

## OPTIMASI SISTEM PENGKONDISIAN UDARA PADA KERETA REL LISTRIK

Wendy Satia Novtian, Budhi Muliawan Suyitno, Rudi Hermawan

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

E-mail: satiawendy@gmail.com

**Abstrak**--Perusahaan Kereta Rel Listrik sebagai penyedia jasa transportasi kereta rel listrik, memposisikan dirinya sebagai salah satu perusahaan yang bertanggungjawab atas mobilitas orang banyak. Faktor kenyamanan pada kereta rel listrik sangat diperlukan, salah satunya adalah kenyamanan kondisi temperatur dan kelembaban udara pada kereta, yang dapat diperoleh melalui teknik pengkondisian udara (AC) menggunakan mesin pendingin. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem pengkondisian udara pada kereta yang bekerja secara efektif dan efisien pada setiap waktu. Perhitung beban pendinginan ini dilakukan untuk memperoleh desain yang optimal dari sistem pengkondisian udara kereta rel listrik dengan terlebih dahulu menghitung beban pendinginan menggunakan metode yang tepat. Data perhitungan didapat dari 3 sumber yaitu Perusahaan Kereta Rel Listrik, BMKG dan hasil pengambilan data sendiri. Berdasarkan hasil dari perhitungan, suhu optimal pada kereta rel listrik yaitu sebesar 22 – 26 °C dan beban pendinginan maksimum pada kereta rel listrik yaitu sebesar 45,276 kW, maka mesin pendingin pada kereta rel listrik ini dipastikan mampu untuk mengatasi beban pendinginannya, dikarenakan kapasitas mesin pendingin ini yaitu sebesar 48,72 kW, yang artinya lebih besar dari beban pendinginannya.

**Kata Kunci:** Kereta Rel Listrik, Pengkondisian Udara, Beban Pendinginan

**Abstract**--The Railway Company as a provider of rail transportation services, positioned itself as one of the companies responsible for mobility of the crowds. The convenience factor of an electric train is absolutely necessary, one of which is the comfort of the temperature and humidity conditions of the train, which can be obtained through air conditioning (AC) techniques using a cooling machine. Therefore, an air conditioning system of the train should work effectively and efficiently at every time. This cooling load calculation is performed to obtain the optimal design of an electric rail air conditioning system by first calculating the cooling load using the appropriate method. The calculation data is obtained from 3 sources, namely Railway Train Company, BMKG and its own data retrieval. Based on the results of the calculation, the optimum temperature on the electric train is equal to 22 – 26 °C and cooling speed at 44,976 kW, then the cooling machine on the electric train is sure to be able to overcome cooling, due to the capacity of this cooling machine that is 48,72 kW, which is larger than cooling.

**Keywords:** Electric Rail Train, Air Conditioning, Cooling Charges

### 1. PENDAHULUAN

Sistem pengkondisian udara atau yang lebih dikenal dengan sebutan AC (Air Conditioning) adalah suatu sistem untuk mendinginkan udara sehingga dapat dicapai temperature dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari ruangan atau tempat tertentu, selain itu berfungsi juga untuk mengatur aliran udara dan kebersihannya.

Dewasa ini terutama di daerah beriklim panas seperti di Indonesia, pengkondisian udara (AC) merupakan suatu kebutuhan yang tidak lagi mengandung arti kemewahan. Hal inipun juga merupakan kebutuhan pada sarana transportasi baik udara, laut, maupun darat. Pada transportasi darat terutama kereta rel listrik berada pada kondisi yang sudah kurang baik, sehingga walaupun sudah menggunakan sistem pengkondisian udara (AC), tetapi masih juga dirasakan kurang nyaman.

Oleh karena itu diperlukan suatu sistem pengkondisian udara (AC) pada kereta rel listrik

yang bekerja secara efektif dan efisien untuk mengatasi beban pendinginan pada waktu faktor-faktor yang mempengaruhi beban pendinginan pada kereta rel listrik tersebut mencapai beban maksimum, sehingga mesin pendingin akan bekerja secara optimum untuk mengatasi beban pendinginan dan memberikan kenyamanan pada penumpang dalam memperoleh udara segar selama perjalanan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui beban pendinginan pada kereta rel listrik dan mengoptimalkan pengkondisian udara pada kereta rel listrik.

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

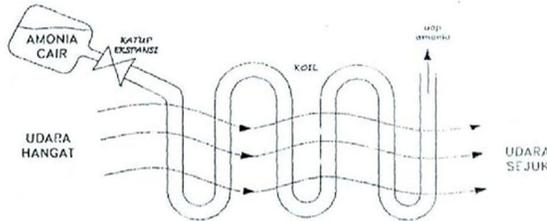
#### 2.1 Prinsip Dasar Mesin Pendingin

Mesin pendingin adalah alat yang dipergunakan untuk mengkondisikan udara, dengan cara mengambil serta memindahkan sejumlah panas dengan menggunakan suatu medium perantara. Medium perantara ini dikenal dengan nama refrigeran.

Adapun cara medium perantara ini untuk memindahkan dan zat cair dapat diuapkan (dari

cair menjadi gas) pada temperatur berapa saja sesuai dengan keinginan yaitu dengan cara merubah atau memberikan tekanan pada permukaannya. Sebagai contoh ketika kita memanaskan air di pantai (tekanan tinggi) dan di puncak gunung (tekanan rendah), kita akan mendapatkan kenyataan bahwa air yang kita masak di pantai akan lebih lambat mendidih ( $100^{\circ}\text{C}$ ) bila dibandingkan dengan air yang mendidih dipuncak gunung ( $85^{\circ}\text{C}$ ). Berarti semakin rendah tekanan yang diberlakukan terhadap zat cair maka akan semakin cepat menguap.

Sifat fisika yang lain adalah jika suatu zat mengalami perubahan fisika maka zat itu akan menyerap atau melepaskan kalor sbesar kalor latennya. Dalam hal ini zat itu akan menyerap atau melepas panas dari dan ke lingkungan sekitarnya. Dengan memanfaatkan sifat-sifat diatas kita bisa mendinginkan suatu ruang tertutup dengan jalan mengambil panas yang ada di ruangan tersebut. Untuk mendapatkan kondisi tersebut diperlukan refrigerant yang mempunyai titik penguapan yang lebih rendah dari temperatur udara disekitarnya. Hal ini dikarenakan adanya sifat bahwa benda dengan temperatur lebih tinggi akan melepaskan panasnya ke lingkungan yang bertemperatur lebih rendah.



Gambar 2.1 Bentuk awal mesin pendingin

Sebuah tabung yang berisi amonia cair (titik didihnya  $-33^{\circ}\text{C}$ , tekanan 1 atm) yang dialirkan melalui suatu koil. Udara yang akan didinginkan dilewatkan melalui koil. Amonia yang mengalir melalui koil akan mengambil panas dari udara sehingga udara yang melewati koil suhunya menjadi lebih rendah dari semula sedangkan ammonia sendirinya akan menguap menjadi gas dan dibuang begitu saja.

Sistim seperti di atas jika dilihat dari tujuannya yaitu pendinginan bekerja cukup memuaskan. Tetapi jika dilihat dari segi lain sangat tidak menguntungkan. Dengan hal-hal sebagai berikut:

- Gas ammonia yang terbuang tidak baik bagi kesehatan.
- Biaya refrigeran (ammonia) menjadi mahal karena selalu terbuang.
- Temperatur tidak bisa diatur.

Untuk mengatasi hal-hal tersebut kita harus dapat menggunakan refrigeran secara terus menerus. Agar refrigeran dapat digunakan secara

berulang-ulang zat tersebut harus dapat dicairkan kembali.

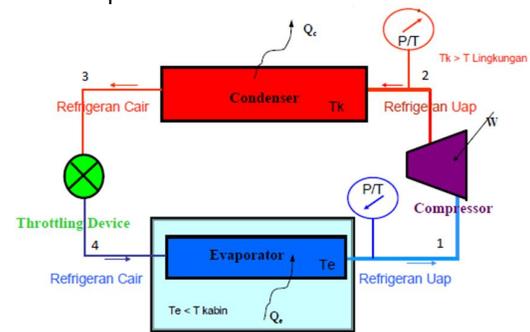
Berdasarkan sifat-sifat fisika zat cair di atas kita dapat mengembunkan kembali uap refrigeran pada temperatur berapa saja dengan mengatur tekanan dari uap tersebut. Selain mengatur tekanan, kita juga membutuhkan medium lain untuk menerima kalor laten yang dikeluarkan selama kondensasi. Medium yang biasa digunakan adalah air atau udara.

Dengan menerapkan fenomena ini dan menerapkannya pada mesin pendingin, kita akan mendapatkan mesin pendingin yang bisa menggunakan refrigeran secara berulang-ulang pada siklus yang tertutup.

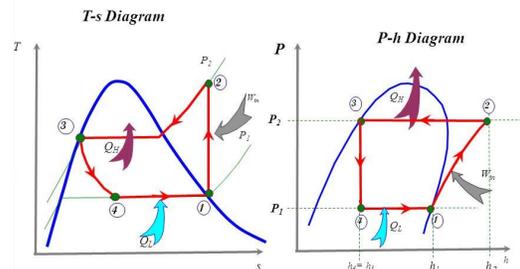
Mesin pendingin terdiri dari empat komponen utama:

1. Evaporator
2. Kompresor
3. Kondensor
4. Katup ekspansi

Rangkaian dari keempat komponen tersebut adalah seperti ini:



Gambar 2.2 Rangkaian komponen utama mesin pendingin



Gambar 2.3 Siklus refrigerasi

Keterangan:

1 – 2 : **Evaporator**

Disini terjadi penguapan refrigeran dari cairan menjadi gas (uap). Proses ini berlangsung secara isobar dan terjadi kenaikan enthalpi.

2 – 3 : **Kompresor**

Uap refrigeran dihisap oleh kompresor dan kemudian dimampatkan sampai mencapai tingkat tekanan dimana uap refrigeran itu mudah untuk diembunkan pada kondensor. Proser ini terjadi secara isentropik dengan kenaikan enthalpi.

3 – 4 : **Kondensor**

Terjadi pengembunan refrigeran di dalam kondensor. Dimana uap refrigeran berubah menjadi cairan pada proses isobar dengan penurunan enthalpi.

#### 4 – 1 : **Katup Ekspansi**

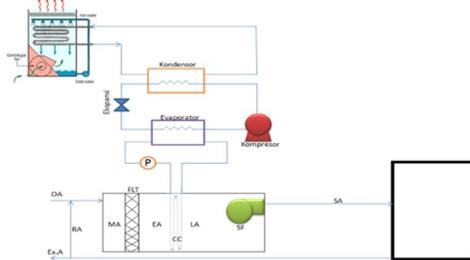
Terjadi proses penurunan tekanan dan temperatur dari refrigeran. Pada proses ini terjadi dalam keadaan isenthalpi.

### 2.2 Jenis – Jenis Sistem Pengkondisian Udara

Untuk mengatasi masalah yang telah disebutkan diatas. Maka digunakan mesin – mesin tata udara. Dalam aplikasi tata udara hunian (yang umum digunakan) dikenal 4 jenis sitem tata udara. Jenis sistem tata udara ini dibedakan berdasarkan cara pengambilan kalor dari dalam ruangan yang akan dikondisikan. Jenis – jenis tata udara tersebut yaitu:

#### A. Sistem udara penuh (*all air system*)

Sistem udara penuh adalah sistem pendinginan yang cara pengambilan kalor dari dalam ruangnya dilakukan oleh udara dingin sepenuhnya. Berdasarkan pada prinsip tersebut maka sistem ini menyuplaikan udara dingin keruangan melalui saluran udara. Karena yang disuplaikan keruangan adalah udara dingin maka sistem udara penuh membutuhkan alat untuk pengolahan udara. Alat pengolahan udara yang digunakan biasa dikenal dengan istilah Air Handling Unit (AHU). Air Handling Unit yang umum digunakan terdiri dari saluran udara masuk (return dan outside), filter, dan kipas untuk menghembuskan udara suplay dan juga koil pendingin yang berfungsi untuk mendinginkan udara yang akan didistribusikan.



Gambar 2.4 Siklus All Air System

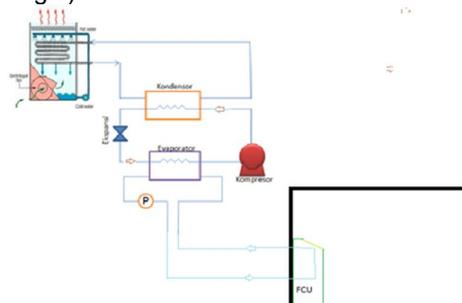
Sistem udara penuh memiliki siklus proses seperti gambar diatas. Di evaporator chiller, air akan didinginkan. Air yang telah dingin selanjutnya disirkulasikan ke AHU (cooling coil) melalui chilled water pump. Di cooling coil AHU air akan menyerap kalor dari udara yang akan didinginkan. Karena kalor dari udara telah diserap oleh air maka udara tersebut akan mengalami penurunan temperatur. Selain mengalami penurunan temperatur air juga akan mengalami penurunan kelembaban uap air (dehumidifikasi). Udara yang telah mengalami penurunan temperatur selanjutnya disirkulasikan ke ruangan

melalui saluran udara dengan bantuan suplai fan. Diruangan, udara yang disirkulasikan dari AHU akan menyerap kalor dari ruangan. Sebagian kalor ruangan yang diserap oleh udara dari AHU mengakibatkan temperatur di dalam ruangan akan mengalami penurunan. Untuk menjaga agar tekanan udara didalam ruangan tetap normal (sama dengan tekanan lingkungan) maka dibuat saluran udara balik (*return duct*).

#### B. Sistem air penuh (*all water system*)

Untuk sistem udara penuh mesin refrigerasi yang digunakan haruslah yang menghasilkan air dingin. Prinsip sistem tata udara air penuh (*all water system*) adalah pengambilan kalor dari dalam ruangan dilakukan sepenuhnya oleh air dingin (*chilled water*). Air dingin yang dihasilkan oleh refrigerator (*chiller*) kemudian disirkulasikan dengan menggunakan pipa dan pompa air dingin (*chilled water pump*). Untuk menjaga agar kebocoran kalor pada air dingin tidak terjadi selama pendistribusian maka pipa air dingin harus selalu diinsulasi.

Agar sirkulasi dan pengkondisian udara di ruangan maka dapat terjadi secara merata maka dibuatlah sebuah Fan Coil Unit (FCU). Alat ini merupakan sebuah unit pengolah udara sederhana yang terdiri dari kipas, koil (yang berisi air dingin) dan filter.



Gambar 2.5 Siklus All Water System

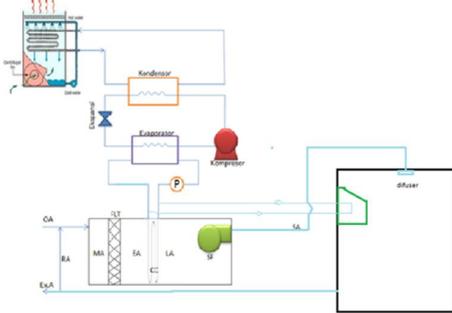
Dari gambar di atas terlihat bahwa sistem tidak memiliki AHU seperti pada sistem udara penuh. Air yang akan disirkulasikan didinginkan di evaporator chiller (*liquid cooler*). Setelah didinginkan di *liquid cooler* maka *chilled water pump* akan mendistribusikan air dingin keruangan melalui pipa air dingin yang telah dipasang.

Setelah air sampai di ruangan, maka air dingin akan menyerap kalor dari ruangan. Setelah mendinginkan udara selanjutnya air akan kembali lagi ke *liquid cooler* untuk didinginkan kembali. Begitulah selanjutnya siklus berlanjut.

#### C. Sistem udara-air (*air water system*)

*Air water system* merupakan gabungan dari *all air system* dan *all water system*. Prinsip dari *air water system* yaitu proses pengambilan kalor dari ruangan dilakukan oleh air dan udara. *Air water system* dimaksudkan untuk melengkapi dan menutupi kekurangan dari *all water system*.

Sistem ini mengalirkan sejumlah udara keruangan sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan pengambilan kalor dari ruangan dapat dilakukan oleh koil air dingin yang ada di Fan Coil Unit (all water system).



Gambar 2.6 Siklus Air Water System

Dari diagram di atas terlihat bahwa air dingin dari liquid cooler akan terbagi menjadi dua jalur. Jalur pertama air dingin akan menuju cooling coil yang ada di AHU. Dan jalur yang kedua yaitu air mengalir menuju FCU yang ada diruangan.

Di jalur pertama, air akan menyerap kalor dari udara yang akan didinginkan. Setelah udara di AHU mengalami penurunan temperatur udara ini akan didistribusikan ke ruangan yang akan dikondisikan. Dalam hal ini debit udara yang disalurkan ke ruangan tidak sebanyak debit udara suplai pada all air system. Sementara itu air dingin yang ada di FCU juga akan menyerap kalor dari ruangan. Dengan adanya FCU maka udara di ruangan akan menjadi dingin. Untuk menjaga kualitas udara segar dan mengurangi kelembaban udara ruangan kemudian ditambahkan juga udara dingin dari AHU ke ruangan.

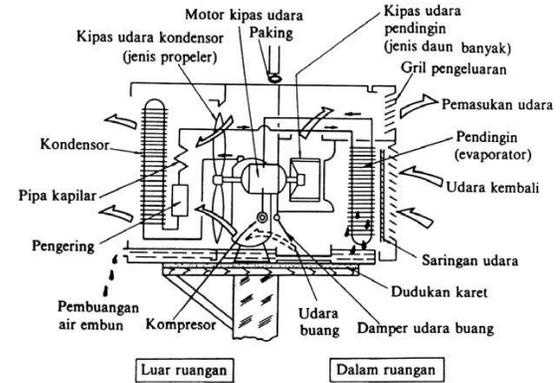
**D. Sistem refrigeran langsung (direct expansion)**

Prinsip kerja sistem refrigeran langsung atau dikenal dengan istilah direct expansion adalah pengambilan kalor dari ruangan dilakukan oleh refrigeran secara langsung. Sebagian besar sistem direct expansion hanya baik dan efektif digunakan untuk sistem dengan kapasitas yang kecil. Contoh aplikasi dari sistem direct expansion adalah pada AC split dan AC windows.

Kelebihan dari sistem direct expansion seperti AC split dan AC window adalah instalasi yang mudah, tidak membutuhkan tempat yang luas dan tidak membutuhkan komponen tambahan seperti AHU dan saluran udara (seperti pada all air system) ataupun FCU dan pipa air dingin (seperti pada all water system). Akan tetapi sistem direct expansion tidak dapat digunakan untuk jarak yang cukup jauh antara condensing unit dan evaporator.

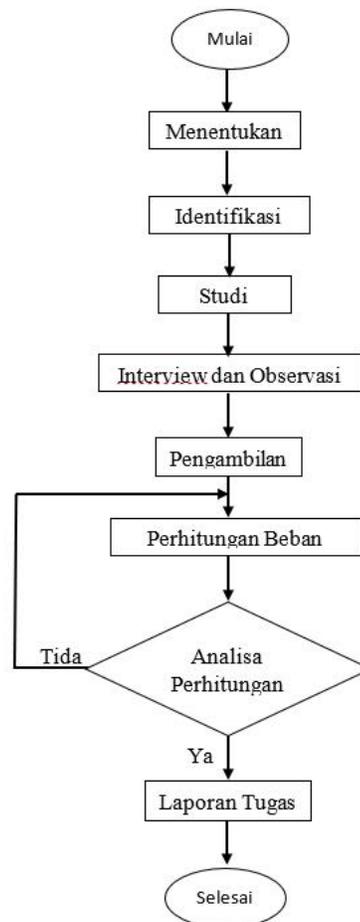
AC window terdiri dari indoor unit dan outdoor unit. Indoor unit terdiri evaporator yang dilengkapi dengan blower. Blower yang dipasang berfungsi untuk membatu proses perpindahan kalor.

Sedangkan outdoor unit terdiri dari kompresor, kondensor dan alat ekspansi. Akan tetapi AC window yang memiliki kapasitas yang cukup besar alat ekspansi yang digunakan disimpan dibagian di indoor unit. Gambar 2.7 adalah gambar dari satu unit AC window yang terdiri dari indoor unit dan outdoor unit.



Gambar 2.7 AC Window

**2. METODE PENELITIAN**



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber data terbagi menjadi 3 yaitu sumber data untuk temperature luar kereta dari BMKG,

data spesifikasi kereta dan AC kereta dari PT. Kereta Api Indonesia dan data temperature dalam kereta baik temperature penumpang, lantai, dinding dan tap dari pengambilan data sendiri.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Beban Sensibel

###### a. Beban luar

- Dinding
  - Radiasi: 757W
  - Konveksi – konduksi: 1250W
- Atap
  - Radiasi: 515W
  - konveksi – konduksi: 323 W
- Lantai
  - Radiasi: 3792W
  - konveksi – konduksi: 4037W
- Kaca
  - Radiasi: 2385 W
  - konveksi – konduksi: 567W
- Infiltrasi: 58 W
- Ventilasi: 5177W

###### b. Beban dalam

- Lampu: 1795 W
- Penumpang: 917 W

Subtotal *Room Sensibel Heat* (RSH) = 20973W

###### c. Perembesan panas dan kebocoran udara dari ducting

- 5 % dari beban sensibel: 1049 W

*Room Sensibel Heat* (RSH): 22022 W

###### d. Faktor pengamanan (5%): 1101 W

*Effective Room Sensibel Heat* (ERSH): 23123 W

##### 4.2 Beban Laten

###### a. Beban luar

- Infiltrasi: 65 W
- Ventilasi: 5753 W

###### b. Beban dalam

- Penumpang: 15280 W

Subtotal *Room Latent Heat* (RLH): 21098 W

###### c. Faktor pengamanan (5%): 1055W

*Effective Room Laten Heat* (ERLH): 22153W

##### 4.3 Beban Total

a. ERSH: 23123 W

b. ERLH: 22153W

Grand Total Heat (GTH): 45276 W

Dengan mengetahui bahwa 1 ton of refrigeration (TR) = 3819 W, maka kapasitas mesin pendingin adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas mesin pendingin} &= \text{GTH} \times 1 \text{ TR} \\ &= 45276/3819 \times 1 \text{ TR} \\ &= 11,85 \text{ TR} \end{aligned}$$

#### 5. KESIMPULAN

1. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi beban pendinginan pada kereta rel listrik, antara lain karena adanya proses konduksi, konveksi dan radiasi pada bagian dinding, atap, lantai dan kaca kereta. Selain itu juga penumpang, alat elektronik, ventilasi dan infiltrasi merupakan faktor yang mempengaruhi beban pendinginan.
2. Penumpang merupakan faktor terbesar yang mempengaruhi beban pendinginan pada kereta rel listrik.
3. Temperatur nyaman pada kereta rel listrik yaitu 22 °C – 26 °C.
4. Total beban pendinginan pada kereta rel listrik yaitu 45276 W, sedangkan kapasitas mesin pendinginan yaitu 48720 W. Maka mesin pendingin pada kereta rel listrik ini dipastikan mampu untuk mengatasi beban pendinginannya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. Fundamentals Handbook*, Atlanta; ASHRAE Inc. 1985.
- [2]. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers Fundamentals Handbook*, Atlanta; ASHRAE Inc. 1981.
- [3]. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. Fundamentals Handbook*, Atlanta; ASHRAE Inc. 1997.
- [4]. Arismunandar Wiranto: *Penyegaran Udara*. Pradya Paramitha, Jakarta, 1986.
- [5]. Fritz Dietzel: *Pompa dan Kompresor*. Terjemahan, Dakso Sriyono. Erlangga, Jakarta, 1990.
- [6]. Holman J.P. *Perpindahan Kalor*. Terjemahan, Jasjfi E. Erlangga, Jakarta, 1988.
- [7]. V.K. Jain: *Refrigerating and Air Conditioning*. New Delhi, 1981.
- [8]. W.F. Stoecker, J.W. Jones, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemahan, Hara Supratman. Erlangga, Jakarta, 1989.