilayah analisa ini perlu dibatasi menggunakan batas serap. Apabila batas serap tidak sempurna, maka akan menyebabkan terjadinya pantulan gelombang ke wilayah analisa yang dapat mempengaruhi nilai analisa di dalamnya. Kondisi batas serap berlaku untuk gelombang datar (*plane wave*) yang masuk secara tegak lurus ke kondisi batas serap (Sumantyo, 1998).

Jika gelombang bergerak ke arah sebuah batas dalam ruang terbuka dan gelombang merambat pada  $c_0$  (kecepatan cahaya), maka dalam satu *time step* gelombang merambat sepanjang :

$$distance = c_0 \cdot \Delta t = c_0 \frac{\Delta x}{2c_0} = \frac{\Delta x}{2} \quad (2.14)$$

Persamaan ini menjelaskan bahwa gelombang membutuhkan dua *time steps* untuk melewati satu *cell*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa syarat batas dapat diterima jika :

$$E_x^n(0) = E_x^{n-2}(1) \quad (2.15)$$

Dari persamaan di atas dapat dipahami bahwa hanya dengan menyimpan nilai  $E_x(1)$  untuk dua *time steps* dan kemudian masukkan nilainya ke dalam  $E_x(0)$ , maka syarat batas telah terpenuhi.

### 2.2.3 Medan elektromagnetik pada saat pulsa menumbuk medium dielektrik

Sifat dielektrik suatu medium ditentukan oleh harga konstanta dielektrik atau permitivitas dielektrik dari medium tersebut. Permitivitas dielektrik suatu medium dalam sistem satuan Standar Internasional (S.I) skala besar mempergunakan satuan farad per meter (F/m). Besaran permitivitas dielektrik dinyatakan dengan simbol  $\epsilon_r$  yang menyatakan kemampuan medium untuk meredam intensitas medan listrik relatif terhadap ruang hampa, sehingga didefinisikan: (Effendi, 2007)

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (2.16)$$

Dimana:

$\epsilon_0$  = Permitivitas dielektrik ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12}$  F/m)

$\epsilon_r$  = Permitivitas relatif suatu medium

Konstanta dielektrik relatif berbagai bahan dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Konstanta dielektrik relatif berbagai bahan

Bahan	$\epsilon_r$	Bahan	$\epsilon_r$
Mika	5,4	Karet	2,5-3
Neopren	6,6	Silika/ SiO <sub>2</sub> (dilebur)	3,8
Nilon	3,5	Silikon	11,8
Kertas	3	Salju	3,3
Pleksiglas	3,45	Sodium klorida	5,9
Polietilen	2,26	Tanah (kering)	2,8
Polipropilen	2,25	Steatit	5,8
Polistiren	2,56	Styrofoam	1,03
Porselen (proses kering)	6	Teflon	2,1
Piranol	4,4	Titanium dioksida	100
Kaca pireks	4	Air (suling)	80
Kuarsa (dilebur)	3,8	Kayu (kering)	1,5-4

Sumber : Hyat dan Buck (2006)

Untuk mensimulasikan gelombang elektromagnetik pada medium dielektrik yang mempunyai konstanta dielektrik yang sesuai untuk ruang terbuka, kita harus menambahkan konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) pada persamaan Maxwell :

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_r \epsilon_0} \nabla \times H \quad (2.17a)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \nabla \times E \quad (2.17b)$$

Dengan penambahan konstanta dielektrik relatif tersebut, maka variabel pada persamaan (2.7) akan berubah menjadi :

$$\frac{\partial \tilde{E}_x(z)}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_r \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{\partial H_y(z)}{\partial z} \quad (2.18a)$$

$$\frac{\partial H_y(z)}{\partial t} = -\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{\partial \tilde{E}_x(z)}{\partial z} \quad (2.18b)$$

Aproksimasi nilai tengah pada FDTD menjadi :

$$\frac{\tilde{E}_x^{n+1/2}(k) - \tilde{E}_x^{n-1/2}(k)}{\Delta t} = \frac{1}{\epsilon_r \epsilon_0} \frac{H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)}{\Delta x} \quad (2.19a)$$

$$\frac{H_y^{n+1/2}(k+1/2) - H_y^n(k+1/2)}{\Delta t} = -\frac{1}{\mu_0} \frac{\tilde{E}_x^{n+1/2}(k+1) - \tilde{E}_x^{n+1/2}(k)}{\Delta x} \quad (2.19b)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.10), maka aproksimasi nilai tengah menjadi :

$$\tilde{E}_x^{n+1/2}(k) = \tilde{E}_x^{n-1/2}(k) - \frac{1/2}{\epsilon_r} [H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)] \quad (2.20a)$$

$$H_y^{n+1/2}(k+1/2) = H_y^n(k+1/2) - \frac{1}{\mu_0} [\tilde{E}_x^{n+1/2}(k+1) - \tilde{E}_x^{n+1/2}(k)] \quad (2.20b)$$

## 2.2.4 Medan elektromagnetik saat gelombang sinusoidal menumbuk medium dielektrik

Sumber (*source*) dibagi menjadi dua. Yaitu *hard source* dan *soft source*. *Hard source* ditugaskan untuk menentukan nilai medan listrik ( $E_x$ ). Dengan menggunakan *hard source*, penyebaran pulsa akan menunjukkan nilai dan merefleksikannya. Hal ini karena *hard value* diibaratkan seperti dinding metal untuk FDTD. Sedangkan *soft source* ditugaskan untuk menambahkan nilai medan listrik ( $E_x$ ) pada titik tertentu. Berbeda dengan *hard source*, penyebaran pulsa pada *soft source* akan menembus tepian medan elektromagnet.

Untuk mensimulasikan gelombang sinus, kita menggunakan pulsa Gaussian sebagai sumber. Hal ini karena pulsa Gaussian dapat diganti menjadi pulsa sinusoidal hanya dengan mengganti parameter pulsanya.

## 2.2.5 Medan elektromagnetik pada medium dielektrik *lossy*

Seperti yang kita ketahui banyak terdapat media yang mempunyai konduktivitas rendah. Media ini juga menyebarkan energi elektromagnetik. pada media dielektrik *lossy*, persamaan Curl Maxwell menjadi :

$$\varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} = \nabla \times H - J \quad (2.21a)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \nabla \times E \quad (2.21b)$$

$J$  merupakan kerapatan arus yang didefinisikan sebagai :

$$J = \sigma \cdot E$$

Dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas. Dengan mensubstitusikan persamaan  $J$  dan konstanta dielektrik relatif ke dalam persamaan (7.18a), persamaan menjadi :

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial t} &= \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \nabla \times H - \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} E \\ \frac{\partial E_x(t)}{\partial t} &= \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \cdot \frac{\partial H_y(t)}{\partial z} - \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} E_x(t) \\ \frac{\partial E_x(t)}{\partial t} &= -\frac{1}{\varepsilon_r \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{\partial H_y(t)}{\partial z} - \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} E_x(t) \end{aligned} \quad (2.22a)$$

$$\frac{\partial H_y(t)}{\partial t} = -\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{\partial E_x(t)}{\partial z} \quad (2.22b)$$

Aproksimasi nilai tengah pada FDTD menjadi :

$$\frac{\tilde{E}_x^{n+1/2}(k) - \tilde{E}_x^{n-1/2}(k)}{\Delta t} = -\frac{1}{\epsilon_r \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)}{\Delta x} - \frac{\sigma}{\epsilon_r \epsilon_0} \frac{\tilde{E}_x^{n+1/2}(k) + \tilde{E}_x^{n-1/2}(k)}{2} \quad (2.23)$$

Substitusi persamaan (7.9) ke persamaan (7.21).

$$\tilde{E}_x^{n+1/2}(k) \left[ 1 + \frac{\Delta t \sigma}{2 \epsilon_r \epsilon_0} \right] = \tilde{E}_x^{n-1/2}(k) \left[ 1 - \frac{\Delta t \sigma}{2 \epsilon_r \epsilon_0} \right] - \frac{1/2}{\epsilon_r} [H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)]$$

Atau

$$\tilde{E}_x^{n+1/2}(k) = \frac{\left(1 - \frac{\Delta t \sigma}{2 \epsilon_r \epsilon_0}\right)}{\left(1 + \frac{\Delta t \sigma}{2 \epsilon_r \epsilon_0}\right)} \tilde{E}_x^{n-1/2}(k) - \frac{1/2}{\epsilon_r \left(1 - \frac{\Delta t \sigma}{2 \epsilon_r \epsilon_0}\right)} [H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)] \quad (2.24)$$

Nilai konduktivitas beberapa material dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Nilai konduktivitas berbagai bahan

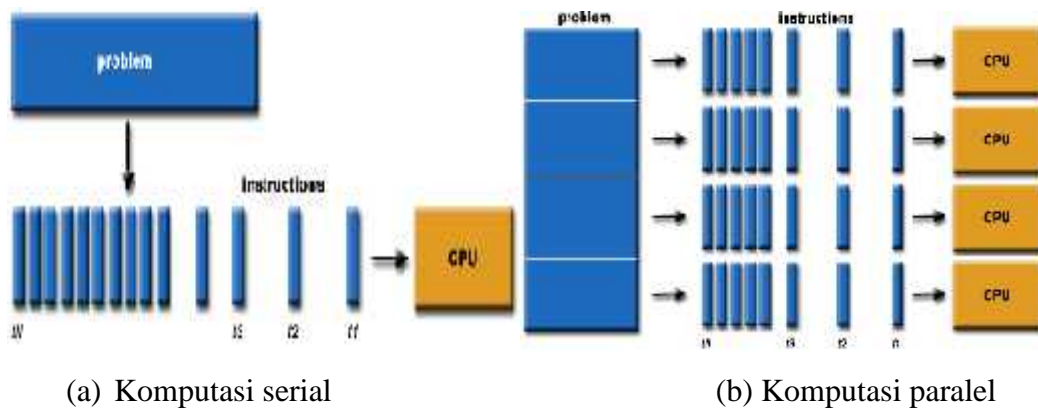
Material	$\sigma$ (S/m)	Material	$\sigma$ (S/m)
Silver	$6,30 \times 10^7$	Constantan	$2,04 \times 10^6$
Copper	$5,96 \times 10^7$	Stainless steel	$1,45 \times 10^6$
Annealed copper	$5,80 \times 10^7$	Mercury	$1,02 \times 10^6$
Gold	$4,10 \times 10^7$	Nichrome	$9,09 \times 10^5$
Aluminium	$3,5 \times 10^7$	GaAs	$1 \times 10^{-8}$ to $10^3$
Calcium	$2,98 \times 10^7$	Germanium	2,17
Tungsten	$1,79 \times 10^7$	Sea water	4,8
Zinc	$1,69 \times 10^7$	Drinking water	$5 \times 10^{-4}$ to $5 \times 10^{-2}$
Nickel	$1,43 \times 10^7$	Silicon	$1,56 \times 10^{-3}$
Lithium	$1,08 \times 10^7$	Wood (damp)	$10^{-4}$ to $10^{-3}$
Iron	$1,00 \times 10^7$	Deionized water	$3,5 \times 10^{-6}$
Platinum	$9,43 \times 10^6$	Glass	$10^{-15}$ to $10^{-11}$
Tin	$9,17 \times 10^6$	Hard rubber	$10^{-14}$
Carbon steel	$6,99 \times 10^6$	Wood (oven dry)	$10^{-16}$ to $10^{-14}$
Lead	$4,55 \times 10^6$	Sulfur	$10^{-16}$
Titanium	$2,38 \times 10^6$	Air	$3 \times 10^{-15}$ to $8 \times 10^{-15}$
Manganin	$2,07 \times 10^6$	Teflon	$10^{-25}$ to $10^{-23}$

Sumber: Griffiths (1999)



### 2.3 Pemrograman Paralel

Pemrograman paralel adalah teknik pemrograman komputer yang memungkinkan eksekusi perintah/operasi secara bersamaan (komputasi paralel), baik dalam komputer dengan satu (prosesor tunggal) ataupun banyak (prosesor ganda dengan mesin paralel) CPU. Pada komputasi serial, permasalahan diselesaikan dengan serangkaian instruksi yang dieksekusi satu demi satu oleh CPU, dimana hanya satu instruksi yang bisa berjalan pada satu waktu saja. Hal ini akan membutuhkan waktu eksekusi yang panjang dan membutuhkan sumber daya komputasi yang besar pada prosesor dan memori (Syaputra dan Akbar, 2011). Perbedaan antara komputasi tunggal dengan komputasi paralel, bisa digambarkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.2. Perbedaan komputasi serial dan komputasi paralel

(Sumber : Barney, 2014)

Dari kedua gambar di atas, dapat disimpulkan bahwa kinerja komputasi paralel lebih efektif dan dapat menghemat waktu untuk pemrosesan data yang banyak daripada komputasi tunggal.

Pemrograman paralel bertujuan untuk meningkatkan performa komputasi. Semakin banyak hal yang bisa dilakukan secara bersamaan, semakin banyak pekerjaan yang bisa diselesaikan. Performa dalam pemrograman paralel diukur dari berapa banyak peningkatan kecepatan (*Speed Up*) yang diperoleh dalam menggunakan teknik paralel. *Speed up* dari suatu program paralel adalah waktu eksekusi sekuensial dibagi dengan waktu eksekusi paralel (Syaputra dan Akbar 2011). Untuk menghitung nilai *speed up* dapat dinyatakan dengan persamaan (Wilkinson dan Allen, 2010):

$$S_p = \frac{T_s}{T_p} \quad (2.25)$$

$S_p$  = Speed up

$T_s$  = Waktu eksekusi menggunakan satu prosesor (algoritma serial)

$T_p$  = Waktu eksekusi menggunakan  $p$  prosesor (algoritma paralel)

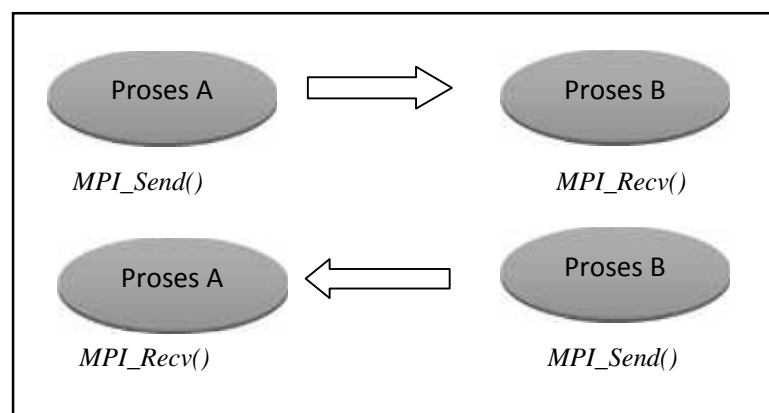
#### 2.4 Message Passing Interface (MPI)

Ada banyak sekali bahasa pemrograman paralel yang diperkenalkan dan sebagian besar merupakan bahasa tingkat tinggi untuk menyederhanakan kompleksitas pemrograman paralel. *Message Passing Interface* (MPI) adalah bahasa independen untuk protokol komunikasi yang digunakan program paralel pada komputer (Kurniawan, 2010).

MPI menyediakan standar pemakaian secara luas untuk menulis program pertukaran pesan. Kegunaan MPI yang lain yaitu (Barney, 2013):

1. Menulis kode paralel secara *portable*
2. Mendapatkan performa yang tinggi dalam pemrograman paralel
3. Menghadapi permasalahan yang melibatkan hubungan data *irregular* atau dinamis yang tidak begitu cocok dengan model data paralel

Mekanisme dasar dari sistem komunikasi pada MPI adalah proses pertukaran data pada sepasang proses dimana satu sebagai pengirim dan satunya lagi sebagai penerima. Hampir sebagian besar komunikasi yang terjadi pada MPI didasarkan pada komunikasi *point to point*, sehingga komunikasi ini sangatlah penting dan sebagai dasar untuk komunikasi pada MPI (Kurniawan, 2010). Komunikasi *point to point* seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Komunikasi *point to point*  
(Sumber : Kurniawan, 2010)

Dari Gambar 2.3 terlihat bahwa proses A mengirim pesan ke proses B, kemudian proses B kembali mengirim pesan ke proses A. Kedua proses tersebut saling melakukan pertukaran pesan dengan saling mengirim dan menerima data diantara keduanya. Pada MPI ada beberapa fungsi yang disediakan untuk mengirim dan menerima data baik secara *blocking* maupun *nonblocking* (Kurniawan, 2010).

Sebelum mengimplementasikan MPI ke dalam suatu program, seorang programmer harus menentukan *header*, komunikator dan rutin manajemen lingkungan apa yang akan digunakan. *Header* diperlukan oleh program untuk memanggil fungsi yang ada pada *library* MPI, *header* yang digunakan dalam implementasi MPI adalah `#include <mpi.h>`. Hampir semua fungsi-fungsi atau *routine* menggunakan komunikator sebagai argumen. Salah satu komunikator yang paling sering digunakan adalah `MPI_COMM_WORLD` (Barney, 2013). MPI juga memiliki beberapa rutin manajemen lingkungan yang sering digunakan. Rutin manajemen lingkungan MPI tersebut antara lain (Blaise, 2014):

- a. *MPI\_Init*, digunakan untuk menginisialisasi eksekusi MPI. Kode program yang digunakan adalah `MPI_Init(&argc,&argv);`
- b. *MPI\_Comm\_size*, digunakan untuk mengembalikan jumlah proses MPI dalam komunikator. Kode program yang digunakan adalah `MPI_Comm_Size(MPI_COMM_WORLD,&size);`
- c. *MPI\_Comm\_rank*, digunakan untuk memanggil proses MPI dalam komunikator. Rank sering juga disebut *task ID* dan digunakan untuk menentukan *source* dan *destination* dari sebuah pesan. Kode program yang digunakan adalah `MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD,&rank);`
- d. *MPI\_Wtime*, digunakan untuk menentukan waktu yang dipakai saat prosesor dipanggil (dalam detik). Kode program yang digunakan adalah `MPI_Wtime();`
- e. *MPI\_Finalize*, digunakan untuk mengakhiri proses eksekusi MPI. Kode program yang digunakan adalah `MPI_Finalize ();`

## 2.5 Operasi Non-Blocking

Operasi *Non-blocking* merupakan salah satu operasi pada rutin komunikasi *point to point*. Berbeda dengan proses pada operasi *blocking* yang tidak akan mengembalikan nilai sampai buffer sudah penuh dengan data yang akan dikirim/diterima, pada operasi *non-blocking*, proses akan mengembalikan nilai walaupun data yang dikirim/diterima belum

dieksekusi. Operasi *non-blocking* MPI dikenali dengan nama operasinya dimana dapat dikategorikan menjadi empat bagian yaitu (Kurniawan, 2010):

- a. *Immediate*, disingkat dengan I atau i
- b. *Buffer*, disingkat dengan B atau b
- c. *Synchronous*, disingkat dengan S atau s
- d. *Ready*, disingkat dengan R atau r

Pada operasi *non-blocking immediate* digunakan *MPI\_Isend()* dan *MPI\_Irecv*, karakter I menunjukkan operasi MPI dengan mode segera (*Immediate*). Operasi *MPI\_Isend()* dan *MPI\_Irecv* merupakan operasi untuk pengiriman dan penerimaan data secara *nonblocking* dan bersifat segera (*immediate*) (Kurniawan, 2010). Deklarasi kode *non-blocking mode immediate* seperti terlihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Deklarasi kode *non-blocking mode immediate*

Kode	Bahasa C
<i>Send</i>	int MPI_Isend(void* buf, int count, MPI_Datatype datatype, int dest, int tag, MPI_Comm comm, MPI_Request *request)
<i>Recv</i>	int MPI_Irecv(void* buf, int count, MPI_Datatype datatype, int source, int tag, MPI_Comm comm, MPI_Request *request)

Sumber : Kurniawan (2010)

Tabel 2.3 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan dalam operasi *non-blocking*. Fungsi dan keterangan parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.4. Parameter *non-blocking send immediate*

Parameter	Fungsi	Keterangan
Buf	Input	Buffer data yang akan dikirim
Count	Input	Jumlah buffer data
Datatype	Input	Tipe data dari data yang akan dikirim
Dest	Input	Tujuan rank yang akan dikirim
Tag	Input	Message tag yang nilainya antara 0 sampai 32767
Comm	Input	Communicator yang digunakan
Request	Output	Output dari komunikasi

Sumber : Forum MPI (2012)

Tabel 2.5. Parameter *non-blocking recv immediate*

Parameter	Fungsi	Keterangan
Buf	Output	Buffer data yang akan diterima
Count	Input	Jumlah buffer data
Datatype	Input	Tipe data dari data yang akan diterima
Source	Input	Sumber rank yang akan ditunggu data yang masuk
Tag	Input	Message tag yang nilainya antara 0 sampai 32767
Comm	Input	Communicator yang digunakan
Request	Output	Output dari komunikasi

Sumber : Forum MPI (2012)

## 2.6 Jaringan Komputer

Jaringan komputer merupakan sekumpulan komputer yang terhubung bersama dan dapat berbagi sumber daya yang dimilikinya, seperti printer, CDROM, pertukaran file, dan komunikasi secara elektronik antar komputer. Hubungan antar komputer dalam jaringan dapat menggunakan media kabel, telepon, gelombang radio, satelit atau sinar infra merah (infrared) (Zulkarnain dan Saripurna, 2012).

Jaringan komputer yang digunakan pada penelitian ini adalah LAN (*Local Area Network*) dengan menggunakan topologi *point to point*. LAN adalah jaringan milik pribadi di dalam sebuah gedung atau kampus yang berukuran sampai beberapa kilometer. LAN seringkali digunakan untuk menghubungkan komputer-komputer pribadi dan *workstation* dalam kantor perusahaan atau pabrik-pabrik untuk memakai bersama *resource* (misalnya, *printer, scanner*) dan saling bertukar informasi (Zulkarnain dan Saripurna, 2012).

Jaringan kerja *point to point* merupakan jaringan kerja yang paling sederhana tetapi dapat digunakan secara luas. Begitu sederhananya jaringan ini, sehingga seringkali tidak dianggap sebagai suatu jaringan tetapi hanya merupakan komunikasi biasa. Jaringan kerja *point to point* seperti terlihat pada Gambar 2.4.



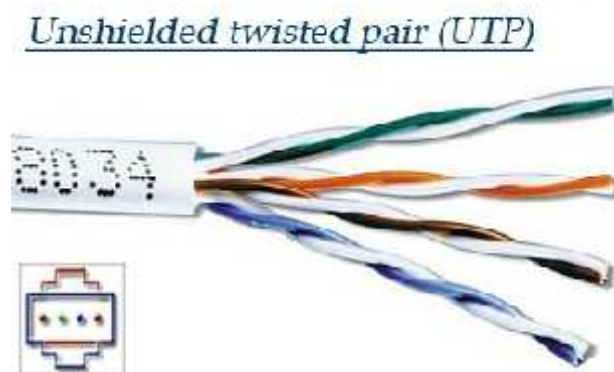
Gambar 2.4. Topologi jaringan *point to point*

(Sumber : Zulkarnain dan Saripurna, 2012)

Dari Gambar 2.4, terlihat kedua simpul mempunyai kedudukan yang setingkat, sehingga simpul manapun dapat memulai dan mengendalikan hubungan dalam jaringan tersebut. Data dikirim dari satu simpul langsung ke simpul lainnya sebagai penerima, misalnya antara terminal dengan CPU (Zulkarnain dan Saripurna, 2012).

## 2.7 Konfigurasi Kabel LAN / UTP (*Unshielded Twisted Pair*)

Kabel UTP merupakan salah satu media transmisi yang paling banyak digunakan untuk membuat sebuah jaringan local (*Local Area Network*), selain karena harganya relatif murah, mudah dipasang dan cukup bisa diandalkan. Sesuai namanya *Unshielded Twisted Pair* berarti kabel pasangan berpilin/terbelit (*twisted pair*) tanpa pelindung (*unshielded*). Fungsi lilitan ini adalah sebagai eliminasi terhadap induksi dan kebocoran. Untuk contoh kabel UTP dapat dilihat pada Gambar 2.5 (Yudianto, 2007).

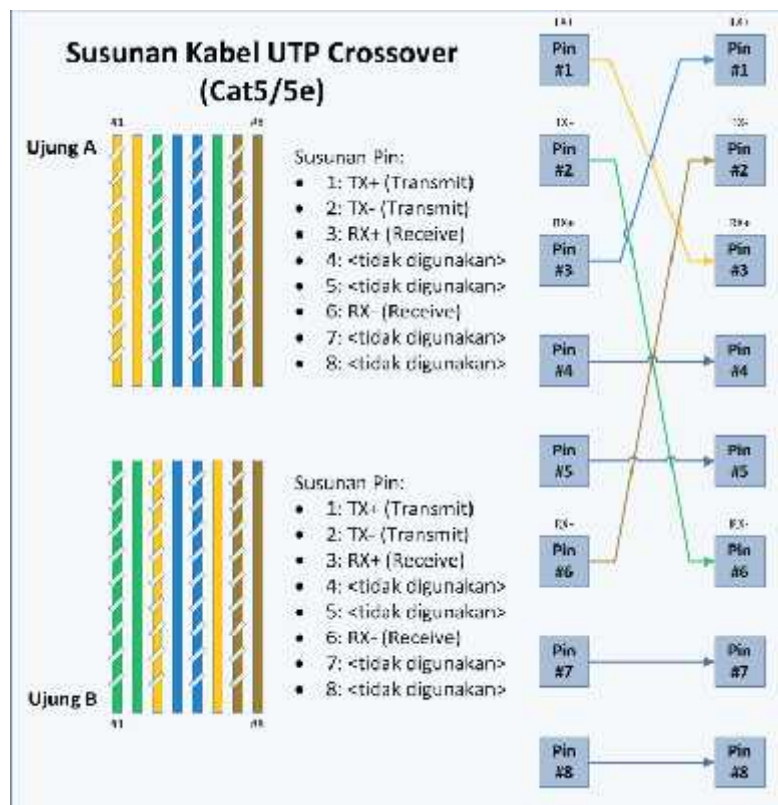


Gambar 2.5. Kabel UTP (*Unshielded Twisted Pair*)

(Sumber: Yudianto, 2007)

Untuk pemasangan kabel UTP, terdapat dua jenis pemasangan kabel UTP yang umum digunakan pada jaringan komputer terutama LAN, yaitu *Straight Through Cable* dan *Cross Over Cable*.

Penggunaan kabel *cross over* adalah untuk komunikasi antar komputer (langsung tanpa HUB), atau dapat juga digunakan untuk meng-*cascade* HUB jika diperlukan. Sekarang ini ada beberapa jenis HUB yang dapat di-*cascade* tanpa harus menggunakan kabel *cross over*, tetapi juga dapat menggunakan kabel *straight thru*. Kabel *cross over* menggunakan EIA/TIA 568A pada salah satu ujung kabelnya dan EIA/TIA 568B pada ujung kabel lainnya. Konfigurasi kabel *cross over* seperti terlihat pada Gambar 2.6 (Yudianto, 2007).



Gambar 2.6. Susunan kabel *cross over*

(Sumber: Yudianto, 2007)

Pada gambar, pin 1 dan 2 di ujung A terhubung ke pin 3 dan 6 di ujung B, begitu pula pin 1 dan 2 di ujung B yang terhubung ke pin 3 dan 6 di ujung A. Jadi, pin 1 dan 2 pada setiap ujung kabel digunakan untuk mengirim data, sedangkan pin 3 dan 6 pada setiap ujung kabel digunakan untuk menerima data, karena pin 1 dan 2 saling terhubung secara berseberangan dengan pin 3 dan 6. Untuk mengenali sebuah kabel apakah *cross over* ataupun *straight* adalah dengan hanya melihat salah satu ujung kabel. Jika urutan warna kabel pada pin 1 adalah putih hijau, maka kabel tersebut adalah kabel *cross over* (padahal jika ujung yang satunya lagi juga memiliki urutan warna yang sama yaitu putih hijau

sebagai pin 1, maka kabel tersebut adalah kabel *straight*). Tapi untungnya, kebanyakan kabel menggunakan standar EIA/TIA 568B pada kedua ujung kabelnya (Yudianto, 2007).

Kabel *cross over* dapat dimanfaatkan untuk beberapa keperluan, antara lain (Yudianto 2007):

1. Menghubungkan 2 buah komputer secara langsung.
2. Menghubungkan 2 buah HUB/*switch* menggunakan *port* biasa diantara kedua HUB / *switch*.
3. Menghubungkan komputer ke *port uplink switch*.
4. Menghubungkan *port LAN router* ke *port* biasa di HUB/*switch*.