SIMULASI *SMITH CHART* UNTUK PENYESUAI IMPEDANS TIPE TRAFO 1/4 λ dan TIPE *SINGLE STUB*

Dewi Panca Wati[1], Imam Santoso[2], Ajub Ajulian Zahra[2]

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstrak

Permasalahan utama dari telekomunikasi adalah fenomena menyampaikan informasi dari satu titik ke titik yang lain. Salah satu cara menyampaikan informasi adalah dengan media saluran transmisi. Agar komunikasi berjalan dengan baik maka informasi yang disampaikan melalui saluran transmisi harus berjalan semaksimal mungkin atau dapat mengirim daya secara maksimal. Oleh karena itu diperlukan adanya penyesuaian antara beban saluran transmisi dengan saluran transmisi tersebut. Perhitungan secara manual memerlukan proses perhitungan yang rumit dan memakan waktu. Oleh karena itu diperlukan suatu alat bantu untuk mengatasi hal tersebut.

Pada tugas akhir ini menggunakan simulasi smith chart untuk penyesuai impedans tipe trafo 1/4λ dan tipe single stub. Metode trafo 1/4λ dan tipe single stub pada Program smith chart yang dibuat diuji dengan rangkaian seri hubung terbuka, seri hubung singkat, paralel hubung terbuka dan paralel hubung singkat.

Hasil pengujian yang sudah dilakukan, Pada metode trafo ¼ λ, dengan perubahan Zo semakin besar dan Zl tetap menghasilkan nilai Zoi dan panjang gelombang berkurang. Hasil perhitungan metode single stub menghasilkan dua alternatif, jika panjang stub bertambah maka jarak stub dari Zl berkurang, jika panjang stub berkurang maka jarak stub dari Zl bertambah.

Kata kunci : matching impedansi, smith chart, saluran transmisi.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dalam saluran transmisi untuk saluran komunikasi, masalah penyesuaian impedansi merupakan permasalahan yang sangat penting, agar impedansi antara dua media atau dua rangkaian yang berhubungan dapat berfungsi dengan baik. Dengan dilakukan penyesuaian impedansi, maka pantulan yang terjadi dapat diperkecil sehingga transfer daya dapat berjalan semaksimal mungkin (*maximum power transfer*), yang secara umum dapat dikatakan bahwa bila diantara dua media yang berbeda impedansinya dipasang rangkaian penyesuai impedans, maka harga impedansi media satu bila dilihat dari sisi penyesuai impedansi yang dihubungkan dengan media tersebut sama dengan harga *conjugate* impedansi media yang lain.

Penyesuaian impedansi saluran mempunyai kaitan yang erat dengan impedansi karakteristik saluran dan komponen (pelemahan/redaman) yang keduanya ditentukan oleh adanya komponen R, L, C dan G dalam saluran. Pada saluran tanpa rugi-rugi tidak mengandung komponen α. Adanya komponen α ini mempengaruhi analisis penyesuaian impedansi karena itu dalam analisis penyesuaian impedansi dibagi menjadi dua yaitu

1.penyesuaian impedansi untuk saluran tanpa rugi-rugi
2.penyesuaian impedansi untuk saluran berugi-rugi.

Adapun metode yang dapat dilakukan dan yang akan dibahas dalam penyesuaian impedansi adalah *trafo ¼ λ* dan *single stub.*

Selama ini dalam pengamatan penyesuaian impedansi digunakan cara yang manual. Analisis penyesuaian impedansi disini umumnya digunakan *smithchart* dan untuk mendapatkan ketelitian yang baik dan dalam waktu yang singkat maka perlu digunakan bantuan komputer. Pada tugas akhir ini dicoba menggunakan perangkat lunak MATLAB *version* 7.1 Dihaharapkan dengan dibuatnya perangkat lunak ini dapat digunakan sebagai pembelajaran mengenai saluran transmsi.

1.2 Pembatasan Masalah

Permasalahan dari tugas akhir ini dibatasi pada penyesuaian impedansi saluran transmisi lossless dengan metode *trafo ¼ λ* dan metode *single stub*, sedangkan bahasa komputer yang digunakan untuk membuat program penyesuaian impedansi adalah MATLAB *version* 7.1.

2 DASAR TEORI

2.1 Saluran Transmisi [1]

Saluran transmisi didefinisikan sebagai suatu struktur atau susunan yang memandu perambatan gelombang elektromagnetik dari titik α ke titik β. Pada saluran transmisi permukaan sepanjang propagasi berada dalam daerah z dengan frekuensi ω sehingga nilai gelombang sebesar β=ω/c, maka z dalam daerah waktu tergantung dari tegangan dan arus dimana,

$V(z,t) = Ve^{j\omega t - j\beta z}$
$I(z,t) = Ie^{j\omega t - j\beta z}$

dengan :

V = tegangan (volt)
e = konstanta Boltzman (2,232 x 10^{-23})
β = ω/c

Perbandingan nilai konstanta *v(z,t)/I(z,t)=V/I* sehingga menyisakan nilai konstan dan bebas dari z. Perbandingan tersebut disebut dengan impedansi karakteristik, yang dapat dihitung :

$Z = \frac{V}{I}$

dengan :

Z = impedansi (Ω)

[1] Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP
[2] Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

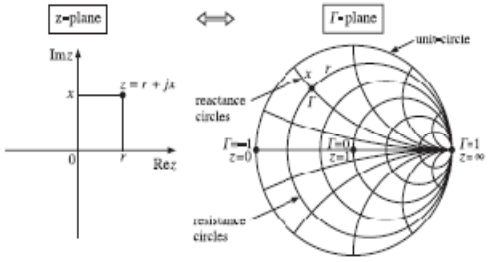
Jalur rugi – rugi transmisi dapat ditangani dengan memperhatikan parameter nilai sistem tersebut. Rugi-rugi saluran transmisi tersebut dihitung dalam beberapa kondisi tertentu yang dapat menghasilkan parameter tertentu bersubstansial dan dapat dimengerti nilai tertentu tersebut.

2.2 *Smith Chart*[1]

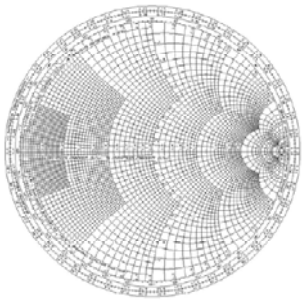
Penggunaan *smith chart* dalam saluran transmisi akan memudahkan penyelesaian masalah penyesuaian impedansi pada saluran transmisi. Penyelesaian masalah dengan menggunakan *smith chart* ini, sering disebut dengan penyelesaian masalah secara grafis. Sehingga akurasi hasil yang diperoleh sangat tergantung dari ketepatan kita pada saat memetakan titik-titik dan mentransformasinya ke titik-titik lain dalam *smith chart* tersebut. Semakin presisi pada saat memetakan dan mentransformasi titik-titik tersebut, semakin akurat pula hasil yang diperoleh. Dibanding dengan menggunakan perhitungan, relatif lebih banyak waktu dan tenaga diperlukan untuk memecahkan persoalan dengan dasar bilangan komplek tersebut, dibanding dengan perhitungan pada operasi dengan bilangan nyata. Untuk membantu pemecahan tersebut, dapat digunakan suatu peta (*chart*), yang dikenal dengan **Peta Smith** atau ***Smith Chart***.

Smith chart menggambarkan grafik *Γ-plane* dengan jaringan kurva bersifat linear dari lingkaran resistasi konstan dan reaktansi konstan yang digambarkan dalam satu kesatuan lingkaran. Sebenarnya, smith chart adalah pengambaran grafis kurva bersifat linear dalam histogram garis.

Beberapa koefisien refleksi titik Γ jatuh pada saat perpotongan antara lingkaran resistansi dan reaktansi, r, x, dari penyesuaian impedansi maka dapat dibaca secara langsung $z = r + jx$. Sebaliknya, dengan memberikan $z = r + jx$ dan menentukan perpotongan antara lingkaran r, x, titik kompleks Γ dapat ditempatkan dan nilainya dapat dibaca pada koordinat polar dan kartesian.



Gambar 2.1 pemetaan antara z-plane dan *Γ*-plane[1]



Gambar 2.2 peta smith(*smithchart*).[3]

Pada *smithchart*, jika suatu impedansi dinyatakan dengan Z = R + jX, maka normalisasi impedansi tersebut menjadi :

$$Z = \frac{Z}{Z_0} = \frac{R+jX}{Z_0} = r + jX \qquad (2\text{-}9)$$

Impedansi Z sering kali dinyatakan secara kompleks, yaitu terdiri dari resistansi R dan reaktansi X. Admitansi Y merupakan kebalikan dari Z, yaitu:

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R+jX} = \frac{R-jX}{R^2+X^2}$$

Smithchart adalah pernyataan grafis yang mendasar dari suatu tinjauan impedansi sebagai satu garakan sepanjang saluran transmisi.

Sisi kanan merupakan bentuk rektangular dari persamaan pada sisi kiri yang merupakan bentuk polar.

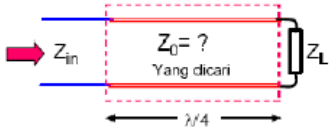
2.3 Penyesuaian Impedansi

Penyesuai impedansi adalah hal yang penting dalam rentang frekuensi gelombang mikro. Suatu saluran transmisi yang diberi beban yang sama dengan impedansi karakteristik mempunyai *standing wave ratio* (SWR) sama dengan satu, dan mentransmisikan sejumlah daya tanpa adanya pantulan. Juga efisiensi transmisi menjadi optimum jika tidak ada daya yang dipantulkan.

Penyesuaian dalam saluran transmisi mempunyai pengertian yang berbeda dengan dalam teori rangkaian. Dalam teori rangkaian, transfer daya maksimum membutuhkan impedansi beban sama dengan konjugasi kompleks sumber. Penyesuaian seperti ini disebut dengan penyesuaian konjugasi. Dalam saluran transmisi, penyesuaian mempunyai pengertian memberikan beban yang sama dengan impedansi karakteristik saluran.

2.4 Metode Saluran *Trafo ¼ λ* [4]

Metode saluran *trafo ¼ λ* adalah salah satu metode penyesuaian impedansi dimana sebagai penyesuaian impedansi digunakan saluran dengan panjang ¼ λ dengan menentukan harga impedansi karakteristik sedemikian rupa sehingga dicapai penyasuaian impedansi dari dua media yang dihubungkan. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat contoh dari saluran ¼ λ dengan impedansi karakteristik Zo yang digunakan sebagai penyesuaian impedansi yang menghubungkan impedansi sumber ke beban.



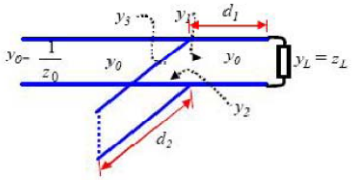
Gambar 2.3 penyesuaian impedansi menggunakan saluran 1/4 λ.

Karena untuk mendapatkan saluran dengan impedansi karakteristik kompleks dengan harga tertentu sangat sulit, maka penyesuaian impedansi saluran ¼ λ ini akan lebih baik jika digunakan untuk menyesuaikan dua media yang mempunyai impedansi resistif murni, karena yang dibutuhkan adalah saluran dengan panjang ¼ λ dan dengan impedansi karakteristik murni atau berarti bahwa saluran yang

diperlukan adalah saluran tanpa rugi-rugi. Perlu diingat bahwa agar didapat saluran tanpa rugi-rugi, maka frekuensi kerja yang digunakan harus relative cukup tinggi. Biasanya saluran ¼ λ ini digunakan untuk penyesuaian impedansi antara dua saluran transmisi tanpa rugi-rugi yang berbeda impedansi karakteristik.

2.5 Metode *Single Stub*[5]

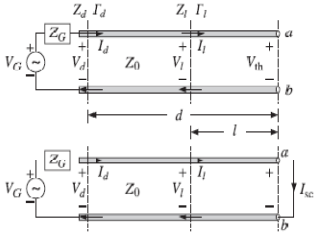
Penyesuai *stub* sering disebut sebagai bagian dari saluran transmisi yang biasanya impedansi karakteristiknya sama dengan saluran utama dengan ujung terbuka atau terhubung singkat, dan dihubungkan secara paralel dengan saluran utama. Untuk dapat menyesuaikan impedansi dua media yang dihubungkan, dilakukan dengan mengatur panjang *stub* l dan jarak dimana *stub* dipasang, dan yang diukur dari salah satu media, sehingga didapatkan penyesuaian impedansi. Lebih jelasnya dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Penyesuaian impedansi *single stub.*

2.6 Saluran transmisi rangkaian terhubung singkat dan terbuka.[1]

Saluran transmisi rangkaian terhubung singkat dan terbuka biasanya digunakan untuk rangkaian konstruksi resonan yang sebaik penyesuaian *stub*. Saluran transmisi ini cocok digunakan untuk kasus khusus pada impadansi beban; ZL = ~ , untuk saluran rangkaian ujung terbuka dan ZL = 0 untuk rangkaian ujung tertutup.



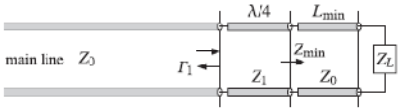
Gambar 2.5 Impedansi hubung terbuka dan hubung singkat.

Dengan mengetahui tegangan rangkaian ujung terbuka dan arus pada rangkaian ujung tertutup pada akhir terminal a,b, memperbolehkan kita untuk menggantikan nilai segmen dari sebuah saluran, termasuk generator. Dengan menghubungankan impedansi beban ZL, rangkain ekivalen dapat menghasilkan tegangan(V_L) dan arus(I_L) yang sama dengan generator asal.

2.7 Transformasi ¼ λ dengan Konfigurasi Seri.[1]

Transformasi ¼λ membutuhkan beban yang dijadikan nilai mutlak. Metode tersebut dapat dimodifikasikan pada beban komplek, akan tetapi biasanya lebar *bandwidth* yang dimiliki akan hilang. Modifikasi untuk memasukkan transformasi ¼ λ tidak pada beban, akan tetapi pada jarak antar tegangan minimum dan maximum.

Gambar 2.6 menunjukkan kasus bagian ¼ λ digabungkan dengan L_{min} di pandang dari titik beban. Pada intinya, gelombang impedansi yang diperlihatkan pada transformasi gelombang ¼ λ akan menjadi nilai nyata(tanpa reaktansi) dimana $Z_{min} = Z_0/S_L$, dengan S_L adalah SWR dari beban yang tidak sesuai.



Gambar 2.6 transformasi ¼ λ untuk penyesuaian beban kompleks.

Salah satu alternatifnya memilih tegangan maximum L_{max} dimana gelombang impedansinya akan menjadi $Z_{max} = Z_0 S_L$. Panjang elektrik L_{min} atau L_{max} berhubungan dengan sudut phasa θ_L dari refleksi koefisien beban Γ_L.

Perhitungan panjang bagian L_{min} atau $L_{max,}$ tergantung dari frekuensi yang bersesuaian(f_0). Karena impedansi kompleks merubah frekuensi dengan cepat, bagian tersebut dapat memberi panjang yang salah pada frekuensi yang lain.

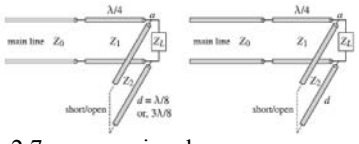
2.8 Transformasi ¼ λ dengan *shunt stub*.[1]

Dua metode yang mungkin digunakan dalam penyesuian beban komplek adalah stub terhubung singkat atau terbuka yang dihubungkan secara paralel terhadap beban dan mengatur panjang atau jalur impedansi, sehingga suseptasi dari beban suseptansi dapat ditiadakan, hasilnya adalah beban nyata yang dapat disesuaikan dengan 1/4λ.

Pada metode pertama, panjang *stub* dapat dipilih dari salah satu metode λ/8 atau 3λ/8 dan nilai impedansinya ditentukan sesuai kebutuhan nilai suseptansi yang ingin dihilangkan.

Pada metode yang kedua, karakteristik impedansi *stub* dipilih berdasarkan nilai koefisien dengan tepat dan panjangnya untuk menentukan konselasi suseptansi.

Metode tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah 2.8 dalam prakteknya banyak menggunakan dengan metode penyesuaian *stub* karena mudah dalam penyesuian impedansi, dimana *stub* tersebut tidak terhubung dengan beban tetapi dengan bagian serinya.



Gambar 2.7 penyesuaian dengan menggunakan ¼ λ dan *sunt stub*

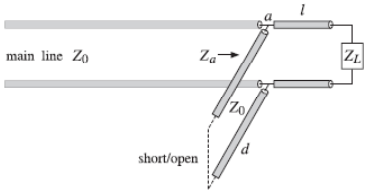
2.9 Penyesuaian *single stub*.[1]

Stub tuner banyak digunakan untuk menyesuaikan beberapa beban kompleks dengan jaringan utama. Tetap dalam keadaan terhubung singkat atau ujung terbuka pada jaringan, terhubung paralel atau seri pada jaringan di jarak yang diinginkan dari beban.

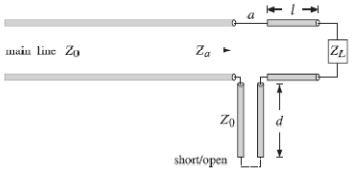
Pada aplikasi jaringan kabel koaksial atau kabel sejajar, *stub* dihasilkan oleh perpotongan panjang yang tepat pada jaringan utama. *Stub* terhubung singkat biasanya lebih banyak digunakan karena stub ujung terbuka diperbolehkan menyebar dari titik akhirnya.

Bagaimanapun, pada *microwave* menghubungkan rangkaian yang bekerja pada jaringan *microstrip*, radiasi bukanlah hal utama yang di perhatikan karena ukuran yang sangat kecil, dan *stub* terhubung singkat atau ujung terbuka mungkin digunakan.

Single stub tuner bisa digunakan pada rangkaian penyesuaian dan dapat bersesuian pada beban apapun. Bagaimanapun, terkadang susah untuk menghubungkan dengan jaringan utama jika bebannya berbeda untuk menyesuikan. Dalam kasus lain, *double stub* mungkin digunakan, tapi tidak sesuai untuk semua beban. *Triple stub* dapat bersesuaian pada setiap beban. Pada gambar 2.9 diperlihatkan gambar single stub parallel dan seri.



Gambar. 2.8 hubungan paralel pada *single stub*



2.9 Hubungan seri pada *single stub*

3.PERENCANAAN PROGRAM

Pada bagian ini akan menjelaskan tentang perencanaan pembuatan *smithchart* GUI dengan menggunakan GUIDE. Seperti yang telah diuraikan pada bab II, penyesuaian impedansi dipengaruhi oleh adanya konstanta redaman(α). Adanya konstanta α membedakan saluran transmisi tanpa rugi-rugi dan berugi-rugi, juga menyebabkan analisis penyesuaian impedansi menjadi rumit. Konstanta α mempengaruhi plot dari lingkaran Γ pada *smithchart*. Bila harga α = 0, maka amplitudo Γ sepanjang saluran konstan, sehingga plot dari Γ pada *smithchart* berbentuk lingkaran. Bila harga α ≠ 0, maka amplitude Γ pada *smithchart* menjadi berbentuk spiral kedalam bila arahnya menuju generator. Amplitudo Γ tersebut turun oleh faktor $e^{-2\alpha l}$, dimana *l* adalah jarak antara titik pengamatan dan ujung beban.

3.1 PENGGUNAAN *SMITHCHART*

Penggunaan *smithchart* dalam saluran transmisi akan memudahkan penyelesaian masalah-masalah saluran transmisi. Di bawah ini diberikan cara penggunaan *smithchart* dalam saluran transmisi.

3.1.1 Menormalisasi Beban

Setiap impedansi/admitansi yang dipetakan pada peta ini harus dinormalisasikan terhadap impedansi karakteristik saluran Z_0, dan digunakan notasi z (huruf kecil) untuk impedansi yang telah dinormalisir tersebut. Jika suatu impedansi dinyatakan dengan Z = R + jX, maka normalisasi impedansi tersebut seperti pada persamaan :

$$Z = \frac{Z}{Z_0} = \frac{R+jX}{Z_0} = r + jX$$

3.1.2 Transformasi Impedansi ke Admitansi

Dalam menyelesaian masalah saluran transmisi, sering kali kita bekerja dari impedansi ke admitansi atau sebaliknya. Impedansi Z sering kali dinyatakan secara kompleks, yaitu terdiri dari resistansi R dan reaktansi X. Admitansi Y merupakan kebalikan dari Z, seperti pada persamaan yaitu:

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R+jX} = \frac{R-jX}{R^2+X^2}$$

3.2 PEMBUATAN *SMITHCHART*

3.3 PENYESUAIAN IMPEDANSI SALURAN TRANSMISI TANPA RUGI-RUGI

Untuk membahas saluran transmisi tanpa rugi-rugi ini, semua saluran transmisi yang ada dalam pembahasan, baik yang dipakai sebagai penyesuaian impedansi (misalnya dipakai untuk *stub*) atau sebagai media yang akan disesuaikan merupakan saluran transmisi tanpa rugi-rugi.

3.3.1 Metode Saluran Trafo ¼ λ

Dalam perencanaan secara grafis, untuk menentukan harga impedansi karakteristik saluran trafo ¼ λ digunakan *smithchart* dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1) Menormalisasi Z_L terhadap Z_O diperoleh $z_l = Z_L / Z_O$, dan diplot pada *smithchart*.
2) Memutar z_l ke arah generator sampai memotong sumbu riil(resistif), diukur panjang putaran, diperoleh l.
3) Perpotongan pemutaran z_l terhadap sumbu riil tersebut adalah impedansi saluran (ternormalisasi).
4) Harga Z_{OI} diperoleh dengan :

$$Z_{OI} = \sqrt{Z_{in} Z_o}$$

Gambar 3.1 Diagram alir metode saluran trafo ¼ λ

a. Metode ¼ λ seri terhubung singkat
Pada metode ini beberapa hal yang diperhatikan adalah:

1) Metode ini perhitungan panjang stub dimulai pada titik WTG = 0.25 lamda (titik hubung terbuka). Titik akhir perhitungan panjang *stub* adalah perpanjangan garis lurus antara titik perpotongan titik SWR = 0 dengan titik Z*l*.
2) Panjang *stub* yang digunakan adalah panjang *l* yang dihasilkan antara kedua titik tersebut,
3) Perhitungan keluaran impedansi hasil penambahan *stub* adalah :

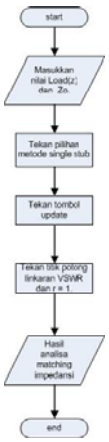
$Z_{OI} = \sqrt{Z_{in} Z_o}$

b. Metode ¼ λ paralel hubung terbuka
1) Memplot diagram *smithchart*
2) Menghitung impedansi beban ternormalisasi (Zl)
3) Memplot titik Zl pada *smithchart*
4) Memplot lingkaran SWR dengan jari-jari Zl
5) Menarik garis lurus menyinggung titik SWR=0 dengan titik Zl hingga menyentuh lingkaran lamda beban menuju generator (daerah kapasitif dan induktif).
6) Menarik titik hubung terbuka (WTG = 0.25) menuju titik Zl searah jarum jam (CW).
7) Memplot hasil perhitungan Zoi dan panjang *stub*.

c. Metode ¼ λ paralel *open circuit*
1) Memplot diagram *smith chart*
2) Menghitung impedansi beban ternormalisasi (Zl)
3) Memplot titik Zl pada *smith chart*
4) Memplot lingkaran SWR dengan jari-jari Zl
5) Menarik garis lurus menyinggung titik SWR=0 dengan titik Zl hingga menyentuh lingkaran lamda beban menuju generator (daerah kapasitif dan induktif).
6) Menarik titik *short circuit* (WTG = 0) menuju titik B serah jarum jam (CW).
7) Memplot hasil perhitungan Zoi dan panjang *stub*.

3.3.2 Metode *Single Stub*

Untuk pembahasan langkah-langkah perencanaan, perlu diketahui terlebih dahulu prinsip perencanaan penyesuaian impedansi *single stub* dengan menginakan *smithchart*. Prinsip analisa tersebut diuraikan sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram Alir metode *single stub*

Bila beban dinyatakan dengan impedansi Z_L, maka perlu dinormalisasi terhadap Z_O, diplot pada *smithchart*. Untuk mendaptkan y_l diputar ke arah beban dengan VSWR yang sama sejauh ¼ λ. Tetapi bila diketahui y_l bisa langsung diplot.

Untuk mendapatkan panjang d1, y_l diputar ke arah generator dengan VSWR yang sama sampai titik y_l=1+jb atau y_l=1-jb. Panjang perputaran antara y_l samapai y_l tersebut merupakan d1.

Langkah selanjutnya adalah menghilangkan harga +jb atau –jb. Bila :
1) *Stub* dihubung singkat, maka untuk menghilangkan harga reaktif diatas dengan jalan memutar y_l ke arah beban ke titik y =∞. Maka diperolehlah panjang d2.
2) *Stub* dihubung terbuka, maka untuk menghilangkan harga reaktif diatas dengan jalan memutar y_l ke arah beban ke titik y =0. Maka diperoleh panjang d2.

a. Metode *single stub* seri terhubung singkat
1) Memplot gambar *smithchart* dasar
2) Menghitung impedansi beban ternormalisasi (Zl)
3) Memplot titik Zl pada *smithchart*
4) Memplot lingkaran Zl
5) Memplot garis lurus memotong titik Zl dan SWR=0 hingga memotong lingkaran Zl di dua titik
6) Memplot garis lurus antara perpotongan lingkaran ZL dengan gl=1 pada kedua titik perpotongan.
7) Plot titik riil Zl pada *smithchart*.
8) Hitung panjang *stub* dengan menghitung panjang lamda dari titik WTG =0 menuju titik riil Zl 1 dan 2
9) Hitung posisi *stub* dari beban.

b. Metode *single stub* seri hubung terbuka
1) Memplot gambar *smithchart* dasar
2) Menghitung impedansi beban ternormalisasi (Zl)
3) Memplot titik Zl pada *smithchart*
4) Memplot lingkaran Zl
5) Memplot garis lurus memotong titik Zl dan SWR=0 hingga memotong lingkaran Zl di dua titik
6) Memplot garis lurus antara perpotongan lingkaran ZL dengan gl=1 pada kedua titik perpotongan.
7) Plot titik riil Zl pada *smithchart*.
8) Hitung panjang stub dengan menghitung panjang lamda dari titik WTG=0.25 lamda (titik terhubung singkat) menuju titik riil Zl 1 dan 2
9) Hitung posisi *stub* dari beban.

c. Metode *single stub* paralel terhubung singkat
1) Memplot gambar *smithchart* dasar

2) Menghitung impedansi beban ternormalisasi (Zl)
3) Memplot titik Zl pada *smithchart*
4) Memplot lingkaran Zl
5) Memplot garis lurus memotong titik Zl dan SWR=0 hingga memotong lingkaran Zl di dua titik
6) Memplot garis lurus antara perpotongan lingkaran ZL dengan gl=1 pada kedua titik perpotongan.
7) Plot titik riil Zl pada *smithchart*.
8) Hitung panjang *stub* dengan menghitung panjang lamda dari titik WTG =0.25 lamda (titik terhubung singkat) menuju titik riil Zl 1 dan 2
9) Hitung posisi *stub* dari beban.

d. Metode *single stub* paralel hubung terbuka
1) Memplot gambar *smithchart* dasar
2) Menghitung impedansi beban ternormalisasi (Zl)
3) Memplot titik Zl pada *smithchart*
4) Memplot lingkaran Zl
5) Memplot garis lurus memotong titik Zl dan SWR=0 hingga memotong lingkaran Zl di dua titik
6) Memplot garis lurus antara perpotongan lingkaran ZL dengan gl=1 pada kedua titik perpotongan.
7) Plot titik riil Zl pada *smithchart*.
8) Hitung panjang *stub* dengan menghitung panjang lamda dari titik WTG =0 lamda (titik rangkaian terhubung singkat) menuju titik riil Zl 1 dan 2
9) Hitung posisi *stub* dari beban.

4 ANALISIS PROGRAM

Pada bab ini akan dibahas mengenai jalannya program untuk menghitung penyesuaian impedansi menggunakan *smith chart*. Proses dimulai dengan memasukkan nilai beban (ZL) dan Z_O, serta memilih metode penyelesaian penyesuaian impedansi. Metode penyelesaian penyesuaian impedansi yang disediakan : metode saluran trafo ¼ λ yang dibagi dalam 4 sub metode yaitu metode *seri open circuit*, *seri short sirkuit, paralel open sirkuit, dan paralel short sirkuit, dan metode single stub* yang juga dibagi dalam 4 sub metode yang sama.

4.1 PERHITUNGAN PENYESUAIAN IMPEDANSI

4.1.1 Metode Trafo ¼ λ

Metode ini digunakan untuk menghitung penyesuaian impedansi karena dengan menambah saluran transmisi terte-ntu sepanjang ¼ λ (lain dari saluran transmisi utama), akan lebih mudah menghitung impedansi karkteristik saluran yang dipakai.

Bila Z_L = R(riil), Saluran lain dengan impedansi karakteristik Z_{01} dengan panjang λ/4 dipasang langsung pada beban, dengan menggunakan rumus :

$$Z_{OI} = \sqrt{Z_O \bullet Z_L} \qquad (4\text{-}1)$$

dengan:

Z_O = impedansi karakteristik saluran transmisi utama.

Bila Z_L = R+ jX(kompleks), yang harus diperhatikan adalah letak pemasangan saluran dengan impedansi karakteristik Z_O tersebut(misalkan sepanjang l dari beban). Dengan pertimbangan ini, maka digunakan *smith chart.*

Berikut ini diberikan contoh perhitungan menggunakan *smith chart* secara manual dan dengan menggunakan perangkat lunak.

Suatu saluran transmisi dengan impedansi karakteristik 50Ω dan impedansi beban Z_L=(50+j100) Ω. Rencanakan suatu saluran trafo ¼ λ agar beban dari saluran transmisi tersebut dalam kondisi bersesuaian.

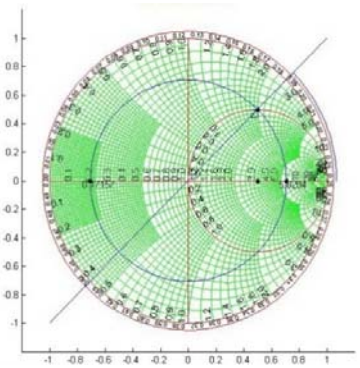
Penyelesaian :

a. Metode seri hubung singkat:
1) Menormalisasi Z_L terhadap Z_O diperoleh z_l= Z_L / Z_O, dan diplot pada *smith chart*
2) Memutar z_l ke arah generator dengan VSWR yang sama sampai memotong sumbu riil(resistif), diukur panjang putaran, diperoleh l.
3) Perpotongan pemutaran z_l terhadap sumbu riil tersebut adalah impedansi saluran (ternormalisasi) z_{in}.
4) Menghitung Zin = zin * z_0. Sehingga
5) Menghitung harga saluran lain dengan impedansi Z_{OI} diperoleh dengan

$$Z_{oi} = \sqrt{Z_{Lin} x Z_o}$$

Tabel 4.1 perhitungan Zoi menggunakan metode ¼ seri hubung singkat dengan parameter Zl tetap.

Zo	Zl		Zoi	Lamda
	R	+jx		
0,1	50	100	5	0,00012732
0,5	50	100	11,1804	0,00063662
1	50	100	15,8119	0,0012732
5	50	100	35,3836	0,0063653
10	50	100	50,16	0,012725
15	50	100	61,6781	0,019
20	50	100	71,6157	0,0254
25	50	100	80,63	0,0317
50	50	100	120,71	0,0625
75	50	100	161,15	0,09
100	50	100	206,53	0,1151
125	50	100	258,16	0,135
150	50	100	316,12	0,15
175	50	100	380	0,163
200	50	100	449,5	0,173



Gambar 4.2 Perhitungan penyesuaian impedansi metode ¼λ seri hubung singkat dengan perangkat lunak

b. Metode seri hubung buka:
1) Menormalisasi Z_L terhadap Z_O diperoleh $z_l = Z_L / Z_O$, dan diplot pada smith chart
2) Memutar z_l ke arah berlawanan generator dengan VSWR yang sama sampai memotong sumbu riil(resistif), diukur panjang putaran, diperoleh l.
3) Perpotongan pemutaran z_l terhadap sumbu riil tersebut adalah impedansi saluran (ternormalisasi) z_{in}.
4) Menghitung Zin = zin * $z_{0.}$
5) Menghitung harga saluran lain dengan impedansi Z_{OI} diperoleh dengan

$$Z_{oi} = \sqrt{Z_{Lin} x Z_o}$$

c. Metode Paralel hubung singkat
1) Menormalisasi Z_L terhadap Z_O diperoleh $z_l = Z_L / Z_O$, dan diplot pada smith chart

$$z_l = \frac{Z_L}{Z_o} = \frac{50 + j100}{50} = 1 + j2$$

2) Memutar Z*l* ke arah generator dengan VSWR yang sama melewati Y*l* sampai memotong sumbu riil(resistif), diukur panjang putaran, diperoleh *l*. *l*= 0.4375λ .
3) Perpotongan pemutaran z_l terhadap sumbu riil tersebut adalah impedansi saluran (ternormalisasi) z_{in}. zin=5.8+j0.
4) Menghitung Zin = zin * $z_{0.}$ Sehingga Zin = 5.8x50 = 290 ohm
5) Menghitung harga saluran lain dengan impedansi Z_{OI} diperoleh dengan

$$Z_{oi} = \sqrt{Z_{Lin} x Z_o}$$

$$Z_{oi} = \sqrt{290 x 5o} = 120.701 \text{ ohm}$$

d. Metode hubung buka
1) Menormalisasi Z_L terhadap Z_O diperoleh $z_l = Z_L / Z_O$, dan diplot pada *smith chart*
2) Memutar Yl ke arah berlawanan generator dengan VSWR yang sama melewati Yl sampai memotong sumbu riil(resistif), diukur panjang putaran, diperoleh l.
3) Perpotongan pemutaran z_l terhadap sumbu riil tersebut adalah impedansi saluran (ternormalisasi) z_{in}.
4) Menghitung Zin = zin * $z_{0.}$
5) Menghitung harga saluran lain dengan impedansi Z_{OI} diperoleh dengan

$$Z_{oi} = \sqrt{Z_{Lin} x Z_o}$$

Diatas telah diuraikan contoh soal menyelesaikan matching impedansi saluran trafo ¼ λ dengan menggunakan smith chart secara manual. Berikut ini adalah penyelesaian permasalahan contoh soal diatas dengan menggunakan bantuan komputer atau software,
1) Jalankan program smith
Masukkan nilai load(Z_L) dan nilai impedansi karakteristik saluran utama $Z_{0.}$
2) Pilih metode ¼ lamda sesuai metode yang diinginkan (rangkaian seri hubung singkat, rangkaian seri hubung terbuka,rangkaian paralel hubung singkat,rangkaian paralel hubung terbuka).
3) Tekan tombol *execute* ¼ lamda, maka diperoleh hasil sesuai sesuai dengan metode yang dipilih.

4.2.2 Metode *Single Stub*

Metode ini dilakukan dengan memberi sebuah stub yang ujungnya dihubung singkat atau dibuka dan dipasang secara paralel (*shunt*) ataupun seri dengan saluran utama. Jenis saluran yang digunakan sebagai stub sama dengan saluran utama. Prinsipnya hanya mencari panjang letak stub terhadap beban dengan panjang stub baik stub dihubung singkat atau terbuka. Berikut ini diberikan permasalahan untuk di analisa dengan mengerjakan secara manual dan dengan bantuan komputer(*software*).

Saluran transmisi tanpa rugi-rugi 50 W terhubung dengan beban dengan impedansi ZL = (25 - j50)W. Rancanglah penyesuaian impedansi dengan *single stub* agar beban tersebut sesuai (matched) dengan saluran transmisi.

Penyelesaian :

a. Metode seri hubung singkat*:*

Impedansi beban ternormalisasi :

$$Zl = \frac{ZL}{Zo} = \frac{25 + j50}{50} = 0.5 + j1$$

beban ini dipetakan pada peta Smith dengan lokasi titik Zl. Selanjutnya kita gambar lingkaran S konstan melalui Zl. Untuk memudahkan pemetaan, sebaiknya kita ubah impedansi beban ini ke bentuk admitansi beban, dengan cara memutar sejauh 0,25λ pada lingkaran S, sehingga diperoleh y_l,

y_l= 0.4+j0.8

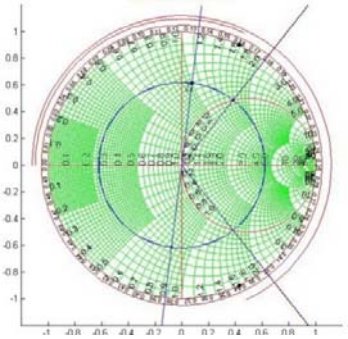
Titik ini berlokasi di 0,115λ skala WTG. Dalam domain admitansi, lingkaran r_L menjadi lingkaran g_l, dan lingkaran x_l menjadi lingkaran b_l. Selanjutnya, kita putar beban menuju generator sejauh d, agar admitansi input ternormalisasi yd mempunyai harga riil sama dengan 1. Keadaan ini dipenuhi oleh dua titik C dan D (dari Gambar 4.5 dan 4.6), dimana kedua titik tersebut

memotong lingkaran $g_L = 1$. Titik C dan D ini merupakan dua alternatif penyelesaian untuk mendapatkan panjang d.

1) Menghitung panjang stub
   a) Di titik C, diperoleh $y_d = 1 + j1{,}58$, yang letaknya 0,178 λ pada skala WTG. Jarak antara B dan C adalah:
   $$d_1 = (0{,}178\text{-}0{,}115)\,\lambda = 0{,}063\,\lambda$$
   b) Didapatkan dari perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1 suatu titik yang bila ditarik menuju titik riil berada pada titik 1.6 (daerah induktif) dan titik 3.4 (daerah kapasitif).
   c) Titik 1.6 dan 3.4 ini menjadi acuan perhitungan panjang stub yang akan digunakan.
   d) Panjang stub alternatif 1 dihitung dari titik WTG = 0 menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik 1.6 searah jarum jam (CW), ditemukan nilai sebesar 0.34 λ.
   e) Panjang stub alternatif 2 dihitung dari titik WTG = 0 menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik 3.4 searah jarum jam (CW). Ditemukan nilai sebesar 0.16 λ.
2) Menghitung posisi stub
   a) Dari titik Zl ditarik nilai riil Zl ditemukan titik riil 1.0
   b) Didapatkan dari perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1 suatu titik yang bila ditarik menuju titik riil berada pada titik 1.6 dan 3.4.
   c) Titik 1.6 dan 3.4 ini menjadi acuan perhitungan panjang stub yang akan digunakan.
   d) posisi stub alternatif 1 dihitung dari titik riil Zl menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik 1.6 searah jarum jam (CW). Ditemukan nilai sebesar 0.04 λ.
   e) Panjang stub alternatif 2 dihitung dari titik perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik 3.4 searah jarum jam (CW). Ditemukan nilai sebesar 0.18 λ.

Tabel 4.5 perhitungan panjang stub dan posisi stub dari Zl dengan metode *single stub* seri hubung singkat dengan parameter Zl tetap.

Zo	Zl		alternatif 1		alternatif 2	
	R	+jx	panjang stub	posisi stub dari Zl	panjang stub	posisi stub dari Zl
30	25	50	0,32886	0,00829	0,17114	0,14014
35	25	50	0,3339	0,01703	0,16608	0,15381
40	25	50	0,33749	0,0259	0,16252	0,1661
45	25	50	0,33966	0,03475	0,16034	0,17709
50	25	50	0,33966	0,043339	0,16034	0,18687
55	25	50	0,34	0,0515	0,1596	0,1955
60	25	50	0,34038	0,05939	0,15962	0,20318
65	25	50	0,33966	0,06675	0,16034	0,20993
70	25	50	0,33806	0,07365	0,16194	0,21587
75	25	50	0,33806	0,08	0,1619	0,22112
80	25	50	0,35592	0,0861	0,16408	0,22574



Gambar 4.6 Perhitungan penyesuaian impedansi metode *Single stub* seri hubung singkat dengan perangkat lunak.

b. Metode seri hubung buka:

Impedansi beban ternormalisasi :

$$Zl = \frac{ZL}{Zo} = \frac{25 + j50}{50} = 0.5 + j1$$

Beban ini dipetakan pada peta Smith dengan lokasi titik Zl. Selanjutnya kita gambar lingkaran S konstan melalui Zl. Untuk memudahkan pemetaan, sebaiknya kita ubah impedansi beban ini ke bentuk admitansi beban, dengan cara memutar sejauh 0,25λ pada lingkaran S, sehingga diperoleh y_l,

$y_l = 0.4+j0.8$

Titik ini berlokasi di 0,115λ skala WTG. Dalam domain admitansi, lingkaran r_L menjadi lingkaran g_l, dan lingkaran x_l menjadi lingkaran b_l. Selanjutnya, kita putar beban menuju generator sejauh d, agar admitansi input ternormalisasi yd mempunyai harga riil sama dengan 1. Keadaan ini dipenuhi oleh dua titik C dan D (dari Gambar 4.5 dan 4.6), dimana kedua titik tersebut memotong lingkaran $g_L = 1$. Titik C dan D ini merupakan dua alternatif penyelesaian untuk mendapatkan panjang d.

1) Menghitung panjang stub

a) Di titik C, diperoleh y_d = 1 + j1,58 , yang letaknya 0,178 λ pada skala WTG. Jarak antara B dan C adalah:

$$d_1 = (0{,}178\text{-}0{,}115)\ \lambda = 0{,}063\ \lambda$$

b) Didapatkan dari perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1 suatu titik yang bila ditarik menuju titik riil berada pada titik 1.6 dan 3.4.

c) Panjang stub alternatif 1 dihitung dari titik WTG = 0.25 menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik1.6 searah jarum jam (CW). Ditemukan nilai sebesar 0.09 λ.

d) Panjang stub alternatif 2 dihitung dari titik WTG = 0.25 menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik 3.4 searah jarum jam. Ditemukan nilai sebesar 0.4 λ.

2) Menghitung posisi stub

a) Dari titik Zl ditarik nilai riil Zl ditemukan titik riil 1.0

b) Didapatkan dari perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1 suatu titik yang bila ditarik menuju titik riil berada pada titik 1.6 dan 3.4.

c) Posisi stub alternatif 1 dihitung dari titik riil Zl menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik 1.6 searah jarum jam. Ditemukan nilai sebesar 0.04 λ.

d) Panjang stub alternatif 2 dihitung dari titik perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 antara titik 1.6 dan 3.4. Ditemukan nilai sebesar 0.18 λ.

c. Metode paralel hubung singkat:

Impedansi beban ternormalisasi :

$$Zl = \frac{ZL}{Zo} = \frac{25 + j50}{50} = 0.5 + j1$$

Beban ini dipetakan pada peta Smith dengan lokasi titik Zl. Selanjutnya kita gambar lingkaran S konstan melalui Zl. Untuk memudahkan pemetaan, sebaiknya kita ubah impedansi beban ini ke bentuk admitansi beban, dengan cara memutar sejauh 0,25λ pada lingkaran S, sehingga diperoleh y_l,

y_l= 0.4+j0.8

1) Menghitung panjang stub

a) Didapatkan dari perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1 suatu titik yang bila ditarik menuju titik riil berada pada titik 1.6 dan 3.4.

b) Panjang stub alternatif 1 dihitung dari titik WTG =0.25 menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik 3.4 searah jarum jam (CW). Ditemukan nilai sebesar 0.09 λ.

c) Panjang stub alternatif 2 dihitung dari titik WTG =0.25 menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 titik 1.6 searah jarum jam. Ditemukan nilai sebesar 0.4 λ.

2) Menghitung posisi stub

a) Dari titik Zl ditarik nilai riil Zl ditemukan titik riil 1.0

b) Didapatkan dari perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1 suatu titik yang bila ditarik menuju titik riil berada pada titik 1.6 dan 3.4.

c) Posisi stub alternatif 1 dihitung dari titik Yl menuju titik perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1yang telah ditarik garis lurus dengan SWR=1 (titik 0.18) searah jarum jam. Ditemukan nilai sebesar 0.29 λ.

d) Panjang stub alternatif 2 dihitung dari titik perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1yang telah ditarik garis lurus dengan SWR=1 (titik 0.32). Ditemukan nilai sebesar 0.43 λ.

d. Metode paralel hubung buka:

Impedansi beban ternormalisasi :

$$Zl = \frac{ZL}{Zo} = \frac{25 + j50}{50} = 0.5 + j1$$

Beban ini dipetakan pada peta Smith dengan lokasi titik Zl. Selanjutnya kita gambar lingkaran S konstan melalui Zl. Untuk memudahkan pemetaan, sebaiknya kita ubah impedansi beban ini ke bentuk admitansi beban, dengan cara memutar sejauh 0,25λ pada lingkaran S, sehingga diperoleh y_l,

y_l= 0.4+j0.8

1) Menghitung panjang stub

a) Didapatkan dari perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1 suatu titik yang bila ditarik menuju titik riil berada pada titik 1.6 dan 3.4.

b) Panjang stub alternatif 1 dihitung dari titik WTG =0 menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 pada titik 3.4 searah jarum jam (CW). Ditemukan nilai sebesar 0.34 λ.

c) Panjang stub alternatif 2 dihitung dari titik WTG =0 menuju titik riil perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1 titik 1.6 searah jarum jam. Ditemukan nilai sebesar 1.6 λ.

2) Menghitung posisi stub
   a) Dari titik Zl ditarik nilai riil Zl ditemukan titik riil 1.0
   b) Didapatkan dari perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1 suatu titik yang bila ditarik menuju titik riil berada pada titik 1.6 dan 3.4.
   c) Posisi stub alternatif 1 dihitung dari titik riil Yl menuju titik perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl=1yang telah ditarik garis lurus dengan SWR=1 (titik 0.18) searah jarum jam. Ditemukan nilai sebesar 0.29 λ.
   d) Panjang stub alternatif 2 dihitung dari titik perpotongan antara lingkaran S dan lingkaran gl = 1yang telah ditarik garis lurus dengan SWR=1 (titik 0.32). Ditemukan nilai sebesar 0.43 λ.

5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

hubung buka dan single stub seri hubung singkat, seri hubung terbuka, parallel hubung singkat, parallel hubung buka, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1) Pada metode trafo ¼ λ seri hubung singkat, dengan Zo yang bertambah panjang dan *Zl* tetap menyebabkan Zoi dan panjang gelombang bertambah panjang.
2) Pada metode trafo ¼ λ seri hubung terbuka, dengan Zo yang bertambah panjang dan *Zl* tetap menyebabkan Zoi bertambah panjang dan panjang gelombang berkurang.
3) Pada metode trafo ¼ λ paralel hubung singkat, dengan Zo yang bertambah dan *Zl* tetap menyebabkan Zoi bertambah panjang dan panjang gelombang berkurang.
4) Pada metode trafo ¼ λ paralel hubung terbuka, dengan Zo yang bertambah panjang dan *Zl* tetap menyebabkan Zoi bertambah panjang dan panjang gelombang berkurang.
5) Pada metode *single stub* seri hubung singkat, dengan Zo bertambah dan *Zl* tetap menghasilkan 2 alternative jawaban:
   a) Panjang *stub* bertambah, maka jarak *stub* dari *Zl* berkurang.
   b) Panjang *stub* berkurang, maka jarak *stub* dari *Zl* bertambah.
6) Pada metode *single stub* seri hubung terbuka, dengan Zo bertambah dan *Zl* tetap menghasilkan 2 alternative jawaban:
   a) Panjang *stub* bertambah, maka jarak *stub* dari *Zl* berkurang.
   b) Panjang *stub* berkurang, maka jarak *stub* dari *Zl* bertambah.
7) Pada metode *single stub* seri hubung singkat, dengan Zo bertambah dan *Zl* tetap menghasilkan 2 alternative jawaban:
   a) Panjang *stub* bertambah, maka jarak *stub* dari *Zl* bertambah.
   b) Panjang *stub* berkurang, maka jarak *stub* dari *Zl* bertambah.
8) Pada metode *single stub* seri hubung singkat, dengan Zo bertambah dan *Zl* tetap menghasilkan 2 alternative jawaban:
   a) Panjang *stub* bertambah, maka jarak *stub* dari *Zl* bertambah.
   b) Panjang *stub* berkurang, maka jarak *stub* dari *Zl* bertambah.

5.2 SARAN

Proyek akhir ini dapat dikembangkan lebih lanjut, dan terdapat beberapa saran, antara lain :

1) Dalam proyek akhir selanjutnya dapat dilakukan penyesuaian impedansi untuk saluran transmisi dengan rugi-rugi.
2) Untuk proyek akhir selanjutnya dapat dilakukan analisis penyesuaian impedansi dengan metode LC, *double stub, single stub*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Orfanidis. Shophalis J, *Electromagnetic Waves and Antennas*, Rutgers University, 2009.

[2] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, University of Massachusetts at Ambherst, 2003.

[3] Kraus, John D. And Ronald J. Marhefka, *Antennas for All Aplication*, 3th ed., McGraw-Hill, 2002.

[4] William Sinnema, *Electronic Transmission Technology*, RENTICE HALL, INC, 1998.

[5] Freeman, Roger L, *Telecomunications Transmission Handbook*, 4th ed., Willey-interacience Publication. Canada, 1998.

BIODATA MAHASISWA

Dewi Panca Wati
Mahasisiwa Jurusan Teknik Elektro Program Studi Elektronika dan Telekomunikasi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Mengetahui,

Pembimbing I	Pembimbing II
Imam Santoso, S.T., M.T.	Ajub Ajulian Zahra, S.T., M.T
NIP. 132 162 546	NIP. 132 205 684