

# Optimalisasi Gaya pada Coil dengan Modifikasi Dimensi menggunakan Metoda Algoritma Genetika

Basuki Winarno, S.T., M.T.  
Jurusan Teknik  
Politeknik Negeri Madiun  
Madiun, Indonesia  
basuki@pnm.ac.id

Indarto Yuwono  
Jurusan Teknik  
Politeknik Negeri Madiun  
Madiun, Indonesia  
indartoyuwono@yahoo.com

**Abstrak**— Coilgun merupakan sistem pelontar elektromagnetik yang terdiri atas rangkaian coil (solenoid) dengan proyektil yang ditempatkan di dalamnya dan melontarkannya dengan mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Pemanfaatan coilgun sebagai senjata sampai sekarang belum termanfaatkan karena masih kalah efektif dengan senjata konvensional yang menggunakan tenaga kimia. Kelemahan coilgun terletak pada fisiknya yang besar dan tenaga lontar yang lemah. Sistem coilgun akan termanfaatkan apabila telah menghasilkan tenaga lontar yang sangat besar dengan bentuk fisik yang tidak terlalu besar.

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan gaya elektromagnetik pada coil dengan memodifikasi dimensi coil menggunakan metoda Algoritma Genetika sehingga didapatkan perpaduan yang tepat mengenai jumlah layer dan jumlah lilitan perlayer.

Penelitian ini diharapkan menghasilkan dimensi coil yang jika diinjeksikan arus akan menghasilkan gaya elektromagnetik maksimal sehingga memiliki tenaga lontar yang besar dan dapat termanfaatkan sebagai senjata yang murah dan efektif.

**Kata kunci**— *Optimalisasi; Gaya; Coil; Genetika Algoritma*.

## I. PENDAHULUAN

Coilgun merupakan sistem pelontar elektromagnetik yang terdiri atas rangkaian coil (solenoid) dengan proyektil yang ditempatkan di dalamnya dan melontarkannya dengan mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Pemanfaatan coilgun sebagai senjata sampai sekarang belum termanfaatkan karena masih kalah efektif dengan senjata konvensional yang menggunakan tenaga kimia. Kelemahan coilgun terletak pada fisiknya yang besar dan tenaga lontar yang lemah. Sistem coilgun akan termanfaatkan apabila telah menghasilkan tenaga lontar yang sangat besar dengan bentuk fisik yang tidak terlalu besar.

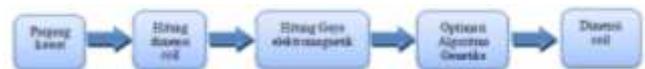
Pada Penelitian ini bertujuan memaksimalkan tenaga lontar dengan memodifikasi dimensi coil. Untuk mendapatkan perpaduan yang tepat mengenai jumlah layer dan jumlah lilitan perlayer pada coil akan digunakan metode Algoritma Genetika.

Diharapkan dengan memiliki tenaga lontar yang besar, maka coilgun akan dapat termanfaatkan sebagai senjata yang murah dan efektif.

## II. METODOLOGI

### A. Blok Diagram sistem

Sebelum dapat membuat program Algoritma Genetika yang dibutuhkan dalam proses simulasi, pertama kali yang perlu dilakukan adalah perancangan masukan serta keluaran dari program Algoritma Genetika seperti yang dijelaskan oleh blok diagram pada Gambar 1.

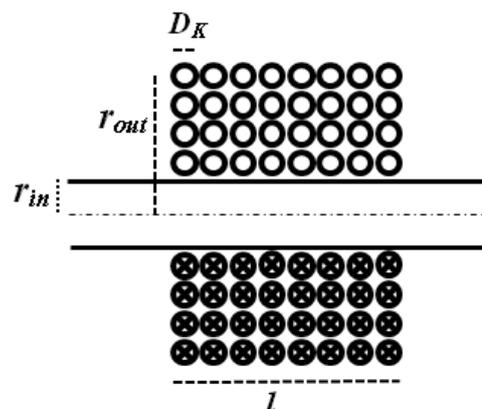


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Panjang kawat merupakan panjang kawat maksimal yang digunakan untuk membuat coil. Dimensi coil merupakan lilitan kawat yang memiliki jumlah layer dan jumlah lilitan perlayer yang membentuk suatu coil. Gaya elektromagnetik merupakan gaya yang dibangkitkan oleh coil pada saat dialiri arus listrik.

### B. Dimensi Coil

Konstruksi coil *single stage* memiliki jumlah lapisan lilitan yang digunakan untuk menyusun tebal coil yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penampang membujur sebuah coil

Keterangan :

- $r_{in}$  adalah jari-jari laras
- $r_{out}$  adalah jari-jari luar koil
- $l$  adalah panjang koil
- $D_k$  adalah diameter kawat enamel

Jari-jari luar koil dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$r_{out} = r_{in} + (2.n.D_k) \quad (1)$$

dimana :

- $r_{out}$  adalah diameter luar koil
- $r_{in}$  adalah jari-jari laras
- $D_k$  adalah diameter kawat

Jumlah lilitan per layer dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$T_{PL} = \frac{N}{n} \quad (2)$$

dimana :

- $N$  adalah jumlah lilitan coil
- $n$  adalah jumlah layer
- $T_{PL}$  adalah jumlah lilitan dalam 1 layer

Algoritma Genetika merupakan metoda optimasi yang dipilih untuk mendapatkan nilai jumlah layer dan jumlah lilitan perlayer sehingga diharapkan mendapatkan gaya maksimal dengan syarat panjang kawat ditentukan sesuai Persamaan 3.

$$P_{kn} = \pi.T_{PL}.(nD_{L1} + (n^2 - n).D_k) \quad (3)$$

Keterangan :

- $P_{kn}$  adalah panjang kawat dengan layer  $n$
- $D_{L1}$  adalah diameter lilitan pada layer 1
- $D_k$  adalah diameter kawat

Energi yang dibangkitkan koil dengan panjang kawat yang memiliki induktansi (L) dengan satuan Henry dan dialiri arus, dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.

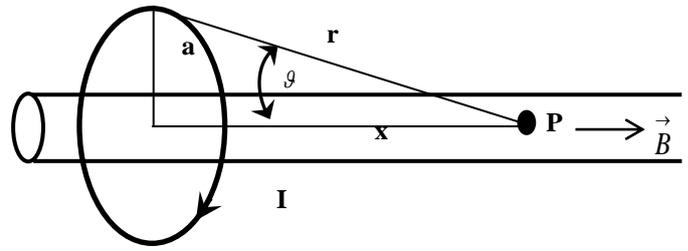
$$E = \frac{1}{2}.L.I^2 \quad (4)$$

### C. Gaya Elektromagnetik

Gaya elektromagnetik adalah gaya yang diakibatkan oleh medan elektromagnetik terhadap partikel-partikel yang bermuatan listrik. Besar gaya elektromagnetik koil sebanding dengan jumlah lilitan koil dan arus. Perhitungan gaya elektromagnetik pada solenoid dengan panjang  $l$  dan jumlah lilitan sebanyak  $N$  ditunjukkan pada Persamaan 5.

$$F = \frac{I.N}{l} \quad (5)$$

Gaya elektromagnetik terjadi karena ada medan magnet dengan vektor ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Vektor medan magnet Solenoida

Perhitungan vektor medan magnet pada solenoida *multi layer* menggunakan Persamaan 6.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0.F}{2.a} \cdot \sin^3 \Psi . \vec{az} \quad (6)$$

Kuat medan magnet pada setiap titik dapat dijabarkan pada Persamaan 7.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0.F}{2.a} . dz . \sin^3 \Psi . \vec{az} \quad (7)$$

$$z = \frac{a}{\tan \Psi}$$

$$\frac{dz}{d\Psi} = -a . \cos ec^2 \Psi$$

$$dz = -a . d\Psi . \cos ec^2 \Psi \quad (8)$$

Persamaan (7) dan (8) disubstitusi diperoleh Persamaan 9.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0.F}{2.a} . (-a . d\Psi . \cos ec^2 \Psi . \sin^3 \Psi) . \vec{az}$$

$$\vec{B} = - \left( \frac{\mu_0.F}{2} \right) \cdot \int \sin \Psi . d\Psi . \vec{az} \quad (9)$$

Kuat medan magnet di sebelah kiri titik  $P$  dijelaskan dengan Persamaan 10.

$$\vec{B} = - \left( \frac{\mu_0.F}{2} \right) \cdot \int_{\pi/2}^{\Psi_1} \sin \Psi . d\Psi . \vec{az}$$

$$\vec{B} = \left( \frac{\mu_0.F}{2} \right) \cdot [\cos]_{\pi/2}^{\Psi_1} . \vec{az}$$

$$\vec{B} = \left( \frac{\mu_0.F}{2} \right) \cdot \cos \Psi_1 . \vec{az} \quad (10)$$

Kuat medan magnet di sebelah kanan titik  $P$  dijelaskan dengan Persamaan 11.

$$\vec{B} = \left( \frac{\mu_0.F}{2} \right) \cdot \cos \Psi_2 . \vec{az} \quad (11)$$

Mengacu pada Persamaan (10) dan (11), kuat medan di titik  $P$  ditunjukkan pada Persamaan 12 :

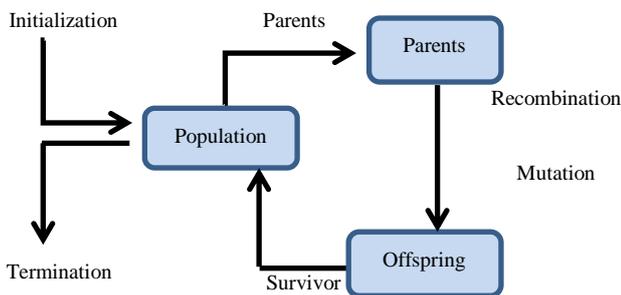
$$B(x) = \left( \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot l} \right) \cdot (\cos \Psi_1 + \cos \Psi_2) \quad (12)$$

$B(x)$  merupakan kerapatan medan magnet yang berubah disetiap posisi.  $\Psi_1$  merupakan sudut proyektif terhadap diameter luar di ujung masuk ke koil yang sudah dilewati sedangkan  $\Psi_2$  merupakan sudut proyektif terhadap diameter luar di ujung keluar koil.

#### D. Algoritma Genetika

Merupakan teknik *search stochastic* yang berdasarkan mekanisme seleksi alam dan genetika natural. Teknik pencarian solusi pada Algoritma Genetika dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang mungkin dikenal dengan istilah populasi. Sebuah populasi terdiri beberapa individu disebut kromosom. Sebuah kromosom terdiri dari sebuah *string* yang berupa sederetan bit-bit biner "0" dan "1". Sebuah kromosom tumbuh atau berkembang biak melalui berbagai iterasi yang berulang-ulang, dan disebut sebagai generasi.

Pada setiap generasi, berbagai kromosom yang dihasilkan akan dievaluasi menggunakan suatu pengukuran fitness. Nilai fitness dari suatu kromosom akan menunjukkan kualitas dari kromosom dalam populasi tersebut. Generasi berikutnya dikenal dengan istilah anak (*offspring*) terbentuk dari gabungan dua kromosom generasi sekarang yang bertindak sebagai induk (*parent*) dengan menggunakan operator penyilangan (*crossover*). Selain operator penyilangan, suatu kromosom dapat juga dimodifikasi dengan menggunakan operator mutasi. Populasi generasi yang baru dibentuk dengan cara menyeleksi nilai fitness dari kromosom induk dan nilai fitness dari kromosom anak, serta menolak kromosom-kromosom yang lainnya sehingga ukuran populasi (jumlah kromosom dalam suatu populasi) konstan.



Gambar 4. Siklus Algoritma Genetika

Pada Gambar 4 merupakan siklus Algoritma Genetika yang terinspirasi dari seleksi alam maupun genetik alami. Dalam prosesnya, Algoritma Genetika memiliki beberapa komponen khusus yaitu:

1. Populasi, yang merupakan himpunan atau kumpulan dari solusi yang memungkinkan dari sebuah masalah yang dihadapi.

2. Sebuah fungsi yang akan menentukan seberapa baik atau buruknya individu atau solusi yang terdapat dalam sebuah populasi, yang disebut sebagai fungsi fitness.
3. Sebuah metode seleksi untuk menyatukan subbagian – subbagian dari individu untuk menciptakan individu baru yang merupakan solusi terbaik.
4. Sebuah crossover untuk mendapatkan induk baru.
5. Sebuah operator mutasi untuk menghindari hilangnya keragaman secara permanen pada solusi-solusi yang memungkinkan.

Beberapa istilah yang digunakan dalam Algoritma Genetika yang mengikuti dengan prinsip yang ditiru, antara lain:

1. Individu atau kromosom. Kromosom terbentuk dari kumpulan gen-gen yang merupakan solusi dari permasalahan. Sebagai contoh apabila solusinya memuat 3 variabel  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ , maka bentuk kromosom 378 memuat 3 gen ( $xyz$ ) yang mewakili nilai  $x = 3$ ,  $y = 7$ , dan  $z = 8$ . Selanjutnya kromosom disebut sebagai individu.
2. Populasi, merupakan kumpulan dari individu yang akan melalui proses evolusi atau genetika.
3. Parent, merupakan individu yang terpilih dalam proses seleksi untuk menghasilkan individu baru.
4. Offspring, merupakan individu baru yang terbentuk dari parent.
5. Fitness, merupakan sebuah fungsi yang menjadi tolok ukur kelayakan individu untuk dapat bertahan dalam sebuah populasi. Fitness merupakan bentuk matematika dari sebuah masalah yang selanjutnya disebut sebagai fungsi fitness.

Terdapat 3 proses utama atau operator dalam Algoritma Genetika, pertama adalah proses seleksi yang merupakan pemilihan *parent* dari populasi untuk membentuk individu baru. Proses kedua adalah *Crossover* yaitu proses pembentukan individu baru yang kemudian disebut sebagai *offspring* dengan cara menggabungkan atau menukar bit-bit antar individu yang menjadi *parent*. Proses yang ketiga adalah mutasi untuk menjaga keragaman dari sebuah populasi, sehingga populasi tidak sampai berhenti atau kehilangan individu sampai individu yang merupakan solusi dari masalah ditemukan.

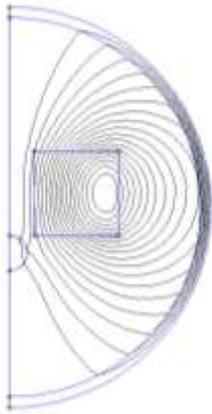
Saat *offspring* didapatkan, kemudian dihitung kelayakannya dengan fungsi fitness untuk menentukan apakah *offspring* lebih baik atau lebih buruk dari individu-individu yang ada dalam populasi. Bila *offspring* terbukti lebih baik atau mendekati solusi dari permasalahan yang dihadapi, maka *offspring* akan masuk ke dalam populasi dan menggantikan individu yang kurang baik dan kembali melalui proses genetika sampai individu terbaik didapatkan

## III. HASIL DAN ANALISA

## A. Desain Coil menggunakan FEMM.

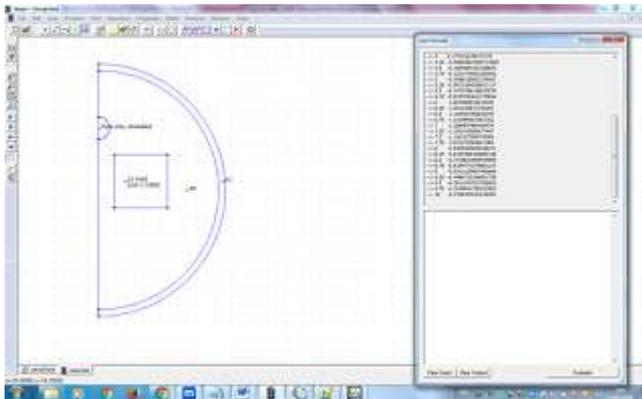
Desain coil FEMM digunakan sebagai acuan untuk validasi profil gaya dengan spesifikasi coil 1000 lilitan dengan obyek berupa besi bulat yang di tempatkan di dalam solenoid. Obyek tersebut digerakkan melintas di dalam coil dari ujung 1 ke ujung lainnya. Coil dialiri arus 6 ampere dengan tegangan 12 volt DC.

Pada saat Coil di aliri arus dan proyektil yang digunakan sebagai obyek belum bergerak, garis gaya medan magnet di tunjukkan pada Gambar 5. Hal ini menunjukkan bahwa coil berubah menjadi magnet jika di aliri arus. Besar gaya disetiap posisi pada coil didapat dengan cara menggerakkan obyek dari ujung coil ke ujung lainnya



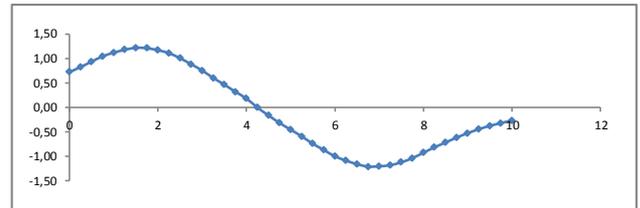
Gambar 5. Medan magnet Coil

Untuk menggerakkan obyek menggunakan bahasa pemrograman LuaEdit yang ditunjukkan pada Gambar 6



Gambar 6. Posisi obyek setelah bergerak

Data yang dihasilkan dari FEMM merupakan nilai gaya disetiap posisi sepanjang coil. Nilai gaya tersebut selanjutnya di konversi sehingga di dapat profil gaya yang di tunjukkan pada Gambar 7.

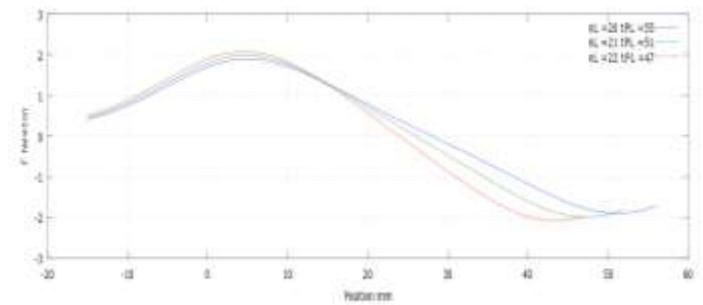


Gambar 7. Profil Gaya menggunakan FEMM

Profil gaya pada Gambar 7 digunakan sebagai acuan untuk melakukan pemrograman selanjutnya.

## B. Kalibrasi

Kalibrasi digunakan untuk menyesuaikan hasil pemrograman dengan profil gaya acuan sebagai awal dari optimasi yang digunakan sebagai acuan yang dicontohkan pada Gambar 8.

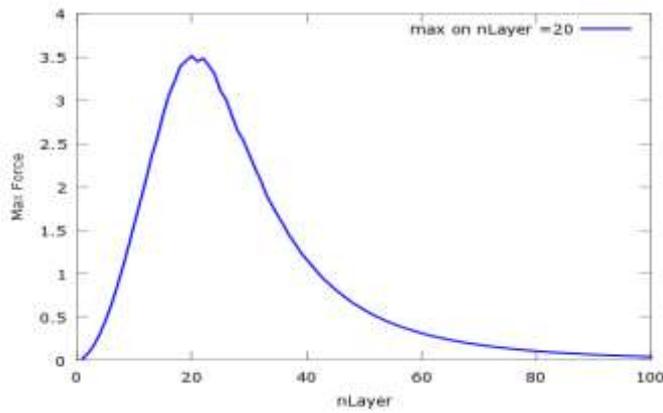


Gambar 8. Profil Gaya Octave

Gambar 8 merupakan contoh profil gaya pada coil. Warna biru menunjukkan bahwa jumlah lilitan per layer (tPL) 55 lilitan dan jumlah layer (nL) sebanyak 20. Warna hijau menunjukkan bahwa jumlah lilitan per layer (tPL) 51 lilitan dan jumlah layer (nL) sebanyak 21. Sedangkan warna merah menunjukkan bahwa jumlah lilitan per layer (tPL) 47 lilitan dan jumlah layer (nL) sebanyak 22.

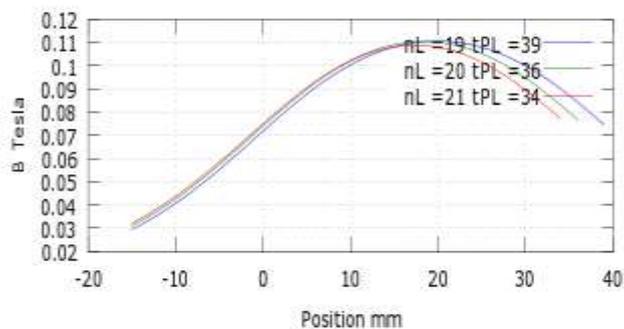
## C. Optimalisasi

Proses optimalisasi dengan mengkodekan gerak proyektil sebagai *obyektif function* dengan cara menempatkan sebuah obyek berupa bola besi yang memiliki diameter 10 mm dengan jarak 15 mm dari ujung coil. Gerak proyektil dikodekan bilangan biner 2x8 bit. Hasil perhitungan simulasi dari jumlah layer terkecil sampai jumlah layer terbesar menghasilkan profil gaya yang ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar tersebut merupakan grafik jumlah layer (nLayer) terhadap gaya maksimal. Sedangkan jumlah layer mempengaruhi jumlah lilitan per layer, karena panjang kawat adalah tetap. Pada profil gaya tersebut terlihat bahwa gaya terbesar diperoleh pada nL sebanyak 20 layer.



Gambar 9. Optimisasi Coil

Desain coil dengan jumlah layer 20 dan jumlah lilitan sebanyak 36 merupakan kombinasi coil terbaik untuk menghasilkan gaya maksimal dengan panjang 1 meter. Sedangkan profil medan magnet terhadap posisi (panjang coil) ditunjukkan pada Gambar 10. Pada gambar tersebut diperlihatkan perbandingan profil medan magnet untuk jumlah layer 19 yang menghasilkan lilitan per layer sebanyak 39, dan jumlah layer 21 yang menghasilkan lilitan per layer sebanyak 34. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah layer 20 memiliki medan magnet paling besar ditunjukkan grafik dengan warna biru.

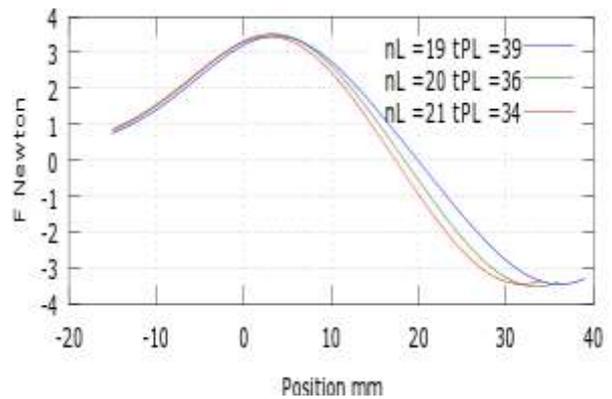


Gambar 10. Medan Magnet

Untuk profil gaya terhadap posisi (panjang coil) ditunjukkan pada Gambar 11. Pada gambar diperlihatkan perbandingan profil gaya untuk nL sebanyak 19 dengan tPL sebanyak 39, nL sebanyak 20 dengan tPL sebanyak 36 dan nL 21 dengan tPL sebanyak 34. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nL 20 memiliki gaya paling besar yang ditunjukkan grafik dengan warna biru. Nilai medan magnet yang berbeda, tentunya memiliki nilai gaya yang berbeda. Sedangkan profil gaya di setiap posisi ditunjukkan pada Gambar 11. Pada gambar tersebut diperlihatkan perbandingan grafik gaya pada nL 19 layer dengan tPL 39 lilitan, nL 20 layer dengan tPL 36 lilitan, dan nL 21 layer dengan tPL 34 lilitan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nL 20 dengan tPL 36 memiliki gaya paling besar yang ditunjukkan grafik dengan warna biru.

Perbandingan grafik gaya pada Gambar 11 menggunakan panjang kawat yang sama. Sehingga untuk mendesain sebuah

solenoid coil perlu dipertimbangkan kombinasi jumlah layer (nL) dan jumlah lilitan per layer (tPL) yang sesuai agar memiliki gaya maksimal.



Gambar 11. Profil gaya

#### IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebuah solenoid coil dengan jumlah layer (nL) yang banyak dan jumlah lilitan per layer (tPL) sedikit, demikian juga sebaliknya dengan jumlah lilitan per layer (tPL) banyak tetapi memiliki jumlah layer (nL) yang kecil belum tentu memiliki gaya yang maksimal. Sehingga untuk mendapatkan gaya maksimal pada sebuah solenoid coil diperlukan kombinasi jumlah layer (nL) dan jumlah lilitan (tPL) memiliki kombinasi yang sesuai.

Pada penelitian ini digunakan kawat berstandart AWG #12 yang memiliki panjang 1 meter yang digunakan untuk membuat solenoid coil. Hasil percobaan (simulasi) menghasilkan gaya maksimal akan tercapai jika konstruksi coil memiliki jumlah layer (nL) sebanyak 20 layer dan tiap layer memiliki lilitan (tPL) sebanyak 36 lilitan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brooks, Morgan and H.M Turner. "University of Illinois Bulletin No. 53 : Inductance Of Coils". 1912
- [2] Chakraborty, RC. "Fundamentals of Genetic Algorithm : AI Course Lecture 39 - 40". 2010
- [3] Coley, David A. "An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers". 1999
- [4] 5. Guo, Liuming, et al. "Simulation and Analysis of Electromagnetic Coilgun". 2007
- [5] Johannes, "Listrik dan Magnet", Balai Pustaka, 1978
- [6] Jon Dagdagan and friends, "Multistage Coil Gun", University of Illinois, 2013.
- [7] Kim, Seog Whan, et al. "An Optimal Design of Capacitor-Driven Coilgun". 1994
- [8] Muhamad khusairi bin hassim, "Finite element analysis of electromagnet actuator for non-contact modal testing", Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 2012.
- [9] Su-Jeong Lee and friends, "Coil Gun Electromagnetic Launcher (EML) System with Multi-Stage Electromagnetic Coils", Journal of Magnetics 18(4), 2013
- [10] Zhang, Yujiao, et al. "Optimization of Three-stage Electromagnetic Coil Launcher". 2014

