

Simulasi Bagan Smith Pada Perhitungan Saluran Transmisi

Verina

Jurusan Teknik Elektro Undip

Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang (024) 7460057

Email : eeundip@indosat.net.id Fax (024) 7460055

Abstrak

Saluran transmisi secara umum dapat diartikan sebagai suatu perangkat kabel yang terbuat dari penghantar yang baik seperti aluminium atau tembaga dan digunakan untuk mengirimkan besaran-besaran listrik. Sifat dan unjuk kerja dari suatu saluran tergantung pada jumlah daya yang akan dikirimkan dan frekuensi yang menyertainya.

Kesepadanan impedansi (matching) sangat penting untuk mendapatkan daya maksimal pada suatu sistem transmisi. Jika pada beban tidak terdapat impedansi yang sepadan, maka pada saluran transmisi akan timbul resonansi, gelombang tegak arus dan tegangan serta tidak terjadi pengiriman daya secara maksimal

Pada tugas akhir ini akan divisualisasikan bagaimana pembentukan bagan Smith dan aplikasinya untuk analisa unjuk kerja saluran transmisi. Dengan bagan Smith perhitungan-perhitungan dasar dan kesepadanan saluran transmisi dapat diketahui dan menhemat pekerjaan perhitungan yang harus dilakukan tanpa mengurangi kecermatannya. Hal ini sangat berguna untuk merancang suatu transceiver agar sistem kesepadanan dapat diperhitungkan sehingga karakteristik pemancar-penerima dapat diatur sesuai dengan perubahan frekuensi.

1. Pendahuluan

Pekerjaan untuk mengetahui kesepadanan impedansi dan mendapatkan daya maksimal pada sistem transmisi membutuhkan perhitungan-perhitungan saluran transmisi yang begitu rumit karena seringkali mencakup manipulasi dengan bilangan kompleks. Salah satu cara untuk mengurangi pekerjaan tersebut tanpa mengurangi kecermatannya adalah dengan menggunakan suatu bagan khusus yang dikenal sebagai bagan Smith (*Smith chart*). Dalam tugas akhir ini dirancang program simulasi bagan Smith. Tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini adalah menerapkan program simulasi untuk melakukan perhitungan-perhitungan dasar pada saluran transmisi dan posisi pembebanan suatu saluran transmisi apakah sepadan atau tidak.

2. Algoritma Pembentukan Bagan Smith

Pada dasarnya, bagan Smith menunjukkan kurva resistansi konstan dan reaktansi konstan yang dapat menyatakan impedansi masukan atau impedansi beban. Indikasi kedudukan sepanjang saluran juga diberikan, biasanya dinyatakan dalam fraksi suatu panjang gelombang dari maksimum atau minimum tegangan. Hubungan dasar yang menjadi landasan pembuatan bagan adalah

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2-1)$$

2.1. Perencanaan Koefisien Pantul

Koefisien pantul diplot pada bagan Smith dalam lingkaran berjari-jari satuan, memakai koordinat kutub, dengan peubah jari-jari $|\Gamma_L|$ dan peubah sudut yang berlawanan dengan arah putaran jarum jam ϕ , dengan $\Gamma = |\Gamma_L| e^{j\phi}$, Karena $|\Gamma_L| \leq 1$, maka semua informasi harus terletak dalam lingkaran satuan tersebut.

2.2. Perencanaan Kurva Impedansi Smith

Impedansi yang diplot pada bagan akan dinormalisasi terhadap impedansi karakteristik (z). Nilai-nilai admitansi dapat juga ditunjukkan dalam bagan Smith, dengan mendefinisikan admitansi yang dinormalkan sebagai $y = 1/z$.

Untuk impedansi beban dapat dituliskan-

$$z_L = \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L} = r + jx \quad (2-2)$$

dimana : r = resistansi yang dinormalkan
 x = reaktansi yang dinormalkan

Untuk mempermudah, dapat dimisalkan :

$$u + jv = |\Gamma_L| \angle \phi - 2\beta d \quad (2-3)$$

Jika dinyatakan dalam bentuk polar :

$$z = r + jx = \frac{1 + u + jv}{1 - u - jv} = \frac{(1 - u^2 - v^2) + 2jv}{(1 + u)^2 + v^2} \quad (2-4)$$

Jika bagian real dan imajinerinya dipisah, akan didapat persamaan berikut :

$$r = \frac{1 - u^2 - v^2}{(1 - u)^2 + v^2} \quad (2-5)$$

$$x = \frac{2v}{(1 - u)^2 + v^2} \quad (2-6)$$

2.2.1. Kurva Resistansi

Dari persamaan (2-5), didapat

$$\left(u - \frac{r}{r+1}\right)^2 + v^2 = \frac{1}{(r+1)^2} \quad (2-6)$$

Persamaan (2-6) menyatakan keluarga lingkaran dengan masing-masing lingkaran berpautan dengan harga resistansi (r) yang spesifik. Semua lingkaran tersebut berpusat pada sumbu u dan melalui titik $u = 1$ dan $v = 0$.

2.2.2. Kurva Reaktansi

Dari persamaan (2-6), didapat

$$(u-1)^2 + \left(v - \frac{1}{x}\right)^2 = -1 + 1 + \frac{1}{x^2} = \left(\frac{1}{x}\right)^2 \quad (2-7)$$

Persamaan (2-7) juga menyatakan keluarga lingkaran, tetapi masing-masing lingkaran didefinisikan oleh harga x tertentu. Lingkaran berpusat pada sumbu $u = 1, v = 0$ dan berjari-jari nol.

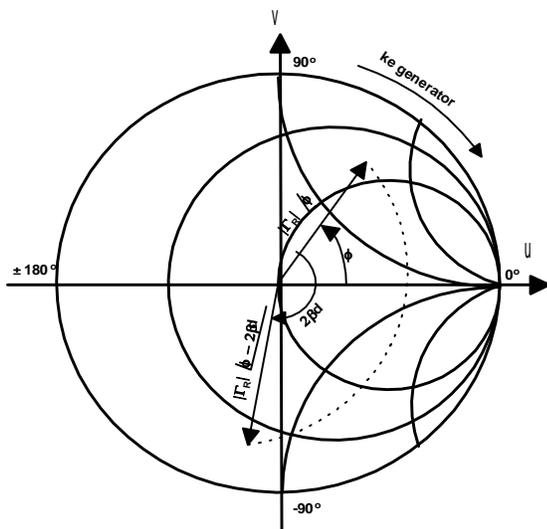
2.3. Skala Penambahan Jarak

Persamaan umum yang menghubungkan antara impedansi masukan yang dinormalisasi z_{in} , koefisien pantul $|\Gamma_L|$ dan panjang saluran d , bila $d = 0$ diperoleh

$$z_{in} = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|} = z_L \quad (3-31)$$

Ketika beban z bergerak ke impedansi masukan z_{in} , berarti bergerak ke arah generator yang berjarak d pada saluran transmisi, pada bagan Smith pergerakan ini melalui sudut $2\beta d$ dalam arah putaran jarum jam. Jadi satu putaran pada bagan Smith diselesaikan bila βd berubah dengan π rad atau bila d berubah sebesar setengah gelombang. Jadi pada bagan Smith terdapat suatu skala yang menunjukkan perubahan $0,5\lambda$ untuk satu keliling lingkaran satuan. Jarak yang dinormalkan adalah d/λ dimana referensi nol untuk skala ini adalah titik sudut 180° .

Ketiga kurva dapat dilihat seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagan Smith

3. Aplikasi Bagan Smith

Penggunaan bagan Smith seperti telah dijelaskan dari awal adalah untuk menghemat perhitungan saluran transmisi tanpa mengurangi kecermatan hasil dari perhitungan. Beberapa contoh aplikasi bagan Smith untuk memecahkan persoalan dalam perhitungan saluran transmisi adalah sebagai berikut :

- Penentuan nilai impedansi, admitansi dan VSWR
- Penentuan kedudukan maksimum (d_{min}) atau minimum tegangan (d_{max})
- Teknik kesepadanan batang tunggal
- Saluran transmisi sebagai elemen rangkaian

3.1. Penentuan Impedansi, Admitansi dan VSWR

Impedansi yang dinormalisasi pada suatu maksimum tegangan dan minimum tegangan adalah resistif murni dan sama besarnya dengan VSWR, pada perpotongan lingkaran

$|\Gamma_L|$ dan sumbu r , dimana $r > 1$. Nilai VSWR berlaku untuk setiap titik yang dipotong oleh lingkaran tersebut. Lingkaran VSWR pada bagan Smith juga dapat digunakan untuk mendapatkan admitansi yang sepadan dengan suatu nilai impedansi tertentu. atau sebaliknya dengan menggunakan aturan bahwa admitansi yang dinormalkan y terletak bersebrangan dengan z pada garis tengah yang sama pada lingkaran tersebut.

3.2. Penentuan Kedudukan Maksimum dan Minimum Tegangan

Jika d_{min} dipresentasikan sebagai jarak dari beban ke minimum tegangan yang pertama, maka koefisien pemantulan pada minimum adalah

$$\Gamma_{min} = |\Gamma_L| \angle (\phi - 2\beta d_{min}) \quad (3-34)$$

Pada minimum tegangan, kedua tegangan adalah berlawanan fasanya, karena itu tegangan pantulan tertinggal terhadap gelombang datang dengan π radian. Hal ini disebabkan karena tegangan datang maju fasanya, sementara d membesar. Sehingga besar fasa yang didapatkan

$$\phi = \left(\frac{4d_{min}}{\lambda} - 1 \right) \quad (3-36)$$

Jika diketahui letak suatu minimum tegangan, untuk mendapatkan titik impedansi beban hanya diperlukan pergerakan sepanjang d_{min}/λ ke arah beban pada bagan, dan titik z_L terletak dimana garis radius memotong lingkaran VSWR. Pergerakan menurut arah jarum jam dari setiap posisi pada bagan memberikan suatu pergeseran posisi ke arah generator, sedangkan gerakan yang berlawanan dengan arah jarum jam memberikan suatu pergeseran posisi ke arah beban.

3.3.3. Teknik Penyepadanan Batang Tunggal

Penyepadanan tanpa pantulan pada saluran-saluran transmisi dapat diperoleh dengan menggunakan batang (*stub*) reaktif untuk menala sampai habis reaktansi atau kapasitansi pada posisi yang benar pada saluran, seperti dapat dilihat pada Gambar 3.9. Parameter-parameter yang harus diperhitungkan adalah posisi batang, panjang batang, impedansi karakteristik dan keadaan batang terbuka atau terhubung singkat.

$$d_{s1} = \frac{\phi + \pi - \cos^{-1} |\Gamma_L|}{2\beta} \quad (3-57)$$

$$d_{s2} = \frac{\lambda}{4\pi} (\phi + \pi) \quad (3-60)$$

Selisih antara keduanya didapat seperti persamaan (3-61)

$$d_s = \frac{\lambda}{4\pi} \cos^{-1} |\Gamma_L| \quad (3-61)$$

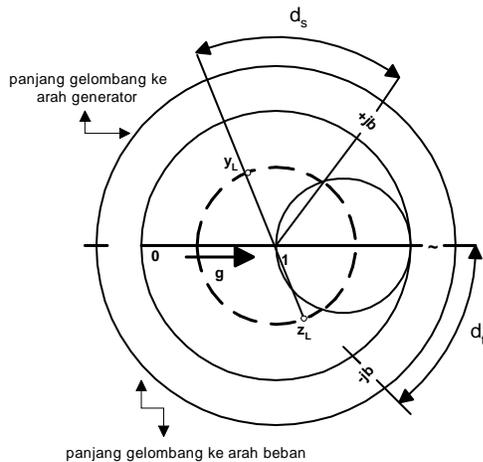
Lokasi reaktansi pada batang menjadi

$$b_s = \frac{2|\Gamma_L|}{\sqrt{1 - |\Gamma_L|^2}} \quad (3-63)$$

Panjang pada batang hubung singkat seperti tertulis pada persamaan (3-66)

$$d_t = \frac{\lambda}{2\pi} \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - |\Gamma_L|^2}}{2|\Gamma_L|} \quad (3-66)$$

Titik beban telah dicapai bila reaktansi nol atau tak terhingga tercapai. Reaktansi nol berarti bahwa beban batang harus berupa suatu hubungan terbuka dan reaktansi tak terhingga berarti bahwa beban harus suatu hubungan singkat. Perencanaan d_s dan d_t pada bagan Smith dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Penentuan d_s dan d_t dengan bagan smith

3.3.4. Saluran Transmisi Sebagai Elemen Rangkaian

Beberapa keadaan pembebanan tertentu mempunyai arti khusus :

- Keadaan dimana $Z_L = 0$ atau saluran merupakan suatu hubungan singkat ($\Gamma_L = -1$ dan $VSWR = 0$)

Impedansi pada setiap titik di saluran dengan jarak = d .

$$Z = j Z_0 \tan \beta d \quad (3-70)$$

Perubahan reaktansi terhadap panjang saluran untuk nilai $0 \leq d \leq \lambda/4$, $\lambda/2 \leq d \leq 3\lambda/4$, dan seterusnya, Z adalah induktif (+j) dan untuk nilai $\lambda/4 \leq d \leq \lambda/2$, $3\lambda/4 \leq d \leq \lambda$, dan seterusnya, Z adalah kapasitif (-j).

- Keadaan dimana $Z_L = \infty$ atau saluran merupakan suatu rangkaian terbuka ($\Gamma_L = 1$ dan $VSWR = \infty$)

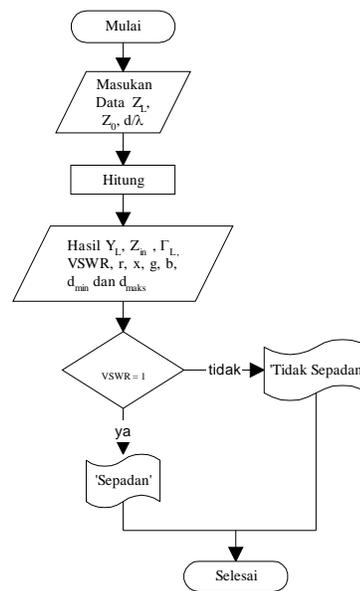
Impedansi pada setiap titik di saluran dengan jarak = d .

$$Z = -j Z_0 \cot \beta d \quad (3-73)$$

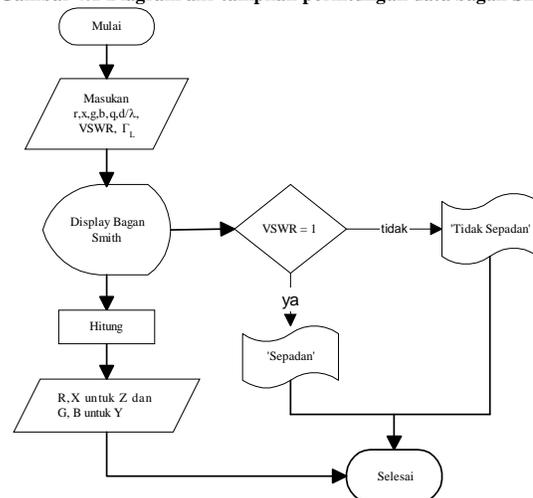
Perubahan reaktansi terhadap panjang saluran untuk nilai $0 \leq d \leq \lambda/4$, $\lambda/2 \leq d \leq 3\lambda/4$, dan seterusnya, Z adalah kapasitif (-j) dan untuk nilai $\lambda/4 \leq d \leq \lambda/2$, $3\lambda/4 \leq d \leq \lambda$, dan seterusnya, Z adalah induktif (+j).

Pada bagan Smith, suatu saluran transmisi baik untuk rangkaian terbuka dimana $VSWR = \infty$ maupun hubungan singkat dimana $VSWR = 0$, divisualisasikan dengan kurva lingkaran $VSWR$ yang berhimpit dengan skala reaktansi yang dinormalkan yang berarti nilai impedansi masukan sebesar nilai reaktansi masukan atau $Z_{in} = 0 + jX_{in}$. Jadi jika diketahui jarak terhadap bebannya (d/λ) untuk mendapatkan impedansi masukan cukup dengan bergerak di sepanjang lingkaran $VSWR$ sejauh jarak diketahui dengan pergerakan ke arah generator sampai pada titik yang berpotongan dengan kurva reaktansi dimana harga reaktansi tersebut merupakan harga dari impedansi masukan.

4. Implementasi Program



Gambar 4.1 Diagram alir tampilan perhitungan data bagan Smith



Gambar 4.2. Diagram alir tampilan kurva bagan Smith

5. Pembahasan Hasil

6. Kesimpulan dan Saran

Berikut ini akan diuraikan kesimpulan dan saran.

5.1. Kesimpulan

1. Metode Bagan Smith dapat digunakan untuk perhitungan saluran transmisi tanpa mengurangi kecermatan hasil dan posisi kesepadanan saluran lebih dapat terlihat sehingga dapat digunakan lebih baik lagi dalam perancangan berbagai sistem transceiver yang sangat membutuhkan kesepadanan untuk mendapatkan hasil yang optimal.
2. Perhitungan $VSWR$ bergantung pada kondisi dari pembebanannya. Untuk mengantisipasi semakin besarnya harga $VSWR$ maka diusahakan impedansi bebannya mendekati harga impedansi karakteristik.
3. Jika saluran dibebani oleh impedansi beban yang lebih kecil dari impedansi karakteristik saluran maka harga koefisien pantul menjadi negatif yang pada bagan

ditunjukkan dengan perbedaan sudut fasa koefisien pantul sebesar 180° atau terbaca sebagai sudut koefisien pantul pada admitansi beban..

4. Pada saluran yang pembebanannya merupakan rangkaian terbuka, Z adalah induktif untuk panjang saluran $0 \leq d \leq \lambda/4$ dan bersifat kapasitif untuk panjang saluran $\lambda/4 \leq d \leq \lambda/2$, sebaliknya pada saluran dengan beban hubung singkat, Z adalah kapasitif untuk panjang saluran $0 \leq d \leq \lambda/4$ dan bersifat induktif untuk panjang saluran $\lambda/4 \leq d \leq \lambda/2$.
5. Penyepadan tanpa pantulan pada saluran transmisi dapat diperoleh dengan penggunaan sebuah batang (*stub*) reaktif untuk menala sampai habis reaktansi atau kapasitansi pada posisi yang benar pada saluran.

6.2. Saran

Sebagai saran atas tugas akhir ini :

1. Struktur data untuk penyimpanan data masukan dan hasil perhitungan perlu disempurnakan agar lebih banyak menyimpan data dan dapat dimodifikasi setiap saat
2. Pengembangan lebih lanjut dari program adalah penambahan aplikasi perhitungan saluran transmisi misalnya untuk pemakaian saluran sebagai rangkaian resonansi, saluran penunda, perilaku tansien dari saluran ataupun juga penggunaan teknik penyepadan lain.

Referensi

1. Ayres Jr., Frank, *Kalkulus*, Edisi Kedua, Seri Buku Schaum, Penerbit Erlangga, 1993.
2. Blake, Lamont V., *Antennas*, John Wiley & Sons, New York, 1996.
3. Collin, R. E., *Foundations for Microwave Engineering*, McGrawHill Book Company, New York, 1966.
4. Couch II, Leon W., *Digital and Communication System*, 4th Edition, Macmillan Publishing, New York, 1993.
5. Erwin, Robert M., *Pengantar Telekomunikasi*, Penerbit PT. Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta, 1988.
6. Freeman, Roger L., *Telecommunication Transmission Handbook*, Third Edition, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
7. Gandhi, Om. P., *Microwave Engineering And Applications*, Maxwell Macmillan International Editions, New York, 1981.
8. Hayt, William., *Elektromagnetika Teknologi*, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta, 1989.
9. Magnusson, Phillip C., *Transmissions Lines and Wave Propagation*, Allyn and Bacon Series in Electrical Engineering.
10. Marshall, Stanley, and Skitek, Gabriel, *Electromagnetic Concepts And Applications*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1990.
11. Mithal, G.K., *Network Analysis*, McGraw-Hill Int., California, 1951.

12. Pramono, Djoko, *Mudah Menguasai Delphi 4, Jilid 1 dan Jilid 2*, PT Elex Media Computindo, Gramedia, Jakarta, 1999.
13. Pranata, Antony, *Pemrograman Borland Delphi, Edisi 3*, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2000.
14. Roddy, D. and Coolen, J., *Komunikasi Elektronika, Jilid 1 dan Jilid 2*, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta, 1990.
15. Sinnema, William, *Electronic Transmission Technology : Lines, Waves, and Antennas*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey., 1979.
16. Skilling, Hugh H., *Electric Transmissions Lines (Distributed Constants, Theory and Applications)*, McGrawHill Book Inc., New York, 1951.
17. Spiegel, Murray R., *Complex Variables*, Schaum Outline series, McGraw-Hill International Book Company, Singapore, 1981.
18. Valkenberg Van, M. E., *Network Analysis*, Third Edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1974.

Acknowledgement

The author would like to appreciate the advistement and insight by **Mr. Ir. Sudjadi, MT** and **Mr. Wahyudi, ST, MT** (Diponegoro University).

Biographics

Verina was born on July 18th 1977 in Jakarta. She is a student in Electrical Engineering, Diponegoro University majoring in Telecommunication Engineering. Her currently research on Smith Chart for performing transmission line calculations.

Mengetahui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Sudjadi, MT
NIP. 131 558 567

Wahyudi, ST, MT
NIP. 132 086 662