

APLIKASI E-SMITHCHART BERBASIS PC SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN SALURAN TRANSMISI

PC-BASED E-SMITHCHART APPLICATION AS TRANSMISSION LINE LEARNING MEDIA

Aldi Suhardianto¹, Suci Aulia S.T., M.T², Dwi Andi Nurmantris S.T., M.T³

^{1,2} Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

³ Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ suhardianto10.as@gmail.com suciaulia@tass.telkomuniversity.ac.id²
dwiandinurmantris@tass.telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Smithchart merupakan bantuan grafis atau nomogram yang dirancang untuk membantu memecahkan masalah pada saluran transmisi dan matching impedance. Metode Smithchart sering digunakan oleh para engineer dan mahasiswa untuk menganalisa saluran transmisi namun perhitungan yang dilakukan secara manual dirasa memerlukan proses perhitungan yang rumit dan kurang efisien. Sehingga diperlukan alat bantu untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Pada proyek akhir ini telah dirancang media pembelajaran perhitungan *smithchart* berupa analisis saluran transmisi yang memuat perhitungan tentang analisis impedansi beban (ZL), impedansi masukan (Zin) dan impedansi jarak (ZD). Memanfaatkan perangkat lunak MATLAB versi R2017b sehingga dapat memproses perhitungan Smithchart secara digital.

Dari proyek akhir ini didapatkan hasil akurasi perhitungan yang tidak jauh berbeda dengan teori. Pengaruh bilangan real dan imajiner sangat berpengaruh pada perpotongan titik yang diplot pada smithchart begitupun juga dengan nilai jarak yang berpengaruh pada nilai putaran dan sudut smithchart.

Kata kunci : Saluran transmisi, *Smithchart*, *MATLAB*, *matching impedance*.

Abstract

Smithchart is a graphic aid or nomogram designed to help solve problems in transmission line and matching impedance. The Smithchart method is often used by engineers and students to analyze the transmission channel but the calculations performed manually are considered to require a complex and less efficient calculation process. So the necessary tools to overcome these problems.

In this final project, the learning media of the smithchart calculation in the form of transmission line analysis has been designed which contains calculations about load impedance analysis (ZL), input impedance (Zin) and distance impedance (ZD). Utilizing the MATLAB version R2017b software so that it can process Smithchart's calculations digitally.

From this final project, the results of accuracy calculations are not much different from the theory. The influence of real and imaginary numbers is very influential on the intersection of the points plotted on the smithchart as well as the distance values that affect the value of the rotation and angle of the smithchart.

Keywords: *Transmission line, Smithchart, MATLAB, matching impedance.*

1. Pendahuluan

Pengembangan aplikasi Smithchart oleh beberapa pengembang sangat langka dan hanya beberapa pengembang yang membuat software Smithchart, namun pengguna perangkat lunak tersebut terbatas pada kalangan tertentu karena beberapa faktor seperti pengembangannya yang masih sedikit dan harga software yang terlalu mahal untuk digunakan oleh kalangan akademisi maupun teknisi begitupun di lingkungan universitas telkom.

Pada Proyek Akhir ini telah dirancang aplikasi yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran analisis saluran transmisi, yaitu analisis impedansi beban (ZL), impedansi masukan (Zin) dan impedansi jarak (ZD). Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian akurasi dan fungsionalitas aplikasi meliputi proses masukan variable yang diketahui, yaitu impedansi karakteristik saluran (Z0), impedansi yang diketahui (ZL, Zin dan ZD), panjang saluran transmisi (L), dan jarak (d) pada saluran transmisi metode yang digunakan untuk menguji hasil kinerja aplikasi adalah membandingkan hasil perhitungan manual secara grafis pada smithchart dengan hasil perhitungan dengan aplikasi.

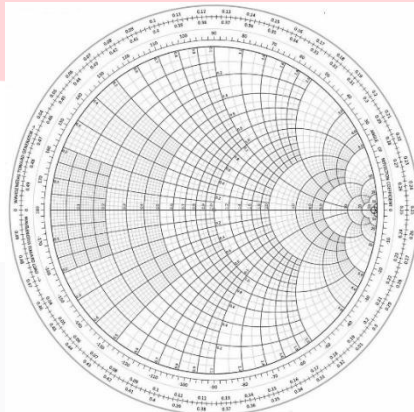
Penelitian terkait aplikasi atau simulasi smithchart terbatas pada pembahasan *matching impedance*

sedangkan penelitian terkait analisis saluran hanya berupa *source code*. Maka dalam Proyek Akhir ini telah dirancang aplikasi yang disimulasikan memanfaatkan *software* Matlab dengan rancangan yang dibuat sesuai kebutuhan untuk media pembelajaran saluran transmisi. Pada aplikasi memberikan keluaran berupa analisis saluran transmisi yang dapat memuat perhitungan impedansi beban, impedansi masukan dan impedansi jarak yang disajikan dalam bentuk grafis. Dari Proyek Akhir ini telah didapatkan hasil analisis saluran transmisi yang sesuai dengan teori.

2. Dasar Teori

2.1 Smithchart

Penggunaan Smithchart dalam saluran transmisi akan memudahkan penyelesaian masalah penyesuaian impedansi pada saluran transmisi. Penyelesaian masalah dengan menggunakan Smithchart 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 Smithchart 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 kompleks tersebut, dibanding dengan perhitungan pada operasi dengan bilangan nyata. Untuk membantu pemecahan tersebut, dapat digunakan suatu peta (chart), yang dikenal dengan Peta Smith atau Smithchart.[2]



Gambar 2. 1 Area plot padaSmithchart[2]

Smithchart menggambarkan grafik dengan jaringan kurva bersifat linear dari lingkaran resistansi konstan dan reaktansi konstan yang digambarkan dalam satu kesatuan lingkaran. Sebenarnya, Smithchart adalah penggambaran grafis kurva bersifat linear dalam histogram garis.[2]

2.2 Bilangan Kompleks

Di dalam matematika terdapat himpunan bilangan yang disebut bilangan kompleks. Bilangan kompleks adalah himpunan bilangan terbesar. Himpunan bilangan real yang dipakai sehari-hari merupakan himpunan bagian dari himpunan bilangan kompleks. Secara umum bilangan kompleks terdiri dari dua bagian : bagian real dan bagian imajiner (khayal). Bagian khayal bercirikan hadirnya bilangan khayal, yang didefinisikan sebagai $\sqrt{-1}$. Bilangan kompleks adalah bilangan yang berbentuk $a + ib$ atau $a + bi$, adan b bilangan real dan $i^2 = -1$. [4]

2.3 Garis Kapasitansi Konstan

Garis reaktansi kapasitif merupakan garis yang terdapat pada area dibawah garis Resistansi murni, garis ini menyatakan nilai Reaktansi Capasitif yang sama untuk setiap titik yang dilaluinya, dengan kata lain garis ini menyatakan besarnya Impedansi (Z) dengan nilai reaktan Konstan dan R yang variabel.[1]

2.4 Garis Induktansi Konstan

Garis reaktansi induktif merupakan garis yang terdapat pada area diatas garis resistansi murni, garis ini menyatakan nilai Reaktansi Induktif yang sama untuk setiap titik yang dilaluinya, dengan kata lain garis ini menyatakan besarnya Impedansi (Z) dengan nilai reaktan Konstan dan R yang variabel.[1]

2.5 Saluran Transmisi

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 $\beta = \omega/c$, maka z dalam daerah waktu tergantung dari tegangan dan arus.[1]

2.6 Penyesuaian Impedansi

Penyesuaian 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.

Tujuan utama dari penyesuaian impedansi adalah untuk menyesuaikan impedansi satu ke impedansi yang lain agar terjadi konektivitas antar media. Media disini dapat diartikan sebagai suatu jaringan atau rangkaian yang berupa suatu sumber, saluran transmisi dan beban atau penerima. Bila impedansi kedua media tersebut tidak sama, maka akan terdapat daya yang dipantulkan. Daya pantul ini dapat mengurangi daya yang dikirimkan. Akibatnya daya yang sampai pada penerima menjadi sangat kecil dan kemungkinan tidak dapat dideteksi oleh penerima. Oleh sebab itu untuk mengeliminasi refleksi akibat perbedaan impedansi beban dengan impedansi gelombang, dipakai teknik penyamaan/penyesuaian impedansi (*impedance matching techniques*). Yang prinsip kerjanya adalah menyisipkan sebuah rangkaian matching di antara beban dan saluran transmisi yang akan dipasangkan.[1]

2.7 Penggunaan Smithchart

Penyelesaian masalah dengan menggunakan peta Smith 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 ketitik-titik lain dalam peta Smith tersebut. Semakin presisi kita memetakan dan mentransformasi titik-titik tersebut, semakin akurat pula hasil yang kita peroleh.

Begitupun dengan metode perhitungan langsung yang dapat memberikan hasil yang lebih efektif, berikut persamaan rumus yang dapat dipakai dalam melakukan perhitungan impedansi.

$$Z_{in} = Z_0 \left[\frac{Z_L}{Z_0} \right] \quad (1)$$

$$Z_d = Z_0 \left[\frac{Z_L + j Z_0 \tan \beta L}{Z_0 + j Z_L \tan \beta L} \right] \quad (2)$$

Keterangan :

Z_{in} = Impedansi masukan

Z_L = Impedansi beban

Z_0 = Impedansi karakteristik

Z_d = Impedansi jarak

di mana $t = \tan \beta l = \tan \theta$, dan $\beta l = \theta = \pi / 2$ pada frekuensi desain f_0 .

Persamaan pertama membahas tentang saluran dengan panjang setengah gelombang, dan persamaan kedua membahas tentang impedansi jarak pada saluran transmisi.[2]

Penggunaan utilitas diagram Smith terus berkembang selama bertahun-tahun dan masih banyak digunakan saat ini, tidak hanya sebagai bantuan pemecahan masalah, tetapi sebagai demonstrasi grafis dari berapa banyak parameter RF (Radio Frequency) berlaku pada satu atau lebih frekuensi, alternatif untuk menggunakan Tabel informasi. Bagan Smith dapat digunakan untuk mewakili :

Parameter termasuk impedansi, admittances, koefisien refleksi, scattering parameters, noise figure circles, constant gain contours and regions for unconditional stability.[3]

2.8 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

Adalah rasio perbandingan antara gelombang datang dan gelombang pantul dimana kedua gelombang tersebut membentuk gelombang berdiri. Gelombang berdiri (Standing Wave) merupakan gabungan antara refleksi dan interferensi yaitu gelombang pantul menginterferensi gelombang datang sehingga fasa gelombang datang terganggu oleh gelombang pantul yang mengakibatkan gelombang datang mengalami kerusakan. Semakin tinggi nilai VSWR berarti performansi dari antenna tersebut semakin tidak baik atau gelombang yang terinterferensi semakin besar

VSWR juga dapat diartikan sebagai perbandingan antara gelombang maksimum dengan gelombang minimum. VSWR merupakan parameter yang juga sebagai penentu matching antara antenna dan transmitter. Kondisi yang paling di harapkan untuk nilai VSWR terbaik yaitu bernilai 1 namun untuk nilai VSWR paling besar yang bisa di toleransi berdasarkan teori yaitu bernilai 2.[3]

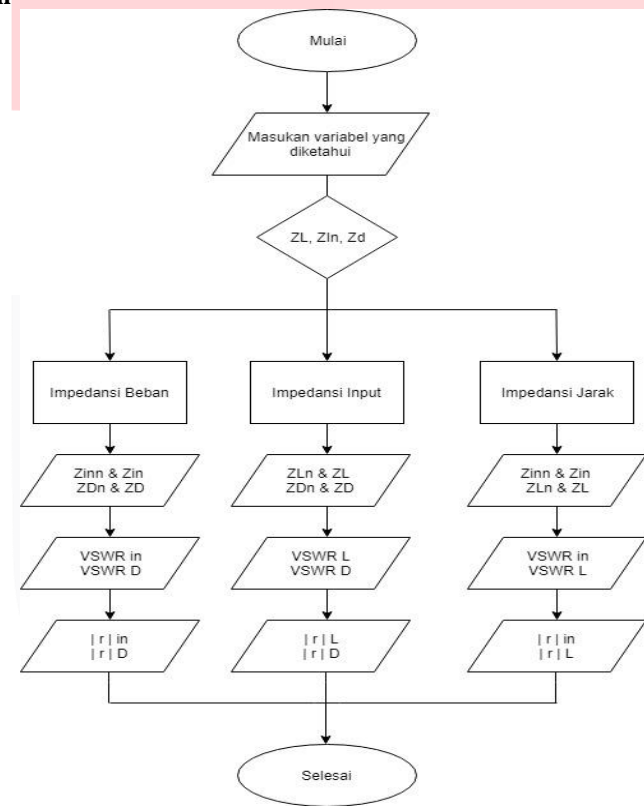
2.9 Impedansi Karakteristik Saluran Transmisi

Dilihat dari sudut rangkaian, suatu saluran transmisi akan mempunyai resistansi dan induktansi seri, yang bersama-sama membentuk impedansi seri dari kawat-kawat penghantar, serta konduktansi dan kapasitansi dari dielektrikum yang terdapat di antara penghantar-penghantar, yang bersama-sama membentuk admitansi dari saluran.

Parameter-parameter R, L, G, dan C dikenal sebagai konstanta-konstanta saluran primer. Resistansi seri R, dalam ohm/meter; Induktansi seri L, dalam henry/meter; Konduktansi shunt G, dalam siemen/meter; dan Kapasitansi C, dalam farad/meter. Konstanta-konstanta primer tersebut sudah memperhitungkan kedua saluran-saluran pergi dan kembali. Mereka konstan dalam arti tidak berubah dengan tegangan dan arus tetapi, sampai batas-batas tertentu, mereka tergantung pada frekuensi. Resistansi seri R membesar dengan frekuensi sebagai akibat dari efek kulit (skin effect). Induktansi L hampir tidak tergantung pada frekuensi untuk saluran-saluran terbuka, tetapi cenderung berkurang dengan meningkatnya frekuensi untuk kabel-kabel yang dilindungi (screened). Kapasitansi C hampir tidak tergantung pada frekuensi, sedangkan konduktansi G cenderung untuk meningkat dengan frekuensi (jadi resistansi shunt mengecil) karena meningkatnya rugi dielektrik dengan meningkatnya frekuensi.[3]

3. Perancangan Sistem

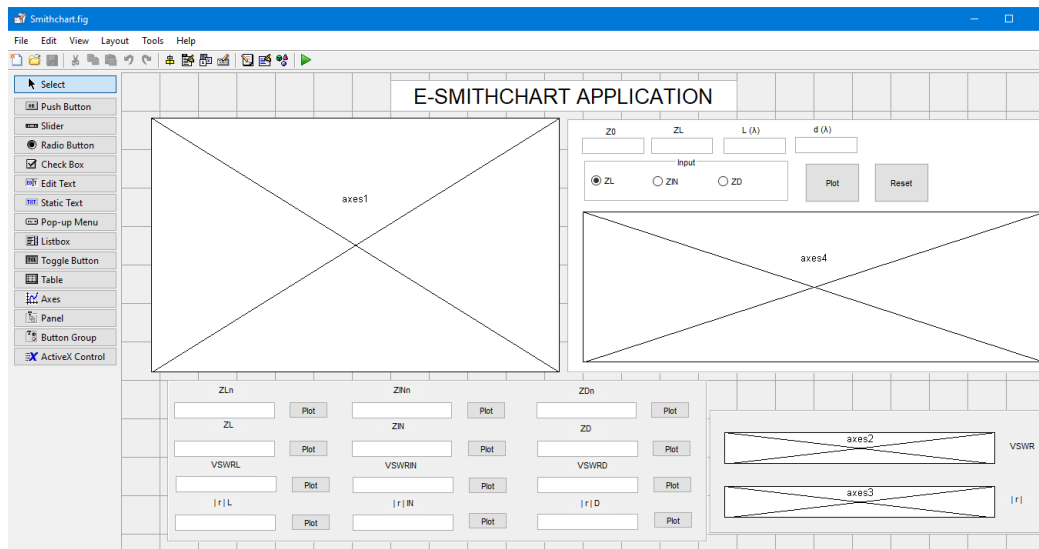
3.1 Blok Diagram Sistem



Gambar 3. 1 Flowchart perancangan sistem aplikasi E-Smithchart

Berdasarkan Gambar 3.1, proses kerja aplikasi Smithchart dimulai dengan memasukkan data yang diketahui yaitu impedansi karakteristik (Z_0), impedansi yang diketahui (Z_L, Z_{in}, Z_D), panjang saluran (L), jarak pada saluran (d). Lalu user harus memilih impedansi yang diketahui, user diberikan tiga pilihan impedansi yang diketahui sehingga user dapat menentukan sesuai dengan kebutuhan dari soal. Selanjutnya proses perhitungan, pada tahap ini *system* akan mengkalkulasi perhitungan berdasarkan data masukan yang diberikan oleh user. Setelah itu *system* akan memberikan hasil dari kalkulasi perhitungan dengan dua cara yaitu menampilkan hasil perhitungan secara grafik; dan menampilkan hasil perhitungan secara terstruktur mulai dari angka normalisasi, angka denormalisasi, angka dan skala VSWR, angka dan skala koefisien pantul.

3.2 Desain Perancangan *E-Smithchart*



Gambar 3. 2 Desain Aplikasi E-Smithchart

Aplikasi E-Smithchart dirancang dengan harapan rancangan aplikasi mempunyai kesamaan dengan proses pengerjaan *smithchart* secara manual, terdapat empat *axes* pada GUI yang berfungsi sebagai berikut;

- Axis 1* berfungsi untuk menampilkan grafik *smithchart default* dari *library* yang ada pada Matlab R2017b.
- Axis 2* berfungsi untuk menampilkan skala VSWR.
- Axis 3* berfungsi untuk menampilkan skala koefisien pantul saluran.
- Axis 4* berfungsi untuk menampilkan gambar skema saluran transmisi.

Selain itu aplikasi ini juga mempunyai variabel masukan untuk memudahkan user untuk menganalisa saluran transmisi menggunakan aplikasi *E-smithchart* yang berupa;

- Edit box* untuk memasukan impedansi karakteristik (Z_0)
- Edit box* untuk memasukan panjang saluran transmisi (L)
- Edit box* untuk memasukan impedansi yang diketahui (Z_L, Z_{in}, Z_D)
- Edit box* untuk memasukan jarak saluran transmisi (d)
- Tombol plot yang berfungsi untuk memulai proses kalkulasi perhitungan.
- Tombol reset yang berfungsi untuk mengulang kembali proses perhitungan.

Fungsi akhir dari aplikasi ini adalah memberikan hasil perhitungan secara terstruktur, maka dari itu dibutuhkan 12 tombol untuk menampilkan satu persatu hasil perhitungan yang meliputi:

- Pada impedansi beban (Z_L) diberikan empat tombol plot yang berfungsi menampilkan hasil perhitungan Z_L ternormalisasi, Z_L denormalisasi, VSWR pada Z_L , dan koefisien pantul saluran pada Z_L .
- Pada impedansi masukan (Z_{in}) diberikan empat tombol plot yang berfungsi menampilkan hasil perhitungan Z_{in} ternormalisasi, Z_{in} denormalisasi, VSWR pada Z_{in} , dan koefisien pantul saluran pada Z_{in} .
- Pada impedansi jarak (Z_D) diberikan empat tombol plot yang berfungsi menampilkan hasil perhitungan Z_D ternormalisasi, Z_D denormalisasi, VSWR pada Z_D , dan koefisien pantul saluran pada Z_D .

Diharapkan dengan rancangan tersebut dapat memberikan cara perhitungan yang sama dengan metode perhitungan *smithchart* secara manual.

3.3 Rencana Pengujian Sistem Aplikasi *E-Smithchart*

Recana pengujian pada proyek akhir ini akan membandingkan hasil perhitungan secara manual dengan perhitungan secara digital. Diharapkan hasil akhir aplikasi dapat memberikan akurasi dan efisiensi yang tidak berbeda jauh dengan metode perhitungan yang dilakukan secara manual.

3.4 Skenario Pengujian

Pengujian fungsional dilakukan dengan cara mengambil data sebanyak 10 kali pengujian untuk mengetahui fungsionalitas dari masing-masing tombol yang ada pada aplikasi *E-Smithchart*. Sementara dalam skenario pengujian akurasi perhitungan akan dilakukan analisis saluran transmisi pada *smithchart* yang meliputi Impedansi Beban (Z_L), Impedansi masukan (Z_{in}), Impedansi Jarak (Z_D), VSWR, dan Koefisien Pantul, dengan cara mengambil lima sample perhitungan secara manual dan lima sample perhitungan secara grafik kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan pada aplikasi *E-Smithchart*.

4. Pengujian Sistem

4.1 Pengujian Fungsionalitas Aplikasi *E-Smithchart*

Tabel 4. 1 Pengujian fungsional input aplikasi *E-Smithchart*

No	Tombol		Radio Button		
	Plot	Reset	ZD	Zin	ZL
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 4. 2 Pengujian fungsional tombol output ZL aplikasi *E-Smithchart*

No	Tombol			
	Z L N	Z L	VSWR L	r L
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓

Tabel 4. 3 Pengujian fungsional tombol output Zin aplikasi *E-Smithchart*

No	Tombol			
	Zinn	Zin	VSWRin	r in
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓

Tabel 4. 4 Pengujian fungsional tombol output ZD aplikasi *E-Smithchart*

No	Tombol			
	Z D N	Z D	VSWR D	r D
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓

4.3 Perbandingan Akurasi Perhitungan

Untuk mengetahui tingkat akurasi pada perhitungan maka dilakukan perbandingan hasil perhitungan secara manual dengan aplikasi. Perbandingan diambil dari tiga sampel data uji pengujian impeansi beban, impedansi masukan, dan impedansi jarak.

Tabel 4. 5 Perbandingan perhitungan manual ZL dengan aplikasi *E-Smithchart*

No	Manual		Aplikasi		Keterangan
	ZL'	ZL	ZL'	ZL	
1	1,5	75	1,5	75	Akurat
2	2	100	2	100	Akurat
3	1,7	85	1,7	85	Akurat
4	2,7	135	2,7	135	Akurat
5	2,9	145	2,9	145	Akurat
6	1,5	75	1,5	75	Akurat
7	1,5+2i	75+100i	1,5023+2,0011i	75,11663+100,0534i	Akurat
8	2,5	125	2,5	125	Akurat
9	1,5+2,5i	75+125i	1,5019+2,5013i	75,09432+125,0628i	Akurat
10	0,9+1i	45+50i	0,90026+1,0002i	45.0129+50,0085i	Akurat

Tabel 4. 6 Perbandingan perhitungan manual Zin dengan aplikasi *E-Smithchart*

No	Manual		Aplikasi		Keterangan
	ZIN'	ZIN	ZIN'	ZIN	
1	2,5	125	2,5	125	Akurat
2	1,9	95	1,9	95	Akurat
3	1,7	85	1,7	85	Akurat
4	2	100	2	100	Akurat
5	1,5	75	1,5	75	Akurat
6	1,5+2i	75+100i	1,5023+2,0011i	75,11663+100,0534i	Akurat
7	1+1,5i	50+75i	0,9+1,5006i	50,0372+75,0279i	Akurat
8	2-0,9i	100+49i	2,0011-0,99945i	1000548+49,97258i	Akurat

9	1,5+0,9i	75+49,9i	1,5014+0,99988i	75,0707+49,9941i	Akurat
10	2,5+1,9i	125+100i	2,5017+1,9998i	125,0873+99,98905i	Akurat

Tabel 4. 7 Perbandingan perhitungan manual Zindengan aplikasi *E-Smithchart*

No	Manual		Aplikasi		Keterangan
	ZD'	ZD	ZD'	ZD	
1	0,7+0,17 i	35,2+8,6 i	0,704+0,172 i	35,2+8,6 i	Akurat
2	0,9-0,7 i	49,1-35 i	0,982-0,7 i	49,1-35 i	Akurat
3	0,6-0,2 i	31,35-10,25 i	0,627-0,205 i	31,35-10,25 i	Akurat
4	0,4+0,276 i	20,15+13,8 i	0,403+0,276 i	20,15+13,8 i	Akurat
5	0,376-0,282 i	18,8-14,1 i	0,376-0,282 i	18,8-14,1 i	Akurat
6	0,7 +0,17i	35,2+8,6i	0,7041 +0,1726i	35,2049+8,63004i	Akurat
7	0,3+0,6i	15,9+33i	0,31824+0,66097i	15,9121+33,0487i	Akurat
8	0,4+0,2i	21,7+13,4i	0,43496+0,2687i	21,7481+13,4348i	Akurat
9	1,2-2,3i	61,72-115i	1,2345-2,301i	61,7241-115,0483i	Akurat
10	0,4+0,3i	20,+15i	0,40346+0,31132i	20,1732+15,5662i	Akurat

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada Proyek Akhir ini adalah:

1. plikasi *E-smithchart* dapat dibuat dan berjalan dengan baik sesuai yang diharapkan.
2. Berdasarkan hasil pengujian perbedaan atau selisih nilai yang dihasilkan oleh aplikasi *E-smithchart* adalah sebesar 0,1 % dibandingkan dengan perhitungan manual, dapat diartikan perhitungan menggunakan aplikasi lebih detail dan presisi.
3. Nilai variabel masukan jarak (d) berpengaruh untuk menggeser impedansi jarak (ZD) yang terletak diantara impedansi beban(ZL) dan impedansi masukan (Zin) dan mengetahui sudut impedansi sesuai masukan yang diberikan.
4. Bilangan real atau imajiner berpengaruh pada nilai normalisasi dan denormalisasi smithchart.

5.2 Saran

Saran pada Proyek Akhir ini adalah:

1. Diharapkan Aplikasi *E-Smithchart* dapat ditambahkan perhitungan *matching impedance*.
2. Diharapkan Aplikasi *E-Smithchart* dapat dikembangkan menjadi aplikasi *stand alone*.

Daftar Pustaka

- [1] Munir, Achmad. 05-Matching Impedance (250310), 2010.
- [2] David M. Pozar, Microwave Engineering, University of Massachusetts at Amherst, 2003.
- [3] Freeman, Roger L, Telecommunications Transmission Handbook, 4th ed., Wileyintercience Publication. Canada, 1998.
- [4] Muchlis, Ahmad & Astuti, Pudji. Aljabar I: Universitas Terbuka. Jakarta. 2007.
- [5] Conrad, Alan, "Smith-chart software eases amplifier design," *Microwaves and RF*, v33, no. 8, August 1994.
- [6] Badii, Vahid and Oloomi, Hossein, M., "Transmission line application MATLAB toolbox based on the graphical design methods of the Smithchart," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 6, no. 1, 1998, p. 23-30.
- [7] Aboul-Dahab, M.A. and Al-Jaghoub, A.A. "Learning approach for computerized Smithchart in propagation and transmission line analysis," *AP-S (Digest, IEEE Antennas and Propagation Society)*, IEEE Service Center, vol. 3 1993, pp1126-1129.
- [8] Remillard, W.J., "Computer program for conjugate matching," *Microwave Journal*, vol. 31, no. 12, Dec. 1998.
- [10] Laplante, Phillip and Borja, Jim, "Automated Smithcharting tool," *Microwave Journal*, vol. 30, no. 5, May 1987, pp. 372-376.