

PEMBUATAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN BERBASIS TEORI FUZZY UNTUK MENGEMBANGKAN SUATU PRODUK BARU

Fitri Wulandari

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Suska, Pekanbaru

e-mail : fitri_wulandari@yahoo.com

ABSTRAK

Sistem pendukung keputusan dengan menggunakan teori fuzzy untuk mengembangkan suatu produk baru merupakan suatu sistem yang membantu para pembuat keputusan untuk menentukan jenis kendaraan yang akan diproduksi dari beberapa pilihan produk. Data yang sulit diketahui nilai kepastiannya seperti market yaitu permintaan, competitor, dan reseller, serta faktor keadaan sosial masyarakatnya yaitu usia, pekerjaan dan kondisi ekonomi merupakan kendala yang akan dipecahkan dalam penelitian ini.

Dengan menginputkan spesifikasi komponen sepeda motor maka model biaya dan alternatifnya dapat ditentukan. Selain faktor bahan baku, diperhitungkan juga upah kerja dan biaya overhead didalam perhitungan faktor biaya produksi. Faktor ekstern seperti market dan individual diproses menggunakan data fuzzy dan model fuzzy. Dari beberapa keuntungan pemodelan fuzzy, salah satunya adalah model fuzzy lebih mudah dimengerti, dibangun dan dimodifikasi. Pada akhirnya sistem ini akan menghasilkan informasi kepada pembuat keputusan mengenai estimasi biaya produksi dengan alternatifnya dan tingkat keputusan dari sistem apakah suatu produk baik atau layak untuk diproduksi dengan mempertimbangkan faktor biaya produksi, market dan individu.

Kata kunci : data fuzzy, ekonomi, sistem pendukung keputusan,

ABSTRACT

The decision support system based on fuzzy theory one of methods that helps the decision makers in making decision of which kind of vehicles will be produced. The data with uncertainties, such as market factor of demands, competitors, resellers, and the social situations of society, i. e., age, occupation and economical conditions represent obstacles study that will be solved in the research. Considering the component specifications of motorcycle as the input, such as machine components, frame components and electric motor system, the cost and its alternatives can be determined easily. The raw material, the labor wage and overhead are factors calculated for factor of production cost. The fuzzy data of external factor such as market, and individuals are processed using fuzzy method. One of the advantages of the fuzzy method is easier to understand, to formulate and to modify. Finally, the system will provide the decision maker with the production cost estimation and its alternatives and the decision level of the system whether a product is feasible to produced by considering of production cost, market and individual factors, or not.

Key words : decision support system, fuzzy data, economic

PENDAHULUAN

Setiap orang sering dihadapkan pada suatu keadaan dimana ia harus memutuskan untuk memilih satu dari beberapa pilihan yang ada. Dalam membuat keputusan pilihan mana yang menjadi terbaik diperlukan data dan informasi. Namun data dan informasi yang

diperlukan terkadang sulit untuk diukur nilai kepastiannya.

Dalam penelitian ini diambil suatu contoh pengambilan suatu keputusan tentang produksi sepeda motor. Dalam pengambilan keputusan, terkadang pihak manajemen dihadapkan pada permasalahan data-data dan informasi yang belum pasti nilai dan ukurannya, baik data internal maupun

eksternalnya. Salah satu contohnya adalah penentuan berapa biaya tepatnya untuk memproduksi sepeda motor jenis A dan bagaimana pangsa pasarnya, yang dalam hal ini tentu harus dilihat juga factor market dan individualnya.

Dengan memanfaatkan teori fuzzy terutama untuk menentukan batasan dari beberapa komponen yang menentukan factor pengambil keputusan akan dibangun suatu system pendukung keputusan untuk mengembangkan suatu produk baru.

Salah satu karakteristik dari sistem pendukung keputusan adalah mendukung semua fase dalam pembuatan keputusan yaitu *intelligence, design, choice* dan *implementation*. Adanya sistem ini memberi dampak menaikkan efektifitas dalam pembuatan keputusan, baik dari segi ketepatan, waktu maupun kualitas, dan bukan pada biaya pembuatan keputusan atau biaya pemakaian waktu komputer.

Disamping itu, sistem ini menggunakan model untuk menganalisa keadaan-keadaan keputusan. Kemampuan modelling memungkinkan untuk bereksperimen dengan strategi yang berbeda-beda dan konfigurasi yang berbeda pula.

Sistem pembuat keputusan mempunyai komponen yang terbagi dalam 4 subsistem, yaitu (Turban, 1995):

1. Management data : meliputi basis data yang berisi data-data yang relevan dengan keadaan dan dikelola oleh DBMS (database management system)
2. Manajemen Model : merupakan paket software yang berisi model-model seperti financial, statistik, manajemen science, atau model kuantitatif, yang menyediakan kemampuan analisa dan manajemen software yang cocok.
3. Subsistem dialog : user dapat berkomunikasi dan memberi perintah melalui subsistem ini.
4. Manajemen *Knowledge* : merupakan subsistem pilihan (optional) yang dapat mendukung subsistem lain atau berlaku sebagai komponen yang *independent*.

BAHAN DAN METODE

Logika fuzzy berbeda dengan logika digital biasa, dimana logika digital biasa hanya mengenal dua keadaan yaitu: Ya dan Tidak atau ON dan OFF atau High dan Low atau "1" dan "0". Sedangkan Logika Fuzzy meniru cara berpikir manusia dengan menggunakan konsep sifat kesamaran suatu nilai. Dengan teori himpunan fuzzy, suatu objek dapat menjadi anggota dari banyak himpunan dengan derajat keanggotaan yang berbeda dalam masing-masing himpunan.

Fungsi Keanggotaan (*membership function*)

Fungsi keanggotaan adalah kurva yang mendefinisikan bagaimana masing-masing titik dalam ruang input dipetakan ke dalam nilai keanggotaan (derajat keanggotaan antara 0 dan 1). Apabila U menyatakan himpunan universal dan A adalah himpunan fungsi fuzzy dalam U, maka A dapat dinyatakan sebagai pasangan terurut sebagai berikut (Wang, 1997) :

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in U \}$$

dengan $\mu_A(x)$ adalah fungsi keanggotaan yang memberikan nilai derajat keanggotaan x terhadap himpunan fuzzy A. yaitu :

$$\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$$

Operasi pada himpunan fuzzy

Dalam himpunan fuzzy terdapat beberapa fungsi keanggotaan himpunan fuzzy baru yang dihasilkan dari operasi dasar himpunan fuzzy yaitu :

$$\text{Intersection: } A \cap B = \min(\mu_A[x], \mu_B[y])$$

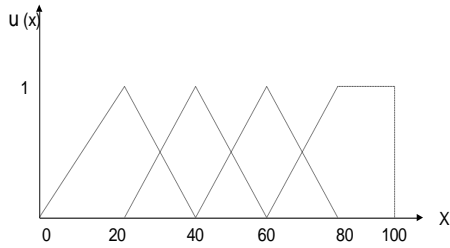
$$\text{Union: } A \cup B = \max(\mu_A[x], \mu_B[y])$$

$$\text{Complement: } \sim A = 1 - \mu_A[x]$$

Variabel linguistik

Variabel linguistik adalah sebuah variabel yang memiliki nilai berupa kata-kata dalam bahasa alamiah (Wang, 1997). Setiap variabel linguistik berkaitan dengan sebuah fungsi keanggotaan. Sebagai contoh pengontrolan temperatur dapat dinyatakan sebagai variabel linguistik yang memiliki nilai-nilai linguistik seperti rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi dengan fungsi keanggotaan untuk semua

temperatur diantara 10 dan 100 seperti ditunjukkan dalam gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. fungsi keanggotaan diantara 0 sampai dengan 100

Proses inferensi

Proses penarikan kesimpulan dengan menggunakan logika fuzzy dinamakan inferensi fuzzy. Logika fuzzy menggunakan himpunan fuzzy dalam merepresentasikan dan memanipulasi informasi yang samar (tidak jelas) untuk keperluan penarikan kesimpulan.

Dalam merepresentasikan basis pengetahuan (*knowledge base*), digunakan aturan-aturan (*rules*) IF THEN yang terdiri dari dua proposisi yang dinamakan premis (*antecedent*) dan kesimpulan (*consequent*) (Wang, 1997).

Menurut Klir dan Bo (1995) proposisi fuzzy memiliki derajat kebenaran yang dinyatakan oleh suatu bilangan dalam interval $[0,1]$, dimana nilai 1 menyatakan benar dan nilai 0 menyatakan salah. Semua bagian dari premis dihitung secara simultan dan diselesaikan untuk sebuah nilai tunggal dengan menggunakan operator fuzzy dalam himpunan fuzzy. Secara khusus, basis aturan fuzzy terdiri dari aturan-aturan IF-THEN fuzzy berikut :

R_i : IF x_1 is A_{1i} and x_2 is A_{2i} .. and x_n is A_{ni}
THEN y is B_i (1) Dimana R_i ($1 \leq i \leq m$) adalah aturan ke- i , x_j ($1 \leq j \leq n$) adalah variabel input, y adalah variabel output, A_{ji} adalah himpunan fuzzy untuk variabel input ke j dalam aturan ke i , dan B_i adalah himpunan fuzzy untuk variabel output dalam aturan ke i . Aturan dalam persamaan 1 dapat ditulis sebagai

R_i :IF X is A_i THEN y is B_i

dimana :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$$

Fuzzifikasi

Dalam fuzzifikasi, system input (crisp) dari system fuzzy ditransfer ke dalam himpunan fuzzy untuk dapat digunakan dalam perhitungan nilai kebenaran dari premis pada setiap aturan dalam basis pengetahuan. Tahap ini mengambil nilai-nilai crisp untuk menentukan derajatnya. Selanjutnya nilai kebenaran dari premis dapat dihitung berdasarkan fungsi keanggotaannya. Bila terdapat lebih dari satu proposisi maka premis dari aturan dapat dihubungkan dengan operasi konjungsi (AND) dan disjungsi (OR).

Inferensi

Inferensi diimplementasikan untuk masing-masing aturan dalam basis pengetahuan. Input untuk proses inferensi adalah nilai yang diberikan oleh premis, dan outputnya adalah suatu himpunan fuzzy. Metode yang biasa digunakan dalam proses inferensi adalah *min* dan *product* (Havinga et al, 1999). Dalam metode inferensi *min*, fungsi keanggotaan output dipotong pada ketinggian fungsi yang disesuaikan dengan nilai kebenaran dari premis, sedangkan pada metode inferensi *product* fungsi keanggotaan output diberi skala sesuai dengan nilai kebenaran dari premis.

Komposisi

Komposisi adalah proses dimana himpunan fuzzy yang menyatakan output dari setiap aturan dikombinasikan bersama ke dalam sebuah himpunan fuzzy. Metode komposisi yang umum digunakan adalah *max* (*maximum*) dan *sum*. Dalam komposisi *max*, himpunan fuzzy untuk output ditentukan dengan mengambil titik maksimum dari semua himpunan fuzzy yang dihasilkan oleh proses inferensi untuk masing-masing aturan. Dalam komposisi *sum*, himpunan fuzzy untuk output ditentukan dengan mengambil penjumlahan titik dari semua himpunan fuzzy yang dihasilkan oleh proses inferensi untuk masing-masing aturan.

Defuzzifikasi

Ada beberapa teknik defuzzifikasi, namun yang umum digunakan adalah center average defuzzifier (Wang,1997). Metode ini menggunakan nilai pusat (center) dan tingginya (height) dari himpunan fuzzy untuk menentukan hasil nilai crisp. Pusat dari suatu himpunan fuzzy adalah jika nilai titik tengah dari semua titik dimana fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy mencapai nilai maksimumnya adalah berhingga. Jika nilai titik tengah adalah bilangan positif (negatif) tak berhingga, maka pusat didefinisikan sebagai nilai terkecil (terbesar) diantara semua titik yang mencapai nilai keanggotaan maksimum (Wang,1997). Gambar 2.4 menunjukkan pusat dari beberapa himpunan fuzzy. Tinggi dari suatu himpunan fuzzy adalah nilai keanggotaan terbesar yang dicapai oleh suatu titik. Jika tinggi dari himpunan fuzzy adalah 1, maka himpunan fuzzy tersebut dikatakan himpunan fuzzy normal.

Secara khusus, misalkan y^{-p} adalah pusat dari himpunan fuzzy ke $-p$ dan h_p adalah tingginya, *center average defuzzier* menentukan y^* sebagai

$$y^* = \frac{\sum_{p=1}^M y^{-p} h_p}{\sum_{p=1}^M h_p}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Subsystem Model

Subsystem model yang dirancang menyajikan proses perhitungan biaya produksi sebagai berikut :

1. biaya bahan baku

$$B_{bahan} = \sum_{x=1}^n B_{bahanx} + \sum_{y=1}^n B_{bahany} + \sum_{z=1}^n B_{bahanz}$$

2. biaya overhead

$$B_{overhead} = \sum_{m=1}^v (r_m * t_m)$$

3. biaya tenaga kerja

$$B_{upah} = \sum_{m=1}^v (p_m * z_m * t_m)$$

4. biaya produksi sebelum memperhitungkan factor risiko
 $B_{produksi} = B_{bahan} + B_{upah} + B_{overhead} + \text{overhead material}$
5. biaya produksi dengan memperhitungkan factor risiko
 $B_{prisk} = B_{produksi} + r$
 $B_{prisk2} = B_{prisk} + p$
6. biaya produksi Netto setelah ppn
 $B_{pnet} = B_{prisk2} + ppn$

Keterangan :

- Bbahan = biaya bahan
- Boverhead = biaya overhead
- rm = biaya overhead setiap mesin m/jam
- tm = total waktu pengerjaan di mesin m
- Bupah = biaya tenaga kerja
- zm = tingkat kesulitan pengerjaan di mesin m
- Bproduksi = biaya produksi sebelum memperhitungkan factor risiko
- Bprisk = biaya produksi dengan memperhitungkan factor risiko
- Bpnet = biaya produksi Netto setelah ppn

1. Market (pasar), terdiri dari permintaan, competitor, dan reseller. Kelompok permintaan dibagi berdasarkan banyaknya permintaan terhadap jenis kendaraan yang sama dalam kurun waktu bulanan. Faktor competitor dievaluasi berdasarkan jarak antara satu perusahaan dengan perusahaan lainnya. Dan factor reseller dikelompokkan berdasarkan banyaknya barang yang berhasil dijual.
2. Individu, terdiri dari usia, pekerjaan, dan kondisi ekonomi. Faktor usia yang diperhitungkan adalah usia dewasa karena pada usia inilah ditujukan konsumen pengguna produk ini. Faktor pekerjaan diperhitungkan untuk pekerja kelas menengah. Dan factor keadaan ekonomik dilihat pendapatan perbulannya.

A. Proses Fuzzifikasi

Dari pengelompokkan nilai-nilai berdasarkan spesifikasi masing-masing terlihat adanya gradasi pengelompokkan yang kurang baik. Untuk membuat gradasi yang lebih baik maka nilai setiap kelompok diberi jarak yang

overlap. Nilai overlap ini diperoleh dengan cara memperlebar jarak (range) dari nilai awalnya, dimana besarnya tergantung dari spesifikasi karakteristik masing-masing kelompok. Berikut ini diberikan nilai overlap untuk masing-masing kategori :

Tabel 1. tingkat overlap masing-masing spesifikasi

No	Spesifikasi	Tingkat overlap
1	Biaya produksi Bahan baku Upah karyawan Overhead	0.3 juta 0.2 juta 50
2	Market Permintaan Competitor Reseller	5 satuan 5 km 5 %
3	Faktor Pribadi Usia Pekerjaan Ekonomik	3 % 3 % 0.3 juta

Untuk spesifikasi bahan baku, berikut ini diberikan interval berdasarkan kelompoknya masing-masing :

Tabel 2. Data tentang biaya produksi dengan menggunakan overlap

No	Spesifikasi	Kelompok	Interval
1	Bahan baku	Murah Sedang Agak mahal Mahal Sangat mahal	< 3.7 3.7 – 5.3 4.7 – 6,8 6.2 – 7,8 > 7.6
2	Upah karyawan	Rendah Sedang Agak tinggi Tinggi Sangat tinggi	< 1 0.8 – 1.7 1.3 – 2.2 1.8 – 2.7 > 2.3
3	overhead	Kecil Sedang Agak tinggi Tinggi Sangat tinggi	< 550 450 – 850 750 – 1150 1050 – 1550 > 1450

Untuk menentukan tingkat keputusan maka digunakan suatu metode pembatas. Hubungan antara tingkat pembatas dengan pengelompokan nilai diatas untuk faktor biaya produksi diberikan dalam tabel 3

Tabel 3. Tabel keputusan tingkat pembatas untuk faktor biaya produksi

Karakteris Tik	Nilai Linguis Tik	Tingkat pembatas			
		SB	B	AB	TB
Bahan baku	Murah	√			
	Sedang		√		
	Agak mahal			√	
	Mahal				√
	Sangat mahal				√
Upah karya wan	Rendah	√			
	Sedang		√		
	Agak tinggi			√	
	Tinggi				√
	Sangat tinggi				√
Overhead	Kecil	√			
	Sedang		√		
	Agak tinggi			√	
	Tinggi				√
	Sangat tinggi				√

Masing-masing tingkat pembatas diberi rating seperti dinyatakan dalam table 4

Table 4. Tingkat pembatas dan ratingnya

Tingkat pembatas	Rating
Sangat baik	100 – 85
Baik	85 - 60
Sedang	60 - 40
Tidak baik	40 - 0

Metode pembatas digunakan untuk menentukan kelas kesesuaian keputusan berdasarkan banyaknya pembatas dan intensitasnya. Berikut ini diberikan kriteria yang menentukan kelas kesesuaian keputusan yang berhubungan dengan biaya produksi

Tabel 5. Tabel Kelas Kesesuaian

Keputusan	Kriteria
Sangat baik	Faktor produksi memiliki minimal 2 pembatas sangat baik dan/atau 1 pembatas baik
Baik	Faktor produksi memiliki minimal 2 pembatas baik dan/ atau 1 pembatas agak baik
Agak baik	Faktor produksi memiliki minimal 2 pembatas agak baik dan/ atau 1 pembatas tidak baik
Tidak baik	Faktor produksi memiliki minimal 2 pembatas tidak baik

Untuk menentukan keputusan mengenai jenis produksi kendaraan sepeda motor, terdapat 4 tingkatan keputusan. Kriteria untuk penentuan keputusan tersebut diberikan dalam tabel 6 berikut ini :

Tabel 6. Tabel Kriteria tingkat keputusan

Keputusan	Kriteria
Sangat baik	Faktor produksi memiliki minimal 2 pembatas sangat baik dan/atau 1 pembatas baik
Baik	Faktor produksi memiliki minimal 2 pembatas baik dan/ atau 1 pembatas agak baik
Agak baik	Faktor produksi memiliki minimal 2 pembatas agak baik dan/ atau 1 pembatas tidak baik
Tidak baik	Faktor produksi memiliki minimal 2 pembatas tidak baik

B. Proses Inferensi

Secara garis besar, proses penentuan tingkat keputusan dilakukan melalui 2 tahap. Tahap pertama yaitu proses inferensi yang dilakukan untuk menentukan tingkat pembatas dan tahap kedua dilakukan untuk menentukan tingkat keputusan.

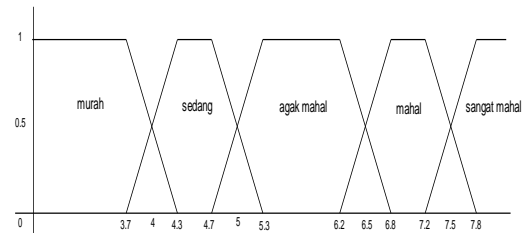
Dalam inferensi tahap I, input merupakan suatu informasi mengenai nilai linguistik faktor pendukung produksi untuk menentukan kesimpulan mengenai tingkat pembatas. Dan dalam inferensi tahap II, input merupakan informasi tentang tingkat pembatas untuk mendapatkan kesimpulan mengenai tingkat keputusan.

B.1 Inferensi tahap I

Dalam inferensi tahap I, tingkat pembatas disimpulkan dari nilai karakteristik faktor pendukung produksi yang diinputkan. Tahapan dari proses inferensi adalah fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi.

B.1.1 Fuzzifikasi

Fungsi keanggotaan untuk setiap kelompok faktor pendukung produksi adalah berbentuk trapezium. Berikut ini adalah fungsi keanggotaan untuk faktor biaya produksi yaitu bahan baku.



Gambar 2. fungsi keanggotaan kelompok bahan baku

Persamaan fungsi keanggotaan dari kelompok bahan baku adalah sebagai berikut :

$$\mu_{murah}(bb) = \begin{cases} 1, & \text{jika } bb \leq 3.7 \\ \frac{4.1-bb}{0.4}, & \text{jika } 3.7 < bb \leq 4.3 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

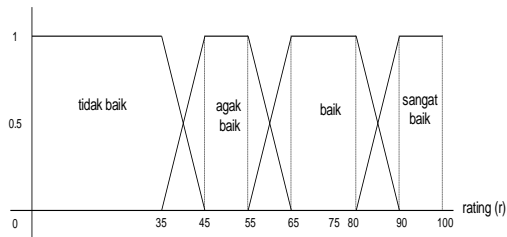
$$\mu_{sedang}(bb) = \begin{cases} 1, & \text{jika } 4.3 < bb \leq 4.7 \\ \frac{bb-3.7}{0.4}, & \text{jika } 3.7 < bb \leq 4.3 \\ \frac{0.2}{5.3-bb}, & \text{jika } 4.7 < bb \leq 5.3 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

$$\mu_{agak_mahal}(bb) = \begin{cases} 1, & \text{jika } 5.3 < bb \leq 6.2 \\ \frac{bb-4.7}{1.5}, & \text{jika } 4.7 < bb \leq 5.3 \\ \frac{0.2}{6.8-bb}, & \text{jika } 6.2 < bb \leq 6.8 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

$$\mu_{mahal}(bb) = \begin{cases} 1, & \text{jika } 6.8 < bb \leq 7.2 \\ \frac{bb-6.2}{0.4}, & \text{jika } 6.2 < bb \leq 6.8 \\ \frac{0.2}{7.8-bb}, & \text{jika } 7.2 < bb \leq 7.8 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

$$\mu_{sangat_mahal}(bb) = \begin{cases} 1, & \text{jika } bb > 7.8 \\ \frac{bb-7.2}{0.6}, & \text{jika } 7.2 < bb \leq 7.8 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan untuk tingkat pembatas ditentukan oleh ratingnya (r) dengan tingkat overlap 5. Bentuk umumnya dapat dilihat dalam gambar 3 berikut ini :



Gambar 3. Fungsi keanggotaan untuk tingkat pembatas ditentukan

Bentuk persamaan untuk tingkat pembatas adalah sebagai berikut :

$$\mu_{tidak_baik}(r) = \begin{cases} 1, & \text{jika } r \leq 35 \\ \frac{45-r}{10}, & \text{jika } 35 < r \leq 45 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

$$\mu_{agakbaik}(r) = \begin{cases} 1, & \text{jika } 45 < r \leq 55 \\ \frac{r-35}{20}, & \text{jika } 35 < r \leq 45 \\ \frac{10}{65-r}, & \text{jika } 55 < r \leq 65 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

$$\mu_{baik}(r) = \begin{cases} 1, & \text{jika } 65 < r \leq 80 \\ \frac{r-55}{25}, & \text{jika } 55 < r \leq 65 \\ \frac{10}{90-r}, & \text{jika } 80 < r \leq 90 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

$$\mu_{sangatbaik}(r) = \begin{cases} 1, & \text{jika } 90 < r \leq 100 \\ \frac{r-80}{20}, & \text{jika } 80 < r \leq 90 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$$

Setiap kelompok tingkat pembatas mempunyai nilai pusat (center) seperti diberikan dalam table 7 dibawah ini :

Tabel 7 Nilai pusat dari tingkat pembatas

Tingkat pembatas	Nilai pusat
Sangat baik	90
Baik	72.5
Agak baik	50
Tidak baik	35

B.1.2 Inferensi min

Pada proses inferensi min output diperoleh dari fungsi keanggotaan tingkat pembatas melalui aturan-aturan yang terpicu yang dipotong pada ketinggian

yang disesuaikan dengan nilai kebenaran premis dari aturan – aturan tersebut. Nilai kebenaran diperoleh dengan menggunakan operator min

B.1.3 Defuzzifikasi

Himpunan fuzzy yang dihasilkan dari proses komposisi, dikonversi ke dalam bentuk crisp dengan menggunakan metode *center average defuzzier*.

C. Inferensi Tahap II

Inferensi tahap dua dilakukan untuk menentukan tingkat keputusan. Sebagai Input adalah nilai dari inferensi tahap I. Dari proses inferensi tahap I, kemungkinan terdapat pembatas yang memiliki dua tingkat pembatas, maka tingkat pembatas yang digunakan dalam inferensi tahap II adalah tingkat pembatas yang memiliki rating dengan derajat keanggotaan lebih besar atau sama dengan 0.5

Untuk menjelaskan hasil implementasi, maka program diuji dengan menggunakan contoh data input sebagai berikut :

Data input yang berhubungan dengan Rangka :

- Type Rangka: Pipa_BlackBone
- Ban depan: B 80/90-17_44P
- Ban belakang: B 70/90-17_38P
- Rem depan: Teromol
- Rem belakang: Teromol

Data input yang berhubungan dengan Sistem elektrik :

- Type Pengapian: DC-CDI
- Busi : C7HSA/U22FS_U
- Baterai : 12_Volt,5AH

Data input yang berhubungan dengan Market :

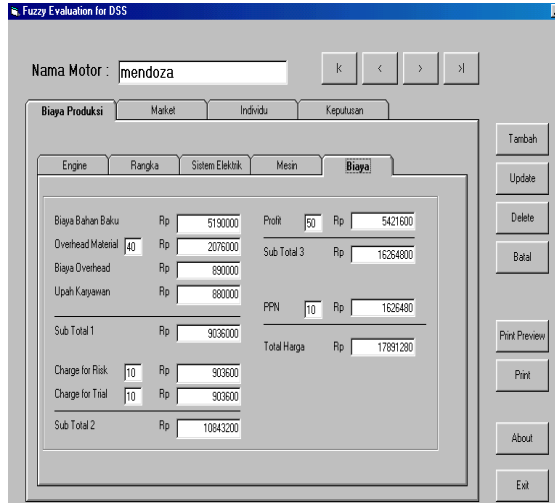
- Permintaan: 100 satuan
- Competitor: 76 km
- Reseller: 36 %

Data input yang berhubungan dengan Individu

- Usia : 60.5 %
- Pekerjaan: 73 %
- Kondisi ekonomi: 3.55 juta

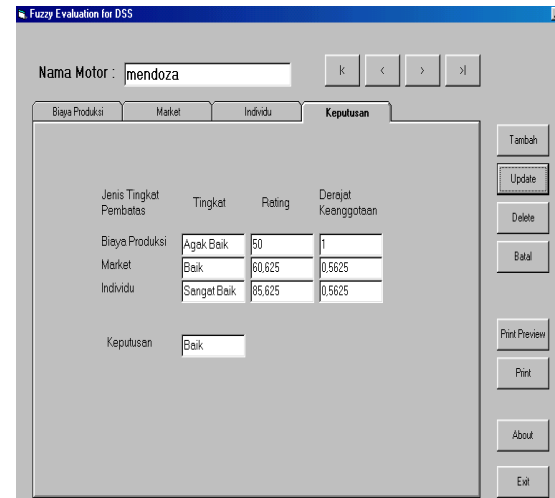
Output program :

- Biaya produksi yang yang terdiri dari sub total1, sub total2, sub total3 dan total harga diberikan pada gambar 4



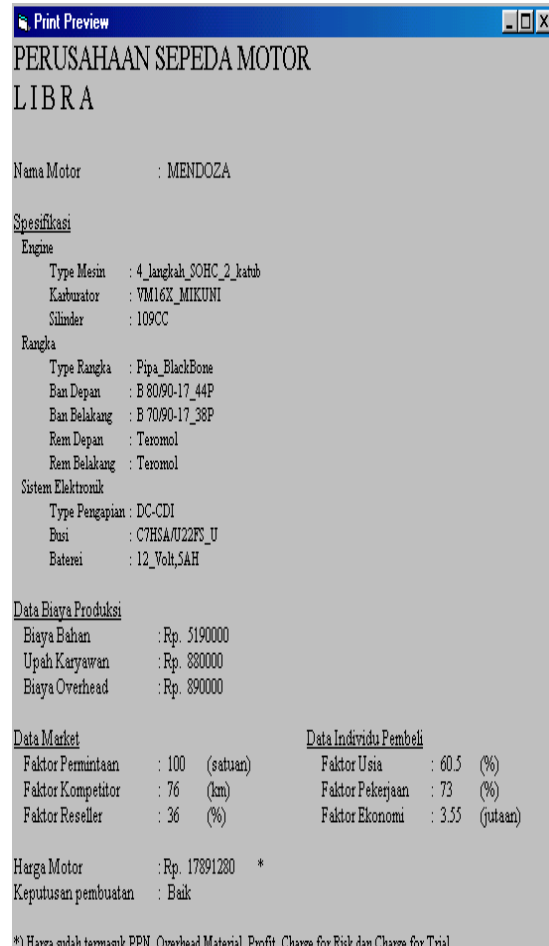
Gambar 4. Output Biaya Produksi

- Tingkat pembatas yang berhubungan dengan biaya produksi, market dan individu diberikan dalam gambar 5



Gambar 5. Output Tingkat Keputusan

- Tingkat keputusan untuk kendaraan baik Keseluruhan mengenai spesifikasi tentang kendaraan Mendoza dapat dilihat pada print preview yang diberikan pada gambar 6



Gambar 6. Output Print Preview

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem pendukung keputusan dengan menggunakan teori fuzzy untuk mengembangkan produk baru dapat membantu para pembuat keputusan menentukan jenis kendaraan dengan spesifikasi dan estimasi biayanya.
2. Dalam penelitian ini diambil contoh kasus adalah produksi sepeda motor. Karakteristik yang dievaluasi dalam menentukan tingkat keputusan adalah biaya produksi, market dan individu. Semakin murah biaya produksi maka tingkat pembatas adalah semakin baik Permintaan dan reseller yang tinggi serta competitor yang kecil memberi dampak

pada market yang baik. Sedangkan untuk pembatas individu semakin tinggi usia dewasa, pekerja kelas menengah dan kondisi ekonomik maka pembatas individu akan semakin baik.

3. Hasil dari rating pembatas digunakan untuk menentukan tingkat pembatas yang menghasilkan tingkat keputusan yaitu sangat baik, baik, agak baik dan tidak baik

Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dalam hal :

1. Untuk meningkatkan nilai tambah system ini, dapat ditambahkan fasilitas baru yaitu menghitung optimasi dari jumlah kendaraan yang dibuat dengan modal yang dimiliki perusahaan.
2. Menambah fasilitas untuk menghitung waktu pembuatan kendaraan sehingga akan diketahui jadwal produksi dan jadwal peluncuran produk.
3. Penggunaan mesin inferensi selain inferensi min dan inferensi product untuk mencari output fungsi keanggotaan dari setiap aturan yang terpicu.

DAFTAR PUSTAKA

Havinga H.N.J, van der veer P., Browser, . Cser., 1999, "Fuzzy Logic", *Technical Report faculty of Civil Engineering and Geosciences*, Delft University of Technology, Netherlands

Klir, G. J & Y. Bo., 1995, *Fuzzy Set and Fuzzy Logic : Theory and Application*. Prentice-Hall International, Inc, New Jersey

Turban, E. 2000. *Decision Support and Expert System : Management Support System*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.

Wan, L. 1997. *A course in Fuzzy System Control*. Prentice-Hall International, Inc., New Jersey

ANALISIS DATA REPORT TELEPON GAGAL DI PT.TELKOM KANDATEL RIAU DARATAN

Okfalisa

Jurusan Teknik Informatika , Fakultas Sains dan Teknologi , UIN Suska Pekanbaru Riau
Email : okfalisa_st@yahoo.com

ABSTRAK

Sentral Komunikasi PT. Telkom Di Kandatel Riau Daratan Pekanbaru telah merecord kendala terjadinya kesalahan komunikasi telepon. Penyebab telepon gagal dapat terjadi pada calling party/called party dan sistem signaling. Pada penelitian ini untuk mengetahui penyebab telepon gagal telah dilakukan pengolahan data primer dari sentral untuk telepon gagal pada tanggal 5 Juli 2001 dengan durasi 09:50:10 - 09:55:34. Data tersebut diterjemahkan dengan cara mengkonversikan data sistem oktaf ke biner merujuk dari sistem CCS7 ITU-T Q.763 sesuai dengan format ISUP untuk masing-masing message type. Analisa data dilakukan secara kualitatif untuk menentukan penyebab dan solusi telepon gagal tersebut.

Kata Kunci : CCS7 ITU-T, Kandatel Riau daratan, Telepon gagal.

ABSTRACT

PT. Telkom Kandatel Riau Daratan as a Central of Communication in Pekanbaru has been redorded misconnection of telephone. It might be cause of calling party/called party and signalling system in telecommunication. The paper presents what caused the failed telephone by konvert data primary at central data on 5th July 2001 with duration from 09:50:10 – 09:55:34. The data was tranleted by konvert the oktaf data system to biner base on CCS7 ITU-T Q.763 as a format of ISUP. Analytical has been done to know the real cause problem and how to solve the failed telephone from the simulation konverter.

Keyword : CCS7 ITU-T, Failed Telephone, Kandatel Riau daratan,

PENDAHULUAN

Perkembangan sarana komunikasi dan penggunaan fasilitas telepon sangat pesat pada 20 tahun terakhir ini. Secara kualitatif telepon berkembang dari jenis wire, wireless dan melalui jaringan internet. Secara kuantitatif jumlah pemakaian telepon dan telepon selular sudah dirasakan tidak lagi oleh kalangan bisnis, akademis, kantor ataupun swasta, tapi juga bagi masyarakat umum dan pedesaan, demikian pula

dengan waktu yang tersedia maka pelayanan pun harus 24 jam.

Seiring dengan perkembangan kualitatif dan kuantitatif tersebut untuk kepuasan pelanggan (*customer satisfaction*) maka pelayanan telepon (*telephone service*) harus ditingkatkan pula. Pelayanan pelanggan telepon menyangkut kendala hubungan komunikasi telepon dapat terjadi dalam beberapa hal, diantaranya komunikasi tidak terjadi dan telepon yang dituju tidak berdering.

Terjadinya kesalahan-kesalahan dalam pemberian layanan telepon di PT.Telkom Riau Daratan, dibuktikan dari report data sentral tentang kegagalan telepon. Kejadian ini sangat tidak menguntungkan, merugikan pihak PT.Telkom Riau Daratan dan masyarakat sebagai pemakai fasilitas layanan, serta penggunaan CCS7 sebagai signaling yang digunakan di PT.Telkom Riau Daratan mempengaruhi tingkat layanan dan kegagalan yang ditimbulkan. Untuk itu perlu diketahui penyebab kesalahan-kesalahan yang terjadi, menganalisa penyebab kegagalan, dan solusi yang memungkinkan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Dalam melakukan komunikasi melalui telepon, pihak calling party (penelepon) sering mengalami kegagalan komunikasi dengan called party (yang ditelepon). Hal ini ditandai dengan informasi (tone) nada sibuk, tanpa sinyal (tidak ada tone), atau informasi tidak terhubung (ada suara lain, misalnya suara pengganti). Di PT.Telkom Kandatel Riau Daratan kegagalan komunikasi tersebut telah ter-record namun belum diketahui penyebab dan solusi penanganannya.

Untuk itu permasalahan dalam penelitian ini mengkaji informasi sentral report data telepon gagal. Dari data tersebut akan ditinjau penyebab kegagalan telepon, apakah karena sistem signaling yang tidak benar atau karena faktor calling party / called party atau kedua-duanya.

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi dalam bentuk studi kasus memuat :

1. Informasi data sentral tentang report telepon gagal diperoleh dari PT.Telkom Kandatel Riau Daratan, pada tanggal 5 Juli 2001, dengan durasi 09:50:10 - 09:55:34. Tiap data saling lepas dan dibatasi oleh *starting time* dan *ending time*.
2. Sistem Signaling yang digunakan oleh PT.Telkom Kandatel Riau Daratan adalah CCS7.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menerjemahkan report data telepon gagal yang diperoleh dari sentral PT.Telkom Kandatel Riau Daratan.
2. Menganalisis penyebab kegagalan, serta menyelesaikan kegagalan telepon sehingga dapat memberikan informasi kepada pihak teknisi dan managerial

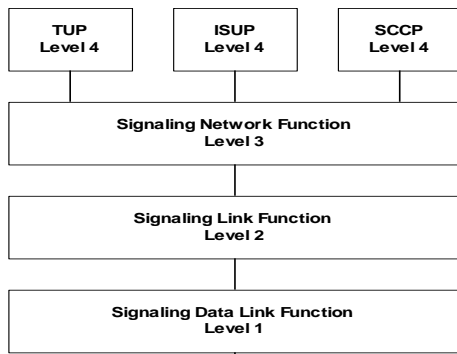
Pensinyalan CCS7 secara umum

Sistem signaling antar sentral mengikuti aturan yang sudah baku untuk mentransfer informasi yang digunakan untuk penyambungan antar sentral. Sinyal-sinyal elektrik diperlukan untuk penyambungan hubungan tersebut, termasuk diantaranya adalah line signal dan register signal, ada juga audible signal seperti ringing tone, bussy tone yang harus dikirim ke pemanggil untuk melengkapi penyambungan hubungan.

Konsep Layering pada CCS7

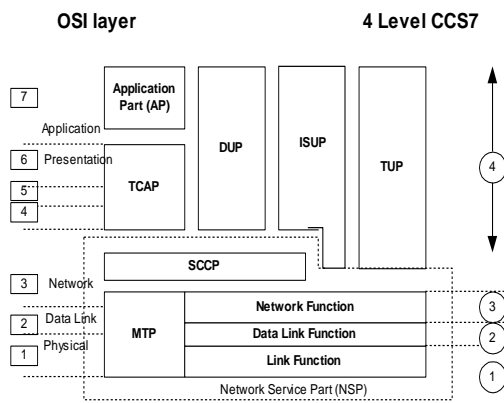
1. Struktur 4-Level CCS7

- ◆ Level 1
Mendefinisikan karakteristik fisik, listrik dan fungsional dari link .
- ◆ Level 2
Mendefinisikan fungsi dan prosedur untuk mengirim signal informasi dalam link pensinyalan .
- ◆ Level 3
Secara umum mendefinisikan fungsi-fungsi signal informasi secara langsung dalam network signaling (tergantung dari kondisi jaringannya).
- ◆ Level 4
Level 4 merupakan user part yang berfungsi untuk mendefinisikan arti dan urutan dari message (pesan) yang disalurkan melalui level 1,2,3 untuk user yang berbeda. User part dibedakan berdasarkan format message dan prosedurnya.



Gambar 1. Struktur 4 level CCS 7

Objek utama struktur 7 lapisan OSI pada CCS 7 adalah penerapan hubungan non circuit related seperti komunikasi data antar prosesor. Tujuan dari konsep lapisan ini adalah untuk mendefinisikan fungsi yang diperlukan diantara komputer dalam lingkungan 7 lapisan OSI. Contoh service yang dapat diaplikasikan pada struktur ini adalah Intelligent Network (IN) dan Global System For Mobile Communication (GSM).



Gambar 2. Arsitektur Pensinyalan CCS7

Seperti terlihat pada gambar 2 sistem CCS7 dibagi dalam blok-blok fungsional, yang diidentifikasi ITU-T adalah sebagai berikut:

- a. Message Transfer Part (MTP)
- b. Signalling Connection Control Part (SCCP)
- c. Telephone User Part (TUP)
- d. Data User Part (DUP)
- e. ISDN User Part (ISUP)
- f. Transaction Capabilities (TC)

- g. Application Entities (AEs) dan Application Service Entities (ASEs)

BAHAN DAN METODE

Metode digunakan adalah studi literatur dengan pengumpulan data dan simulasi. Metode literatur dilakukan dengan merujuk sistem CCS7 melalui kepustakaan dan web site. Data terkumpul merupakan data primer, diperoleh dari sentral secara acak pada suatu waktu khusus tentang report telepon gagal. Melalui simulasi data report telepon gagal tersebut dikonversikan dari bilangan oktaf kedalam bilangan biner. Hasil data konversi ini diterjemahkan sesuai dengan standard ITU-T Q.763 yang terdiri dari IAM, ACM, ANM, REL, RCL, SUS, CPG, dan lain-lain. Hasil terjemahan tersebut merupakan informasi telepon gagal dari setiap message type yang digunakan oleh ISUP. Dengan melakukan analisa kualitatif, penyebab telepon gagal dan solusinya akan dapat diketahui. Simulasi perangkat lunak untuk konversi data dibangun menggunakan metode konvensional dengan paradigma waterfall. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah delphi 5 dengan database paradoks.

HASIL

KONVERSI DATA REPORT

1.Cara Kerja Sistem

Data yang akan dianalisa adalah berupa data primer yang merupakan hasil report telepon gagal yang diperoleh dari sentral, data tersebut masih berupa bilangan oktaf yang akan dirubah kedalam bilangan biner. Sistem ini menyediakan program khusus untuk menterjemahkan data report tersebut kedalam biner yang penerjemahannya dimulai dari kanan ke kiri, sesuai dengan referensi ITU-T sebagai standart internasional yang dipergunakan pada mesin CCS 7 produksi Lucent Teknologi di Telkom Pekanbaru.

Data yang diperoleh adalah merupakan data baku yang berisikan informasi mengenai layanan ISDN user part yang diberikan oleh

mesin tersebut dengan menggunakan CCS 7. Berbagai informasi dapat diperoleh, seperti :

◆ Routing Lable

Yang terdiri dari DPC (Destination Point Code) sebagai kode daerah tujuan, OPC (Originating Point Code) sebagai kode daerah tujuan yang digunakan untuk menentukan signaling link antar sentral. Signalig link yang sama (SLS yang sama) harus digunakan bila signal unit yang dikirim untuk setiap sirkit penghubung.

◆ Circuit Identification Code (CIC)

Berupa kode 8 bit yang di-registrasi sesuai dengan aturan yang ditetapkan sebelumnya bagi setiap sirkit yang ditentukan.

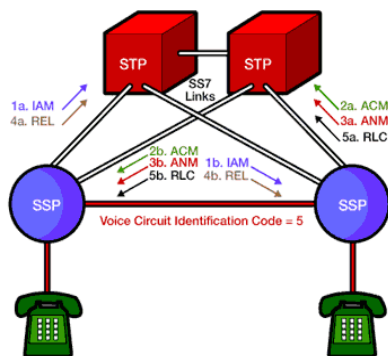
◆ Message Type Code

Nomor type message yang dikodekan yang sesuai dengan yang disediakan untuk ISUP, seperti IAM (Initial Address Message), ACM (Address Complete Message), ANM (Answer Message), REL (Release), RLC (Release Complete) dan lain-lain.

2. ISDN User Part (ISUP)

Untuk melakukan konversi data report tersebut ke biner ada beberapa pokok permasalahan yang harus diketahui, yaitu mengenai ISUP sebagai ISDN penyedia layanan CCS 7.

3. Basic ISUP Call Control



Gambar 3. Basic ISUP Signaling

Pembangunan Hubungan

Dalam melakukan suatu interaksi awal hubungan telepon SSP asal mentransmisikan IAM (1a) sebagai tindakan awal untuk memulai suatu hubungan dengan membangun sebuah jalur yang siap digunakan (kondisi jalur dalam keadaan idle) ke switch tujuan, IAM yang dikirimkan berisikan kode DPC, OPC, CIC, dial digit serta nomor telepon pemanggil dan yang dipanggil. Dan IAM dari STP asal dikirimkan ke SSP tujuan (1b), ada beberapa jalur yang dapat dipergunakan sebagai alternative pilihan, jika jalur awal yang digunakan penuh (busy). Switch tujuan akan memeriksa nomor yang dial dan akan mengirimkan ACM (2a) ke switch asal, yang ditandai dengan terdengarnya nada telepon pemanggil. STP merutekan ACM (2b) ke switch asal sebagai tanda jalur yang akan digunakan telah tersedia dan siap digunakan. Bila telepon yang dipanggil mengangkat teleponnya, maka nada akan hilang dan switch tujuan akan mengirimkan ANM (3a) ke STP tujuan, STP tujuan akan meneruskan ANM ke SSP (3b) asal, dan perhitungan tagihanpun dimulai.

Pemutusan Hubungan

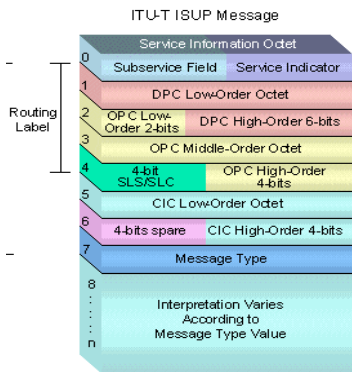
Untuk pemutusan hubungan setelah selesai dilakukannya pembicaraan, Jika pihak pemanggil yang melakukan pemutusan hubungan terlebih dahulu maka switch asal akan mengirimka REL (4a) guna membebaskan kembali jalur yang telah digunakan, dan STP asal akan meneruskan REL (4b) ke SSP tujuan. Apabila pihak yang dipanggil yang memutuskan hubungan terlebih dahulu atau jalur yang digunakan sedang sibuk, maka switch tujuan akan mengirimkan REL ke swicth asal beserta informasi penyebab keluaran (release cause), misalnya release normal atau release sibuk.

Dengan menerima REL, switch tujuan memutuskan jalur yang digunakan dan mengembalikan jalur kekeadaan idle, dan mentransmisikan RLC (5a) ke switch asal, dan bila switch asal menerima RLC (5b) menandakan akhir dari hubungan, da

megembalikan jalur kedalam keadaan idle, bebas, siap digunakan untuk panggilan berikutnya.

4. Message Format ISUP

Informasi ISUP dibawa dalam Signaling Information Field (SIF) pada MSU. SIF berisi nomor oktet yang integral dan berisi part-part fungsional seperti pada gambar berikut :



Gambar 4. Structure Message ISUP

5. Sistem Pembacaan Konversi Data

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, data report yang akan dianalisa ini perlu dirubah terlebih dahulu dari bilangan oktet kedalam bilangan biner dengan mengacu kepada referensi ITU-T .Data selain berisikan informasi message type juga dilengkapi dengan raw data yang berbentuk bilangan oktet. Raw data yang masih berbentuk oktet inilah yang akan dikonvert kedalam bilangan biner dengan pembacaan bilangan data dari kanan ke kiri.

Untuk masing-masing message type yang terdapat pada ISUP memiliki pola penterjemahan yang berbeda dan mengandung arti serta pesan yang berbeda untuk setiap bit-bit yang ada sesuai dengan parameternya. Beberapa contoh message type yang disediakan oleh ISUP yang digunakan adalah IAM , ANM, ACM, REL, RLC dan masih banyak message type yang lainnya.

a. IAM (Initial Address Message)

IAM dikirim dengan arah forward dari switch asal ke switch tujuan, untuk memulai suatu hubungan dan mulainya dibangun jalur menuju telepon tujuan. Suatu IAM berisikan nomor pihak yang dipanggil dalam bentuk mandatory variable part dan bisa juga memiliki nomor pihak yang memanggil didalam bentuk optional part.

b. ACM (Address Complete Message)

ACM adalah message yang dikirim dengan arah backward yang menandakan bahwa seluruh sinyal address yang diperlukan untuk menyalurkan panggilan ke pihak yang dipanggil telah diterima.

c. ANM (Answer Message)

ANM merupakan message yang dikirim kearah backward menandakan bahwa panggilan telah dijawab oleh pelanggan yang dipanggil.

d. REL (Release Message)

Suatu Pesanan Keluaran (REL) yang menunjukkan bahwa switch sedang dikeluarkan karena **cause indicator**. REL ini dikirim bila pihak yang memanggil atau pihak yang dipanggil memutuskan hubungan. REL juga dikirim dengan arah backward jika pihak yang dipanggil sibuk.

e. RLC (Release Complete)

RLC dikirim dengan arah berlawanan dari REL untuk menyatakan keluaran akhir keseluruhan rangkaian switch dan tagihanpun mulai bekerja sebagaimana mestinya.

PEMBAHASAN

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa data yang akan dikonversikan adalah merupakan data primer yang diperoleh dari sentral, terlampir berikut ini :

Tabel 1. Contoh data telepon gagal

```

+++PEKANBARU 01-07-05 09:57:10 XTERA 4148 #003388
M ORIGINATING COMMAND # = 003253.0159
REPT C7 SIGMN FINAL

TKGMN 20-103SIGTYPE ISUP7NAILDPC:OPC:CIC00761:07611:103
DIRECTION OGMDDI NONE DEN=1-1-1-42
START09:54:21END 09:54:22

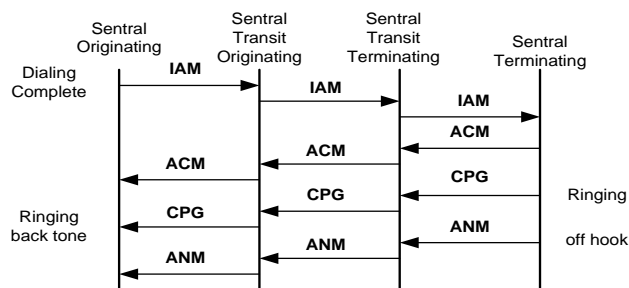
Dir MessageTag
RCV:IAM H'1
SND:ACM H'2
RCV:REL H'3
SND:RLC H'4

Tag Raw Data
H'01H'07 0a f4 85 52 10 03 05 07 02 00 0a 01 20 10
H'01H'03 1d 81 91 02 7d 04 03 27 58 25 72 18 13 03
H'01H'00 a3 90 80
H'02H'00 04 16
H'03H'90 80 02 00 02
H'04H'00
    
```

Data report ini merupakan informasi telepon gagal yang tidak sampai ke tujuannya (terminating). Dari data tersebut dapat dilihat TKGMN 20 sebagai nama trunk yang digunakan, Direction Outgoing, MDII None, DEN sebagai posisi jalur yang digunakan 1-1-1-42, Destination Point Code yaitu : 00761 sebagai daerah tujuan, dan Originating Point Code : 007611 sebagai daerah asal. START sebagai waktu dimulainya kejadian untuk membangun suatu hubungan, dan END sebagai akhir kegiatan tersebut. Berbagai pesan yang diperoleh dari fungsi parameter ISUP yang ada antara lain : IAM, ACM, REL, RLC, dan masing-masing parameter tersebut berisikan baris data yang masih dalam bentuk bilangan oktet, yang akan dirubah kedalam bilangan biner dengan beracuan informasi yang ditetapkan oleh ITU-T Q.763.

Suatu komunikasi telepon dinyatakan berhasil (normal call) bila calling party dan called party dapat melakukan komunikasi. Secara sistematis dapat dilihat pada gambar berikut.

Bila sistem komunikasi tidak sesuai dengan diagram diatas atau salah satu dari



Gambar 5. Hubungan yang berhasil

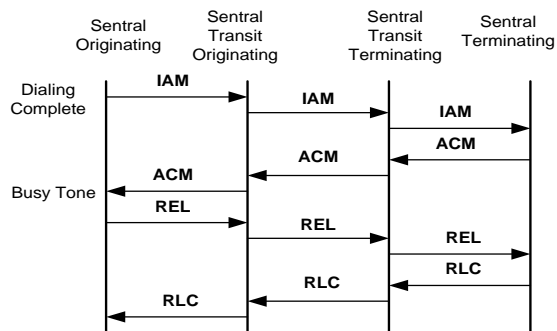
sentral jaringan tidak respon (tidak terhubung), maka akan terjadi telepon gagal.

Dari hasil analisa IAM, ANM, REL dan SUS penyebab telepon gagal adalah:

1. Calling Party dan Called Party; yaitu

- **Unallocated Number Call**
Nomor yang dituju belum terdaftar, ataupun tidak dikenal oleh sentral penerima telepon tersebut.
- **User Busy**
Called party sedang terhubung dengan terminal lain ketika calling party melakukan hubungan, seperti terlihat pada gambar.
- **Congesty Network**

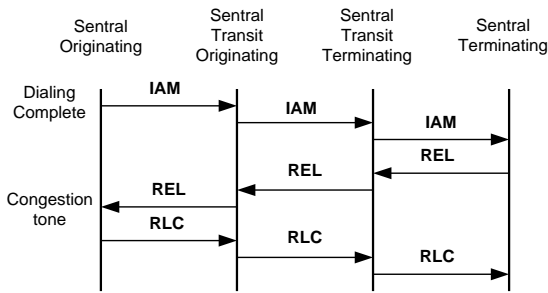
Terminal transit yang digunakan untuk melakukan hubungan sedang sibuk atau sedang digunakan oleh jaringan yang lainnya, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 6 User Busy

2. Signaling System; yaitu

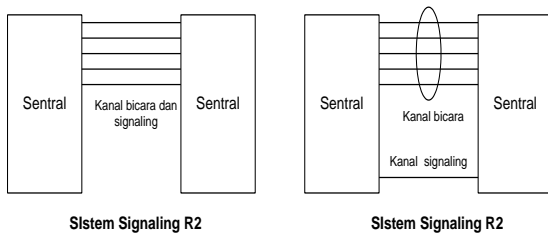
- **R2 dan CCS7**
Sistem jaringan telepon di Pekanbaru menggunakan signaling : R2 dan CCS 7, yang memiliki perbedaan dalam penggunaan kanal.



Gambar 7 Kongesti Network

• Bandwidth

Penambahan jumlah bandwidth berarti memperbesar jumlah message yang dapat dikirim, artinya range jumlah penelepon lebih banyak.



Gambar 8 Perbedaan R2 dan CCS7

Solusi untuk mengatasi telepon gagal adalah:

1. Calling Party;

- Perintah lain dari Called Party untuk menelepon

Bila pada saat terjadinya hubungan, terdengar informasi busy tone maka calling party (A) dapat menekan simbol lain (misalnya *) dan mengembalikan posisi gagang pada tempatnya (oh hook), hal tersebut menyebabkan telepon pada called party (B) akan berbunyi secara otomatis setelah selesai melakukan komunikasi (C) dan langsung terhubung dengan calling party (A)(tanpa sepengetahuan called party (B)). Ketika calling party (A) mengangkat telepon, telepon called party (B) akan berbunyi (tanpa harus menekan nomor telepon sebelumnya), dan hubungan siap dimulai.

- Calling Party terhubung ke Called Party dengan # langsung

Calling party mengirim sinyal ke called party, bila called party tidak bisa mengangkat telepon, calling party dapat melakukan penekanan simbol tambahan, misalnya tanda pagar (#), sehingga calling party langsung dapat berkomunikasi dengan called party, dimana called party tidak perlu mengangkat telepon lagi.

2. Called Party;

- Tersedia Answering Machine

Mesin yang berfungsi untuk menerima panggilan telepon untuk direcord dari calling party, mesin ini sering disebut juga dengan telepon memo sebagai salah satu fitur telkom yang baru.

- Display Calling party number

Jenis telepon yang menggunakan layar monitor yang bisa merecord nomor calling party.

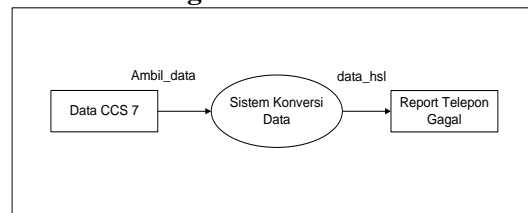
3. Penggunaan CCS7 pada seluruh jaringan.

Perlunya penyerataan penggunaan CCS 7 untuk setiap sentral yang ada di seluruh Indonesia.

Dokumentasi Program Aplikasi Simulasi Konversi data :

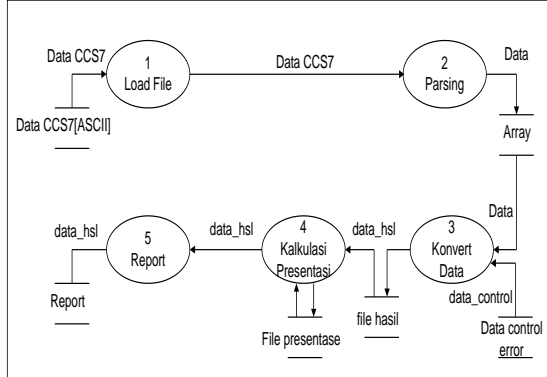
Untuk menerjemahkan data report telepon gagal yang diperoleh dari sentral dbuat suatu aplikasi software yang berbentuk simulasi untuk membantu pihak teknisi untuk melakukan konversi data. Aplikasi ini dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi 5.

1. Konteks Diagram



Gambar 9. Konteks Diagram Sistem

2. Data Flow Diagram



Gambar 10. Data FlowDiagram Konvesi Data

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Terjemahan data report telepon gagal mengindikasikan bahwa penyebab kegagalan berada pada signaling system CCS7 yang digunakan di wilayah Telkom Pekanbaru.
2. Telepon gagal yang ditemukan berasal dari Called party dan Signaling system yang terdiri dari Unallocated Number, User Busy dan Congesty Network.
3. Sumber telepon gagal disebabkan dari beberapa transit yang dilalui dari sentral originating ke sentral terminating, dari sentral transit originating, dari sentral transit terminating atau sentral terminating itu sendiri.
4. Solusi telpon gagal dapat dilakukan dengan:
 - Untuk jaringan sentral transit, range bandwidth ditambah sehingga jumlah calling party tidak mengalami congesty network
 - Penggunaan CCS 7 yang memiliki channel signaling sehingga tidak terjadi user busy
 - Database pelanggan di telkom pekanbaru perlu di *upgrade*.

Saran

1. Pengguna telepon perlu memiliki fitur-fitur tambahan seperti display telepon, answering machine (telkom memo) dan penekanan tombol tertentu pada mesin telepon yang memungkinkan tetap berkomunikasi tanpa harus mengangkat telepon.(kondisi telepon dalam keadaan on hook).
2. Perlu adanya software penterjemah data report telepon gagal dalam sistem jaringan di Telkom Pekanbaru
3. Kajian dan penelitian lanjut tentang frekuensi penyebab telepon gagal yang terjadi pada suatu waktu seperti: congesty network, user busy, unallocated number dan hitungan presentase kejadiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrew S. Tanenbaum 1997** ,*Jaringan Komputer*, Edisi Bahasa Indonesia Jilid 1 & 2 , Simon & Schuster (Asia) Pte. Ltd.
- Diktat Perkuliahan Teknik Elektro**, *Signalling System 7*.
- Extracted from ITU-T Rec. Q.763**, 6 February 1998 , *ISDN User Part Message Non Formal Document*
- ISDN User Part, telecom solution for next generation ne1**,
<http://www.pt.com/tutorials/ss7/isup.html>
<http://www.pt.com/tutorials/ss7/isup.html>ISUP Part 1
- ITU** (International Telecommunication Union) Q.700-Q.800
- Jayanto, 1999**, *Membuat Aplikasi Database dengan Delphi* , PT.Elex Media Komputindo Gramedia, Jakarta.
- McGraw Hill**, 1995, *Signaling System #7*.
- Taining Center**, *5ESS-2000 Switch Signaling Trace*, Lucent Technologies-TELKOM.

PERANCANGAN PENANGKAL PETIR PADA GEDUNG

Fri Murdiya

Lab.Instalasi Listrik dan Bengkel Mekanik Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Riau

ABSTRAK

Dalam perancangan penangkal petir pada gedung, ada beberapa syarat teknis yang perlu diperhatikan seperti; zone proteksi penangkal petir, ukuran konduktor penyalur surja, Ground Potential Rise (GPR), tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan. Syarat-syarat teknis ini mendukung untuk keselamatan fisik gedung dan manusia yang berada pada sistem penangkal petir ini. Tulisan ini mengulas tentang perhitungan dari syarat-syarat teknis yang dapat digunakan sebagai acuan perancangan sistem penangkal petir.

Kata kunci : zone proteksi, ukuran konduktor, tegangan langkah dan sentuh, Ground Potential Rise (GPR)

ABSTRACT

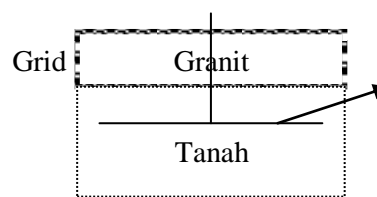
Protection of lightning on the building can be designed by considering some criterians such as ; zone protection, step voltage and touch voltage have recommended and Ground Potential Rise (GPR) and size of conductor what used to inflow surge current to ground. All of them are calculated to prevent side of building will be broken by stroke lightning, and safety of human around the system protection. The paper is giving the solving to designing the system protection of stroke lightning on the building.

Keywords : zone protection, step and touch voltage, Ground Potential Rise (GPR) and size of conductor

I. PENDAHULUAN

Sistem penangkal petir pada gedung sangat perlu diperhatikan karena untuk menjaga keselamatan gedung itu sendiri. Pada gedung yang memiliki penangkal petir, perlu juga diperhatikan akibat dari aliran arus surja yang menyebabkan terjadinya tegangan langkah dan tegangan sentuh yang dapat membahayakan manusia yang berada di sekitar sistem penangkal petir tersebut.

Tegangan langkah dan tegangan sentuh yang sebenarnya terjadi harus lebih kecil dari tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan berdasarkan standard IEEE 80-2000. Untuk mendapatkan tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan yang lebih besar, dapat dilakukan dengan penempatan granit pada lapisan pertama di atas permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Sistem Pembumian dua lapis

Dalam perancangan sistem penangkal petir ini meliputi perhitungan; zone proteksi penangkal petir, ukuran konduktor penyalur arus surja, tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan dan tegangan langkah dan tegangan sentuh yang sebenarnya terjadi serta *Ground Potential Rise*.(GPR).

BAHAN DAN METODE

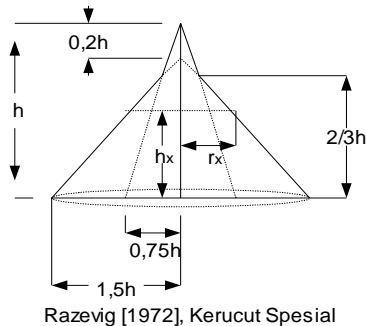
Penyusunan artikel ini berdasarkan hasil studi tentang zone proteksi penangkal petir Razevig (1972), rumus-rumus tegangan sentuh dan tegangan langkah menurut

standard IEEE 80-2000 , *Simplified Anaysis of Electrical Gradients Above a Ground Grid-I*, Sverak,J.G (1984), Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) dan Diktat Kuliah Pembumian Peralatan Sistem Tenaga,Usman Baafai (2003) dan *Seasonal Influences on Safety of Substation Grounding System ,Jinliang He,etc* (2003).

1. Zone proteksi

Istilah zona proteksi digunakan untuk menyatakan lingkup proteksi penangkal petir, yaitu seberapa banyak suatu daerah yang dapat dicakup oleh penangkal petir sehingga pada daerah tersebut memiliki kemungkinan yang kecil untuk disambar petir. Posisi penangkal petir yang vertikal membuat tampak atasnya hanya berupa suatu titik, sehingga bila *step leader* mendekati penangkal petir dari daerah manapun akan mengalami reaksi yang sama (tanpa kondisi khusus).

Hal ini menggambarkan secara umum bahwa perilaku penangkal petir dalam melindungi daerahnya cenderung untuk membentuk suatu lingkup volume dengan penangkal petir sebagai sumbu. Bidang dasar zona proteksinya merupakan suatu lingkaran dengan penangkal petir sebagai titik pusat. Oleh sebab itu, untuk menyatakan kemampuan proteksi penangkal petir digunakan sebutan *radius proteksi* atau jari-jari proteksi; yaitu jarak terjauh dari pusat lingkaran yang masih dapat dilindungi penangkal petir.



Gambar 2. Zone Proteksi Penangkal Petir Razevig

Sebagaimana terlihat pada Gambar 2. di atas, gambaran zona proteksi *Razevig* (1972) cukup lengkap dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$r_x = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h_t}} (h_t - h_x) \dots\dots (1)$$

dimana :

- r_x = Radius Proteksi
- h_x = Tinggi maksimum objek yang diproteksi
- h_t = Tinggi total penangkal petir

Dari persamaan di atas, terlihat bahwa menurut *Razevig* radius proteksi berubah-ubah mengikuti perubahan tinggi benda yang diproteksi.

2. Ukuran Minimum Konduktor

Penentuan secara kuantitatif dari kenaikan temperatur,waktu yang singkat pada konduktor pembumian dapat diperoleh dari persamaan (Usman Baafai,2003) :

$$I = A \sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_s \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \right) \ln \left(\frac{K_0 - T_m}{K_0 + T_m} \right)} \quad (kA) \dots (2)$$

Jika ukuran konduktor dalam circular mils maka persamaan menjadi :

$$I = 5,0671 \cdot 10^{-6} \cdot A \sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_s \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \right) \ln \left(\frac{K_0 - T_m}{K_0 + T_m} \right)} \quad (kA) \dots (3)$$

dimana :

- I = Arus (kA)
- A = Penampang konduktor (mm²)
- T_m = Temperatur Maksimum yang diizinkan (°C)
- T_a = Temperatur keliling (°C)
- T_r = Temperatur referensi meterial konstan (°C)
- α₀ = Koefisien panas tahanan jenis pada 0°C
- α_r = Koefisien panas tahanan jenis pada temperatur referensi T_r
- ρ_r = Tahanan jenis konduktor pada temperatur referensi T_r (μΩ/cm²)
- K₀ = 1/α₀ atau (1/α_r) pada temperatur referensi T_r
- t_s = Waktu arus mengalir (detik)
- TCAP =Faktor kapasitas panas (J/cm³/°C)

Pemisalan berikut ini secara normal digunakan untuk persamaan di atas yaitu :

- Temperatur permukaan 40°C
- Konduktor dapat bertahan pada temperatur pada waktu singkat
- Titik lebur tembaga 1083°C
- Temperatur yang diizinkan untuk sambungan pengelasan (thermoweld) 450°C
- Temperatur yang diizinkan untuk sambungan baut 250°C

Harga faktor kapasitas panas (TCAP) dari berbagai material dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Konstanta Penghantar

Material	Konduktivitas Material (%)	Faktor α_r @ 20 ^o C	K (1/ α_0) @ 20 ^o C	Temperatur Lebur (^o C)	α_r @ 20 ^o C (α_r /cm)	Faktor TCAP Harga Efektif (J/cm ³ / ^o C)
Standard Anealed Soft Copper Wire	100.0	0,00393	234	1083	1,7241	3,422
Commer cial Hard Drawn Copper Wire	97.0	0,00381	242	1084	1,7774	3,422
Copper Clad Steel Core Wire	40.0	0,00378	245	1084/1300	4,379	3,846
Copper Clad Steel Core Wire	30.0	0,00378	245	1084/1300	5,862	3,846
Commer cial EC Alumuni um Wire	61.0	0,00403	228	657	2,862	2,555
Alumuni um Alloy Wire 5005	53.5	0,00353	263	660	3,2226	2,598
Alumuni um Alloy Wire 6201	52.5	0,00347	268	660	3,284	2,598
Alumuni um Clad Steel Core Wire	20.3	0,0036	258	660/1300	8,4805	2,67
Zinc Coated Steel Core Wire	8.5	0,0032	293	419/1300	20,1	3,931
Stainless Steel No 304	2.4	0,0013	749	1400	72	4,032

3. Tahanan Grid Pembumian dan Ground Potential Rise (GPR)

Jenis tanah seperti; berpasir, berbatu, tanah liat dan lain-lain, mempengaruhi besarnya tahanan jenis. Berdasarkan

Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) seperti Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ohm.m)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat & Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000
Granit *	15000

*.Tahanan jenis granit menurut Jinliang He dkk dalam jurnal "Seasonal Influences on Safety of Substation Grounding System" 2003

Besarnya tahanan pembumian untuk konduktor grid kurang dari 0,25 m menurut Laurent & Niemen adalah :

$$R_c = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L} \dots (4)$$

dimana :

L = Panjang total konduktor yang ditanam (m)

ρ = Resitivitas tanah (Ω -m)

A = Luas grid pembumian (m²)

Untuk konduktor yang ditanam lebih besar dari 0,25m dan 2,5m (0,25m < h < 2,5m) untuk itu dieprlukan koreksi dari kedalaman grid, digunakan pendekatan Sverak's (1984) :

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \dots (5)$$

Panjang total konduktor yang ditanam :

$$L = L_c + L_r (m)$$

Dimana :

L_c = Panjang total konduktor grid (m)

L_r = Panjang total batang pembumian (m)

Arus surja yang melalui grid yang simetris dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$I_g = S_f \cdot I_f \dots (6)$$

dimana :

I_g = Arus grid simetris (A)

I_f = Arus gangguan surja simetris (A)

S_f = Faktor pembagi arus berhubungan dengan besaran arus gangguan dari bagian yang mengalir antara pembumian grid dan tanah sekitarnya.

Untuk arus grid maksimum dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$I_G = C_p D_f I_g \dots (7)$$

dimana :

- I_G = Arus grid maksimum (A)
- D_f = Faktor untuk keseluruhan waktu dari gangguan t_s (det)
- C_p = Proyeksi untuk perluasan pembumian, bila tidak ada perluasan $C_p = 1$
- I_g = Arus grid simetris (A)

Tabel 3. Harga Tipikal dari D_f

Waktu gangguan t_s (det)	Frekuensi (60 Hz, AC)	Faktor Penurunan D_f
0,008	$\frac{1}{2}$	1,65
0,1	6	1,25
0,25	15	1,10
0,5 atau lebih	30 atau lebih	1,0

Ground Potential Rise (GPR) adalah gradien tegangan yang ditimbulkan pada permukaan sistem pembumian.

GPR yang terjadi pada permukaan tanah adalah :

$$GPR = I_G \cdot R_g \dots\dots (8)$$

dimana :

GPR = Ground Potential Rise (Volt)

4. Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh

4.1 Tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara tangan dan kaki seorang yang berdiri di atas tanah yang berjarak 1 m dari objek yang disentuh yang dialiri arus kesalahan ke tanah. Untuk tegangan sentuh yang diizinkan berdasarkan standard IEEE 80-2000 adalah :

$$E_{sentuh50} = 1000 + 1,5C_s \cdot \rho_s \sqrt[3]{\frac{0,116}{t_s}} \dots (9)$$

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul antara dua kaki seorang yang berdiri dipermukaan tanah, dan di bawah tanah tersebut terdapat elektroda pembumian yang sedang dialiri arus kesalahan ke tanah. Tegangan langkah yang diizinkan berdasarkan standard IEEE 80-2000 adalah :

$$E_{langkah50} = 1000 + 6C_s \cdot \rho_s \sqrt[3]{\frac{0,116}{t_s}} \dots\dots$$

(10)

dimana :

- $E_{sentuh50}$ = Tegangan sentuh yang diizinkan massa orang 50kg (Volt)
- $E_{langkah50}$ = Tegangan sentuh yang diizinkan untuk massa manusia 50kg (Volt)
- P = Tahanan jenis tanah (Ω -m)
- ρ_s = Tahanan jenis material lapisan pertama (Ω -m)
- h_s = Ketebalan lapisan pertama (m)
- t_s = Lama arus mengalir dalam tubuh manusia (detik)
- C_s = Faktor reduksi tahanan jenis material lapisan pertama

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0,09} \dots\dots (11)$$

4.2 Tegangan sentuh atau tegangan mesh maksimum sebenarnya

Tegangan mesh merupakan salah satu bentuk tegangan sentuh. Tegangan mesh ini didefinisikan sebagai tegangan peralatan yang dibumikan terhadap tengah-tengah daerah yang dibentuk konduktor grid (*center of mesh*) selama terjadi aliran arus surja. Tegangan mesh ini menyatakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh yang dapat dijumpai dalam sistem pembumian, dan inilah yang diambil sebagai tegangan untuk perancangan yang aman. Tegangan mesh dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Usman Baafai,2003):

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L} \dots\dots (12)$$

dimana :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left\{ \frac{D^2}{16hd} + \frac{D+2h}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right\} + \frac{K_i}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \dots\dots$$

(13)

$K_{ii} = 1$, untuk grid dengan batang pembumian, atau grid dengan batang pembumian di sudut-sudut grid atau seluruh daerah grid.

$$K_{ii} = \frac{1}{n^{2/n}} \dots\dots (14)$$

untuk grid tanpa batang pembumian, atau grid dengan hanya beberapa

batang pembumian tidak terletak di sudut.

$$K_i = 0,656 + 0,172n \dots\dots (15)$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \dots\dots (16)$$

h_0 = 1 m (kedalaman referensi dari grid)

D = Jarak antar konduktor paralel (m)

h = Kedalaman penanaman konduktor (m)

n_{arah} = Jumlah paralel konduktor dalam satu arah

d = Diameter konduktor (m)

Untuk grid yang berbentuk empat persegi panjang harga n menjadi : $n = \sqrt{n_1 \times n_2}$. Jika L_c = panjang total konduktor grid dan L_r = panjang total batang pembumian (*grounding rod*), maka :

- Untuk grid dengan batang pembumian terutama di sekeliling pinggiran :
$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + 1,15 L_r} \dots\dots (17)$$

- Untuk grid tanpa batang pembumian, atau hanya sedikit batang pembumian diletakan dalam grid tetapi jauh dari pinggir grid :

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + L_r} \dots\dots (18)$$

4.3 Tegangan langkah maksimum sebenarnya

Tegangan langkah yang sebenarnya adalah perbedaan tegangan yang terdapat antara kedua kaki bila manusia berjalan di atas sistem pembumian pada saat arus surja mengalir di grid pembumian. Tegangan langkah maksimum sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan (Usman Baafai,2003):

$$E_l = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L} \dots\dots (19)$$

Jika L_c = panjang total konduktor grid dan L_r = panjang total batang pembumian (*grounding rod*), maka :

1. Untuk grid dengan batang pembumian terutama di sekeliling pinggiran:

$$E_l = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + 1,15 L_r} \dots\dots (20)$$

2. Untuk grid tanpa batang pembumian, atau hanya sedikit batang pembumian diletakan dalam grid tetapi jauh dari pinggir grid :

$$E_l = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + L_r} \dots\dots (21)$$

Untuk penanaman dengan kedalaman 0,25m < h < 2,5m :

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} \left(-0,5^{n-2} \right) \right] \dots\dots (22)$$

dan untuk kedalaman kecil dari 0,25m :

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} W \right] \dots\dots (23)$$

dimana :

$$W = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \dots\dots + \frac{1}{n-1} \dots\dots (24)$$

dan untuk $n \geq 6$:

$$W = \frac{1}{2(n-1)} + \ln(n-1) - 0,42 \dots\dots (25)$$

$$K_i = 0,656 + 0,172n \dots\dots (26)$$

Bila harga n_1 dan n_2 adalah jumlah konduktor pada tiap arah, harga n yang digunakan untuk menentukan tegangan langkah pada faktor K_s dan K_i hendaknya digunakan harga yang maksimum dari n_1 dan n_2 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suatu rancangan dengan menggunakan penangkal petir *Lightning Mast* dengan data-data sebagai berikut :

Arus Surja (I_f)	: 40 kA
Waktu gangguan (t_s) detik	: 0,008
Faktor pembagi arus (S_f)	: 0,6
Resistivitas tanah (ρ)	: 30 Ω -m
Resistivitas granit (ρ)	: 15000 Ω -m
Tebal dipermukaan (h_s)	: 0,01 m
Dalam penanaman grid pembumian (h):	1m
Luas pembumian yang tersedia (A)	:(25x25) m
Tinggi gedung	: 20m
Sisi Samping gedung	: 30m
Sisi Depan gedung	: 30m

1. Penentuan Radius Proteksi

Radius proteksi (r_x) minimum besar atau sama dengan setengah diagonal gedung.

$$r_x \geq \frac{\text{diagonal}}{2}$$

$$\geq \frac{\sqrt{30^2 + 30^2}}{2} \geq 21,21m$$

$$\begin{matrix} \text{Tinggi} \\ \text{Lightning} \\ \text{Mast} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Tinggi Total} \\ \text{Lightning Mast} \end{matrix} = \begin{matrix} \text{Tinggi} \\ \text{Gedung} \end{matrix}$$

Dari persamaan (1) didapatkan tinggi total *Lightning Mast* (h_t) adalah :

$$21,21 = \frac{1,6}{1 + \frac{20}{h_t}} (h_t - 20)$$

dengan menggunakan metode coba-coba, maka didapatkan $h_t = 40$ m. Jadi tinggi *Lightning Mast* adalah = $40-20=20$ m. Dengan cara yang sama maka didapatkan radius proteksi untuk beberapa ketinggian *Lightning Mast* seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Radius Proteksi untuk Beberapa Ketinggian *Lightning Mast*

Tinggi <i>L.Mast</i> (m)	Radius Proteksi (m)
1.5	1.24
2	1.68
5	4.44
10	9.6
20	21.33

2. Ukuran Minimum Konduktor Penyalur Arus Surja

Dari persamaan (2) dan Tabel 1, dipilih konduktor *Commercial Hard Drawn Copper*.Maka didapatkan ukuran minimum konduktor adalah :

$$A = \frac{40kA}{\sqrt{\left(\frac{3,422 \cdot 10^{-4}}{0,008 \cdot 0,00381 \cdot 1,7774}\right) \ln\left(\frac{242 - 1084}{242 + 1084}\right)}}$$

$$= 12,79mm^2$$

dengan diameter konduktor adalah 4,04 mm atau 0,00404 m. Mengingat untuk kekuatan mekanis dan keperluan pengerasan maka diameter konduktor dilih 0,0045m.

3. Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh yang diizinkan

Tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (9),(10) dan (11).

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{30}{15000}\right)}{2,0,01 + 0,09} = 0,18$$

Tegangan langkah yang diizinkan adalah :

$$E_{\text{langkah}50} = 1000 + 6,0,18 \cdot 15000 \sqrt{\frac{0,116}{0,008}} = 22710,2V$$

Tegangan sentuh yang diizinkan adalah :

$$E_{\text{sentuh}50} = 1000 + 1,5 \cdot 0,18 \cdot 15000 \sqrt{\frac{0,116}{0,008}} = 6650,2V$$

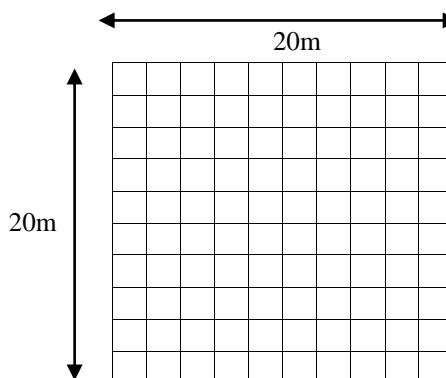
Dengan cara yang sama didapatkan tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan untuk tahanan jenis tanah yang berbeda seperti yang terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Tegangan Langkah dan Sentuh yang diizinkan untuk Tahanan Jenis Tanah yang berbeda.

P ($\Omega.m$)	Tegangan Langkah (Volt)	Tegangan Sentuh (Volt)
10	22582.9	6618.4
30	22710.2	6650.2
80	23028.6	6729.8
100	23155.9	6761.7
200	23792.6	6920.8

4. Rancangan Awal Grid Pembumian

Misalkan denah awal grid 20mx20m seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan Awal Grid Pembumian

Jarak antar batang konduktor yang paralel (D)=2m, kedalaman konduktor ditanam(h)=-

0,5m dan tidak ada batang pembumian. Total panjang konduktor yang ditanam adalah : $L=2 \times 11 \times 20=440m$.

5. Tahanan Grid Pembumian

Dengan menggunakan persamaan (5)d, dimana $L=440m$ dan $A=20 \times 20=400m^2$, maka diperoleh :

$$R_g = 30 \left[\frac{1}{440} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 400}} \left(1 + \frac{1}{1 + 1 \cdot \sqrt{\frac{20}{440}}} \right) \right] = 0,68\Omega$$

6. Arus Grid Maksimum dan Ground Potential Rise(GPR)

Arus grid maksimum I_G untuk harga $D_f=1,0$ dan $S_f=0,6$, maka :
 $I_G = (0,6)(1)(40000A) = 39600 A$

Dan Gradien Potential rise (GPR) nya adalah:
 $GPR = (39600 A)(0,68\Omega) = 26837 V$

7. Tegangan Mesh yang sebenarnya

Dari persamaan (12) didapat tegangan mesh :

$$E_m = \frac{30 \cdot 39600 \cdot 0,9318 \cdot 2,548}{440} = 6410,4 V$$

dengan harga $K_m=0,9318$, $K_{ii}=0,57$ dan $K_i=2,548$ yang didapatkan dari persamaan (13),(14),(15) dan (16).

8. Tegangan Langkah yang sebenarnya

Dari persmaan (19), tegangan langkah yang sebenarnya dapat diperoleh :

$$E_l = \frac{30 \cdot 39600 \cdot 0,6044 \cdot 2,548}{440} = 4158,6 V$$

dengan harga $K_s=0,6044$ dan $K_f=2,548$ yang didapatkan dari persamaan (22) dan (26). Dengan cara yang sama maka didapat Ground Potential Rise(GPR), tegangan langkah dan sentuh yang sebenarnya terjadi untuk tahanan jenis tanah yang berbeda, dimana; $h = 1m$, $d=0,0045m$, $D_f = 1,65$, $S_f=0,6$ dan $I_f = 40000$ Ampere seperti yang terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai GPR, Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh yang sebenarnya untuk Tahanan jenis yang berbeda

p (Ωm)	A (m^2)	L (m)	D (m)	GPR (Volt)	Teg. Sentuh (Volt)	Teg. Langkah (Volt)
10	400	200	5	10026	4613	908.7
30	400	440	2	26837	4985.5	2917.7
80	900	960	2	47462	5883.4	4773
100	900	1260	1.5	58346	5341.4	6689.2
200	961	1984	1	111045	6549.8	15654.7

PEMBAHASAN

Dari Tabel 4. dapat dilihat, untuk *Lightning Mast* dengan tinggi 20m dengan jumlah satu batang dapat melindungi gedung dari bahaya sambaran petir. Dan dapat juga dirancang dengan menggunakan konfigurasi beberapa *Lightning Mast* dengan ukuran yang lebih pendek, dengan syarat zone proteksi gedung terpenuhi.

Perbandingan antara Tabel 5. dan Tabel 6. menunjukkan *Ground Potential Rise(GPR)* untuk berbagai tahanan jenis tanah lebih besar dari pada tegangan langkah dan sentuh yang diizinkan. Sehingga untuk memenuhi persyaratan tersebut, dapat dilihat dari tegangan langkah dan sentuh yang sebenarnya terjadi lebih kecil dari tegangan langkah dan sentuh yang diizinkan. Tegangan langkah dan sentuh yang sebenarnya yang dapat memenuhi persyaratan, diperoleh dengan merubah rancangan grid pembumian, seperti; luas daerah grid pembumian (A), panjang total konduktor grid (L) dan jarak antar konduktor paralel (D).

KESIMPULAN

Dari hasil rancangan dapat dilihat, semakin tinggi *Lightning Mast* yang dipasang maka radius proteksinya semakin besar. Untuk mendapatkan tegangan langkah dan sentuh yang sebenarnya yang dikategorikan memenuhi persyaratan, dapat diperoleh dengan merubah rancangan grid pembumian seperti; luas daerah grid pembumian (A), panjang total konduktor grid (L) dan

jarak antar konduktor paralel (D) yang mana satu samalainnya saling berkaitan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2000, "*IEEE Guide for Safety In AC Substation Grounding*". ANSI/IEEE Std. 80-2000, New York

Anonim, 2000, "*Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*", Jakarta.

Jinliang He, Rong Zeng, Yangqin Gao, Youping Tu, Weimin Sun, JunZou and Zhicheng Guan, July 2003, "*Seasonal Influences on Safety of Substation Grounding System*", 2003 IEEE Trans. On Power Delivery. Vol. 18. no.3.

Razevig, D.V. Prof, 1979, "*High Voltage Engineering*", Khanna Publishers, 2-B Nath Market, New Delhi-6.

Sverak, J.G, January 1984, "*Simplified Anaysis of Electrical Gradients Above a Ground Grid-I*", IEEE Trans. Power Appar. & System, vol.103, no.1.

Usman Baafai ,Dr.Ir.Dipl.Ing, 2003 "*Diktat Kuliah Pembumian Peralatan Sistem Tenaga*", Medan.

ANALISIS PENGGUNAAN PWM INVERTER VARIABEL FREKUENSI PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI DENGAN KONTROL REGULASI KECEPATAN LUP TERTUTUP

Amir Hamzah

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

ABSTRAK

Penggunaan motor induksi sebagai penggerak mekanis sangat umum digunakan. Penambahan beban pada motor induksi mengakibatkan kecepatan motor induksi akan berkurang. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan inverter modulasi lebar pulsa dengan kontrol lup tertutup untuk memperkecil perubahan kecepatan motor induksi, sehingga regulasi kecepatan motor induksi semakin kecil. Dalam permasalahan ini akan diteliti hubungan antara perubahan beban atau torsi motor dengan kecepatan motor. Kemudian akan diteliti juga hubungan antara kecepatan motor dengan peningkatan frekuensi sumber motor induksi. Inverter digunakan sebagai pengaturan kecepatan motor induksi dengan mengatur frekuensi sumber ke motor. Dalam penelitian ini digunakan PWM inverter dengan kontrol lup tertutup terhadap perubahan kecepatan motor induksi. Dengan menggunakan PWM inverter dengan kontrol regulasi lup tertutup dapat memperkecil regulasi kecepatan motor induksi, sehingga motor induksi dapat berputar dengan kecepatan yang diinginkan.

Kata Kunci: motor induksi, PWM inverter, kontrol lup tertutup, regulasi

ABSTRACT

Utilizing of induction motor for mechanic driven are common use. But with increasing the load, speed of inductoin motor will be decrease. For solved this problem, used pulse width modulation (PWM) inverter with close-loop control for reduce change of speed the induction motor, until speed iduction motor regulation is smaller. In this problem will be research related about changge of the load or torque motor with the speed of motor. Then related about the speed of motor with increase of induction motor frequency. Inverter is used for control the speed of induction motor with control source frequency. In this research is used PWM inverter with close-loop control to change of speed the induction motor. Utilazing PWM inverter with close-loop control regulation will be reduce the speed of induction motor regulation, then induction motor can rotate with desire.

Keywords: induction motor, PWM inverter, close-loop control, regulation

PENDAHULUAN

Motor induksi tiga phasa sering dipergunakan untuk menggerakkan beban-beban tetap. Motor induksi tidak banyak diterapkan pada keadaan dimana pengubahan atau pengaturan kecepatan yang luas dan teliti diperlukan. Tetapi dengan adanya semikonduktor daya, semuanya menjadi berubah.

Penggerak motor variabel frekuensi dapat dipergunakan untuk memungkinkan penggunaan motor induksi dalam keadaan berbagai pengaturan kecepatan. Salah satu

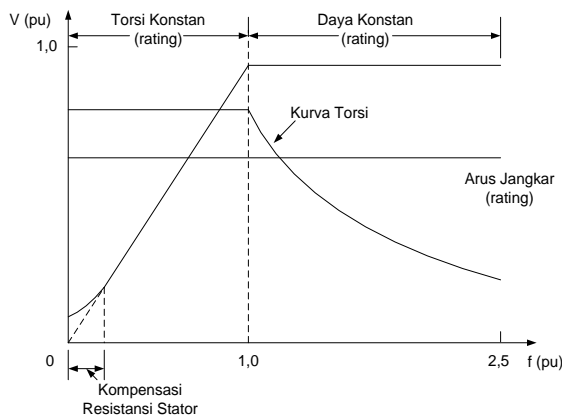
cara mengubah kecepatan suatu motor induksi adalah dengan cara mengubah frekuensi sumber.

Permasalahan yang ingin diteliti disini adalah bagaimana merancang sebuah kontrol pengaturan kecepatan motor induksi. Pada saat motor induksi diberi beban dan beban terus bertambah, dalam hubungan dengan motor bahwa torsi semakin besar kecepatan akan berkurang.

Untuk mengatasi masalah ini, digunakan inverter modulasi lebar pulsa (PWM inverter) dengan kontrol lup tertutup, untuk memperkecil perubahan kecepatan

motor sehingga regulasi kecepatan motor akan menjadi kecil.

Kecepatan motor induksi dapat diubah dengan mengubah frekuensi suplai. Tetapi pada saat frekuensi naik, fluks celah udara mesin akan jatuh. Ini akan menyebabkan turunnya kemampuan peningkatan torsi motor. Fluks tersebut dapat dijaga konstan jika perubahan tegangan seimbang dengan perubahan frekuensi. Gambar 1 memperlihatkan hubungan tegangan – frekuensi motor.



Gambar 1. Hubungan tegangan dan frekuensi motor

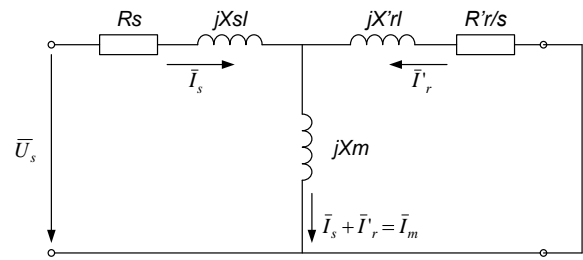
Dibawah frekuensi dasar (1,0 pu) fluks celah udara menjadi konstan dengan rasio V/f juga konstan, yang mana kemampuan torsi juga konstan. Pada frekuensi yang sangat rendah, resistansi stator lebih dominan dibanding induktansi bocor, mengakibatkan diperlukan tegangan lebih untuk mengkompensasi efek ini.

Pada frekuensi dasar, tegangan penuh motor stabil dan tetap pada frekuensi di atasnya. Sedangkan torsi menurun karena rugi-rugi dari fluks celah udara dan motor beroperasi dengan daya konstan.

Motor Induksi

Rangkaian ekuivalen per-fasa motor induksi dapat dilihat pada gambar 2, dimana:

- R_s = Resistansi efektif stator
- X_{s1} = Resistansi bocor stator
- X'_{r1} = Resistansi bocor rotor
- U_s = Tegangan terminal stator
- R'_r = Resistansi efektif rotor
- X_M = Reaktansi magnetisasi



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen motor induksi per-fasa

Persamaan fluks bersama stator dan rotor adalah sebagai berikut:

$$\bar{\Psi}_{sg} = L_s \bar{i}_{sg} + L_m \bar{i}_{rg} \quad (1)$$

$$\bar{\Psi}_{rg} = L_r \bar{i}_{rg} + L_m \bar{i}_{sg} \quad (2)$$

dimana: $L_s = L_{s1} + L_m$ dan $L_r = L_{r1} + L_m$

Dengan referensi $\omega_g = \omega_1$, persamaan tegangan motor induksi adalah sebagai berikut:

$$\bar{U}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_1 \bar{\Psi}_s \quad (3)$$

$$0 = R_r \bar{I}_r + j(\omega_1 - \omega_r) \bar{\Psi}_r \quad (4)$$

$$= R_r \bar{I}_r + js\omega_1 \bar{\Psi}_r$$

dimana s adalah slip, $s = \frac{(\omega_1 - \omega_r)}{\omega_1}$

Dari persamaan (1) dan (2), serta persamaan (3) dan (4), fluks bersama dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\bar{\Psi}_s = L_s \bar{I}_s + L_m \bar{I}_r \quad (5)$$

$$\bar{\Psi}_r = L_r \bar{I}_r + L_m \bar{I}_s \quad (6)$$

Bila induktansi stator dan rotor diperhitungkan ke induktansi bocor dan magnetisasi, persamaan (5) dan (6) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\bar{\Psi}_s = L_{s1} \bar{I}_s + L_M (\bar{I}_s + \bar{I}'_r) \quad (7)$$

$$\bar{\Psi}_r = L'_{r1} \bar{I}'_r + L_M (\bar{I}_s + \bar{I}'_r) \quad (8)$$

L_{s1} = induktansi bocor stator

L'_{r1} = induktansi bocor rotor

L_m = induktansi magnetisasi

Jika motor induksi beroperasi dengan tegangan stator dari berbagai frekuensi konstan, $f_1 = cf_R$ maka persamaan (3), (4), (7) dan (8), dengan menggunakan kuantitas rotor patokan dan dengan menggunakan ω_1 dengan $c\omega_1$ didapat persamaan:

$$\bar{U}_s = R_s \bar{I}_s + j\omega_s \left[K'_{sl} \bar{I}_s + X_M (\bar{\psi}_s + \bar{I}'_r) \right] \quad (9)$$

$$0 = \frac{R_r}{s} \bar{I}'_r + j\omega_s \left[K'_{rl} \bar{I}'_r + X_M (\bar{\psi}_s + \bar{I}'_r) \right] \quad (10)$$

$$c = \frac{f_1}{f_R} = \text{rasio frekuensi}$$

f_R = frekuensi dasar stator

f_1 = frekuensi operasi stator

Karakteristik Torsi dan Kecepatan

Rangkaian ekivalen dari gambar 5 dapat digunakan untuk memperoleh torsi elektromagnetik dalam keadaan seimbang dari motor induksi. Hubungan rugi-rugi rotor dengan torsi elektromagnetic dan daya celah udara adalah sebagai berikut:

$$P_r = 3|\bar{I}'_r|^2 R'_r = P_{gap} - P_{mech} \quad (11)$$

$$= T_e s \omega_1 = T_e (\omega_1 - \omega_r) = s P_{gap}$$

maka diperoleh torsi electromagnetic:

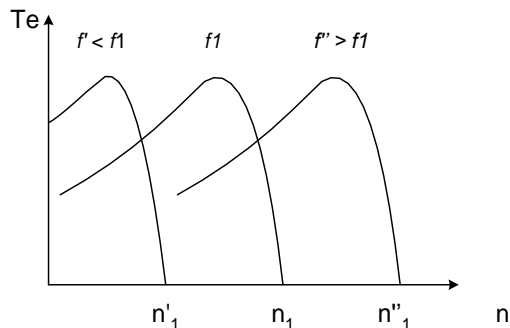
$$T_e = \frac{3|\bar{I}'_r|^2 R'_r}{s \omega_1} \quad (12)$$

dimana:

$$\bar{I}'_r = \frac{\bar{U}_s}{R'_s + R'_r/s + j\omega_s (K'_{sl} + X'_{rl})} \quad (13)$$

Karakteristik torsi – kecepatan dari motor induksi dalam operasi variable frekuensi jika

$f_1 = c f_R$ dapat dilihat pada gambar 4.



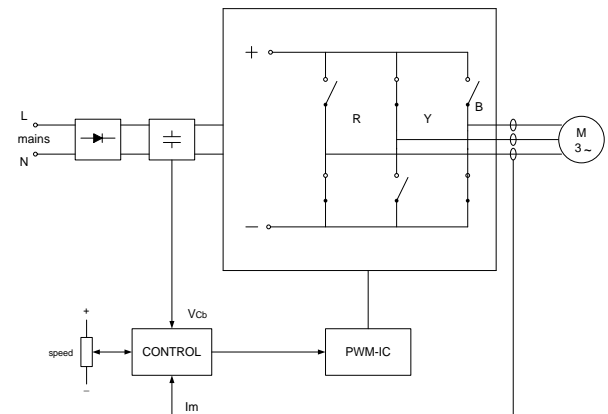
Gambar 4. Kurva karakteristik Te - n

BAHAN DAN METODE

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pertama melakukan analisis perubahan torsi dan kecepatan motor induksi dengan melakukan perubahan nilai frekuensi secara teoritis. Kedua pembuatan alat PWM inverter untuk digunakan pada pengujian motor induksi dan melakukan pengujian perubahan frekuensi suplai terhadap motor induksi dalam hal ini dilakukan pengujian terhadap motor induksi dengan memberikan perubahan frekuensi suplai dan beban. Penelitian ini dilakukan di lab mesin-mesin listrik UNRI.

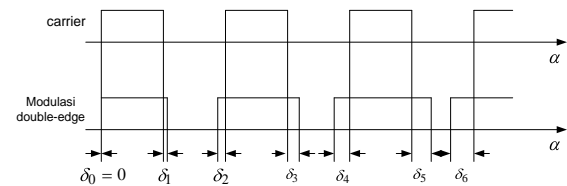
PWM Inverter

Pada penelitian ini digunakan IC LSI untuk mengatasi masalah tersebut. Diagram dari sistem regulasi kecepatan motor induksi diperlihatkan pada gambar 5.



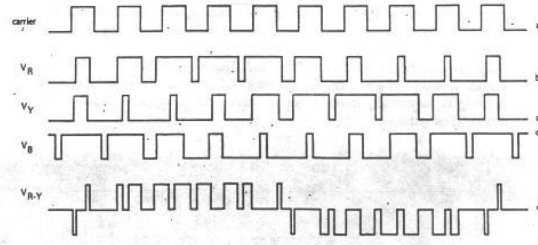
Gambar 5. Diagram regulasi motor dengan kontrol masukan

Pada bagian PWM, menghasilkan tiga pasang pengisian dari output gelombang penggerak, yang menghasilkan output tiga fasa simetris (120°). Bentuk gelombang PWM menggunakan modulasi double-edge dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Bentuk gelombang PWM

Perbedaan tegangan rata-rata antara dua dari tiga phasa output bervariasi dalam bentuk sinusoidal. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar 7 sinusoidal PWM.



Gambar 7. Bentuk gelombang sinusoidal PWM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini data-data dan parameter-parameter motor induksi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Data motor

- P = 1100 Watt
- f = 50 Hz
- n = 2800 rpm
- Cos ϕ = 0,8
- P = 2 kutub

Parameter motor

- R_s = 6,3 Ω
- R_c = 41,136 Ω
- R'_r = 7,540 Ω
- X_{sl} = 6,103 Ω
- X'_{rl} = 6,103 Ω
- X_m = 102,587 Ω

Adapun perhitungan yang digunakan untuk menganalisis masalah ini adalah untuk menghitung kecepatan dan slip motor induksi yang diberi beban secara bertahap dengan menggunakan persamaan (12) dan (13). Penelitian ini melakukan pengujian unjuk kerja dari regulasi kecepatan motor induksi dengan kontrol lup tertutup. Pengujian ini meliputi pengamatan terhadap perubahan kecepatan motor induksi yang diberi beban secara bertahap dan pengamatan frekuensi masukan ke motor induksi. Dari hasil analisis yang meliputi perubahan kecepatan terhadap perubahan torsi dengan berbagai frekuensi diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil pengujian motor induksi pada frekuensi kerja 50 Hz.

T (N.m)	f (Hz)	n (rpm)	s (slip)
0.3	50	2920	0.02667
0.5	50	2915	0.02833
1	50	2910	0.03000
1.5	50	2900	0.03333
2	50	2880	0.04000
2.5	50	2860	0.04667
3	50	2840	0.05333
3.5	50	2820	0.06000
4	50	2650	0.08000
4.5	50	2650	0.11667

Tabel 2 Hasil pengujian motor induksi pada frekuensi kerja 55 Hz.

T (N.m)	f (Hz)	n (rpm)	s (slip)
0.3	55	3220	0.02424
0.5	55	3210	0.02727
1	55	3200	0.03030
1.5	55	3180	0.03636
2	55	3150	0.04545
2.5	55	3100	0.06061
3	55	3050	0.07576
3.5	55	2980	0.09697
4	55	2850	0.13636
4.5	55	2650	0.19697

Tabel 3 Hasil pengujian motor induksi pada frekuensi kerja 45 Hz.

T (N.m)	f (Hz)	n (rpm)	s (slip)
0.3	45	2650	0.01852
0.5	45	2610	0.03333
1	45	2600	0.03704
1.5	45	2580	0.04444
2	45	2540	0.05926
2.5	45	2500	0.07407
3	45	2460	0.08889
3.5	45	2400	0.11111
4	45	2330	0.13704
4.5	45	2230	0.17407

Hasil analisa yang kedua meliputi perubahan kecepatan terhadap perubahan torsi dengan keadaan berbagai frekuensi dengan menggunakan kontrol lup tertutup diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil pengujian motor induksi pada frekuensi dasar 50 Hz

T (N.m)	f (Hz)	n (rpm)	s (slip)
0.3	50	2950	0.01667
0.5	50.1	2940	0.02000
1	50.3	2925	0.02500
1.5	50.5	2910	0.03000
2	50.7	2900	0.03333
2.5	51.1	2890	0.03667
3	51.5	2880	0.04000
3.5	52.1	2840	0.05333
4	53.1	2750	0.08333
4.5	54.1	2700	0.10000

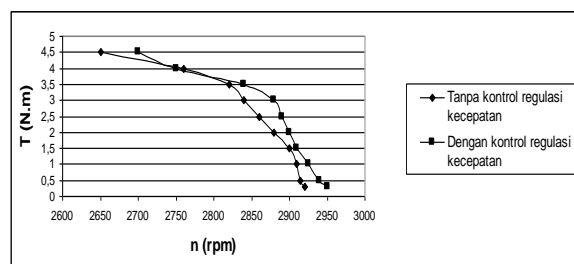
Tabel 5 Hasil pengujian motor induksi pada frekuensi dasar 55 Hz

T (N.m)	f (Hz)	n (rpm)	s (slip)
0.3	55	3220	0.02424
0.5	55.1	3215	0.02576
1	55.2	3210	0.02727
1.5	55.5	3200	0.03030
2	55.8	3170	0.03939
2.5	56.2	3140	0.04848
3	56.7	3100	0.06061
3.5	57.3	3055	0.07424
4	58.1	3000	0.09091
4.5	59.2	2950	0.10606

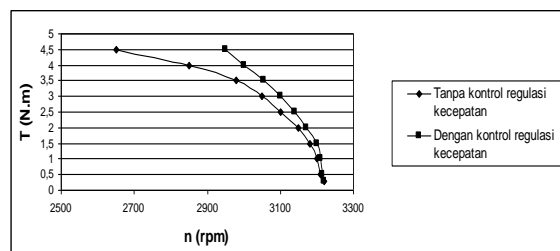
Tabel 6 Hasil pengujian motor induksi pada frekuensi dasar 45 Hz

T (N.m)	f (Hz)	n (rpm)	s (slip)
0.3	45	2650	0.01852
0.5	45.1	2630	0.02593
1	45.2	2610	0.03333
1.5	45.5	2600	0.03704
2	45.7	2590	0.04074
2.5	46.1	2570	0.04815
3	46.5	2540	0.05926
3.5	46.9	2500	0.07404
4	47.6	2470	0.08519
4.5	48.0	2460	0.08889

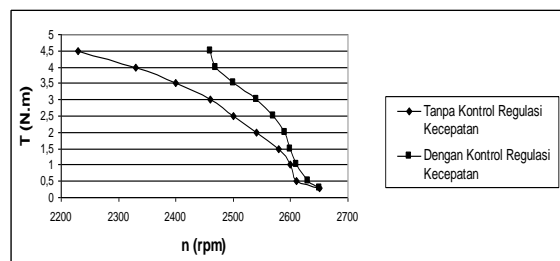
Dari hasil pengamatan dari tabel diatas dan dari gambar 8 kurva karakteristik pada kecepatan motor induksi sebelum diberi kontrol regulasi kecepatan lup tertutup, kecepatan motor induksi mengalami penurunan kecepatan yang besar.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8 Kurva karakteristik torsi – kecepatan (a) pada f = 50 Hz, (b) pada f = 55 Hz, (c) pada f = 45 Hz.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dengan menggunakan kontrol regulasi kecepatan lup tertutup, regulasi kecepatan motor induksi akan semakin kecil, dengan demikian motor induksi tidak mengalami perubahan kecepatan yang besar. Hal ini disebabkan bila motor induksi mengalami penurunan kecepatan maka frekuensi suplai akan dinaikkan sehingga kecepatan motor akan kembali meningkat.
2. Dari hasil pengamatan pada perubahan kecepatan motor induksi yang dilengkapi dengan kontrol regulasi kecepatan lup tertutup adalah dapat menekan penurunan kecepatan motor induksi akibat dari penambahan beban yang diberikan kepada motor induksi.

Saran

Penggunaan PWM inverter dengan kontrol lup tertutup adalah merupakan pengaturan regulasi kecepatan motor induksi yang sangat tepat dipergunakan pada industri-industri yang memerlukan pengaturan regulasi kecepatan yang kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada rekan-rekan staf pengajar di program studi teknik elektro Universitas Riau yang membantu dalam pelaksanaan penelitian. Disamping itu juga kepada pihak penerbit jurnal yang telah menerbitkan hasil penelitian penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Abbas, M. and Novitny, D, 1982 “*The Stator Voltage-Controlled Current Source Inverter Induction Motor Drive*”, IEEE Transaction on Industrial Applications.

Anonim, 1999, “*Variable Frequency Speed Control*”, DL 2309a1 De Lorenzo Italy.

Krause, P. C, 1986 “*Analysis of Electrical Machinery*”, McGraw-Hill, New York.

Lander W. Cyclic, 1993, “*Power Electronics*”, Third Edition, Mc Graw Hill Book Company, England.

Peter Vas, 1996, “*Electrical Machines and Drives, A Space-Vector Theory Approach*” Oxford University Press Inc, New York, Reprinted.

OPTIMASI PEMBANGKIT TERMAL MENGGUNAKAN METODA DYNAMIC PROGRAMMING

Dian Yayan Sukma

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau

yayan_st_te@yahoo.com

ABSTRAK

Ada dua kendala utama yang harus diperhatikan dalam pembangkitan energi listrik, yaitu pengoperasian pusat tenaga listrik dan biaya bahan bakar pada pembangkit termal yang merupakan biaya terbesar. Metoda dynamic programming merupakan salah satu metoda optimasi pembangkit termal yang dapat digunakan untuk mengatasi kendala tersebut. Pada metoda ini penjadwalan unit-unit pembangkit termal dilakukan dengan memilih state yang berisi kombinasi unit-unit pembangkit termal yang mungkin. Selanjutnya menentukan daya optimal dengan biaya pembangkitan ekonomis dari setiap state yang mungkin. State dengan biaya pembangkitan paling ekonomis dipilih sebagai pembangkitan daya ekonomis.

Optimasi pembangkitan termal menggunakan metoda Dynamic Programming lebih sederhana dan cepat. Dari hasil pengujian terhadap data rencana operasi harian pembangkitan termal sistem Sumbar-Riau selama satu minggu didapatkan penghematan sebesar Rp. 844.222.566,70.

Kata kunci : Lagrange, Program Dinamis

ABSTRACT

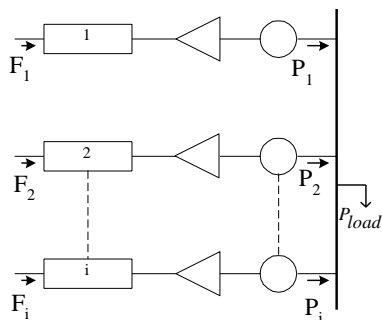
There are two principal constraints in the electric power generation. They are electric power centre operation and thermal generation fuel cost that is the most expensive cost. Dynamic programming method is one of thermal generation optimize method. At this method, unit commitment be done with choose feasible states. The state which the most economical fuel cost is chosen as economic dispatch.

The thermal generation optimize use dynamic programming method is more simple and faster. From the testing result at thermal generation daily operation planning dates of Sumbar-Riau system for a week is gotten economics as much as Rp. 844.222.566,70.

Key words : Dynamic Programming, Lagrange.

PENDAHULUAN

Operasi sistem tenaga listrik umumnya terdiri dari beberapa pusat tenaga listrik. Dalam pengoperasiannya untuk memenuhi kebutuhan beban selalu diupayakan agar jumlah daya pembangkitan menjadi ekonomis (masalah ini diutamakan untuk pembangkit *termal*).



Gambar 1 : *i* unit *termal* yang dioperasikan untuk melayani beban P_T

Untuk menyuplai beban sebesar P_T (gambar 1) harus dicari besar P_1, P_2, \dots, P_i agar biaya pembangkitan total $F_1(P_1) + F_2(P_2) + \dots + F_i(P_i)$ menjadi seminimal mungkin.

Pengaturan daya keluaran (MW) dari generator sangat tergantung kepada putaran dari rotor yang seporos dengan turbin. Pada pembangkit listrik tenaga *termal*, dengan naik-turunnya beban berarti harus diikuti dengan pengaturan besar - kecilnya energi yang masuk kedalam turbin. Sebagai masukan (input) adalah bahan bakar dan keluarannya (output) adalah daya listrik.

Operasi Ekonomi Sistem Tenaga Listrik

Pengoperasian sistem tenaga listrik, dalam memenuhi kebutuhan beban selalu diupayakan dengan biaya operasi yang ekonomis, yang lebih dikenal dengan *economic dispatch* (pembangkitan daya ekonomis).

Secara matematik, masalah economic dispatch dinyatakan sebagai suatu fungsi objektif F_T , dimana F_T adalah biaya total untuk total daya yang dikeluarkan oleh unit-unit pembangkit. Untuk meminimalkan fungsi F_T ini dibatasi oleh pembatasan jumlah daya yang dibangkitkan harus sama dengan daya beban dimana rugi-rugi transmisi diabaikan dalam perhitungan. Perumusan masalah economic dispatch pada pembangkit *termal* dimulai dengan mendefinisikan :

$$F_T = F_1(P_1) + F_2(P_2) + \dots + F_n(P_n)$$

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \text{ Rp/jam} \quad (1)$$

$$\phi = 0 = P_{load} - \sum_{i=1}^N P_i \text{ (MW)} \quad (2)$$

dimana :

F_T : biaya total dari daya total yang dibangkitkan (Rp/jam)

ϕ : selisih daya beban dengan daya dari unit-unit pembangkit (MW)

P_{load} : daya beban (MW)

$\sum_{i=1}^N P_i$: daya unit pembangkit dari $i \dots N$ (MW)

Adanya fungsi ϕ sebagai pembatasan daya pada masalah optimasi pembangkit *termal* dapat diselesaikan dengan melibatkan fungsi *Lagrange*. Dimana fungsi *Lagrange* adalah fungsi yang dibentuk dengan menambahkan fungsi kendala (pers(1)) ke fungsi objektif (pers(2)) setelah terlebih dahulu dikalikan dengan pengali *Lagrange* yang tidak ditentukan nilainya,

$$L = F_T + \lambda \phi$$

$$L = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) + \lambda \left(P_{load} - \sum_{i=1}^N P_i \right) \quad (3)$$

dimana :

λ : pengali Lagrange (Rp/MWh)

Karena fungsi *Lagrange* diatas harus memenuhi ketidaksamaan dari batas daya unit pembangkit, $P_i^{\min} < P_i < P_i^{\max}$ maka fungsi *Lagrange* harus ditambahkan dengan variabel kendala lain sehingga diperoleh hasil daya yang optimum. (misal ada 2 fungsi dari unit pembangkit) :

$$L = F_1(P_1) + F_2(P_2) + \lambda_0 (P_{load} - P_1 - P_2) + \lambda_1 (P_1 - P_1^+ + S_1^2) + \lambda_2 (P_1 - P_1^- + S_2^2) + \lambda_3 (P_2 - P_2^+ + S_3^2) + \lambda_4 (P_2 - P_2^- + S_4^2) \quad (4)$$

dimana :

$\lambda_0 = \lambda$: pengali Lagrange untuk fungsi awal

$\lambda_1, \dots, \lambda_4$: pengali Lagrange untuk fungsi – fungsi tambahan

P_i^+ : daya maksimum dari unit i (MW)

P_i^- : daya minimum dari unit i (MW)

S_i^2 : variabel tambahan

Maka fungsi *Lagrange* menjadi :

$$L = F_1(P_1) + F_2(P_2) + \lambda_0 (P_{load} - P_1 - P_2) + \lambda_1 (P_1 - P_1^+ + S_1^2) + \lambda_2 (P_1 - P_1^- + S_2^2) + \lambda_3 (P_2 - P_2^+ + S_3^2) + \lambda_4 (P_2 - P_2^- + S_4^2) \quad (5)$$

Fungsi *Lagrange* yang telah ditambah variabelnya tersebut kemudian diturunkan terhadap sukunya, yakni $\nabla L = 0$.

$$\nabla L = \begin{bmatrix} \frac{\partial L}{\partial P_1} \\ \frac{\partial L}{\partial P_2} \\ \cdot \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_4} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Untuk memperoleh penyelesaian dari fungsi matrik ∇L diatas, terlebih dahulu harus dicari matrik Jacobian dari fungsi matrik ∇L yang diperoleh dari turunan kedua dari fungsi *Lagrange* yang dikenal dengan matrik Hessian (H).

$$[H] = \nabla (\nabla L)$$

Selanjutnya dicari nilai delta dari masing-masing suku pada fungsi dengan mengalikan matrik invers dari $[H]$ dengan matrik $[-\nabla L]$.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta S_1 \\ \cdot \\ \Delta \lambda_4 \end{bmatrix} = \text{inv} [H] [-\nabla L] \quad (7)$$

Dengan menambahkan nilai delta tersebut pada nilai terkaan awal dari suku-suku tersebut, maka diperoleh nilai-nilai dari $P_1, P_2, \dots, \lambda_4$

$$P_i = P_i^0 + \Delta P_i, \quad \lambda_i = \lambda_i^0 + \Delta \lambda_i$$

Untuk mendapatkan nilai sesungguhnya dari suku-suku diatas dilakukan proses iterasi

(menggunakan metoda *Newton-Rhapson*) yang dibatasi oleh nilai mutlak dari turunan pertama fungsi Lagrange atau $|\nabla L| = 0$. Apabila syarat yang ditentukan ini telah terpenuhi maka proses iterasi harus dihentikan karena pada kondisi tersebut nilai dari suku-suku yang dicari sudah mendekati nilai yang sesungguhnya.

Metoda *Dynamic Programming*

Dynamic programming merupakan suatu metoda untuk mencari pilihan yang optimum diantara alternatif yang bisa ditempuh.

Dalam langkah pengoperasian unit pembangkit yang digunakan akan dilakukan dengan prioritas dari unit pembangkit. Untuk 3 buah unit pembangkit maka akan ada kombinasi prioritas sebagai berikut :

- Prioritas 1unit
- Prioritas 1unit+prioritas 2unit
- Prioritas 1unit+prioritas 2unit+prioritas 3unit

State yang mungkin dipakai adalah apabila unit-unit yang diaktifkan bisa menyuplai beban yang dibutuhkan dan memenuhi jumlah kapasitas minimumnya pada tiap periode.

Jika dalam sistem terdapat n unit pembangkit termal yang siap beroperasi maka formasi optimasi biaya bahan bakar dengan metoda *Dynamic programming* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan penjadwalan unit pembangkit dengan mengkombinasi n unit pembangkit sehingga dihasilkan kombinasi sebanyak $2^n - 1$.

Dimana :

$U(\text{unit}) = 1$ On, unit beroperasi

$U(\text{unit}) = 0$ Off, unit tidak beroperasi

2. Menghitung daya total pembangkitan dari tiap-tiap unit sebesar daya maksimum sesuai dengan penjadwalan unit pembangkit setiap kombinasinya.

$$P_{Gen} = \sum_{unit=1}^n P_{maks}(\text{unit})$$

3. Menentukan kemungkinan operasi unit pembangkitan dengan konsekuensi daya yang dibangkitkan besar dari beban setiap periodenya.

$$P_{Gen} \geq P_{Load}$$

4. Menghitung daya pembangkitan ekonomis tiap-tiap unit pembangkit (P^{edc}) dengan menggunakan metoda *Newton Rhapson*.
5. Menghitung biaya pembangkitan unit-unit pembangkit sebagai fungsi dari daya operasi ekonomis.

$$FCost = \sum_{unit=1}^n F(\text{unit}) P^{edc}(\text{unit})$$

dengan fungsi biaya pembangkitan tiap unitnya adalah :

$$F_{unit}(u, P) = a_{unit} P_{unit}^2 + b_{unit} P_{unit} + c_{unit} u(\text{unit})$$

dimana :

$F_{unit}(u, P)$: Biaya pembangkitan tiap unit

P_{unit} : Daya yang dibangkitkan tiap unit

$u(\text{unit})$: Unit commitment tiap unit

$a_{unit}, b_{unit}, c_{unit}$: Konstanta-konstanta

fungsi biaya pembangkitan tiap unit

6. Memilih kombinasi penjadwalan unit pembangkit dengan biaya pembangkitan minimum dari kombinasi yang feasible.

$$FCost_{min} = \min FCost$$

7. Mengoperasikan masing-masing unit pembangkit sebesar daya operasi ekonomis (P^{edc}) dari kombinasi penjadwalan unit pembangkit yang memiliki biaya minimum.

HASIL

Dengan mengaplikasikan persamaan-persamaan yang dilibatkan dalam metoda ini ke suatu bahasa pemograman terstruktur Matlab Ver.5.3 dan menggunakan data pada pembangkit termal sistem Sumbar-Riau dari tanggal 24 Desember s/d 30 Desember 2003, diperoleh hasil seperti pada tabel 2.

Sebelum melakukan metoda ini terlebih dahulu ditentukan fungsi biaya bahan bakar setiap unit berdasarkan karakteristik dari tiap-tiap unit pembangkit termal sebagai berikut :

Fungsi biaya bahan bakar PLTU Ombilin :

$$F_1(P_{T1}) = 1058845,9 + 29389,8P_{T1} + 134,2P_{T1}^2$$

$$F_2(P_{T2}) = 717643,2 + 39457,3P_{T2} + 64,8P_{T2}^2$$

Fungsi biaya bahan bakar PLTG Pauh Limo :

$$F_2(P_{T2}) = 6596373,7 + 391764,3P_{T2} + 2591,4P_{T2}^2$$

$$F_3(P_{T3}) = 7227032,9 + 232003,9P_{T3} + 9558,1P_{T3}^2$$

Optimasi Pembangkit Termal Menggunakan Metoda *Dynamic Programing* (D. Y. Sukma)

Tabel 1. Biaya operasi Pembangkit Termal tanggal 24 s/d 30 Desember 2003 Sebelum Optimasi

Tgl	Beban PLTU			Beban PLTG			Beban Total Pemb. Termal	Biaya Opr PLTU unit 1 & 2	Biaya Opr. PLTG unit 2 & 3	Biaya Operasi PLTU+PLTG
	unit 1	unit 2	Total	unit 2	unit 3	Total				
24	1900	1440	3340	177	63	240	3580	Rp 181.227.033,0	Rp 238.752.639,5	Rp 419.979.672,5
25	1905	1440	3345	56	178	234	3579	Rp 181.477.952,3	Rp 239.024.011,7	Rp 420.501.964,0
26	1910	1440	3350	183	61	244	3594	Rp 181.722.163,9	Rp 240.435.668,6	Rp 422.157.832,5
27	2000	1440	3440	83	61	144	3584	Rp 186.211.880,8	Rp 138.930.885,3	Rp 325.142.766,1
28	2025	1360	3385	95	93	188	3573	Rp 183.262.767,2	Rp 170.993.737,7	Rp 354.256.505,0
29	2040	0	2040	384	432	816	2856	Rp 108.630.050,9	Rp 672.669.120,0	Rp 781.299.170,9
30	2040	0	2040	384	432	816	2856	Rp 108.630.050,9	Rp 672.669.120,0	Rp 781.299.170,9
Total								Rp1.131.161.898,9	Rp2.373.475.182,8	Rp3.504.637.081,7

Tabel 2. Biaya operasi Pembangkit Termal tanggal 24 s/d 30 Desember 2003 Setelah Optimasi

Tgl	Beban PLTU			Beban PLTG			Beban Total Pemb. Termal	Biaya Opr. PLTU unit 1 & 2	Biaya Opr. PLTG unit 2 & 3	Biaya operasi PLTU+PLTG
	unit 1	unit 2	Total	unit 2	unit 3	Total				
24	1775	1782	3557	0	23	23	3580	Rp 191.401.620,5	Rp 28.785.984,7	Rp 220.187.605,2
25	1772	1791	3564	0	15	15	3579	Rp 191.713.430,8	Rp 19.190.656,4	Rp 210.904.087,2
26	1779	1791	3571	0	23	23	3594	Rp 192.083.264,9	Rp 28.785.984,7	Rp 220.869.249,6
27	1780	1788	3569	0	15	15	3584	Rp 191.973.883,6	Rp 19.190.656,4	Rp 211.164.540,0
28	1802	1726	3528	16	29	45	3573	Rp 189.623.594,7	Rp 45.067.096,5	Rp 234.690.691,2
29	2040	0	2040	384	432	816	2856	Rp 108.630.050,9	Rp 672.669.120,0	Rp 781.299.170,9
30	2040	0	2040	384	432	816	2856	Rp 108.630.050,9	Rp 672.669.120,0	Rp 781.299.170,9
Total								Rp1.174.055.896,3	Rp 1.486.358.618,7	Rp 2.660.414.515,0

PEMBAHASAN

Dari karakteristik fungsi biaya bahan bakar 2 jenis pembangkit termal terlihat bahwa pembangkit termal PLTU Ombilin jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan pembangkit termal PLTG Pauh Limo.

Jika dibandingkan antara PLTU unit 1 dan unit 2 terdapat perubahan biaya ekonomis terhadap perubahan bebannya:

Untuk pembebanan dibawah 54 MW PLTU unit 2 lebih ekonomis dibanding unit 1. Untuk pembebanan antara 54 MW hingga 94 MW PLTU unit 1 lebih ekonomis dibanding unit 2. Untuk pembebanan diatas 94 MW PLTU unit 2 lebih ekonomis.

Sedangkan pada PLTG juga terjadi hal yang sama. Untuk pembebanan dibawah 6 MW PLTU unit 2 lebih ekonomis dibanding unit 3 Untuk pembebanan antara 6 MW hingga 18 MW PLTG unit 3 lebih ekonomis dibanding unit 2. Untuk pembebanan diatas 18 MW PLTG unit 2 lebih ekonomis.

Pada tabel 2. terlihat bahwa dari tanggal 24 hingga tanggal 27 Desember PLTU unit 2 sama-sama diberi beban lebih

besar dibanding unit 1. Ini disebabkan lebih diprioritaskannya unit 2 pada saat terjadinya beban puncak karena memiliki biaya lebih ekonomis pada saat itu. Pada tanggal 28 Desember PLTU unit 1 diberi beban lebih besar dibanding unit 2. Hal ini dikarenakan unit 2 dihentikan untuk pemeliharaan setelah jam 23.00 sehingga unit 1 diberi beban maksimal. Kondisi ini terus berlanjut hingga tanggal 30 Desember yang menyebabkan diberikannya beban maksimal pada PLTU unit 1, PLTG unit 2 dan PLTG unit 3.

Dari penelitian ini, jika dibandingkan antara tabel 1 dan tabel 2 penghematan biaya bahan bakar pada pembangkit termal diperoleh dari tanggal 24 hingga 28 Desember atau penghematan selama 5 hari adalah sebesar Rp. 844.222.566,70.

KESIMPULAN

Uraian diatas menjelaskan bahwa:

1. Untuk perubahan beban tiap jam selama satu periode akan menyebabkan terjadinya perubahan skala prioritas pembebanan pada masing-masing unit pembangkit termal yang memungkinkan

pemilihan feasible state yang berbeda tiap jamnya.

2. Dengan memilih state-state yang feasible terhadap beban dapat memudahkan perhitungan optimasi unit pembangkit termal dan terhindar dari banyaknya iterasi.
3. Pembangkit termal PLTU yang memiliki karakteristik fungsi biaya bahan bakar yang jauh lebih ekonomis dibanding dengan PLTG selalu lebih diprioritaskan dalam pengoperasiannya.
4. Optimasi pembangkit termal menggunakan metoda dynamic programming pada sistem Sumbar-Riau dari tanggal 24 Desember 2003 hingga 30 Desember 2003 diperoleh penghematan sebesar Rp. 844.222.566,70.

Power System Simulation Environment, Thesis, BS University of Winsconsin, Platteville.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak penerbit yang telah sudi menerbitkan tulisan ini. Disamping itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan dosen teknik elektro UNRI yang telah memberikan sumbangan pemikirannya. Dan juga kepada pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar. A. DR, Kuwahara S. DR, 2000, *Teknik Tenaga Listrik*, Jilid I, Penerbit, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Marsudi, Djiteng, Ir, 1990, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit dan Humas ISTN,.

Stevenson, Jr. William D, 1996, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, edisi keempat, penerbit Erlangga, Jakarta.

Wood, Allen J, 1996, *Power Generation Operation and Control*, edisi kedua, Jhon Willey & Sons, Inc, New York.

Weber, James D, 1995, *Implementation of Newton Based Optimal Power Flow into*