

ANTENA PINTAR

Oleh

Ahmad Khairol Azhani bin Khalid

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRONIK)

Pusat Pengajian Kejuruteraan
Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia

Mac 2005

ABSTRAK

Projek ini merupakan sebuah projek untuk menghasilkan sebuah antena. Antena yang dihasilkan diberi nama antena pintar. Antena ini mempunyai 6 *patch* elemen. Antena yang dihasilkan mempunyai lingkungan sudut yang luas dan mempunyai nilai gandaan minimum yang tinggi iaitu sebanyak 6 dBic. Antena pintar tidak mempunyai paten yang ditetapkan, tetapi boleh berubah mengikut arah isyarat radio semasa. Cara yang digunakan ialah dengan melakukan pensuisan pancaran yang mudah untuk mengoptimumkan pemancaran. Cara ini dapat mengurangkan kehilangan kuasa kerana pancaran hanya akan dipancar hanya kepada pengguna, kuasa yang terpancar pada arah lain hanya akan dianggap sebagai gangguan pada pengguna lain. Antena pintar akan memancar isyarat pada rakan komunikasi sahaja. Antara kelebihan antena pintar berbanding antena lain ialah. Antena pintar dapat meningkatkan kandungan muatan, meningkatkan jarak pancaran, menyediakan servis baru, lebih selamat, dan mengurangkan penyiaran pelbagai arah. Antena pintar direkabentuk kecil, padat dan nipis kerana ia akan di pasang pada kapal, bumbung kereta dan *bullet train*.

ABSTRACT

This project is about a developing an antenna. It's called smart antenna. This antenna has 6 patch element on it. Smart antenna having a wide angular range and high gain value that is 6 dBic. Smart antenna has a pattern that is not fixed, but adapts to the current radion conditions. The technique is a simple switching between predefined beams to optimum beamforming. This technique can decrease power loss because the beam is only be radiated toward the user only, the power radiated in other directions will be exprienced as interference by other users. Smart antenna will directing a beam toward the comunication partner only. Smart antena can increase the capacity, increase the range,prepare a new service, security and reduced multipath propagation. Smart antenna be designed as thin, compact, small and simple because it will be mounted on bullet train, ship and car roof.

PENGHARGAAN

Saya bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah dan kurnia-Nya, saya berupaya untuk melaksanakan projek tahun akhir ini dan juga menyiapkan laporan sepertimana yang telah ditetapkan. Segala kesukaran yang ditempuhi sepanjang penyiapan projek tahun akhir ini dapat saya hadapi, namun tanpa bantuan dan sokongan pihak yang berkenaan tidak mungkin saya dapat menyelesaikannya.

Di kesempatan ini, saya ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada penyelia projek saya iaitu Profesor Syed Idris b Syed Hassan yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan projek ini. Ucapan terima kasih juga diucapkan kepada kakitangan Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik atas kerjasama yang telah diberikan, tanpa kerjasama mereka tentulah sukar bagi saya untuk menyiapkan projek tahun akhir ini.

Akhir sekali, terima kasih diucapkan kepada ahli keluarga saya terutamanya ibu dan bapa saya di atas dorongan dan bantuan yang dihulurkan dan juga tidak lupa juga kepada semua pihak yang terlibat secara langsung ataupun tidak langsung dalam penyiapan projek tahun akhir saya ini.

KANDUNGAN

ABSTRAK		i
PENGHARGAAN		iii
JADUAL ISI KANDUNGAN		iv
BAB 1	PENGENALAN	
	1.1 Pengenalan kepada antena pintar	1
	1.2 Objektif projek	2
	1.3 Perlaksanaan projek	2
BAB 2	PEMBENTUKAN CORAK SINARAN ANTENA PINTAR	
	2.1 Pengenalan	4
	2.2 Konsep antena pintar	4
	2.3 Pengiraan	7
	2.4 Simulasi Menggunakan pengaturcaraan MATLAB	9
BAB 3	PENGGUNAAN ANTENA SEGITIGA UNTUK UNSUR TATASUSUNAN	
	3.1 Pengenalan	18
	3.2 Pengiraan	18
	3.3 Rekabentuk antena menggunakan perisian ADS	21
BAB 4	PENGUKURAN S_{11} DAN CORAK SINARAN PEMANCAR	
	4.1 Pengenalan	26
	4.2 Pengukuran S_{11}	26
	4.3 Paten pancaran	28
BAB 5	PENSUISAN	
	5.1 Pengenalan	31
	5.2 Pensuisan	31
BAB 6	KESIMPULAN DAN CADANGAN LANJUTAN	
	6.1 Kesimpulan	34
	6.2 Cadangan lanjutan	35

LAMPIRAN A : JADUAL DATA PENGUKURAN BAGI CORAK SINARAN PANCARAN

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan kepada Antena Pintar

Dalam perkembangan teknologi terkini, sistem perhubungan akan mengalami kesesakan laluan yang meningkat secara mendadak. Ini disebabkan oleh peningkatan pengguna dan juga servis data pada kadar yang tinggi yang baru diperkenal. Peningkatan kesesakan dalam laluan telekomunikasi memerlukan penghasilan dan pengendalian bagi menyediakan muatan laluan secukupnya dalam rangkaian. Salah satu caranya adalah menggunakan antena pintar yang dapat meningkatkan muatan isyarat dalam sistem perhubungan.

Antena pintar tidak mempunyai paten yang ditetapkan, tetapi boleh berubah mengikut arah isyarat radio semasa. Cara yang digunakan ialah dengan melakukan pensuisan pancaran yang mudah untuk mengoptimumkan pemancaran. Cara ini dapat mengurangkan kehilangan kuasa kerana pancaran hanya akan dipancar hanya kepada pengguna, kuasa yang terpancar pada arah lain hanya akan dianggap sebagai gangguan pada pengguna lain. Antena pintar akan memancar isyarat pada rakan komunikasi sahaja.

Antara kelebihan antena pintar berbanding antena lain ialah. Antena pintar dapat meningkatkan kandungan muatan, meningkatkan jarak pancaran, menyediakan servis baru, lebih selamat, dan mengurangkan penyiaran pelbagai arah.

1.2 Objektif Projek

Objektif projek ini adalah untuk merekabentuk sebuah antena pintar. Antena pintar yang terdiri daripada 6 *patch* yang berbentuk segitiga dan mempunyai gandaan minimum sebanyak 6 dBic. Antena ini mampu mempunyai lingkungan sudut yang luas. Frekuensi bagi pemancar dan penerima ditetapkan pada nilai 1.8 GHz. Antena yang direkabentuk mempunyai 6 *patch* dimana setiap *patch* mampu menjadi pemancar atau penerima. Setiap *patch* mempunyai bentuk dan saiz yang sama, *patch-patch* ini disusun dalam kedudukan berbentuk heksagon dimana setiap *patch* dipisahkan pada jarak yang sama. Antena ini merupakan sejenis antena *left-handed circularly polarized* (LHCP).

1.3 Perlaksanaan Projek

Pada awal perlaksanaan projek, data-data dan maklumat dikumpul melalui web-web yang terdapat dalam internet dan daripada buku-buku yang didapati dalam perpustakaan. Data-data dan maklumat ini dijadikan rujukan dan panduan bagi menjalankan projek ini.

Pada pertengahan perlaksanaan projek, pengiraan dilakukan untuk mendapat paten yang terhasil daripada kedudukan elemen antena. Setelah selesai pengiraan, perisian MATLAB digunakan untuk mendapat paten yang terhasil. Pengiraan juga dilakukan untuk mendapatkan saiz antena, setelah selesai saiz diperolehi antena akan disimulasi dalam perisian ADS (*advanced design system*). Perisian ini digunakan untuk melakukan analisis ke atas projek yang dijalankan untuk mendapatkan graf S11.

Setelah analisis dijalankan, antena difabrikasi. Ujikaji dilakukan dan keputusan dibandingkan dengan keputusan yang diperolehi daripada analisis. Ujikaji ke atas antena dilakukan dengan menggunakan peralatan yang terdapat di dalam makmal RF.

Pada akhir pelaksanaan projek, laporan disediakan.

BAB 2

PEMBENTUKAN CORAK SINARAN ANTENA PINTAR

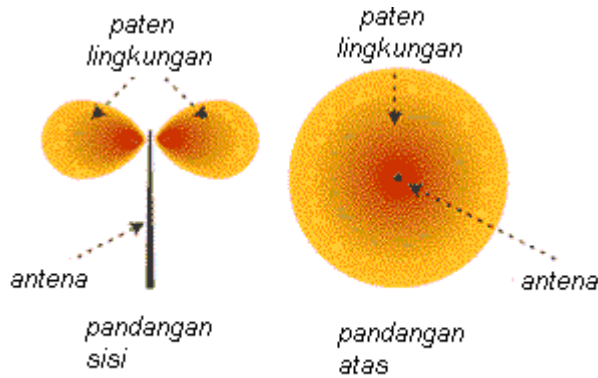
2.1 Pengenalan

Dalam bab ini akan diterangkan konsep antena pintar dan juga teknik yang digunakan. Bab ini juga akan menerangkan paten polar yang terhasil daripada susunan 6 elemen yang digunakan untuk memancar dan menerima isyarat. Paten polar bagi elemen secara berpasangan juga akan ditunjukkan. Pengiraan akan dilakukan untuk mendapat persamaan bagi kesemua elemen, dan elemen secara berpasangan. Setelah mendapat persamaan, persamaan ini akan dimasukkan kedalam pengaturcaraan komputer dan di simulasikan dengan menggunakan perisian komputer. Perisian komputer yang digunakan ialah pengaturcaraan MATLAB.

2.2 Konsep antena pintar

Konsep yang hampir sama dengan antena pintar telah lama wujud semasa perang dunia kedua lagi. Ia digunakan dalam peperangan elektronik(EWF) sebagai rawatan kejuruteraan kepada gangguan isyarat elektronik (*electronic jamming*). Dengan memaksimumkan gandaan antena pada arah yang dikehendaki dan meminimumkan paten pada arah gangguan, ini dapat meningkatkan jalinan perhubungan (Per H.Lehne and

Magne Pettersen “an overview of smart antenna technology for mobile communication system”, Telenor Researcher and Development)



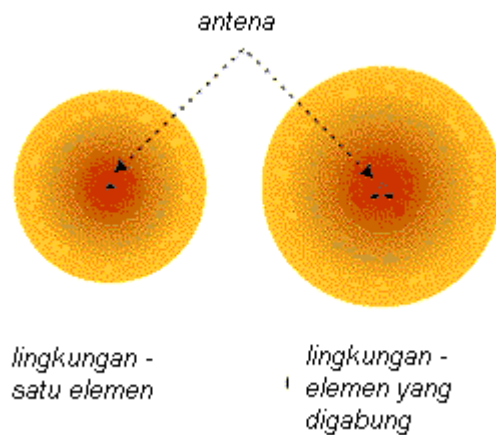
Rajah 2.1: Liputan paten

Antena pintar tidak mempunyai paten yang ditetapkan, oleh itu patennya berubah mengikut arah isyarat yang dikehendaki. Pancaran akan dipancar pada arah penerima sahaja, seperti rajah 2.2. Dengan tidak mempunyai paten yang tetap kuasa penerimaan dapat ditingkatkan dan gandaan yang lebih tinggi bagi isyarat yang dikehendaki (rujukan Per H.Lehne and Magne Pettersen “an overview of smart antenna technology for mobile communication system”, Telenor Researcher and Development).



Rajah 2.2: Arah pancaran dan liputan paten

Antena pintar meningkatkan muatan isyarat yang diterima atau dipancar. Pancaran dipancar pada arah pengguna sahaja, oleh ini kuasa yang terpancar pada arah lain dapat dikurangkan kerana kuasa yang terpancar pada arah lain hanya akan dianggap sebagai gangguan pada pengguna lain. Fenomena ini dapat mengurangkan gangguan suara daripada pengguna lain dalam sistem. Ini bermakna nisbah isyarat dengan gangguan (SIR) adalah lebih besar daripada nisbah isyarat dengan *thermal noise* (SNR). Antena pintar dapat meningkatkan penerimaan isyarat dan mengurangkan gangguan dan juga meningkatkan SIR. Dengan peningkatan SIR, muatan isyarat dapat ditingkatkan.



Rajah 2.3: Liputan kawasan antena satu elemen dan antena gabungan elemen

Antena pintar juga meningkatkan jarak, jarak dapat ditingkatkan dengan menggabungkan antena dengan beberapa elemen. Gandaan antena adalah bersamaan dengan bilangan elemen yang terdapat pada antena.

Antena pintar dapat memancar pancaran pada arah yang dikehendaki dengan menggunakan teknik pensuisan elemen. Dimana salah satu elemen akan ditentukan

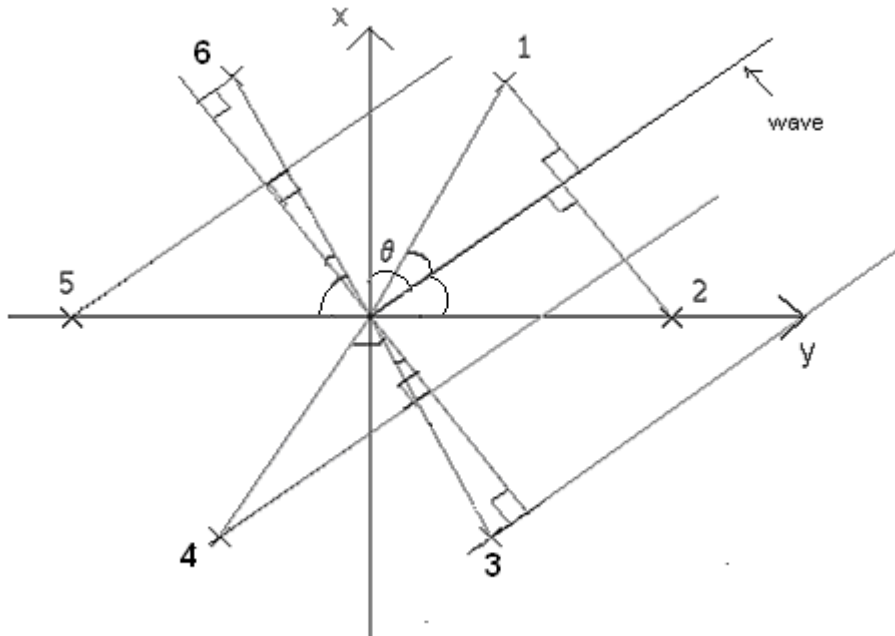
untuk menerima atau memancar isyarat pada suatu masa. Pensuisan akan diterangkan lebih lanjut dalam bab 5.

Antara contoh antenna pintar yang telah dihasilkan. Salah satunya dihasilkan oleh Ericsson/mannesmann dengan menjadikan antenna pintar pada pengkalan pada kedudukan yang tinggi. Dapat memberi satu liputan yang luas. Contoh yang lain penggunaan antenna pintar ialah Tsunami II, menjadikan antenna pintar pada pengkalan. Peningkatan muatan isyarat yang dapat dihantar dan diterima, gangguan dikurangkan pada 30dB. Contoh lain ialah syarikat Arraycomm U.S, membina antenna pintar untuk GSM (*Global System Mobile*) dan *Japanese Personal Handyphone System (PHS)*.

2.3 Pengiraan

Pengiraan dilakukan untuk mendapatkan paten polar yang dibentuk daripada susunan elemen-elemen yang digunakan. Projek ini menggunakan 6 elemen untuk membina sebuah antenna. Persamaan diperolehi daripada kedudukan susunan setiap elemen.

Corak susunan elemen adalah seperti heksagon. Sudut diantara elemen adalah 60 darjah dan jarak elemen daripada pusat ialah 0.25 mm. Satu pancaran gelombang diberi, sudut pancaran gelombang daripada paksi x diberi dengan nilai Θ . Jarak elemen pertama dari paksi-x adalah 60 darjah dan jarak elemen seterusnya dari paksi-x adalah bertambah dengan malar sebanyak 60 darjah.



Rajah 2.4: Fasa elemen

Daripada pengiraan, sudut elemen-elemen dengan pancaran gelombang adalah seperti berikut:

1. elemen satu sebanyak $(\Theta - 30^\circ)$
2. elemen dua sebanyak $(90^\circ - \Theta)$
3. elemen tiga sebanyak $(60^\circ - \Theta)$
4. elemen empat sebanyak $(120^\circ - \Theta)$
5. elemen lima sebanyak Θ
6. elemen enam sebanyak $(60^\circ - \Theta)$

Setelah mendapat sudut-sudut elemen, pengiraan dilakukan untuk mendapatkan paten yang dihasilkan oleh gabungan elemen-elemen tersebut. Persamaan yang diperolehi untuk kesemua elemen adalah seperti dibawah:

$$E_r = E_e^{jkd \cos(\Theta-30^\circ)} + E_e^{jkd \cos(90^\circ-\Theta)} + E_e^{jkd \cos(60^\circ-\Theta)} + E_e^{-jkd \cos(120^\circ-\Theta)} + E_e^{-jkd \cos(\Theta)} + E_e^{-jkd \cos(60^\circ-\Theta)} \text{ -----(1)}$$

nilai k adalah $2\pi/\lambda$ dan nilai d yang digunakan adalah 0.25 mm.

2.4 Simulasi menggunakan pengaturcaraan MATLAB

Simulasi dilaksanakan dengan menggunakan pengaturcaraan MATLAB R12. Setelah mendapat persamaan daripada pengiraan ianya dapat disimulasikan dengan menggunakan pengaturcaraan MATLAB untuk mendapatkan paten polar yang dihasilkan oleh elemen-elemen yang digunakan. Program yang digunakan untuk melaksanakan simulasi dan juga paten polar yang terhasil adalah seperti berikut:

Program yang digunakan untuk semua elemen adalah seperti berikut:

```
N=6;
```

```
D=0.25;
```

```
k=41.89;
```

```
g=[0:0.00001:2*pi]
```

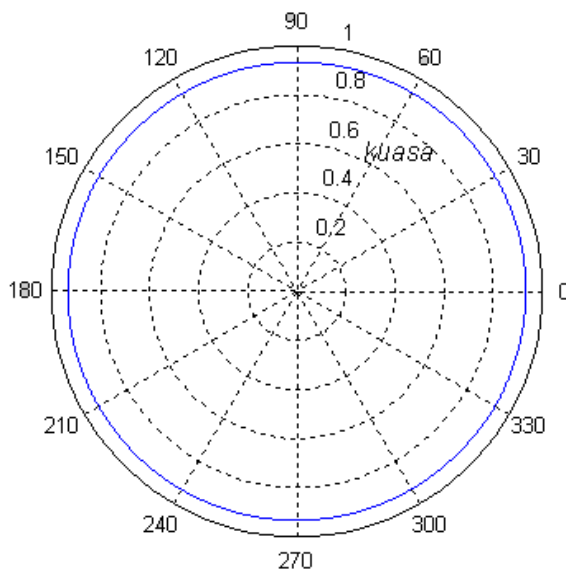
```
G1=(2.366*cos(g)+4.098*sin(g))*(cos(k*D)+sin(k*D))*(1/N)*((sin(N*D*cos(g)/2))/(sin(D*cos(g)/2)));
```

```
G2=(2.366*cos(g)+4.098*sin(g))*(cos(k*D)+sin(k*D));
```

```
H= abs (G1./G2);
```

```
gg=g;
```

```
polar(gg,H);
```



Rajah 2.5: Paten polar bagi susunan kesemua elemen

Rajah di atas menunjukkan paten bagi kesemua elemen bersama.

Program yang digunakan untuk elemen satu dan elemen dua adalah seperti berikut:

```
D=0.25;
```

```
k=41.89;
```

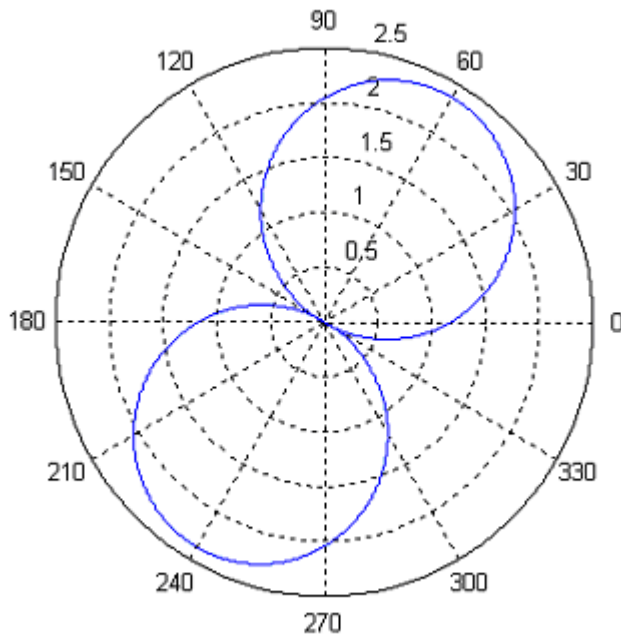
```
g=[0:0.00001:2*pi]
```

```
G=(0.866*cos(g)+1.5*sin(g))*(cos(k*D)+sin(k*D));
```

```
H= abs (G);
```

```
gg=g;
```

```
polar(gg,H);
```



Rajah 2.6: Paten polar bagi elemen satu dan elemen dua

Program yang digunakan untuk elemen dua dan elemen tiga adalah seperti berikut:

```
D=0.25;
```

```
k=41.89;
```

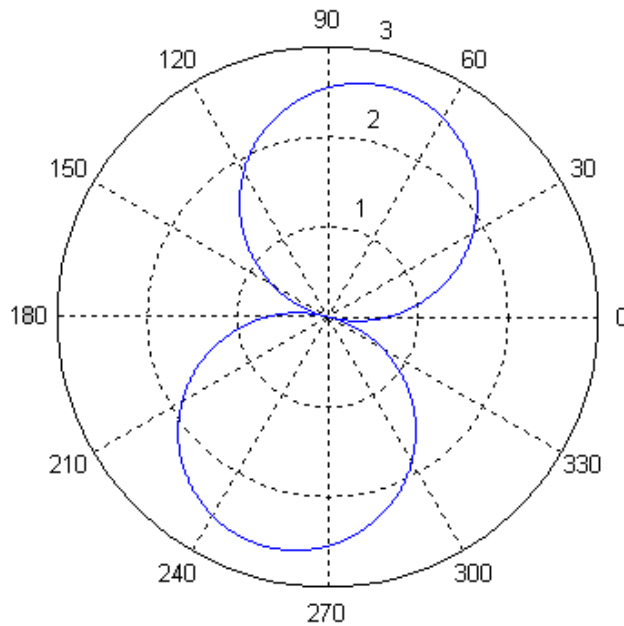
```
g=[0:0.00001:2*pi]
```

```
G=(0.5*cos(g)+1.866*sin(g))*(cos(k*D)+sin(k*D));
```

```
H= abs (G);
```

```
gg=g;
```

```
polar(gg,H);
```



Rajah 2.7: paten polar bagi elemen dua dan elemen tiga

Program yang digunakan untuk elemen tiga dan elemen empat adalah seperti berikut:

```
D=0.25;
```

```
k=41.89;
```

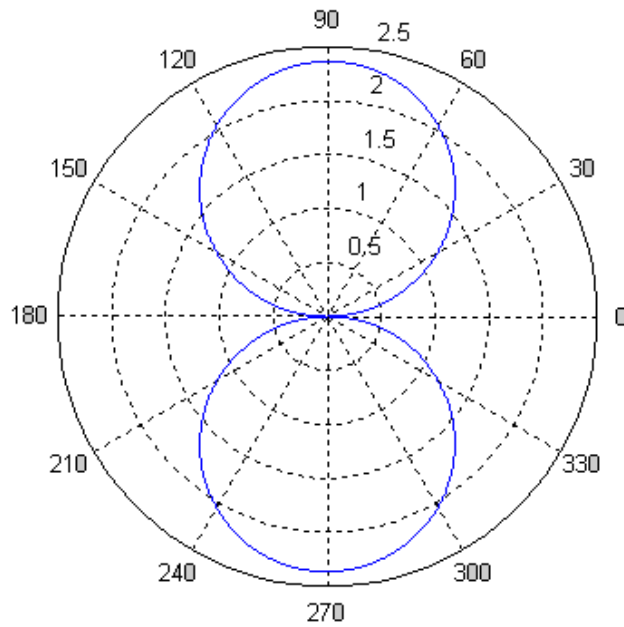
```
g=[0:0.00001:2*pi]
```

```
G=(1.732*sin(g))*(cos(k*D)+sin(k*D));
```

```
H= abs (G);
```

```
gg=g;
```

```
polar(gg,H);
```



Rajah 2.8: Paten polar bagi elemen 3 dan elemen 4

Program yang digunakan untuk elemen empat dan elemen lima adalah seperti berikut:

```
D=0.25;
```

```
k=41.89;
```

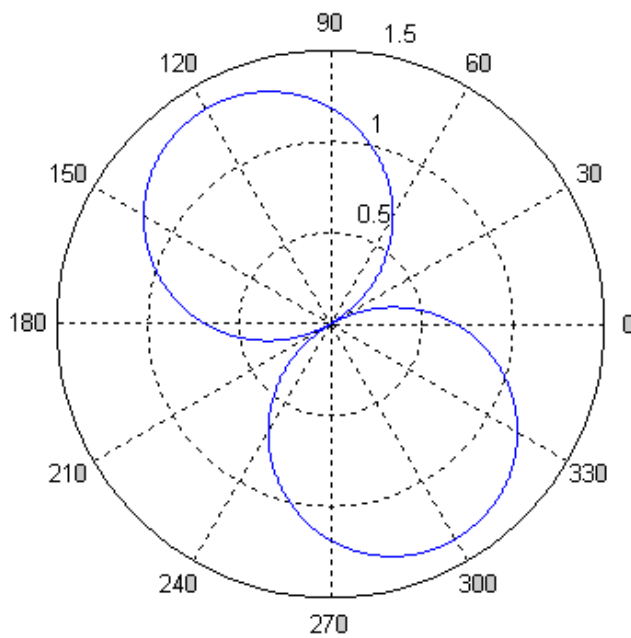
```
g=[0:0.00001:2*pi]
```

```
G=(-0.5*cos(g)+0.866*sin(g))*(cos(k*D)+sin(k*D));
```

```
H= abs (G);
```

```
gg=g;
```

```
polar(gg,H);
```



Rajah 2.9: Paten polar bagi elemen empat dan elemen lima

Program yang digunakan untuk elemen lima dan elemen enam adalah seperti berikut:

```
D=0.25;
```

```
k=41.89;
```

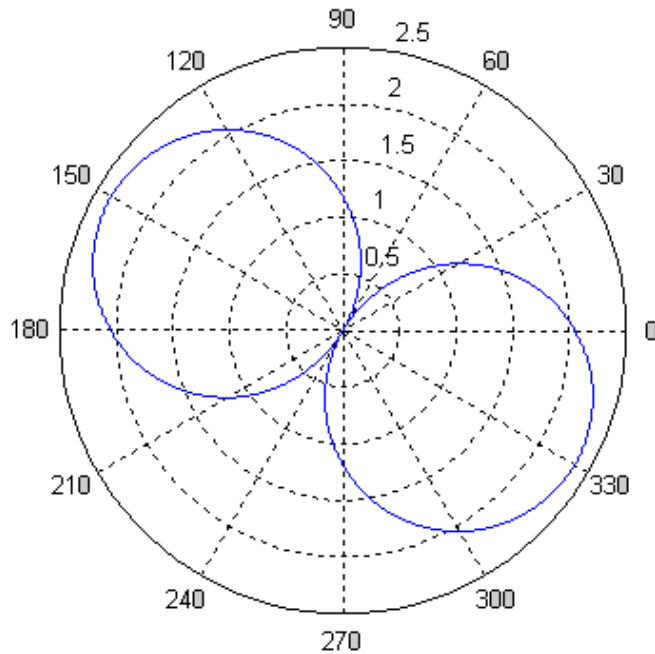
```
g=[0:0.00001:2*pi]
```

```
G=(-1.5*cos(g)+0.866*sin(g))*(cos(k*D)+sin(k*D));
```

```
H= abs (G);
```

```
gg=g;
```

```
polar(gg,H);
```



Rajah 2.10: Paten polar bagi elemen lima dan elemen enam

Program yang digunakan untuk elemen enam dan satu adalah seperti berikut:

```
D=0.25;
```

```
k=41.89;
```

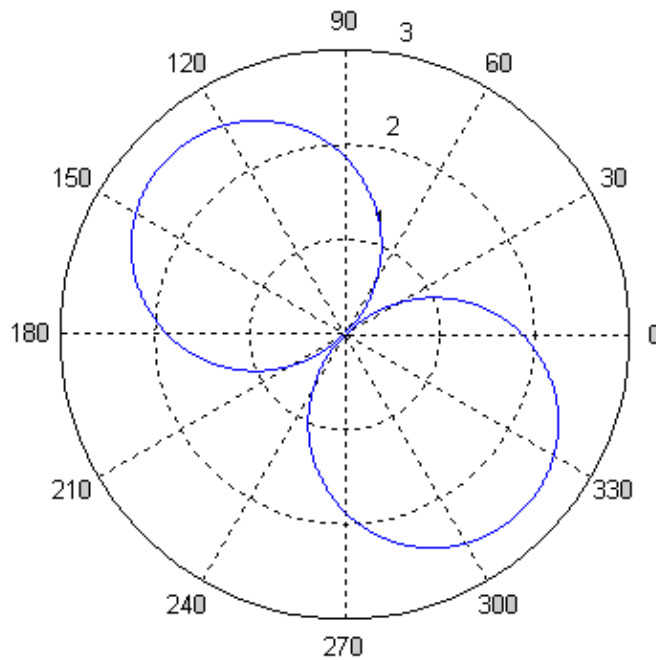
```
g=[0:0.00001:2*pi]
```

```
G=(1.366*cos(g)-1.366*sin(g))*(cos(k*D)+sin(k*D));
```

```
H= abs (G);
```

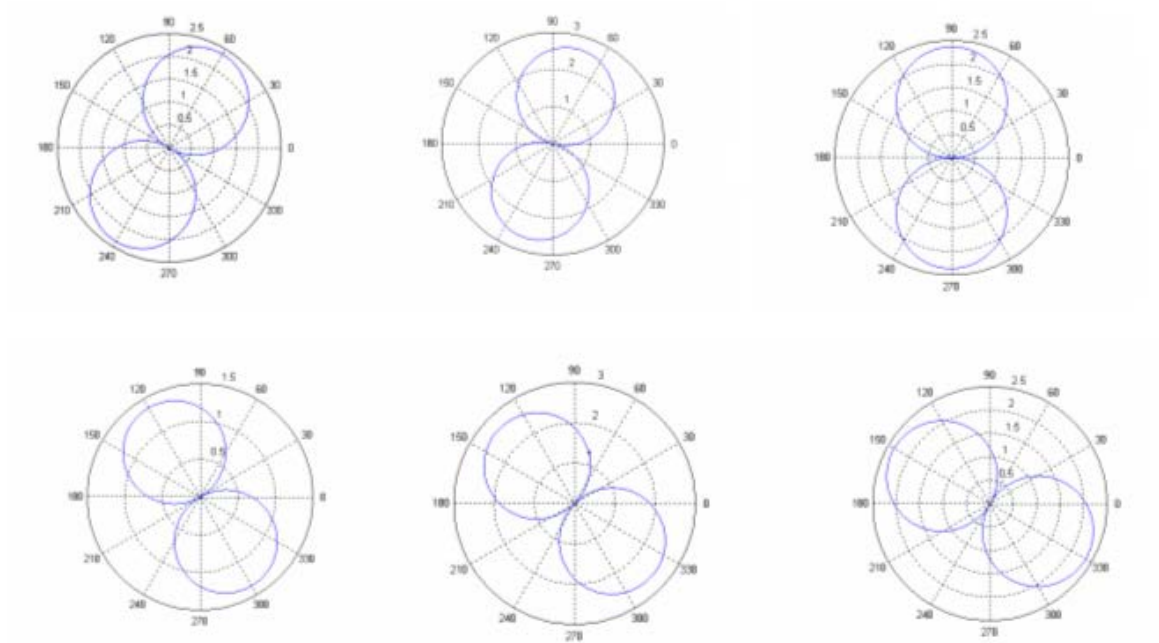
```
gg=g;
```

```
polar(gg,H);
```



Rajah 2.11: Paten polar bagi elemen enam dan elemen satu

Rajah-rajah diatas adalah graf paten polar yang terhasil daripada simulasi yang menggunakan pengaturcaraan MATLAB, graf tersebut adalah sudut melawan kuasa. Didapati paten polar bagi elemen secara berpasangan yang dikira secara susunan bergerak melawan pusingan arah jam atau bergerak kekiri. Ini membuktikan bahawa antena yang akan dihasilkan adalah *left-handed circularly polarized* (LHCP). Gerakan ditunjukkan pada rajah 2.12.



Rajah 2.12: Gerakan polar dihasilkan oleh paten-paten

BAB 3

PENGGUNAAN ANTENA SEGITIGA UNTUK UNSUR TATASUSUNAN

3.1 Pengenalan

Dalam bab ini akan diterangkan bentuk elemen array yang digunakan. Elemen adalah berbentuk segitiga. Saiz elemen akan dikira terlebih dahulu. Seterusnya, elemen array disimulasi dengan menggunakan perisian komputer. Perisian yang digunakan adalah *Advance Design Systems* (ADS). Setelah disimulasi elemen di atas *substrate* dengan mengambil nilai ukuran yang telah diperolehi.

3.2 Pengiraan

Elemen yang digunakan adalah berbentuk segitiga. Dimana panjang $a=b$ bagi *patch* segitiga sama, $P=a$, $L= \frac{\sqrt{3}}{2}a$ (Nasimuddin and A.K. Verma,(2004),”Fast and Accurate Model for Analysis of Equilateral Triangular Patch Antenna) , P adalah panjang dan L ialah lebar *patch* segiempat sama.persamaan 2 adalah rumus bagi mengira panjang

$$P_{eff} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots\dots\dots(2) \text{ (Nasimuddin and A.K. Verma,(2004),”Fast and Accurate$$

Model for Analysis of Equilateral Triangular Patch Antenna)

f_o adalah frekuensi resonan bernilai 1.8 GHz dan c adalah kelajuan cahaya (3×10^8 m/s) dan ϵ_{reff} didapati dari persamaan 3

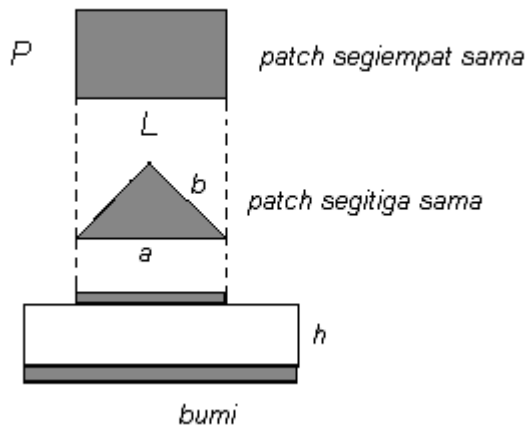
$$\hat{\Gamma}_{eff} = \frac{\hat{\Gamma}_r + 1}{2} + \frac{\hat{\Gamma}_r - 1}{2} \frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{12h\sqrt{\epsilon}}{L} \dots\dots\dots(3) \quad (\text{Nasimuddin and A.K.}$$

Verma,(2004),”Fast and Accurate Model for Analysis of Equilateral Triangular Patch Antenna)

ϵ_r adalah pemalar dielektrik, 4.5 dan h ialah tebal *substrate* 1.5 mm. Manakala W adalah lebar bagi elemen tersebut. Lebar elemen, W boleh diperolehi dengan memasukkan nilai dalam persamaan 4.

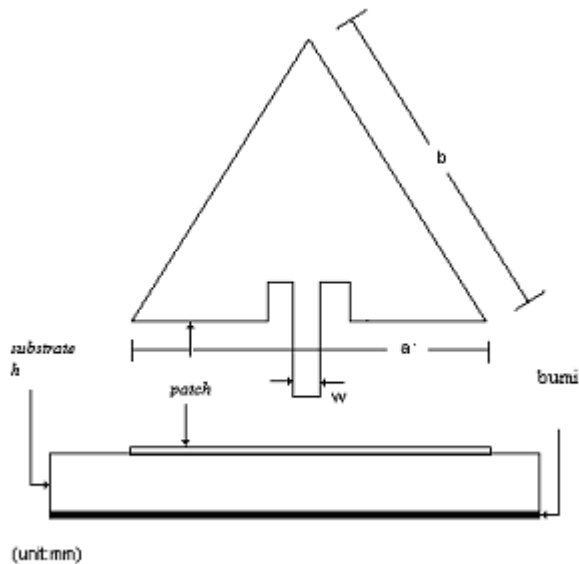
$$L = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{\hat{\Gamma}_r + 1}{2}}} \dots\dots\dots(4) \quad (\text{Nasimuddin and A.K. Verma,(2004),”Fast and$$

Accurate Model for Analysis of Equilateral Triangular Patch Antenna)



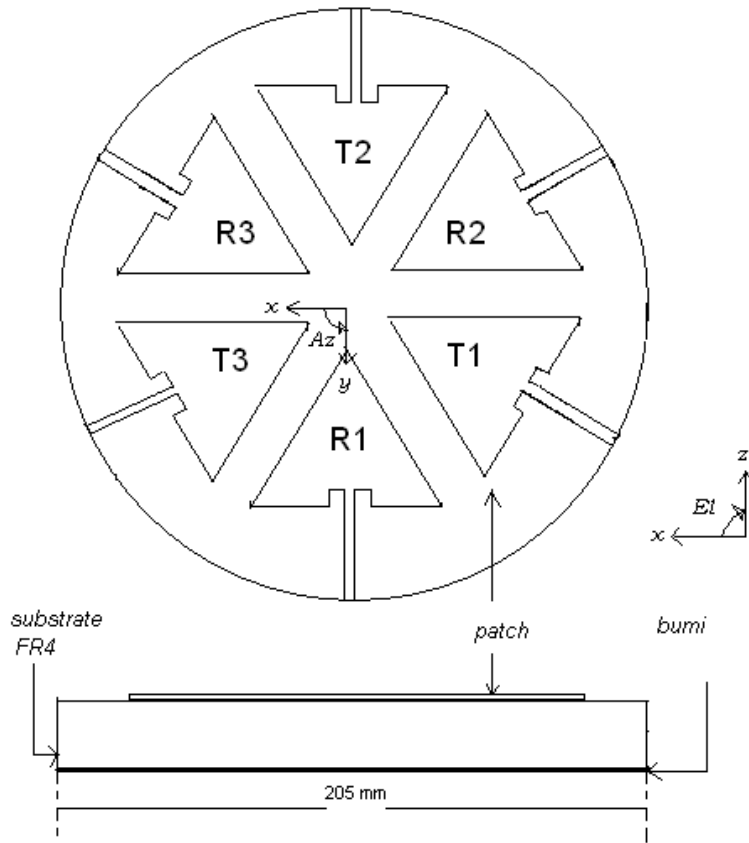
Rajah 3.1: *patch* segiempat sama dan *patch* segitiga sama

Rajah 3.1 menunjukkan perbandingan antara *patch* segitiga sama dengan *patch* segiempat sama. Daripada rajah ini persamaan untuk mencari nilai a dan b diperolehi.



Rajah 3.2: Konfigurasi satu *patch* segitiga

Rajah 3.2 menunjukkan konfigurasi *patch* segitiga yang digunakan dalam projek ini. Hasil daripada pengiraan nilai a dan b diperolehi masing-masing 58.02 dan 40.42. Lebar *patch* a dan b untuk penerima dan pemancar di optimumkan secara berasingan. Akhirnya, parameter lebar bagi *patch* diperolehi a adalah 58.06 mm dan b adalah 51.95mm untuk pemancar dan penerima. Saluran yang dimasukkan ke dalam *patch* sebanyak 4.54 mm untuk memperolehi *matching impedance* atau 50 ohm untuk pemancar dan penerima.

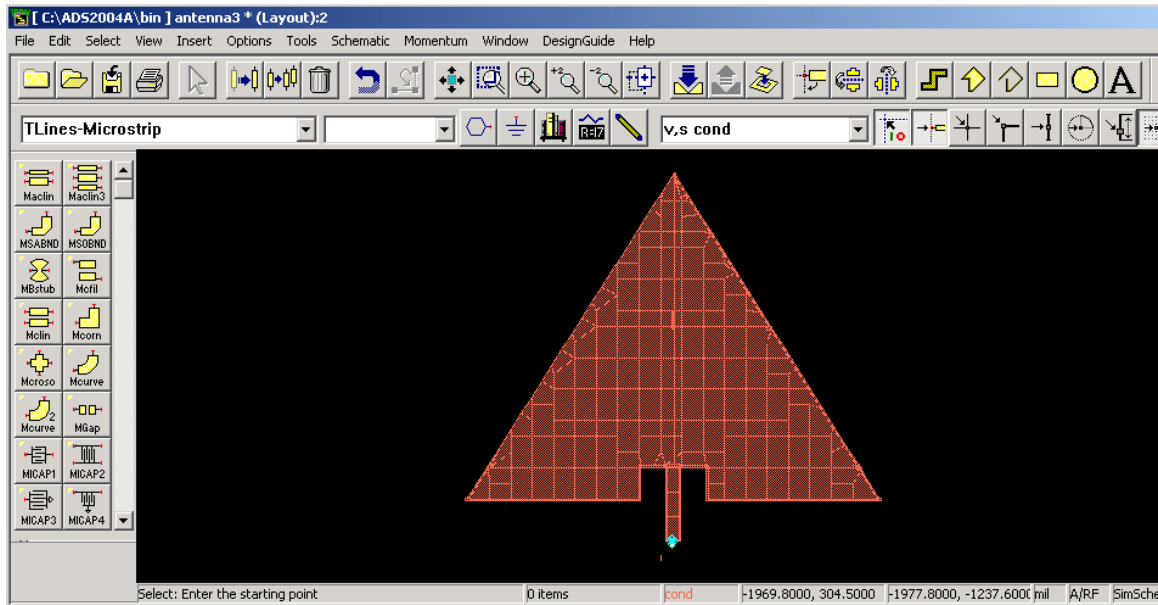


Rajah 3.3: konfigurasi antena segitiga-*patch array*

3.3 Rekabentuk antena menggunakan perisian ADS

Patch akan direkabentuk menggunakan perisian ADS ini untuk mendapatkan graf S_{11} setelah disimulasi. S_{11} akan menunjukkan nilai frekuensi dan kestabilan antena yang diperolehi daripada *patch* yang direkabentuk dengan menggunakan ADS.

Dengan menggunakan perisian ADS, rekabentuk *patch* dilukis pada *layout*. Setelah siap direkabentuk, *patch* akan disimulasi untuk melihat graf S11.

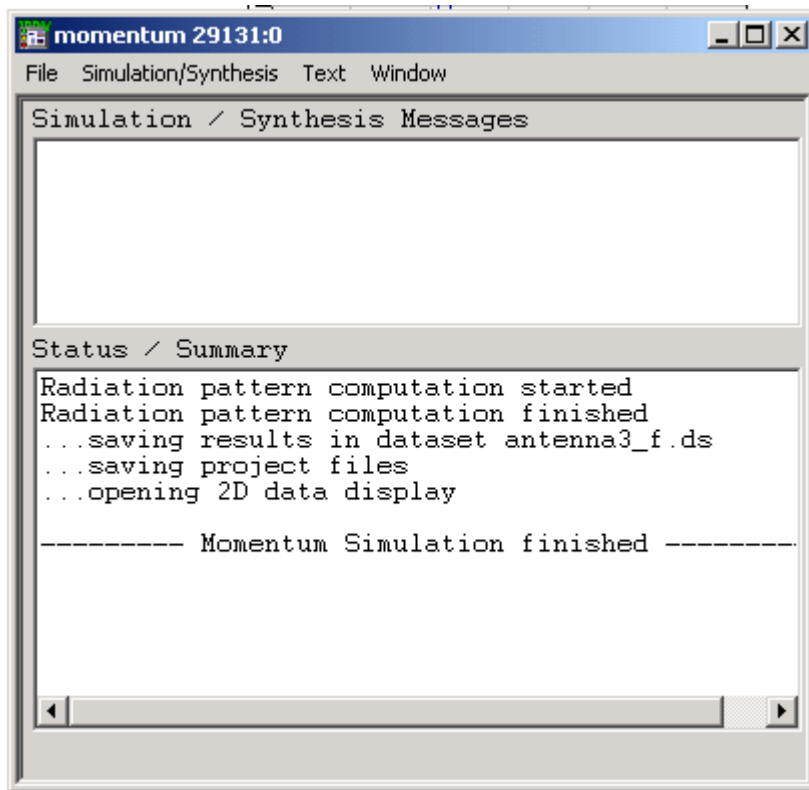


Rajah 3.3: simulasi rekabentuk *patch* menggunakan perisian ADS

Setelah rekabentuk *patch* siap dilukis, sebelum disimulasikan *patch* akan digabungkan bersama dengan *substrate*. *Substrate* yang digunakan adalah jenis FR4 *single sided*, dimana ia mempunyai ketebalan sebanyak 1.5mm, *premittivity* (ϵ_r) (*real* 4.5 dan *loss tangen* 0.0018).

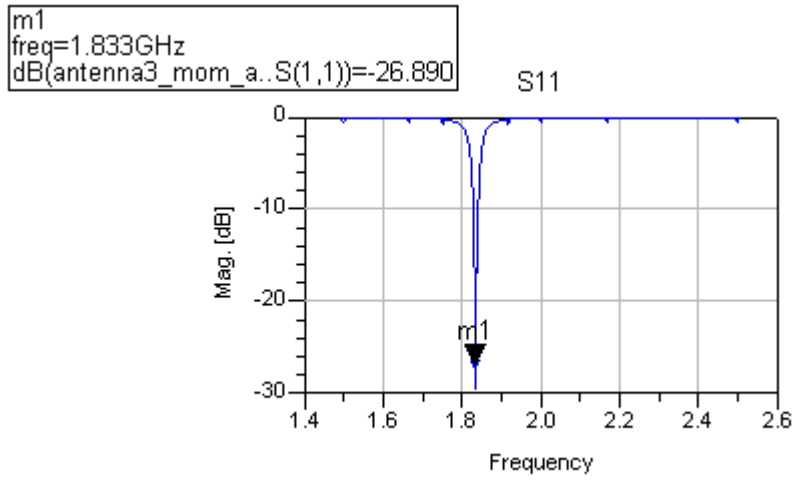
Cara mengabungkan *substrate* dengan *patch*, klik *momentum* pada panel dalam rajah 3.3, dan pilih *substrate* dan seterusnya pilih *create/modify*. Panel *substrate layer* akan dibuka, nilai-nilai *substrate* dimasukkan. *Substrate* yang digunakan ialah jenis FR4.

Selepas *substrate* siap dibina, buka *metallization layer*. Tambah *strip con* pada *layer mapping* dimana ketebalan ialah 3.5 μm , *conductivity sigma real* adalah 5.813E+007. Setelah *substrate* digabungkan dengan *patch* maka simulasi dapat dilakukan.

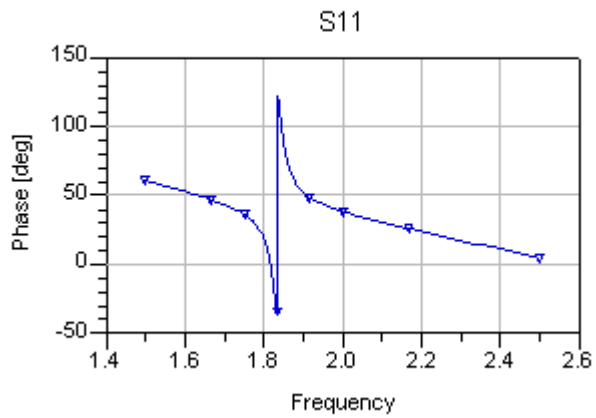


Rajah 3.4: contoh simulasi sedang dijalankan

Rajah 3.4 menunjukkan contoh simulasi yang sedang dijalankan. Cara-cara *patch* disimulasi, setelah *patch* siap direkabentuk, klik *momentum* pada panel dalam rajah 3.3, dan pilih simulation bagi s-parameter ini akan menyimulasikan *patch* yang direkabentuk itu, keluar daripada simulasi adalah berbentuk graf seperti dibawah:



Rajah 3.5: graf S11, frekuensi (GHz) melawan magnitud (dB)



Rajah 3.6: Graf S11, frekuensi (GHz) melawan fasa (darjah)