

**Desain *Motor Stepper Electromagnetic* Berbasis FEM  
(*Finite Element Method*) Menggunakan *Software MagNet 7.5***

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**ABDUL RAHMAN LUBIS**

**13.812.0015**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**MEDAN**

**2020**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 15/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)15/12/21

**Desain *Motor Stepper Electromagnetic* Berbasis FEM  
(*Finite Element Method*) Menggunakan *Software MagNet 7.5***

**SKRIPSI**

Skripsi Ini Merupakan Salah Satu Syarat untuk Menadapatkan  
Gelar Sarjana Teknik Elektro di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2020

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

i

Document Accepted 15/12/21

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)15/12/21

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Desain *Motor Stepper Electromagnetic* Berbasis FEM  
(*Finite Element Method*) Menggunakan Software *MagNet 7.5*

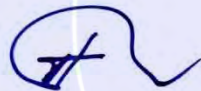
Nama : Abdul Rahman Lubis

NPM : 13.812.0015

Fakultas : Teknik Elektro

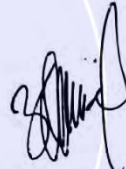
Disetujui Oleh

Komisi Pembimbing



Prof. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc

Pembimbing I



Moranain Mungkin, ST, M.Si

Pembimbing II



Dr. Ir. Dina Maizana, MT  
Dekan Fakultas Teknik

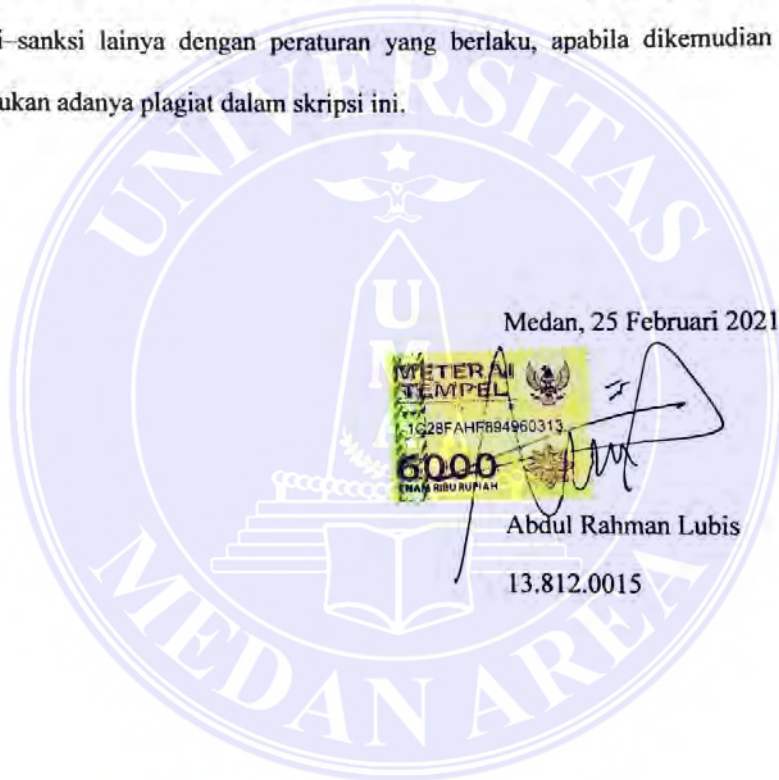


Sriani Muthia Putri, ST, MT  
K. Prodi Teknik Elektro

### HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan bantuan orang lain. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



**LEMBAR PERNTAYAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Abdul Rahman Lubis

NPM : 13.812.0015

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-Exclusiv Royalty-Free Righ)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : "Desain *Motor Stepper Electromagnetic* Berbasis FEM (*Finile Element Method*) Menggunakan Software *MagNet 7.5*".

Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 03 Oktober 2020



Abdul Rahman Lubis



## ABSTRAK

Pendesainan pada suatu pemodelan motor stepper dapat menggunakan Software MagNet 7.5. Software MagNet 7.5 ini juga dapat mendesain segala jenis motor atau generator berbasis permanen magnet. Pendesainan Perangkat lunak simulasi didasarkan pada proses pemodelan fenomena nyata dengan satu set rumus matematika. Prinsip kerja software ini adalah sebagai Sebuah fitur MagNet dalam penggunaan metode terbaru dapat memecahkan persamaan medan magnet dan menghitung jumlah seperti gaya dan torsi. Untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan, tidak perlu menjadi ahli dalam teori elektromagnetik atau analisis numerik.



## ABSTRACT

*Designing a stepper motor modeling can use MagNet 7.5 software. MagNet 7.5 software can also design any type of permanent magnet based motor or generator. Simulation software design is based on the process of modeling real phenomena with a set of mathematical formulas. The working principle of this software is that as a MagNet feature, the use of the latest methods can solve the magnetic field equations and calculate quantities such as force and torque. To get reliable results, it is not necessary to be an expert in electromagnetic theory or numerical analysis.*



## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Abdul Rahman Lubis dilahirkan pada tanggal 02 Agustus 1995 di Batang Kuis Sumatera Utara, Anak dari Pasangan Bapak Mardansyah Lubis dan Ibu Zulrubiah. Pada tahun 2007 lulus dari SD 101865 Batang Kuis Sumatera Utara, Tahun 2010 Lulus dari MTS Darul Ilmi Batang Kuis Sumatera Utara, Tahun 2013 Lulus dari SMA Negeri 1 Batang Kuis Sumatera Utara. Pada Tahun 2013 Penulis masuk di Universitas Medan Area (UMA) sampai tahun 2020 mengantarkan penulis untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik.

Demikian Riwayat hidup penulis untuk sekedar diketahui.



Terimakasih

Penulis



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan limpahan rahmat kasih karunia-Nya yang telah diberikan Nya, sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan tema yang dipilih dalam penelitian ini adalah tentang simulasi dengan judul “Desain *Motor Stepper Electromagnetic* Berbasis FEM (*Finite Element Method*) Menggunakan *Software Magnet 7.5*”

Dalam penyelesaian laporan ini, penulis telah banyak mendapat bimbingan, nasehat, bantuan maupun dorongan dari berbagai pihak, baik bantuan yang berupa material maupun spritual. Atas semua bantuan tersebut penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala tuntunan, kesehatan, kemudahan dan keselamatan yang diberikan kepada penulis selama pengerjaan laporan skripsi sehingga semua dapat diselesaikan dengan lancar.
2. Ayahanda Mardansyah Lubis dan Ibunda Zulrubiah serta keluarga yang selalu memberikan dukungan dan motivasi yang sangat luar biasa pada penulis.
3. Bapak Prof. Dr.Dadan Ramdan,M.Eng.,M.Sc. Selaku Rektor Universitas Medan Area.
4. Ibu Dr. Ir. Dina Maizana, MT Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
5. Ibu Syarifah Muthia Putri, ST.MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
6. Bapak Prof.Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc. Selaku Pembimbing I Telah Meluangkan Waktu, Tenaga dan Pikiran dalam Penyusunan Skripsi ini Hingga Selesai.
7. Bapak Moranain Mungkin, ST, M.Si Selaku Pembimbing II Telah Meluangkan Waktu, Tenaga dan Pikiran dalam Penyusunan Skripsi ini Hingga Selesai.

8. Seluruh Staff Pengajar dan Pegawai Universitas Medan Area yang Telah Banyak Membantu Penulis dalam memberi arahan dan pembelajaran pada saat kuliah berlangsung.
9. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Medan Area yang Turut membantu dalam Menyelesaikan Skripsi ini.

Walaupun penulis sudah berusaha semaksimal mungkin, namun penulis juga menyadari kemungkinan adanya kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran-saran dan kritik dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan laporan ini dan dapat digunakan untuk menambah ilmu untuk masa yang akan datang.

Akhirnya penulis berharap agar laporan ini bermanfaat bagi siapapun yang mempelajarinya. Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberkati kita dan laporan ini bermanfaat bagi siapapun yang membacanya.



Medan, 02 Februari 2021

Abdul Rahman Lubis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN .....	iv
ABSTRAK .....	v
RIWAYAT HIDUP .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Defenisi Software Magnet 7.5 .....	5
2.2 Definisi <i>Motor Stepper</i> .....	6
2.3 Sifat dari <i>motor stepper</i> .....	6
2.4 Prinsip kerja <i>Motor Stepper</i> .....	7
2.5 Jenis-jenis <i>Motor Stepper</i> .....	8
2.6 Torsi .....	11
BAB III METODE PENELITIAN .....	13
3.1 Metode Penelitian .....	13
3.2 Tempat Penelitian .....	13

3.3 Peralatan Yang Digunakan .....	13
3.4 <i>Flow Chart</i> Penelitian .....	14
3.5 Desain Model <i>Motor Stepper</i> .....	15
3.5.1 Rancangan Struktural .....	15
3.5.2 Membangun inti stator dan kutub .....	15
3.5.3 Membangun <i>Stator Coil</i> .....	18
3.5.4 Membangun rotor dan kotak udara .....	21
3.5.5 Pemecahan dan <i>post-processing</i> .....	22
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA .....	25
4.1 Hasil Desain <i>Motor Stepper</i> .....	25
4.2 Pengujian dan Analisa .....	26
4.2.1 Pengujian Pengujian <i>the flux function and the shaded plot of the</i> <i> B  values</i> pada model 2D .....	27
4.2.2 Pengujian <i>solve static</i> 2D dan 3D .....	28
4.2.3 Pengujian nilai <i>torque</i> pada pemodelan 2D .....	35
4.2.4 Pengujian Kerapatan Fluks .....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	39
5.1 Kesimpulan .....	39
5.2 Saran .....	39
DAFTAR PUSTAKA .....	40

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja <i>Motor Stepper</i> .....	7
Gambar 2.2 <i>Motor stepper tipe variable reluctance (VR)</i> .....	8
Gambar 2.3 <i>Motor stepper tipe magnet permanent (PM)</i> .....	9
Gambar 2.4 <i>Motor stepper tipe hybrid</i> .....	10
Gambar 2.5 Membuka Pintu Rumah .....	12
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> kerangka berfikir .....	14
Gambar 3.2 Pengaturan unit model .....	16
Gambar 3.3 Bentuk lingkaran jari-jari <i>motor stepper</i> .....	16
Gambar 3.4 Hasil bentuk <i>Rotate Edges</i> .....	17
Gambar 3.5 Bentuk Stator <i>motor stepper</i> .....	18
Gambar 3.6 Bentuk <i>stator coil motor stepper</i> .....	19
Gambar 3.7 Memasukan sudut <i>Rotate Components motor stepper</i> .....	19
Gambar 3.8 Hasil bentuk <i>Make a simple coil motor stepper</i> .....	20
Gambar 3.9 Memasukkan bahan pada <i>Rotor motor stepper</i> .....	21
Gambar 3.10 Memasukkan bahan pada <i>AIR motor stepper</i> .....	22
Gambar 3.11 Memasukkan nilai <i>solver options AIR motor stepper</i> .....	23
Gambar 3.12 Memasukkan nilai <i>solver adaptassi AIR motor stepper</i> .....	23
Gambar 4.1 Pemodelan <i>Motor Stepper 4ø</i> menggunakan Software MagNet 7.5 .....	25
Gambar 4.2 Diagram model 2D yang sederhana <i>variable keengganan motor</i> .....	26
Gambar 4.3 Hasil koneksi kumparan <i>static 2D</i> .....	27
Gambar 4.4 <i>Solve Static 2D motor stepper</i> .....	29
Gambar 4.5 Kurva <i>stored magnetic energy static 2D motor stepper</i> .....	30
Gambar 4.6 Kurva <i>Co-energy static 2D motor stepper</i> .....	30
Gambar 4.7 Bentuk initial <i>2D mesh motor stepper</i> .....	31
Gambar 4.8 Kurva <i>stored magnetic energy static 3D motor stepper</i> .....	32
Gambar 4.9 Kurva <i>Co-energy static 3D motor stepper</i> .....	33
Gambar 4.10 Bentuk initial <i>3D mesh motor stepper</i> .....	34
Gambar 4.11 Kurva Hasil Perhitungan Torsi <i>Motor Stepper</i> .....	36
Gambar 4.12 Kurva B contour normal X.....	37
Gambar 4.13 Kurva B contour normal Y.....	38

## DAFTAR TABEL

Table 3.1 Pengaturan diameter pada <i>motor stepper</i> .....	15
Tabel 4.1 <i>Force</i> 2D <i>motor stepper</i> .....	31
Tabel 4.2 <i>Force static</i> 3D <i>motor stepper</i> .....	33
Tabel 4.3 hasil perhitungan <i>Torsi motor stepper</i> .....	35
Tabel 4.4 Hasil B countour normal X .....	41
Tabel 4.5 Hasil B countour normal Y .....	47





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Simulasi adalah suatu teknik numerik untuk melakukan percobaan-percobaan pada suatu komputer digital, yang melibatkan bentuk-bentuk fungsi matematika dan logika tertentu untuk menjelaskan tingkah laku dan struktur suatu sistem nyata yang kompleks. Simulasi dapat digunakan untuk merancang, menganalisa dan menilai suatu sistem. Simulasi juga menjadi suatu proses peniru dari suatu yang nyata beserta keadaan sekelilingnya (*state of affairs*). Aksi melakukan simulasi ini secara umum menggambarkan sifat-sifat karakteristik kunci dari kelakuan sistem fisik atau sistem yang abstrak tertentu.

Perangkat lunak simulasi didasarkan pada proses pemodelan fenomena nyata dengan satu set rumus matematika. Hal ini, pada dasarnya, sebuah program yang memungkinkan pengguna untuk mengamati operasi melalui simulasi tanpa benar-benar melakukan operasi itu.

Perangkat lunak simulasi digunakan secara luas untuk desain peralatan sehingga produk akhir akan dekat dengan desain spesifikasi mungkin tanpa mahal dalam proses modifikasi.

MagNet 7.5 merupakan software paling baru yang saat ini tersedia untuk mensimulasikan perangkat elektromagnetik dikomputer. Ini menyediakan "laboratorium virtual" dimana pengguna dapat membuat model dari bahan *magnetic* dan gulungan, tampilan dalam bentuk data dan grafik, dan mendapatkan nilai *numeric* untuk jumlah seperti hubungan fluks dan gaya. Pengguna MagNet 7.5 hanya membutuhkan pengetahuan dasar tentang konsep magnetic untuk memodelkan perangkat yang ada, memodifikasi desain dan menguji gagasan baru. MagNet 7.5 dirancang sebagai alat pemodelan 3D lengkap untuk memecahkan masalah.

Elektromagnetik yang dapat melibatkan medan magnet *static*, medan *varising* dan arus eddy, dan kondisi sementara dengan gerakan bagian perangkat. Banyak perangkat dapat di wakili dengan sangat baik oleh model 2D, jadi MagNet 7.5 menawarkan pilihan pemodelan 2D, dengan penghematan besar dalam sumber daya komputasi dan waktu penyelesaian. Sebuah fitur MagNet 7.5 adalah penggunaan metode terbaru untuk memecahkan persamaan medan dan menghitung jumlah seperti gaya dan torsi. Untuk mendapatkan hasil yang dapat di andalkan, pengguna tidak perlu menjadi ahli dalam teori elektromagnetik atau analisis numerik. Meski demikian pengguna memang perlu menyadari faktor-faktor yang mengatur ketepatan solusi. Salah satu tujuan dari dokumen ini adalah untuk menunjukkan bagaimana pengguna dapat memperoleh hasil yang akurat. Pada 2D, masalah bisa diatasi dengan sangat cepat, jadi biasanya tidak perlu mempertimbangkan *trade-off* antara kecepatan dan ketepatan.

Dalam pemodelan 3D, di sisi lain, ini adalah pertimbangan penting. Untuk pengguna tingkat lanjut, MagNet 7.5 menawarkan fasilitas untuk penyesuaian parameter model yang ditentukan pengguna, menghitung hasil lebih lanjut dari solusi lapangan, dan pengendalian pengoperasian paket dengan bentuk *skrip*. MagNet 7.5 dapat dihubungkan ke aplikasi lain melalui antarmuka *ActiveX Automation Windows*, Aplikasi lain dapat mengirim perintah ke MagNet 7.5 untuk membangun dan menyelesaikan model dan mengambil hasil solusi. Software MagNet 7.5 ini dapat digunakan untuk merancang Simulasi Pemodelan Generator Listrik memecahkan persamaan medan dan menghitung jumlah seperti gaya dan torsi.<sup>[1]</sup>

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana cara mendesain *Motor Stepper 4ø* dengan menggunakan Software Magnet 7.5.
- b. Bagaimana menghitung flux *Motor Stepper 4ø* menggunakan software magnet 7.5.
- c. Bagaimana mencari Torsi pada *Motor Stepper 4ø*.

## 1.3 Batasan Masalah

Simulasi perancangan ini hanya mendukung:

- a. Simulasi pemodelan dalam bentuk 2D dan 3D.
- b. Perhitungan *torsi, energy*, dan kerapatan *fluxs*.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan perancangan simulasi ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendesain *Motor Stepper 4ø* dengan *software magnet 7.5*.
- b. Menghitung jumlah gaya dan torsi dalam bentuk simulasi.
- c. Mencari performa torsi pada *Motor Stepper 4ø* dengan *software magnet 7.5*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

- a. Untuk menunjukkan bagaimana pengguna dapat memperoleh hasil simulasi yang akurat pada 2D dan 3D.
- b. Dapat mengurangi kebocoran fluks pada simulasi pada software magnet 7.5.
- c. Memberikan pengetahuan dan proses mendesain menggunakan software magnet 7.5.
- d. Dapat menentukan material dalam simulasi software magnet 7.5.
- e. Dapat membuat *actual* (nyata) dari hasil menggunakan software magnet 7.5.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan skripsi nantinya adalah sebagai berikut :

a. BAB I PENDAHULUAN

Menjelaskan secara singkat tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah yang diteliti, batasan masalah, tujuan simulasi dan manfaat perancangan serta sistematika pembahasan.

b. BAB II TEORI *MOTOR STEPPER*

Berisi tentang teori yang berhubungan dengan simulasi yang dirancang serta perangkat ataupun software pendukung dalam perancangan simulasi.

c. BAB III METODOLOGI SIMULASI

Berisi tentang bagaimana metode simulasi software yang digunakan, yang meliputi bagaimana cara pengambilan data dan cara perancangan simulasi *motor stepper 4ø*.

d. BAB IV ANALISA DATA

Berisi tentang penyajian hasil simulasi serta pembahasannya secara lengkap.

e. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran yang didapatkan dari hasil simulasi yang dirancang.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Defenisi Software Magnet 7.5

MagNet 2D / 3D adalah perangkat lunak simulasi kuat yang digunakan para insinyur dan ilmuwan di seluruh dunia untuk desain *motor, sensor, transformator, aktuator, solenoida, atau komponen* apa pun dengan magnet *permanen atau coil*. *Software* ini mudah digunakan dan akurat, dan dapat secara *virtual* dibuat *prototipe* menjadi perangkat elektromagnetik dan elektromekanis yang kompleks dan lebih *efisien*. *Prototipe virtual* dapat menghemat waktu dan uang. Beberapa konfigurasi dapat dieksplorasi dengan cepat, memberikan wawasan ke dalam kinerja untuk perbaikan desain yang mengurangi biaya.

Sebuah fitur MagNet dalam penggunaan metode terbaru dapat memecahkan persamaan medan dan menghitung jumlah seperti gaya dan torsi. Untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan, tidak perlu menjadi ahli dalam teori elektromagnetik atau analisis numerik. Meski demikian memang perlu menyadari faktor-faktor yang mengatur ketepatan solusi. Salah satu tujuannya adalah untuk menunjukkan bagaimana memperoleh hasil yang akurat Pada 2D, dan diatasi dengan sangat cepat, jadi biasanya tidak perlu mempertimbangkan trade-off antara kecepatan dan ketepatan. Dalam pemodelan 3D, di sisi lain *Software* MagNet 7.5 menyediakan fasilitas untuk penyesuaian parameter model yang ditentukan pengguna, menghitung hasil pengendalian pengoperasian paket dengan bentuk *skrip*. MagNet 7.5 dapat dihubungkan keaplikasi lain melalui antarmuka *ActiveX Automation Windows*, Aplikasi lain dapat mengirim perintah ke MagNet untuk membangun dan menyelesaikan model dan mengambil hasil solusi.<sup>[1]</sup>



## 2.2 Definisi *Motor Stepper*

*Motor Stepper* adalah suatu motor listrik yang dapat mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor *discret* (terputus) yang disebut *step* (langkah). *Motor stepper* adalah salah satu jenis motor dc yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital. Satu putaran motor memerlukan  $360^\circ$  dengan jumlah langkah yang tertentu perderajatnya. Ukuran kerja dari *motor stepper* biasanya diberikan dalam jumlah langkah per-putaran per-detik. Karena itu, untuk menggerakkan *motor stepper* diperlukan pengendali *motor stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik.<sup>[2]</sup>

## 2.3 Sifat dari *motor stepper*

Motor stepper adalah suatu alat penggerak yang memanfaatkan gaya tarik magnet. Rotornya berhenti pada posisi kutub yang dieksitasi oleh arus yang mengalir pada lilitan. Rotor pada motor biasa berputar secara kontinu jika dieksitasi, tetapi rotor pada motor stepper berubah dari posisi diam dengan mengubah eksitasi kutub. Selain itu rotor *stepping motor* berputar secara kontinu (berkesinambungan) bila dieksitasi dengan komputer rotor dapat dihentikan pada posisi yang diharapkan.

Arus yang mengalir pada tiap lilitan adalah hanya sesaat sehingga bentuk arusnya berupa pulsa. Rotor berputar karena pulsa yang bergantian. Kecepatan putaran rotor ditentukan oleh kecepatan perpindahan pulsa, dan sudut putaran sebanding dengan banyaknya pulsa yang diberikan.



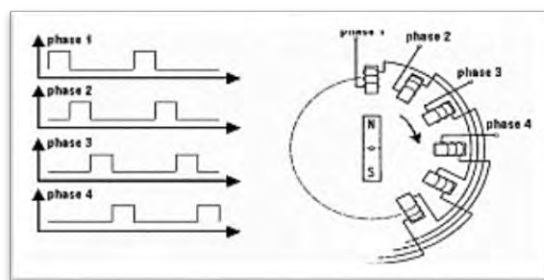
Sifat dari *motor stepper* dapat disingkat sebagai berikut :

- a. Rotor dapat diputar dengan sudut kecil. Rotor dari motor berharga ribuan yen dapat diputar dalam satuan 0,9 derajat atau 1,8 derajat.
- b. Keadaan diam adalah sifat yang paling penting. Penggunaan motor biasa adalah untuk memutar secara kontinu, maka rotor tidak memiliki keadaan diam. Tetapi pada motor stepper arus dapat dilewatkan ke satu lilitan saja dan akan mengakibatkan motor memiliki daya penahan (momen penahan) pada keadaan diam.
- c. Kecepatan putaran rotor tergantung pada kecepatan perubahan pulsa. sehingga mudah mengatur kecepatan putaran tetapi motor tidak cocok untuk putaran tinggi, hanya terbatas pada beberapa ratus putaran per menit.
- d. Sudut putaran rotor tergantung pada jumlah pulsa input sehingga pengendalian jumlah putaran dan sudut putaran sangatlah mudah. Cara ini adalah contoh *system open loop*. Sangat sulit mengendalikan jumlah putaran dan sudut putaran rotor pada motor biasa tanpa sistem *feedback* yang rumit.<sup>[3]</sup>

## 2.4 Prinsip kerja *Motor Stepper*

Prinsip kerja *motor stepper* adalah mengubah pulsa-pulsa input menjadi gerakan mekanis diskrit. Oleh karena itu untuk menggerakkan *motor stepper* diperlukan pengendali *motor stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa *periodik*.

Berikut ini adalah ilustrasi struktur *motor stepper* sederhana dan pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakannya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1: Prinsip Kerja *Motor Stepper*

Gambar 2.1 diatas memberikan ilustrasi dari pulsa keluaran pengendali *motor stepper* dan penerapan pulsa tersebut pada *motor stepper* untuk menghasilkan arah putaran yang bersesuaian dengan pulsa kendali.<sup>[2]</sup>

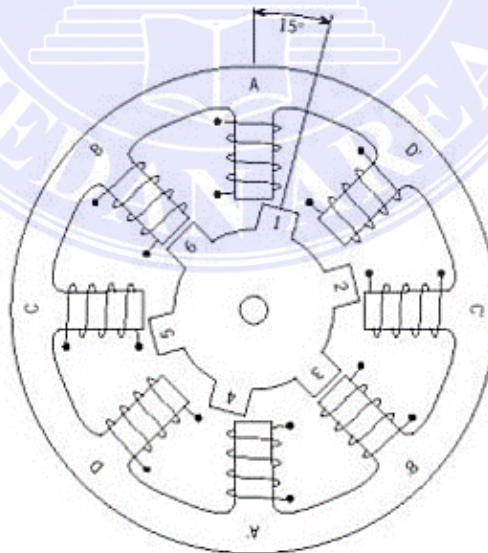
## 2.5 Jenis-jenis *Motor Stepper*

Berdasarkan struktur rotor dan stator pada *motor stepper*, maka *motor stepper* dapat dikategorikan dalam 3 jenis sebagai berikut :

### a. *Motor stepper Variable reluctance (VR)*

*Motor stepper* jenis ini telah lama ada dan merupakan jenis motor yang secara struktural paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri atas sebuah rotor besi lunak dengan beberapa gerigi dan sebuah lilitan stator. Ketika lilitan stator diberi energi dengan arus DC, kutub-kutubnya menjadi *termagnetasi*. Perputaran terjadi ketika gigi-gigi rotor tertarik oleh kutub-kutub stator.

Gambar 2.2 berikut ini adalah penampang melintang dari *motor stepper tipe variable reluctance (VR)*:

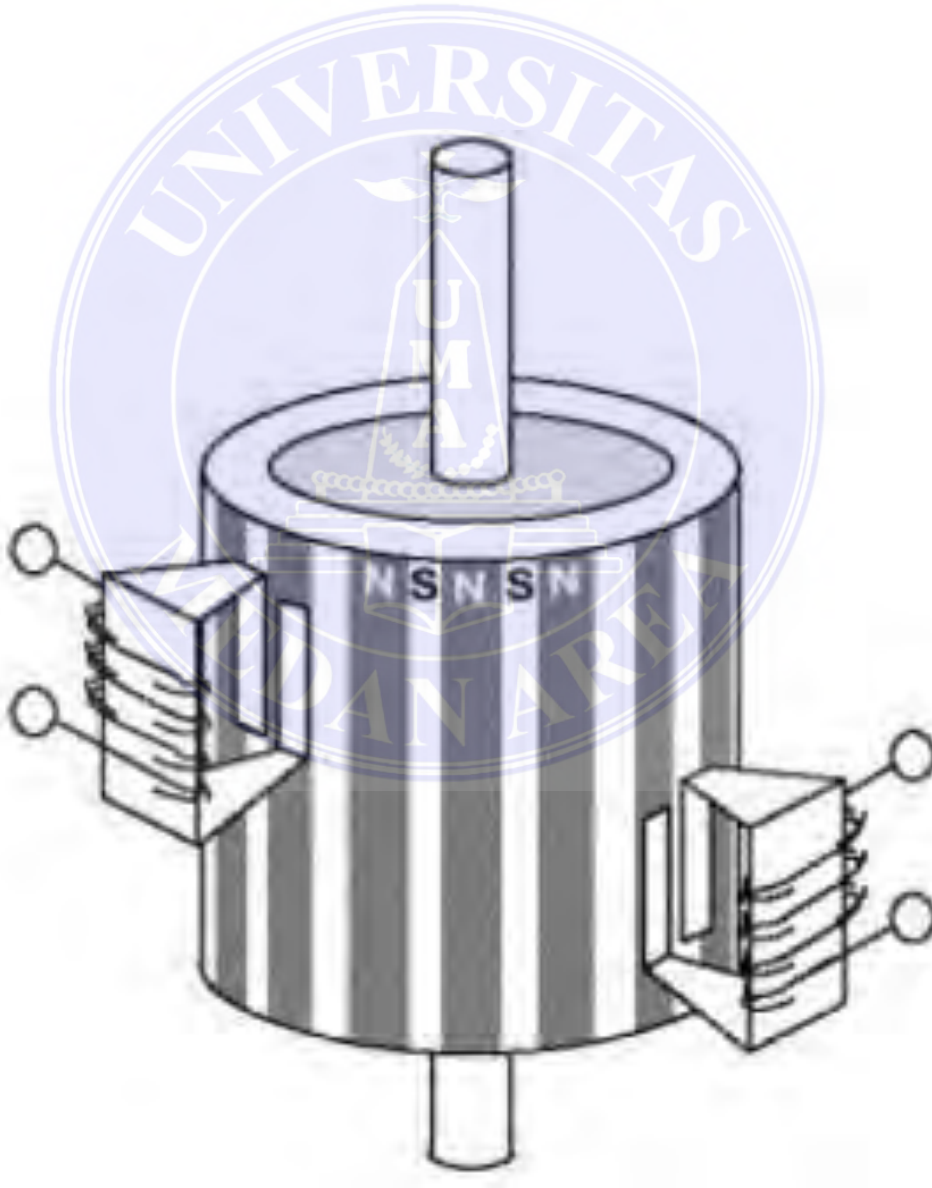


**Gambar 2.2: *Motor stepper tipe variable reluctance (VR)***

Gambar 2.2 diatas memberikan ilustrasi ketika lilitan stator diberikan dengan arus DC, kutub-kutubnya menjadi *termagnetasi*.

b. *Motor stepper VR Motor Stepper Tipe Permanent Magnet (PM)*

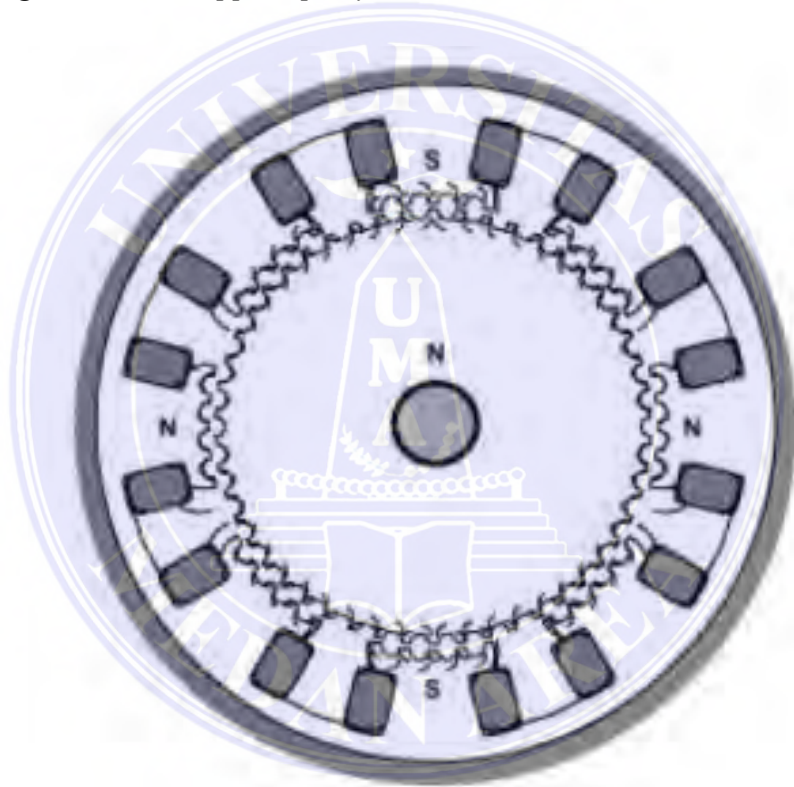
*Motor stepper* jenis ini memiliki rotor yang berbentuk seperti kaleng bundar (tin can) yang terdiri atas lapisan *magnet permanen* yang diselang-seling dengan kutub yang berlawanan. Dengan adanya *magnet permanen*, maka *intensitas* fluks magnet dalam motor ini akan meningkat sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar. Motor jenis ini biasanya memiliki resolusi langkah (*step*) yang rendah yaitu antara  $7,5^\circ$  hingga  $15^\circ$  per langkah atau 48 hingga 24 langkah setiap putarannya. Gambar 2.3 berikut ini adalah ilustrasi sederhana dari *motor stepper tipe Magnet Permanen* :



**Gambar 2.3: Motor stepper tipe magnet permanen (PM)**

c. *Motor Stepper Tipe Hybrid (HB)*

*Motor stepper tipe hibrid* memiliki struktur yang merupakan kombinasi dari kedua *tipe motor stepper* sebelumnya. *Motor stepper tipe hibrid* memiliki gigi-gigi seperti pada *motor tipe VR* dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti *motor tipe PM*. *Motor tipe* ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerja lebih baik. *Motor tipe hibrid* dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara  $3,6^0$  hingga  $0,9^0$  per langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya. Gambar 2.4 berikut ini adalah penampang melintang dari *motor stepper tipe hibrid* :



**Gambar 2.4: *Motor stepper tipe hibrid***

Berdasarkan metode perancangan rangkain pengendalinya, *motor stepper* dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu *motor stepper unipolar* dan *motor stepper bipolar*.<sup>[3]</sup>



## 2.6 Torsi

Torsi dalam fisika, juga disebut momen atau momen gaya, adalah bentuk *ekuivalen* rotasi dari gaya *linear*. Konsep torsi diawali dari kerja *Archimedes* dengan alat peraga tuas. Secara umum, torsi dapat dianggap sebagai gaya rotasi. Analog rotasi dari gaya, masa, dan percepatan adalah torsi, momen *inersia* dan percepatan sudut. Gaya yang bekerja pada tuas, dikalikan dengan jarak dari titik tengah tuas, adalah torsi. Contohnya, gaya dari tiga newton bekerja sepanjang dua meter dari titik tengah mengeluarkan torsi yang sama dengan satu newton bekerja sepanjang enam meter dari titik tengah. Ini menandakan bahwa gaya dalam sebuah sudut pada sudut yang tepat kepada tuas lurus. Lebih umumnya, seseorang dapat mendefinisikan torsi dalam perkalian silang:

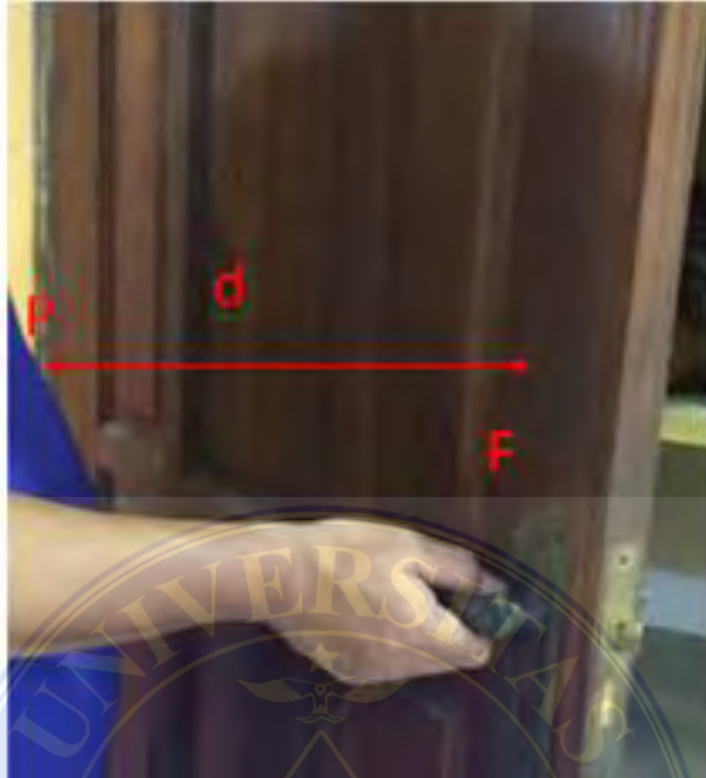
di mana:

$\boldsymbol{\tau}$  adalah torsi atau momen gaya;  $\boldsymbol{\tau}$  tebal adalah *vektor torsi*, sedangkan  $\tau$  tipis adalah *skalar* torsi

$\mathbf{r}$  adalah *vektor* posisi dari sumbu putaran ke titik di mana gaya bekerja

$\mathbf{F}$  adalah *vektor* gaya.

$\times$  menunjukkan perkalian silang, yang menghasilkan *vektor* yang tegak lurus antara  $\mathbf{r}$  dan  $\mathbf{F}$  yang mengikuti aturan tangan kanan adalah sudut antara *vektor* gaya dan *vektor* lengan gaya Satuan SI untuk torsi adalah N·m.



Gambar 2.5 : Membuka Pintu Rumah

Faktor yang mempengaruhi besar momen gaya yaitu gaya  $F$  dan panjang lengan gaya ( $d$ ) terhadap titik poros.

Contoh torsi dalam kehidupan:

- a. Ketika pintu rumah diberi gaya oleh tangan maka engsel akan berputar. Engsel dan dinding sebagai sumbu putar, jarak engsel ke posisi tangan dimana gaya bekerja disebut lengan gaya.
- b. Membuka baut dengan kunci pas diberikan gaya oleh tangan baut akan terbuka. baut sebagai pusat rotasi, jarak baut ke posisi tangan dimana gaya bekerja disebut lengan gaya.<sup>[4]</sup>



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Metode Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini metode yang digunakan dalam penelitian adalah:

a. Metode Pendesaian

Merupakan proses untuk membuat desain yang digunakan sebagai objek penelitian yang dilakukan sampai pada hasil penelitian yang diharapkan.

b. Implementasi

Cara menerapkan perancangan yang sudah disusun secara matang dan terperinci.

c. Analsia

Analisa perbandingan implementasi desain dengan metode perancangan sehingga sesuai dengan kebutuhan system.

### 3.2. Tempat Penelitian

Pembuatan dan pengujian simulasi *motor stepper* menggunakan software MagNet 7.5 ini dilakukan di :

1. Nama Tempat : PT. Lentera Bumi Nusantara.
2. Alamat : Jalan Raya Ciheras, Kampung Sindang Asih,  
RT02/RW02, Desa Ciheras, Cipatujah, Jawa Barat  
Indonesia.

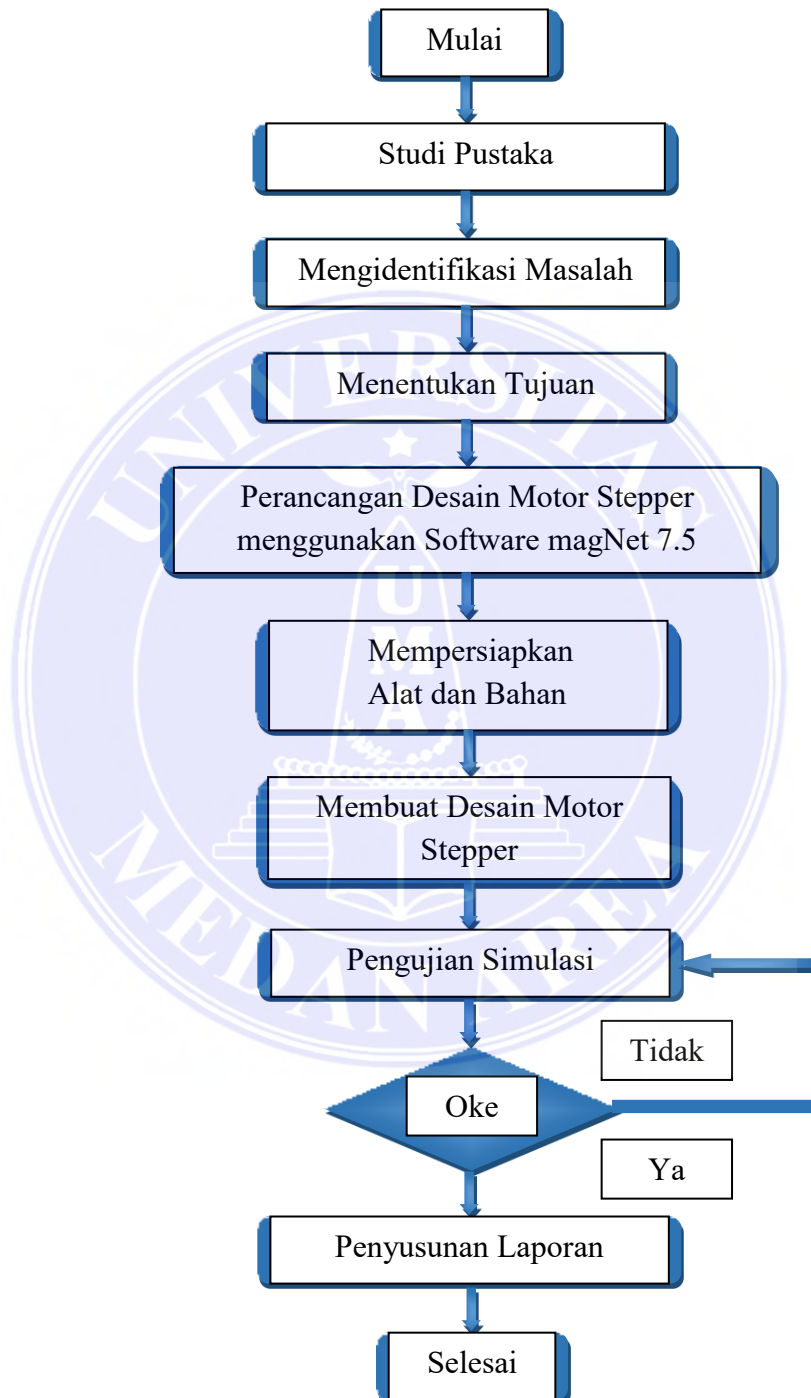
### 3.3. Peralatan Yang Digunakan

Dalam melakukan perancangan dibutuhkan beberapa peralatan penting seperti:

1. Laptop
2. Jangka sorong

### 3.4. Flow Chart Penelitian

Adapun *flow chart* pada penelitian ini adalah sebagai berikut



Gambar 3.1 : *Flowchart* kerangka berfikir

### 3.5. Desain Model *Motor Stepper*

#### 3.5.1 Rancangan Struktural

Meskipun akan mungkin untuk *mengeksploitasi simetri* struktur dan model hanya setengah dari perangkat, itu adalah sederhana untuk model motor lengkap dimensi kunci motor adalah sebagai berikut:

**Table 3.1 : Pengaturan diameter pada *motor stepper***

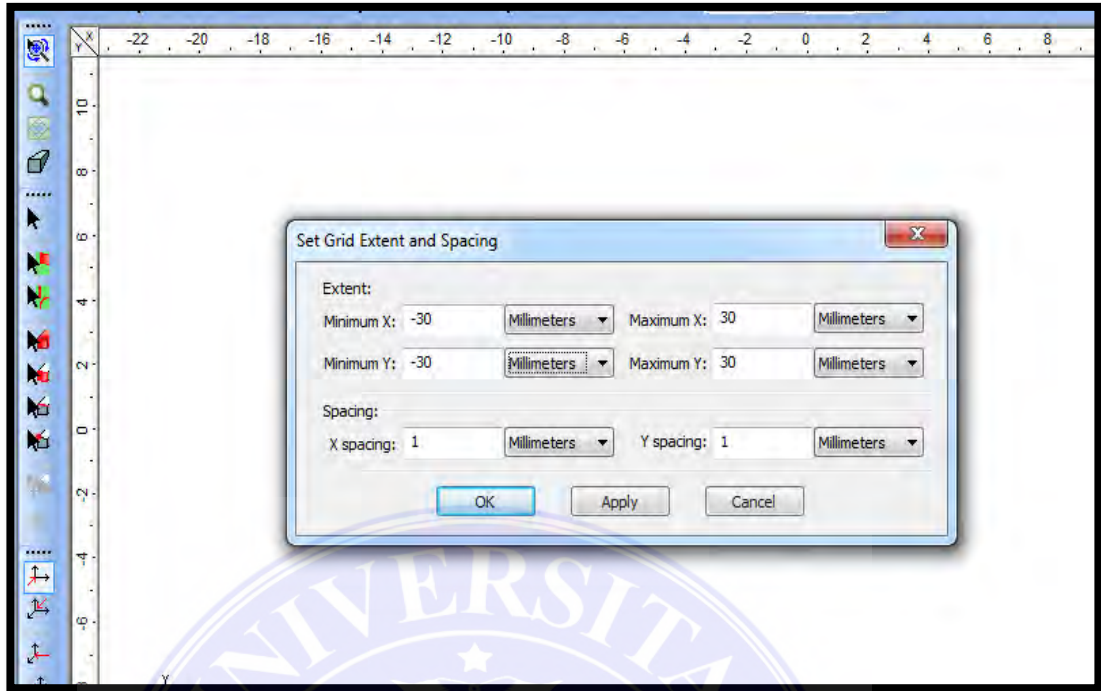
*Key dimensions of the motor are as follows:*

• <i>Stator outer radius</i>	28 mm
• <i>Stator inner radius</i>	16 mm
• <i>Stator pole width</i>	4 mm
• <i>Stator coil depth</i>	18 mm
• <i>Rotor outer radius</i>	8 mm
• <i>Rotor hub radius</i>	6 mm
• <i>Rotor pole width</i>	6 mm
• <i>Motor axial length</i>	30 mm

#### 3.5.2 Membangun inti stator dan kutub

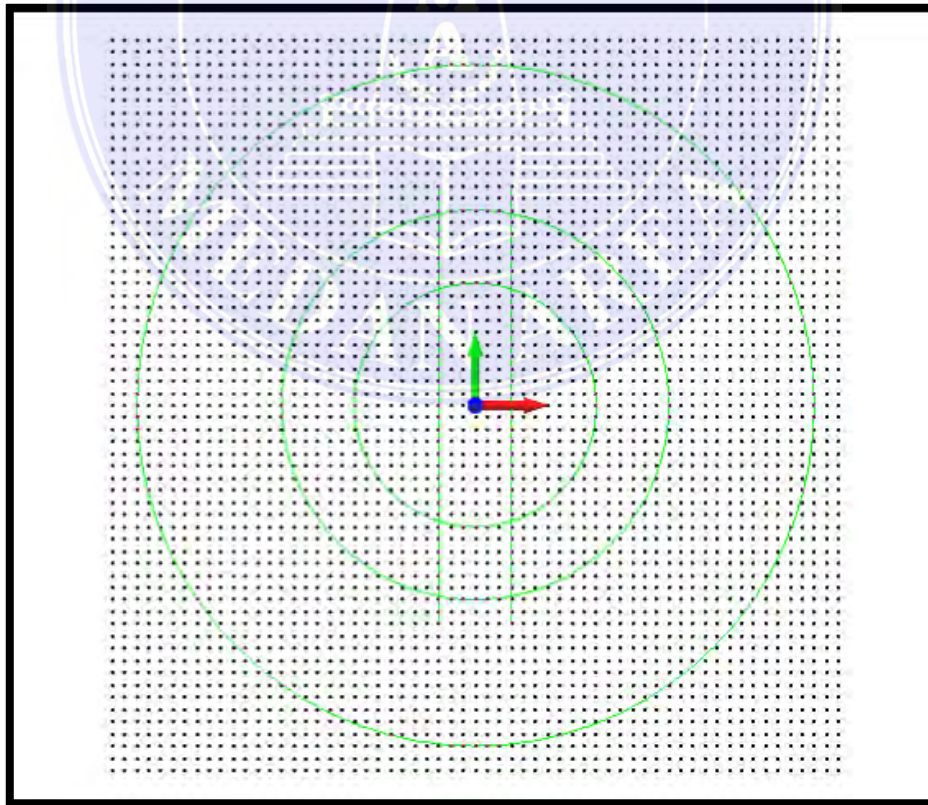
Stator inti dan tiang akan dilakukan dengan menggambar garis berpotongan dan lingkaran, dan menghapus bagian yang tidak diinginkan.

- Mulai model baru dan menyimpannya sebagai *Stepper Motor*.
- Mengatur unit model yang panjang untuk millimeter (Gambar 3.2).
- Koordinat asal dipusat motor, sehingga layar harus disesuaikan untuk menunjukkan berbagai sesuai nilai x dan y. Gunakan *spasi grid* dari 1 mm untuk menyederhanakan menggambar garis-garis komponen.



Gambar 3.2 : Pengaturan unit model

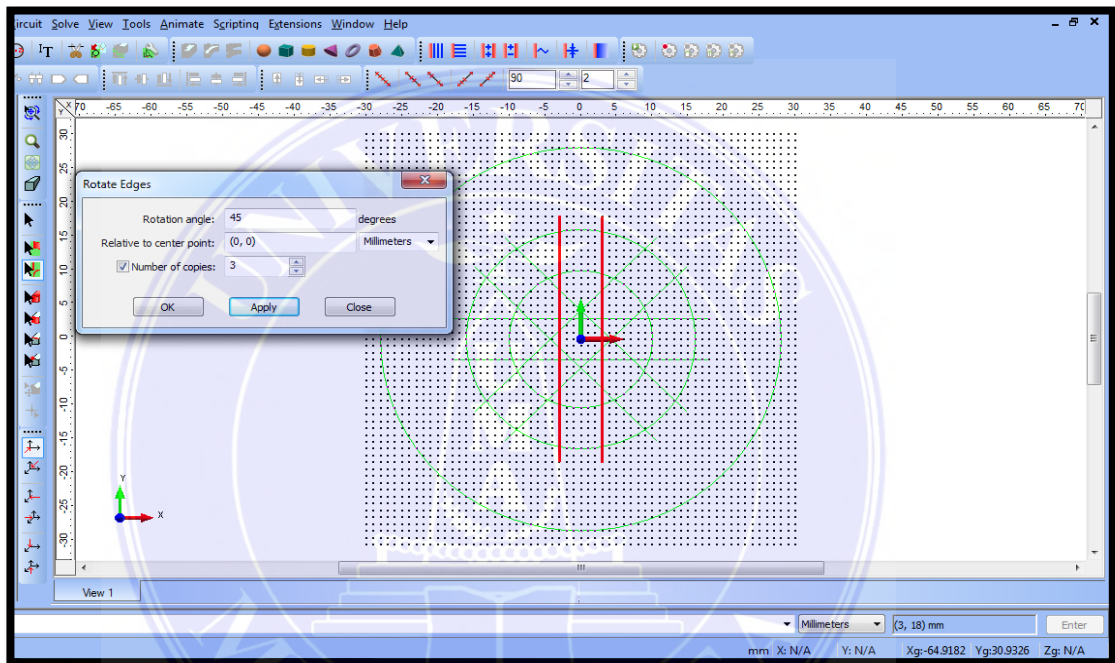
- d. Menggambar lingkaran dengan jari-jari 28 mm, 16 mm, dan 10 mm (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 : Bentuk lingkaran jari-jari motor stepper



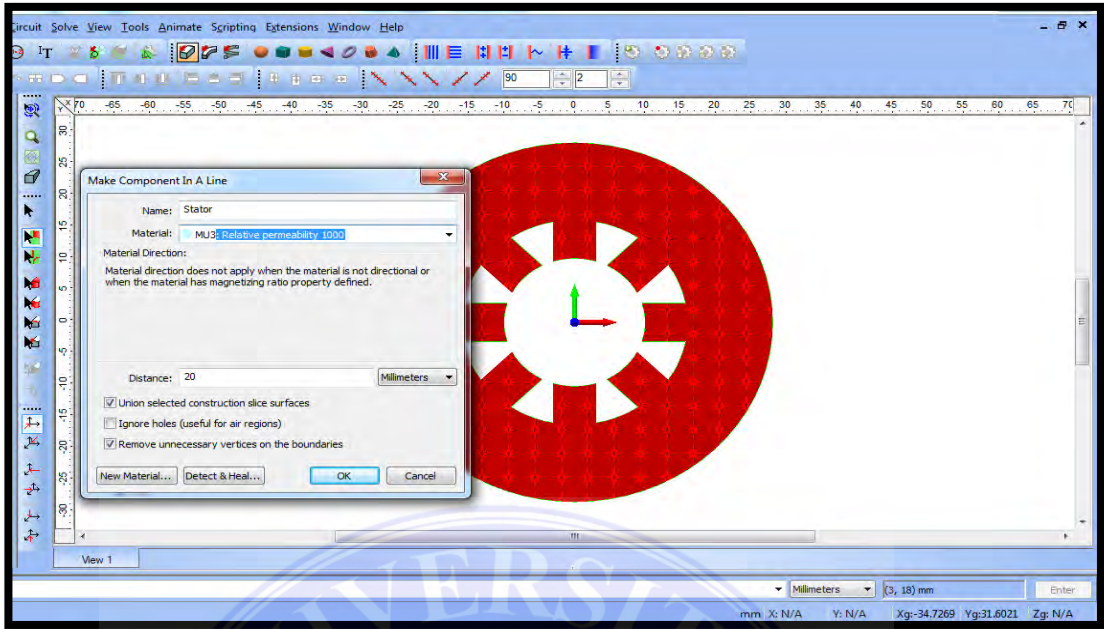
- e. Menggambar dua garis *vertical* panjang 18 mm, jarak 6 mm terpisah, yang akan membentuk dua kutub vertikal.
- f. Pilih dua baris.
- g. Pada menu *Draw*, klik Putar *Edges* (Gambar 3.4)  
(Dalam dialog Tepi Putar, masukkan sudut rotasi 45 derajat dan klik kotak Ini harus mengaktifkan setiap *Rotation Angle Apply*).
- h. Klik Menerapkan, lalu klik OK.  
(Ini harus membuat dua set baris untuk tiang lainnya).



Gambar 3.4 : Hasil bentuk *Rotate Edges*

- i. Pilih semua garis dan lingkaran dengan Ctrl+A.
- j. Pada menu *Draw*, klik *Tepi Segmen*.  
(Ini membagi garis dan busur dipersimpangan).
- k. Centang untuk Terapkan Transformasi untuk sebuah *Copy Seleksi*.
- l. Pilih dan menghapus garis dan lingkaran *segmen* yang tidak diinginkan, meninggalkan inti stator dan kutub (Gambar 3.5).
- m. Pilih permukaan stator dan membuat komponen dalam garis:
  - *Material* : MU3: *Relatif permeabilitas* 1000.
  - *Distance* : 20 mm.



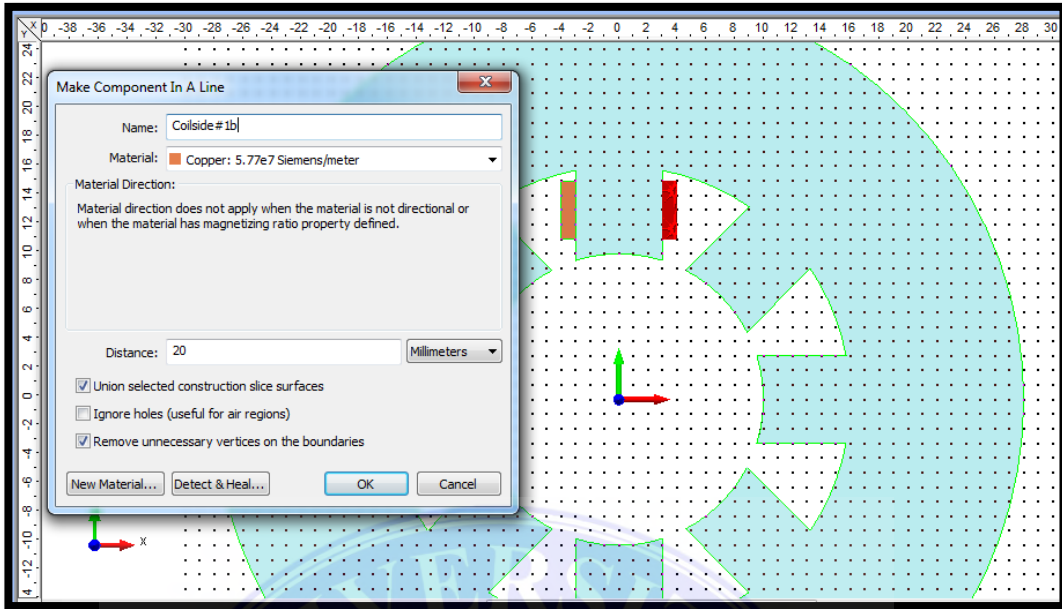


Gambar 3.5 : Bentuk Stator motor stepper

### 3.5.3 Membangun *Stator Coil*

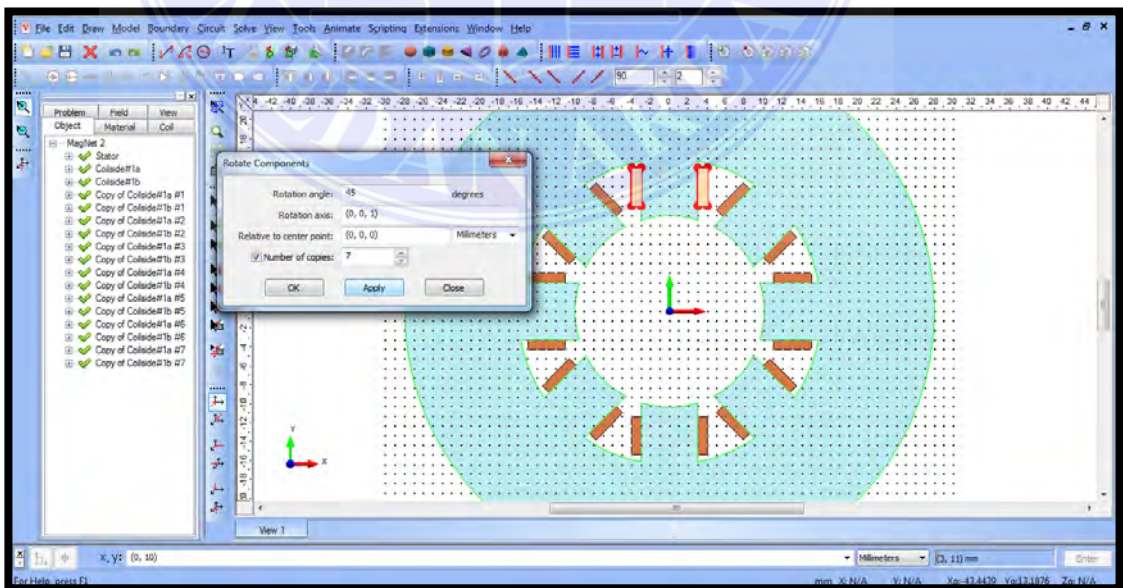
Salah satu kumparan akan dibuat dan kemudian disalin kelokasi lain.

- a. Gambarkan dua sisi *stator coil* atas (Gambar 3.6), sebagai persegi panjang dari 1 mm dengan 4 mm.
- b. Membuat dua komponen bernama *CoilSide#1a* dan *CoilSide#1b*:
  - *Material* : Copper :  $5.77e7$ Siemens/meter.
  - *Distance* : 20 mm.



Gambar 3.6 : Bentuk stator coil motor stepper

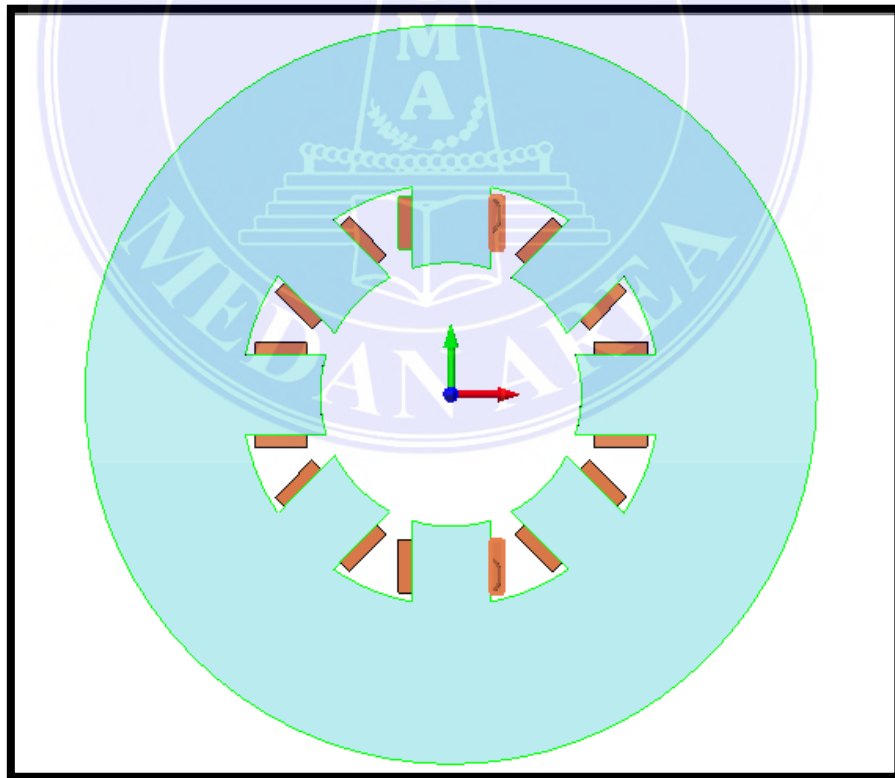
- c. Di halaman *Object*, pilih kedua komponen coil.
- d. Pada menu *Model*, klik Putar Komponen.
- e. Dalam dialog Putar Komponen, masukkan sudut rotasi 45 derajat, dan klik kotak centang untuk Terapkan *Transformasi* untuk sebuah *Copy Seleksi* (Gambar 3.7). (Ini harus mengaktifkan setiap *Rotation Angle Apply*).
- f. Klik *Apply* tujuh kali, kemudian klik OK.



Gambar 3.7 : Memasukan sudut *Rotate Components* motor stepper

- g. Mengubah nama salinan *CoilSide#2a*, *CoilSide#2b*, dll

- h. Mengidentifikasi empat sisi kumparan pada tiang *vertical* dan menampilkan *direktori* pohon.  
(Ini harus *CoilSide#1a*, *CoilSide#1b*, *CoilSide#4a*, dan *CoilSide#4b*).
- i. Dimulai dengan *CoilSide#1a*, pilih Wajah#1.
- j. Tahan tombol Ctrl dan pilih wajah yang sesuai (Wajah#1 atau Wajah#2) dari masing-masing dari tiga sisi kumparan lainnya (Gambar 3.8), sehingga dua kumparan akan bertindak dalam arah yang sama saat mereka membawa arus yang sama.
- k. Pada menu Model klik *Make a simple coil*:
- *Number of turn*: 1000
  - *Current* :2 A.
- n. Dalam cara yang sama, membuat kumparan untuk dua tahapan lain, tetapi dengan set saat ini untuk 0.



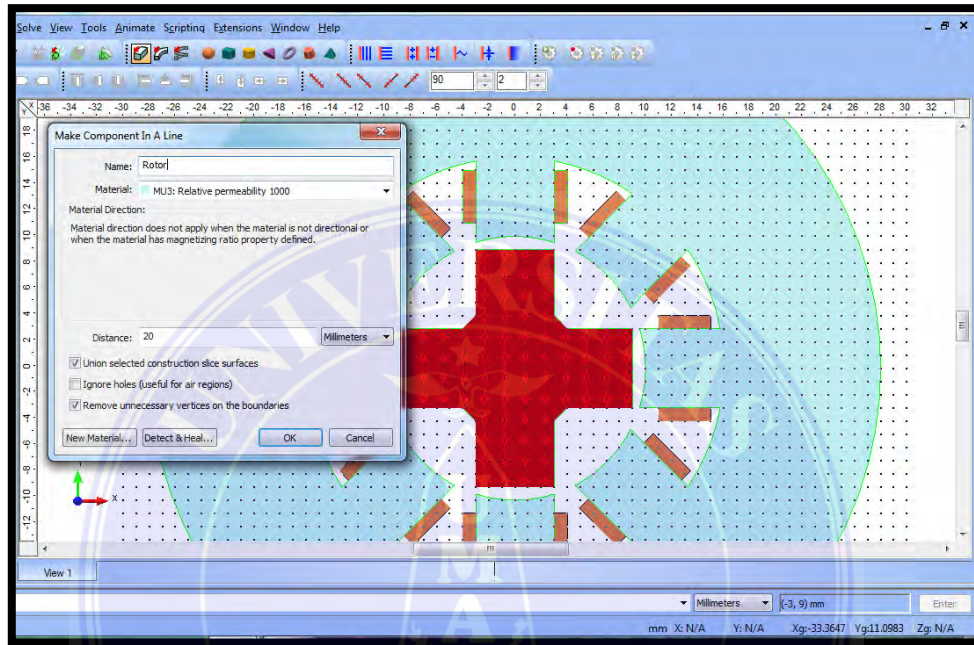
**Gambar 3.8 : Hasil bentuk *Make a simple coil* motor stepper**



### 3.5.4 Membangun rotor dan kotak udara

a. Membangun rotor dalam cara yang mirip dengan stator, dimulai dengan dua lingkaran dan dua set garis lurus (Gambar 3.9):

- *Material* : MU3: Relatif permeabilitas 1000.
- *Sweep Distance* : 20 mm.

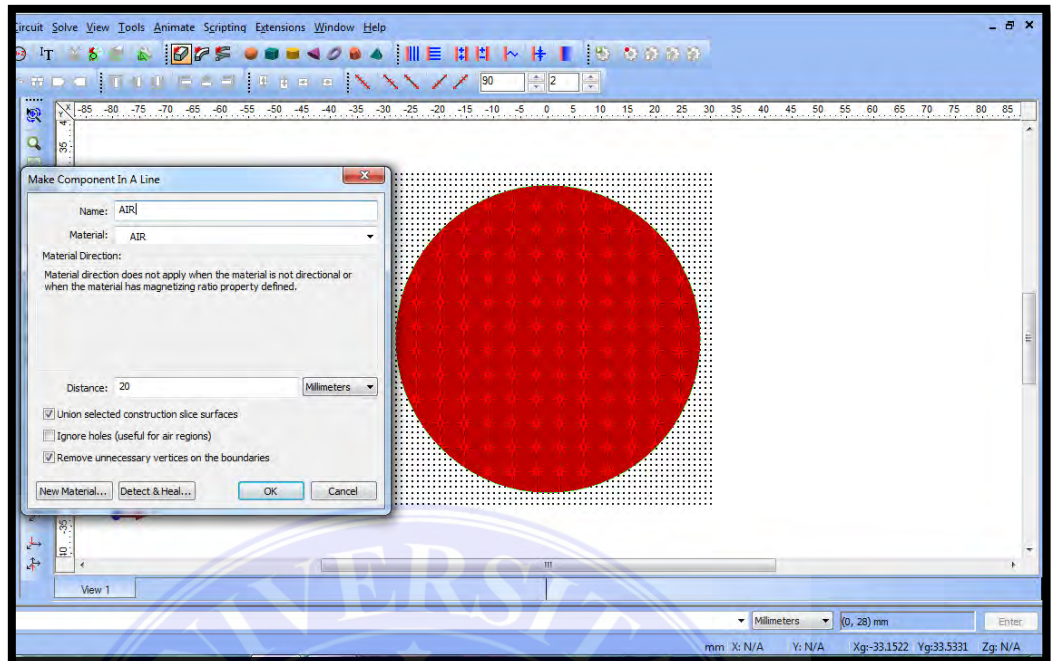


Gambar 3.9 : Memasukkan bahan pada Rotor motor stepper

(Sejak sisi rotor kutub yang sejajar dengan sumbu-sumbu koordinat, tidak perlu menggunakan *Edges* fasilitas Putar untuk menarik set kedua garis).

b. Pilih dan menghapus garis *slice konstruksi* dan busur.  
 c. Membangun sebuah kotak udara dari lingkaran radius 28 mm (Gambar 3.10).

- *Material* : AIR
- *Sweep Distance*: 20 mm.



**Gambar3.10 : Memasukan bahan padaAIR motor stepper**

- d. Ada di abaikan *fluks* kebocoran luar stator, sehingga tidak perlu untuk meninggalkan kesenjangan antara kotak udara dan stator.

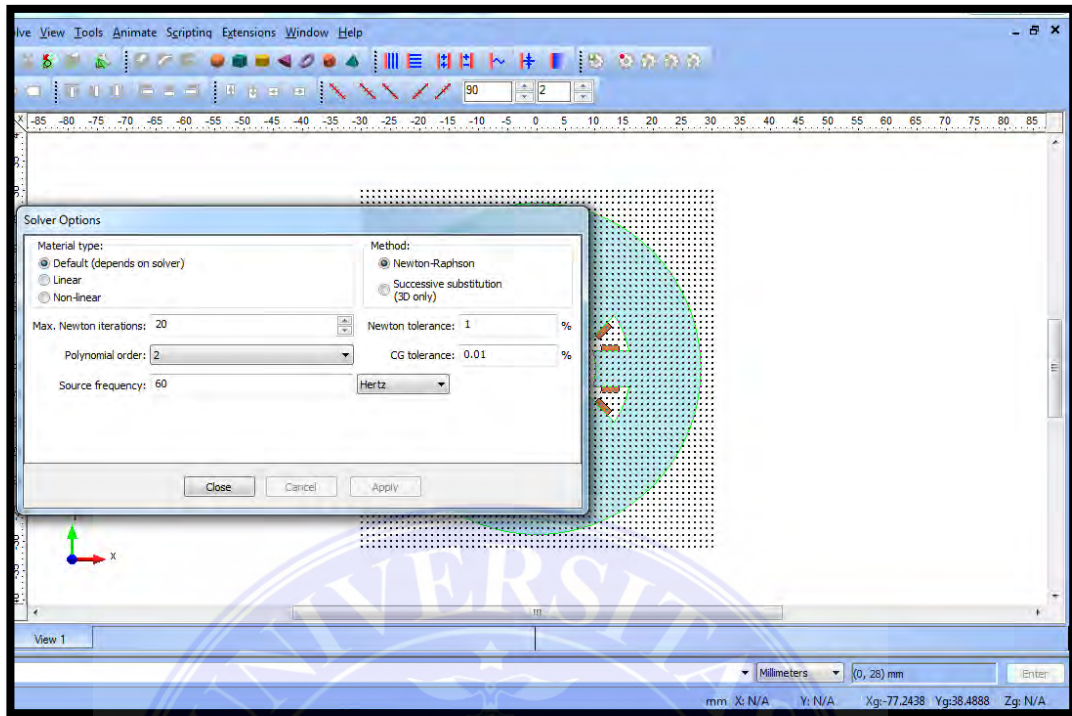
### 3.5.5 Pemecahan dan *post-processing*

- a. Menetapkan pilihan untuk pemecahan, menggunakan menu Memecahkan, dengan perubahan berikut dari nilai-nilai *default* (Gambar 3.11):

- *Solver Options:*

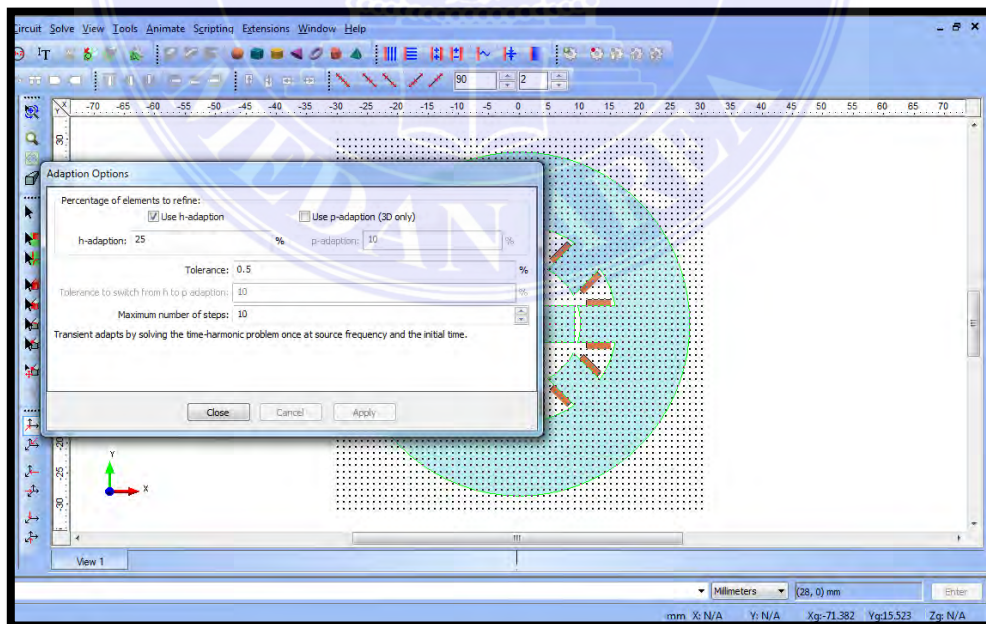
*Polinomial* rangka 2.





Gambar 3.11 : Memasukkan nilai *solver options* AIR motor stepper

- Adaptasi Pilihan (Gambar 3.12):  
Gunakan *h-adaptasi*, *Persentase Elemen* untuk Pertajam 25%, *Toleransi* 0,5%.



Gambar 3.12 : Memasukkan nilai *solver adaptassi* AIR motor stepper

- b. Memecahkan sebagai *static* 2D.
- c. Periksa *plot kontur* fungsi *fluks* dan *plot* berbayang dari  $|B|$  nilai-nilai.
  - *Plot fluks* harus menyerupai diagram di bawah di sebelah kiri.
  - Diagram di sebelah kanan menunjukkan efek yang menghubungkan kumparan dengan cara yang salah bulat.
  - Jika koneksi kumparan yang salah, membuka halaman *Coil*, klik kanan pada sisi *coil*, dan klik *Reverse Coil Side Direction*. Ulangi untuk sisi kumparan lainnya.
- d. Menguji pengaruh beralih arus kumparan dengan menetapkan arus dalam *Coil#1* ke 2 dan saat ini dalam *Coil#2* 2 A.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil desain dan pengujian simulasi di PT. Lentera Bumi Nusantara, Jawa Barat Menggunakan *Software MagNet 7.5*. maka dapat disimpulkan bahwa:

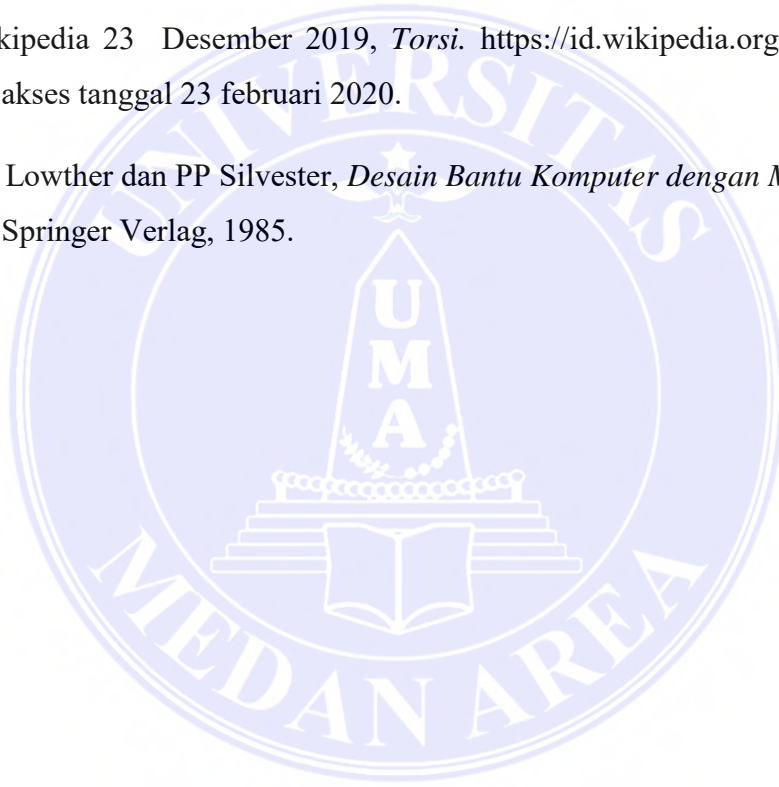
- a. Dengan melakukan simulasi tersebut dapat diketahui bahwa stator dan rotor kutub sempit, sehingga torsi memulihkan dengan cepat ketika sudut rotor perpindahan melebihi  $20^\circ$ . Akibatnya, torsi yang dikembangkan di setiap transisi *switching* cukup rendah.
- b. Dengan *Software MagNet 7.5* dapat merancang atau mensimulasikan motor stepper.
- c. Penelitian ini telah dapat membuat media pembelajaran berbasis simulasi dikomputer menggunakan *software MagNet 7.5* lebih lanjut.

### 5.2 Saran

Dengan berkembangnya metode-metode yang ada, maka analisis dapat dikembangkan dengan topik yang lebih luas, misalkan: mendesain bermacam-macam generator magnet permanen dan menganalisisnya. Ataupun dengan metode-metode lainnya yang dianggap baik untuk diimplementasikan dan dilakukan pembahasan secara mendalam mengenai metode tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Edwards J D, *Your Fastest Solution To A Better Design* : Desember 2012
- [2] Zona Elektro All Rights Reserved 2013. *Teori Motor Stepper : Jenis dan Prinsip Motor Stepper*. <https://www.zonaelektro.net/motor-stepper/>. Di akses tanggal 5 juni 2019.
- [3] Dadan Ramdan, *Buku Latihan penggunaan mikrokomputer ACT- 80ZII*, Universitas Medan Area 2014.
- [4] Wikipedia 23 Desember 2019, *Torsi*. <https://id.wikipedia.org/wiki/torsi>. Di akses tanggal 23 februari 2020.
- [5] DA Lowther dan PP Silvester, *Desain Bantu Komputer dengan Magnetics*. Springer Verlag, 1985.



- Lampiran

**Tabel 4.4 Hasil B countour normal X**

<b>B Contour Normal x</b>		
<b>No.</b>	<b>X</b>	
<b>1</b>	0	-3.92091E-05
<b>2</b>	0.301453313	0.010081606
<b>3</b>	0.602906626	0.020173856
<b>4</b>	0.904359939	0.029305595
<b>5</b>	1.205813251	0.039696282
<b>6</b>	1.507266564	0.049593661
<b>7</b>	1.808719877	0.058909449
<b>8</b>	2.11017319	0.067561456
<b>9</b>	2.411626503	0.066819403
<b>10</b>	2.713079816	0.07050036
<b>11</b>	3.014533129	0.074135227
<b>12</b>	3.315986441	0.004178821
<b>13</b>	3.617439754	0.000280276
<b>14</b>	3.918893067	-0.003394641
<b>15</b>	4.22034638	-0.006812504
<b>16</b>	4.521799693	-0.009943305
<b>17</b>	4.823253006	-0.012760769
<b>18</b>	5.124706319	-0.028315433
<b>19</b>	5.426159632	-0.025200319
<b>20</b>	5.727612944	-0.021899571



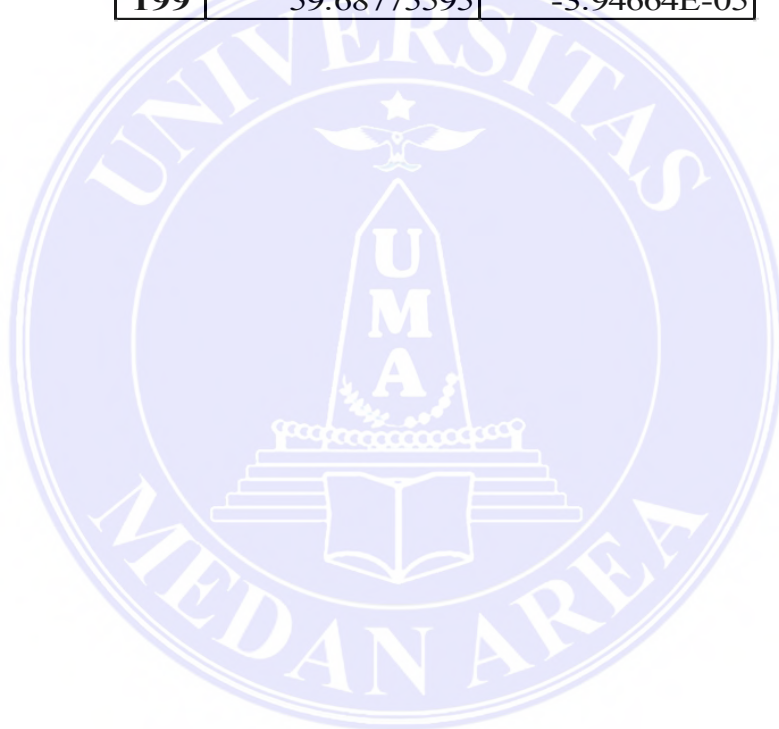
21	6.029066257	-0.018456831
22	6.33051957	-0.014916519
23	6.631972883	-0.011323354
24	6.933426196	-0.007721892
25	7.234879509	-0.004156056
26	7.536332822	0.002908655
27	7.837786134	0.005918072
28	8.139239447	0.008582473
29	8.44069276	0.010889961
30	8.742146073	0.01283314
31	9.043599386	0.014409177
32	9.345052699	0.015619819
33	9.646506012	0.016471362
34	9.947959324	0.008153564
35	10.24941264	0.006145207
36	10.55086595	0.004208367
37	10.85231926	0.002380103
38	11.15377258	0.000694872
39	11.45522589	-0.000815852
40	11.7566792	-0.002123933
41	12.05813251	-0.022484523
42	12.35958583	-0.018990229
43	12.66103914	-0.015769529
44	12.96249245	-0.013264623
45	13.26394577	-0.009592752
46	13.56539908	-0.006439959
47	13.86685239	-0.003863673
48	14.1683057	-0.002007477
49	14.46975902	-0.000727983
50	14.77121233	-8.41324E-05
51	15.07266564	-8.48963E-05
52	15.37411896	-0.00073064
53	15.67557227	-0.002012488
54	15.97702558	-0.003870837
55	16.27847889	-0.006449786
56	16.57993221	-0.009605527
57	16.88138552	-0.013280627
58	17.18283883	-0.015788081
59	17.48429215	-0.019025239
60	17.78574546	-0.022540346

61	18.08719877	-0.002155029
62	18.38865208	-0.000851644
63	18.6901054	0.000654526
64	18.99155871	0.00233537
65	19.29301202	0.004159412
66	19.59446534	0.006092169
67	19.89591865	0.008096529
68	20.19737196	0.016594058
69	20.49882527	0.015656704
70	20.80027859	0.014354064
71	21.1017319	0.012680887
72	21.40318521	0.010636521
73	21.70463853	0.008224935
74	22.00609184	0.005454691
75	22.30754515	0.002338872
76	22.60899846	-0.004697072
77	22.91045178	-0.008181436
78	23.21190509	-0.011689746
79	23.5133584	-0.015178368
80	23.81481172	-0.018603152
81	24.11626503	-0.021919894
82	24.41771834	-0.025084806
83	24.71917165	-0.028054975
84	25.02062497	-0.012852286
85	25.32207828	-0.010025777
86	25.62353159	-0.006884825
87	25.92498491	-0.003455572
88	26.22643822	0.000232096
89	26.52789153	0.004144882
90	26.82934484	0.074224403
91	27.13079816	0.070634709
92	27.43225147	0.066997592
93	27.73370478	0.067772574
94	28.0351581	0.059113247
95	28.33661141	0.04978925
96	28.63806472	0.039882829
97	28.93951803	0.029482329
98	29.24097135	0.020352142
99	29.54242466	0.010252862
100	29.84387797	5.48852E-05
101	30.14533129	-0.010101289
102	30.4467846	-0.020196469
103	30.74823791	-0.029329451

104	31.04969122	-0.039728209
105	31.35114454	-0.04963352
106	31.65259785	-0.058957031
107	31.95405116	-0.067616486
108	32.25550448	-0.066859382
109	32.55695779	-0.070523213
110	32.8584111	-0.074140394
111	33.15986441	-0.004155006
112	33.46131773	-0.000250738
113	33.76277104	0.003429604
114	34.06422435	0.00685254
115	34.36567767	0.009988008
116	34.66713098	0.012809687
117	34.96858429	0.028391424
118	35.2700376	0.025270331
119	35.57149092	0.021963536
120	35.87294423	0.018514727
121	36.17439754	0.014968365
122	36.47585086	0.011369215
123	36.77730417	0.007761875
124	37.07875748	0.004190306
125	37.38021079	-0.002878053
126	37.68166411	-0.005884594
127	37.98311742	-0.00854647
128	38.28457073	-0.010851802
129	38.58602405	-0.012793213
130	38.88747736	-0.014367882
131	39.18893067	-0.015577565
132	39.49038398	-0.016428565
133	39.7918373	-0.008119423
134	40.09329061	-0.006109739
135	40.39474392	-0.00417194
136	40.69619724	-0.002343109
137	40.99765055	-0.000657726
138	41.29910386	0.000852716
139	41.60055717	0.002160064
140	41.90201049	0.022599449
141	42.2034638	0.01908016
142	42.50491711	0.015838445
143	42.80637043	0.013326015
144	43.10782374	0.009641862
145	43.40927705	0.006477717

146	43.71073036	0.003891093
147	44.01218368	0.002026316
148	44.31363699	0.00073866
149	44.6150903	8.74778E-05
150	44.91654362	8.15666E-05
151	45.21799693	0.000720072
152	45.51945024	0.001993925
153	45.82090355	0.003843732
154	46.12235687	0.006412553
155	46.42381018	0.009557221
156	46.72526349	0.013220393
157	47.02671681	0.015720766
158	47.32817012	0.018935673
159	47.62962343	0.022424273
160	47.93107674	0.002119558
161	48.23253006	0.000814838
162	48.53398337	-0.000692298
163	48.83543668	-0.002373742
164	49.13689	-0.004198025
165	49.43834331	-0.00613067
166	49.73979662	-0.008134576
167	50.04124993	-0.016642966
168	50.34270325	-0.015704709
169	50.64415656	-0.014400681
170	50.94560987	-0.012725638
171	51.24706319	-0.010678942
172	51.5485165	-0.008264577
173	51.84996981	-0.00549113
174	52.15142313	-0.002371708
175	52.45287644	0.004661555
176	52.75432975	0.00813812
177	53.05578306	0.011638384
178	53.35723638	0.015118773
179	53.65868969	0.018535195
180	53.960143	0.02184351
181	54.26159632	0.024999991
182	54.56304963	0.027961793
183	54.86450294	0.012792732
184	55.16595625	0.009969705

<b>185</b>	55.46740957	0.006832762
<b>186</b>	55.76886288	0.003408005
<b>187</b>	56.07031619	-0.000274731
<b>188</b>	56.37176951	-0.004182197
<b>189</b>	56.67322282	-0.074307691
<b>190</b>	56.97467613	-0.07068484
<b>191</b>	57.27612944	-0.067015766
<b>192</b>	57.57758276	-0.067776708
<b>193</b>	57.87903607	-0.059115196
<b>194</b>	58.18048938	-0.049789038
<b>195</b>	58.4819427	-0.039880512
<b>196</b>	58.78339601	-0.029477996
<b>197</b>	59.08484932	-0.020339397
<b>198</b>	59.38630263	-0.01023855
<b>199</b>	59.68775595	-3.94664E-05





Tabel 4.5 Hasil B countour normal Y

<b>B Contour Normal y</b>		
<b>No.</b>	<b>X</b>	
1	0	-1.22E-05
2	0.301453313	0.00032397
3	0.602906626	0.001285682
4	0.904359939	0.002801758
5	1.205813251	0.005068337
6	1.507266564	0.007936559
7	1.808719877	0.011353321
8	2.11017319	0.01525709
9	2.411626503	0.017331717
10	2.713079816	0.020695045
11	3.014533129	0.024342517
12	3.315986441	0.00151277
13	3.617439754	0.000104244
14	3.918893067	-0.001493264
15	4.22034638	-0.003249924
16	4.521799693	-0.005132715
17	4.823253006	-0.007105795
18	5.124706319	-0.016952334
19	5.426159632	-0.016193809
20	5.727612944	-0.015074088
21	6.029066257	-0.013585642
22	6.33051957	-0.011725522
23	6.631972883	-0.009495393
24	6.933426196	-0.00690154
25	7.234879509	-0.003954809
26	7.536332822	0.002963728
27	7.837786134	0.006415326
28	8.139239447	0.00991217
29	8.44069276	0.013411093
30	8.742146073	0.016868183
31	9.043599386	0.020239245
32	9.345052699	0.023480263
33	9.646506012	0.026547872
34	9.947959324	0.014112851

35	10.24941264	0.011457819
36	10.55086595	0.008477321
37	10.85231926	0.005195473
38	11.15377258	0.001640273
39	11.45522589	-0.002156707
40	11.7566792	-0.006160656
41	12.05813251	-0.072329406
42	12.35958583	-0.06870855
43	12.66103914	-0.065025107
44	12.96249245	-0.063400427
45	13.26394577	-0.05440172
46	13.56539908	-0.044779077
47	13.86685239	-0.034617879
48	14.1683057	-0.025209325
49	14.46975902	-0.015202534
50	14.77121233	-0.005048302
51	15.07266564	0.005096473
52	15.37411896	0.01525833
53	15.67557227	0.025272385
54	15.97702558	0.034682123
55	16.27847889	0.044847432
56	16.57993221	0.054474177
57	16.88138552	0.063476921
58	17.18283883	0.065101602
59	17.48429215	0.068835163
60	17.78574546	0.072508886
61	18.08719877	0.006250427
62	18.38865208	0.002250336
63	18.6901054	-0.001543996
64	18.99155871	-0.005097556
65	19.29301202	-0.008378572
66	19.59446534	-0.01135885
67	19.89591865	-0.014014082
68	20.19737196	-0.02674587
69	20.49882527	-0.023535922
70	20.80027859	-0.020162036
71	21.1017319	-0.016668278
72	21.40318521	-0.013099252
73	21.70463853	-0.009499631
74	22.00609184	-0.005913691
75	22.30754515	-0.002384841
76	22.60899846	0.004470693

77	22.91045178	0.00731274
78	23.21190509	0.009802918
79	23.5133584	0.01193155
80	23.81481172	0.013693502
81	24.11626503	0.01508822
82	24.41771834	0.016119725
83	24.71917165	0.016796557
84	25.02062497	0.007156733
85	25.32207828	0.005175254
86	25.62353159	0.003284373
87	25.92498491	0.001519958
88	26.22643822	-8.49E-05
89	26.52789153	-0.001500384
90	26.82934484	-0.024371771
91	27.13079816	-0.020734465
92	27.43225147	-0.017377929
93	27.73370478	-0.015304761
94	28.0351581	-0.011392591
95	28.33661141	-0.007967848
96	28.63806472	-0.00509214
97	28.93951803	-0.002818631
98	29.24097135	-0.001297008
99	29.54242466	-0.000329404
100	29.84387797	-4.05E-06
101	30.14533129	-0.000324594
102	30.4467846	-0.001287119
103	30.74823791	-0.002804037
104	31.04969122	-0.005072413
105	31.35114454	-0.007942937
106	31.65259785	-0.011362492
107	31.95405116	-0.015269519
108	32.25550448	-0.017342085
109	32.55695779	-0.020701747
110	32.8584111	-0.024344203
111	33.15986441	-0.001504082
112	33.46131773	-9.24E-05
113	33.76277104	0.001508586
114	34.06422435	0.003269001
115	34.36567767	0.00515578
116	34.66713098	0.007133029
117	34.96858429	0.016997838
118	35.2700376	0.016238809

119	35.57149092	0.015118129
120	35.87294423	0.013628274
121	36.17439754	0.011766298
122	36.47585086	0.009533878
123	36.77730417	0.006937313
124	37.07875748	0.003987467
125	37.38021079	-0.002932636
127	37.98311742	-0.00987062
128	38.28457073	-0.013364124
129	38.58602405	-0.016815722
130	38.88747736	-0.020181258
131	39.18893067	-0.02341676
132	39.49038398	-0.026478905
133	39.7918373	-0.014053737
134	40.09329061	-0.011391642
135	40.39474392	-0.008403844
136	40.69619724	-0.005114492
137	40.99765055	-0.001551619
138	41.29910386	0.002253166
139	41.60055717	0.006265014
140	41.90201049	0.072699021
141	42.2034638	0.069033886
142	42.50491711	0.065309283
143	42.80637043	0.063693884
144	43.10782374	0.054680283
145	43.40927705	0.04504173
146	43.71073036	0.034863767
147	44.01218368	0.025446346
148	44.31363699	0.015426727
149	44.6150903	0.005259198
150	44.91654362	-0.004886615
151	45.21799693	-0.015036439
152	45.51945024	-0.025038845
153	45.82090355	-0.03443906
154	46.12235687	-0.044588433
155	46.42381018	-0.054200175
156	46.72526349	-0.063188994
157	47.02671681	-0.064824023
158	47.32817012	-0.068511145
159	47.62962343	-0.072135572
160	47.93107674	-0.006147991
161	48.23253006	-0.002154038

162	48.53398337	0.001634135
163	48.83543668	0.005181546
164	49.13689	0.00845645
165	49.43834331	0.011430681
166	49.73979662	0.014079957
167	50.04124993	0.026824684
168	50.34270325	0.023608069
169	50.64415656	0.020227495
170	50.94560987	0.016727077
171	51.24706319	0.013151465
172	51.5485165	0.00954538
173	51.84996981	0.005953141
174	52.15142313	0.002418202
175	52.45287644	-0.004436827
176	52.75432975	-0.007273985
177	53.05578306	-0.009759818
178	53.35723638	-0.01188468
179	53.65868969	-0.013643462
180	53.960143	-0.015035628
181	54.26159632	-0.016065211
182	54.56304963	-0.01674076
183	54.86450294	-0.007123576
184	55.16595625	-0.005146324
185	55.46740957	-0.003259567
186	55.76886288	-0.001499115
187	56.07031619	0.00010202
188	56.37176951	0.001513991
189	56.67322282	0.024399137
190	56.97467613	0.020749192
191	57.27612944	0.017382646
192	57.57758276	0.015305696
193	57.87903607	0.011392967
194	58.18048938	0.007967815