

# Optimasi Parameter Pemintalan Elektrik Menggunakan Teknik Algoritma Genetika:

## Tegangan Listrik dan Jarak *Nozzle*-Kolektor

S. Saehana, F. Iskandar, M. Abdullah, dan <sup>1</sup>Khairurrijal  
Kelompok Keahlian Fisika Material Elektronik  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia  
<sup>1</sup>krijal@fi.itb.ac.id

Received date: 10 Januari 2011

Accepted date : 13 Maret 2011

### Abstrak

Studi optimasi dua parameter pemintalan elektrik, yaitu tegangan listrik dan jarak *nozzle*-kolektor, telah dilakukan dengan teknik algoritma genetika dalam domain [1,60] kV dan [5,25] cm serta jumlah populasi 100 buah, peluang pindah silang ( $p_c$ ) 0,7 dan peluang mutasi ( $p_m$ ) 0,5. Jejari serat seukuran 155 nm diperoleh dari hasil substitusi nilai optimum tegangan listrik 1,83 kV dan jarak *nozzle*-kolektor 23,50 cm pada simulasi pemintalan elektrik yang dimodelkan oleh Reneker, *dkk.* Hasil optimasi ini diharapkan dapat membantu eksperimen di laboratorium.

**Kata kunci:** pemintalan elektrik, algoritma genetika, jejari serat, optimasi.

### Abstract

*The study of optimizing two electrospinning parameters, i.e. electric voltage and nozzle-collector distance, was done by employing a genetic algorithm technique in the domain of [1,60] kV and [5,25] cm, the population of 100, the crossover probability of 0.7, and the mutation probability of 0.5. Fiber radius of 155 nm was obtained from the substitution of optimal values of electric voltage of 1.83 kV and nozzle-collector of 23.50 cm, which are from the simulation of a model made by Reneker, et al. This optimization result could help experiments in obtaining desired fiber radius.*

**Keywords:** electrospinning, genetic algorithm, fiber radius, optimization.

## 1 Pendahuluan

Proses pemintalan elektrik (*electrospinning*) sebagai salah satu metode untuk menghasilkan serat berorde nanometer telah dikenal luas, baik di kalangan peneliti maupun industri [1][2]. Prosesnya yang relatif cepat serta parameter eksperimen yang dapat dikontrol menjadi keunggulan metode ini [2][3][4]. Namun demikian, seiring dengan berkembangnya metode pemintalan elektrik, kebutuhan akan serat yang berjejari kecil (orde mikron hingga nanometer) juga meningkat. Oleh karena itu, optimasi parameter pemintalan elektrik tersebut perlu dilakukan. Prediksi terhadap nilai jejari serat hasil pemintalan elektrik sebelumnya telah dibuat oleh Fridrikh, *dkk.*, namun hasil perkiraan tersebut masih berbeda dengan hasil eksperimen [5].

Optimasi dapat dilakukan baik melalui eksperimen maupun teori. Dalam kerangka teoretis, optimasi dapat dilakukan dengan metode numerik maupun stokastik [6]. Algoritma genetika (AG) sebagai salah satu metode optimasi stokastik banyak digunakan dalam berbagai persoalan optimasi kompleks [6][7][8]. Optimasi parameter pemintalan elektrik dengan teknik AG baru-baru ini dilakukan oleh Maleki, *dkk.* [9], dimana jejari serat

minimum yang diperoleh sebesar 202 nm. Namun demikian, dalam paper ini, penyelidikan terhadap dua parameter tersebut dilakukan untuk menghasilkan jejari serat yang lebih kecil dari nilai tersebut.

Parameter pemintalan elektrik yang cukup signifikan berpengaruh terhadap jejari serat akhir adalah tegangan listrik dan jarak *nozzle-kolektor* [10][11]. Besarnya gaya oleh medan listrik serta adanya ketidakstabilan pembengkokan *jet* dapat dikontrol melalui parameter tersebut [11][12][13][14][15]. Oleh karena itu, optimasi terhadap kedua parameter tersebut perlu dilakukan.

Dalam makalah ini, dilakukan optimasi parameter tegangan listrik dan jarak *nozzle-kolektor* dengan metode algoritma genetika. Nilai kedua parameter yang diperoleh kemudian disubstitusi ke simulasi pemintalan elektrik yang dimodelkan oleh Reneker, *dkk.* untuk mengetahui besar jejari serat yang dihasilkan [16][17].

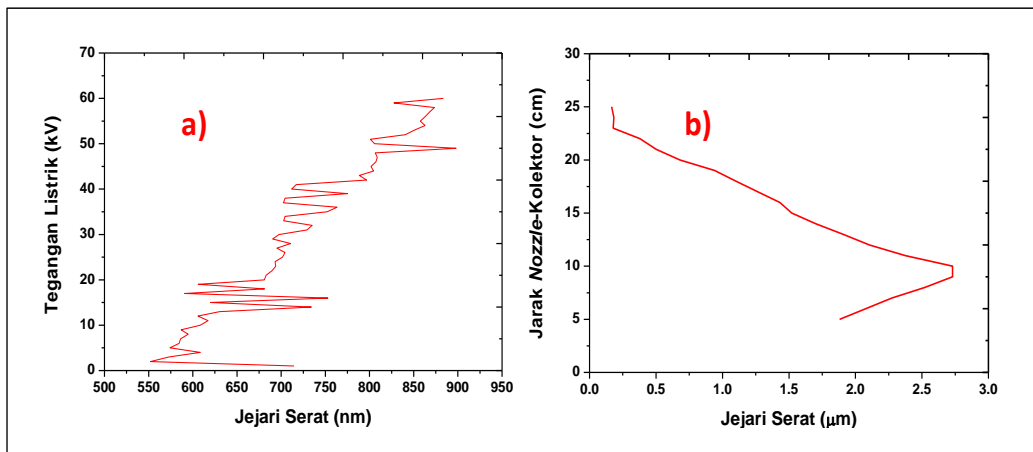
## 2 Kajian Teoretis

Hubungan antara jejari serat ( $r$ ) dan tegangan listrik ( $V$ ) serta jarak *nozzle-kolektor* ( $d$ ), yang diperoleh dari simulasi [10], diberikan oleh Persamaan (1) dan (2).

$$r(V) = (0,1V^2 + 2,5V + 592,2) \times 10^{-9} \quad (1)$$

$$r(d) = (0,13d^3 - 6,44d^2 + 84,31d - 84,28) \times 10^{-8} \quad (2)$$

Grafik hubungan antara kedua parameter tersebut dengan jejari serat, sesuai Persamaan (1) dan (2), dapat dilihat pada Gambar 1.



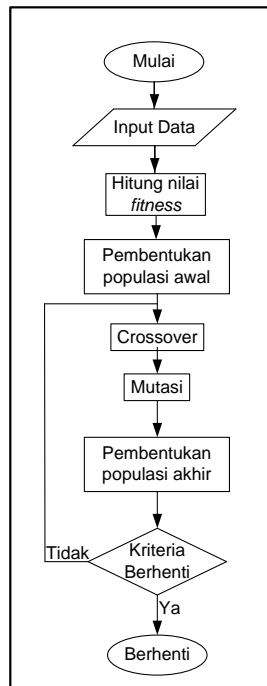
**Gambar 1** Grafik hubungan (a) tegangan listrik dan (b) jarak *nozzle-kolektor* dengan jejari serat hasil [10]

Pengaruh parameter tegangan listrik dan jarak *nozzle-kolektor* terhadap jejari serat yang dihasilkan, dalam proses pemintalan elektrik, cukup signifikan seperti terlihat pada Gambar 1. Dari grafik sebenarnya dapat diperkirakan nilai jejari serat minimum berada pada interval tegangan listrik 0 - 5 kV dan jarak *nozzle-kolektor* 25 cm. Namun demikian, untuk menjamin akurasi penentuan nilai optimum kedua parameter tersebut, implementasi teknik algoritma genetika perlu dilakukan.

Dalam implementasi AG, Persamaan (1) dan (2) digunakan sebagai fungsi *fitness* dalam pencarian nilai optimum. Adapun algoritma yang digunakan dalam makalah ini adalah:

1. Tetapkan fungsi *fitness*.
2. Tentukan domain pencarian.
3. Bangkitkan populasi secara acak dalam domain.
4. Pilih dua individu, dari populasi, yang memiliki peluang sebanding dengan nilai *fitness*.
5. Terapkan pindah silang terhadap kedua individu sesuai dengan peluang pindah silang.
6. Pilih secara acak, dari populasi, satu individu untuk diterapkan prinsip mutasi.
7. Ulangi langkah (4)-(6) hingga kriteria berhenti dipenuhi (*error* terpenuhi, iterasi dicapai atau dihentikan oleh pemakai).

Proses optimasi parameter tegangan listrik dan jarak *nozzle*-kolektor dalam makalah ini mengikuti diagram alir seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.



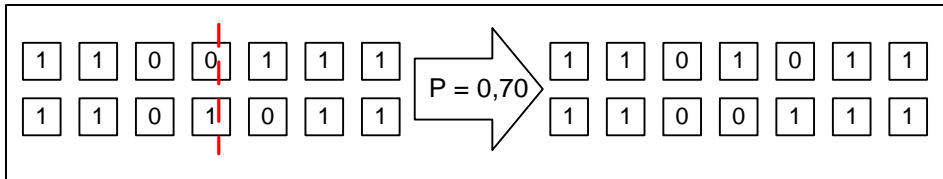
Gambar 2 Diagram alir optimasi parameter pemintalan elektrik dengan metode AG

## 2.1 Penentuan Nilai *Fitness*

Nilai *fitness* merupakan ukuran baik atau tidaknya suatu kromosom dan menggambarkan tingkat kecocokan kromosom dalam ruang solusi serta ketepatannya dalam menyelesaikan suatu masalah [18]. Nilai *fitness* pada penelitian ini ditentukan dengan Persamaan (1) dan (2) pada interval [1,60] kV dan [5,25] cm. Nilai *fitness* yang diperoleh dari hasil perhitungan merupakan kriteria evaluasi suatu individu. Individu dengan nilai *fitness* tinggi akan bertahan hidup sedangkan individu dengan nilai *fitness* rendah akan mati. Kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi kemudian ditetapkan sebagai individu yang tidak tergantikan (*elitisme*) [6].

## 2.2 Inisialisasi dan Pindah Silang

Setelah populasi awal dibangkitkan secara *random*, kemudian populasi tersebut dievaluasi berdasarkan nilai *fitness*. Pemilihan dua buah kromosom sebagai orang tua, yang akan dipindahsilangkan, dilakukan secara proposional sesuai nilai *fitness*-nya. Penerapan pindah silang pada dua individu sesuai dengan peluang pindah silang yang ditetapkan ( $P$ ) dan dibangkitkan ( $P_c$ ). Ilustrasi proses pindah silang disajikan di Gambar 3.



**Gambar 3** Proses pindah silang dengan  $P_c$ ,  $P$  sebesar 0,9 dan 0,7. Garis putus-putus menyatakan titik pindah silang [19]

Gambar 3 menjelaskan proses pindah silang pada dua individu, yang direpresentasikan oleh gen dan dinyatakan dalam bilangan biner. Syarat terjadinya pindah silang yaitu apabila peluang pindah silang ( $P_c$ ), yang dibangkitkan secara acak, lebih besar dari probabilitas pindah silang yang ditetapkan ( $P$ ). Mekanisme pindah silang terjadi dengan pergantian 1 dengan 0, ataupun sebaliknya. Gen yang mengalami proses pindah silang berada di sebelah kanan garis putus-putus. Setelah proses ini terjadi, diperoleh dua individu dengan gen yang baru.

## 2.3 Proses Mutasi

Dalam tahap ini, dilakukan pemilihan individu dalam populasi untuk diterapkan prinsip mutasi. Proses mutasi dilakukan dengan menambah atau mengurangi individu dalam populasi dengan nilai yang sangat kecil serta dengan peluang yang rendah [19]. Ilustrasi proses mutasi dapat dilihat di Gambar 4.

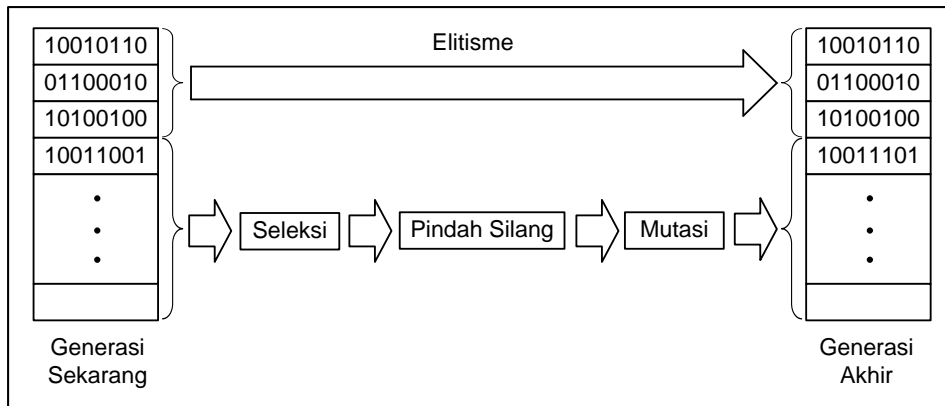


**Gambar 4** Proses mutasi [19]

Gambar 4 memperlihatkan proses mutasi dengan menambah atau mengurangi individu terpilih dengan nilai yang sangat kecil, sehingga menghasilkan individu baru. Proses ini dilakukan untuk mencegah terjadinya konvergensi lokal [19]. Peluang mutasi ( $p_m$ ) harus ditentukan dalam nilai yang tepat untuk mengendalikan gen baru yang akan dievaluasi. Pemilihan nilai peluang yang kurang tepat, lebih besar atau kecil, akan menyebabkan gangguan acak, kehilangan histori pencarian bahkan tidak adanya evaluasi gen [19].

## 2.4 Kriteria Berhenti

Proses pindah silang dan mutasi dilakukan secara terus menerus hingga kriteria berhenti dipenuhi, yaitu *error* dipenuhi, iterasi dicapai, atau dihentikan oleh pemakai. Melalui proses ini diperoleh populasi akhir dengan individu yang memiliki nilai *fitness* berbeda. Nilai *fitness* tertinggi merupakan kriteria pemilihan individu terbaik dalam populasi akhir. Secara lengkap proses yang terjadi ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5 Skema metode algoritma genetika dalam proses optimasi [6]

## 3 Hasil dan Diskusi

Optimasi nilai tegangan listrik dan jarak *nozzle*-kolektor dilakukan dengan metode AG yang diberikan oleh diagram alir pada Gambar 2. Dalam optimasi dengan teknik ini pemilihan parameter input seperti ukuran populasi, peluang pindah silang dan peluang mutasi sangat menentukan akurasi hasil akhir [20][21][22]. Dari hasil ujicoba dengan beberapa parameter tersebut, kemudian digunakan ukuran populasi 100 buah, peluang pindah silang 0,5, peluang mutasi 0,2. Sedangkan parameter algoritma genetika, yang tidak kalah pentingnya yaitu fungsi *fitness*, sesuai persamaan (1) dan (2).

### 3.1 Pengaruh Tegangan Listrik

Dalam beberapa makalah [1][3][10], nilai tegangan listrik yang digunakan dalam proses pemintalan elektrik adalah 5 - 40 kV. Namun, dalam penelitian ini optimasi dilakukan dalam interval 1 - 60 kV karena berdasarkan pertimbangan bahwa dalam kondisi tersebut pemintalan elektrik masih memungkinkan untuk dilakukan. Hal ini juga didukung oleh beberapa data eksperimen yang dikemukakan oleh Thompson, *dkk.* [9].

Dalam proses pemintalan elektrik, tegangan listrik dapat menyebabkan perpindahan massa dan muatan polimer (*jet*) yang bergerak menuju kolektor. Dalam makalah terdahulu [15] dilaporkan bahwa ketidakstabilan pembengkokan *jet* akan meningkat jika tegangan listrik diturunkan. Sedangkan ketidakstabilan pembengkokan akan berkurang apabila tegangan listrik ditingkatkan. Adanya ketidakstabilan pembengkokan *jet* tersebut berpengaruh terhadap jejari akhir serat. Fenomena yang sama juga diperoleh melalui simulasi pemintalan elektrik dalam penelitian ini. Tegangan listrik yang tinggi menyebabkan *jet* akan lebih cepat mencapai kolektor sebelum ketidakstabilan pembengkokan *jet* meningkat. Hal ini disebabkan karena gaya oleh medan listrik berpengaruh pada kecepatan *jet* pada

sumbu vertikal, dimana gaya oleh medan listrik yang besar akan membuat *jet* dapat lebih cepat mencapai kolektor.

Dalam makalah ini, ukuran jejari serat minimum sebesar 550 nm diperoleh untuk nilai tegangan listrik optimum sebesar 1,83 kV dengan peluang pindah silang ( $p_c$ ) dan mutasi 0,2 dan 0,5, secara berurut. Hasil yang diperoleh ini lebih baik dari studi terdahulu yang pernah dilakukan oleh tim kami [11]. Dalam skala produksi, penggunaan tegangan listrik sebesar 1,83 kV, yang dapat menghasilkan serat 550 nm, cukup efektif karena dapat mengefektifkan penggunaan tegangan listrik, tetapi di sisi lain dapat menghasilkan jejari serat dalam orde sub mikron.

### 3.2 Pengaruh Jarak *Nozzle*-Kolektor

Jarak *nozzle*-kolektor menggambarkan kekuatan medan listrik serta waktu yang dibutuhkan pelarut untuk mengalami evaporasi sebelum serat mencapai kolektor. Peningkatan parameter ini pada umumnya akan mengurangi jejari serat. Sedangkan, apabila jarak *nozzle*-kolektor yang terlalu kecil akan menghasilkan serat 'basah' yang terkumpul pada kolektor [3].

Beberapa eksperimen menunjukkan bahwa pemintalan elektrik pada umumnya dilakukan dalam rentang 7 - 50 cm [10]. Seperti telah dikemukakan di atas, bahwa alasan pemintalan elektrik tidak dilakukan dalam jarak <7 cm karena pada kondisi tersebut, pelarut belum menguap secara keseluruhan sehingga serat yang terkumpul di kolektor masih dalam keadaan basah. Sebaliknya, pada jarak >50cm, serat tidak terbentuk/habis karena penguapan bahkan tidak sampai di kolektor karena berada di udara dalam orde yang sangat kecil atau justru terdeposisi di tempat lain.

Hasil studi yang dilaporkan dalam makalah terdahulu [11] menjelaskan bahwa pada jarak 7cm-10cm, ketidakstabilan pembengkokan *jet* berkurang, sedangkan pada jarak 12,5 - 20 cm, ketidakstabilan pembengkokan *jet* bertambah. Selama proses pemintalan elektrik, rata-rata jejari serat mengalami fluktuasi disebabkan adanya persaingan antara gaya Coulomb, gaya tegangan permukaan, gaya viscoelastic dan gaya oleh medan listrik. Pada umumnya, jejari serat minimum diperoleh pada jarak *nozzle*-kolektor 20 cm sedangkan rata-rata jejari maksimum diperoleh pada jarak *nozzle*-kolektor 7cm.

Dalam makalah ini, dilakukan optimasi parameter jarak *nozzle*-kolektor dalam interval 7 - 25 cm, dimana ukuran jejari serat minimum sebesar 162 nm diperoleh untuk nilai jarak *nozzle*-kolektor 23.50 cm dengan peluang pindah silang ( $p_c$ ) dan mutasi 0,2 dan 0,5, secara berurut. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa teknik AG cukup efektif digunakan sebagai metode optimasi jarak *nozzle*-kolektor dalam proses pemintalan elektrik.

Penggunaan nilai optimum tegangan listrik 1,83 kV dan jarak *nozzle*-kolektor 23,50 cm secara bersamaan pada simulasi pemintalan elektrik memberikan jejari serat sebesar 155 nm. Dengan demikian, hasil optimasi yang diperoleh dalam makalah ini dapat menjelaskan lebih baik parameter ini dibandingkan beberapa makalah terdahulu [10]. Oleh karena itu, penyelidikan terhadap beberapa parameter pemintalan elektrik lain, seperti rapat muatan, perlu dilakukan agar dapat memberi informasi yang lebih akurat sehingga dapat lebih mudah diaplikasikan untuk eksperimen di laboratorium.

## 4 Kesimpulan

Optimasi parameter tegangan listrik dan jarak *nozzle*-kolektor telah berhasil dilakukan dengan teknik algoritma genetika (AG). Optimasi dengan teknik AG pada domain [1,60] kV

dan [5,25] cm dilakukan dengan jumlah populasi 100, nilai peluang pindah silang ( $p_c$ ) 0,5 dan nilai peluang mutasi ( $p_m$ ) 0,2. Serat minimum 155 nm diperoleh dari nilai optimum tegangan listrik dan jarak *nozzle*-kolektor, sebesar 1,83 kV dan 23,50 cm, secara berurut.

## 5 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi atas bantuan dana yang diberikan melalui Program Hibah Fundamental tahun anggaran 2010.

## 6 Referensi

- [1] Kim, T.G, dkk., *Electrospun Carbon Nanotubes–Gold Nanoparticles Embedded Nanowebbs: Prosperous Multi-Functional Nanomaterials*, Nanotechnology, vol. 21, hh. 134021/1-11, 2010.
- [2] Liu, Y., dkk., *Factors Affecting Melt Electrospinning*, Plastic Research Online, hh. 1-2, 2010.
- [3] Andrad, A.L., *Science and Technology of Polymer Nanofibers*, Wiley, 2008.
- [4] Ramakrishna, S., dkk., *Introduction to Electrospinning and Nanofibers*, World Scientific, 2005.
- [5] Fridrikh, S.V., dkk., *Controlling The Fiber Diameter During Electrospinning*, Physical Review Letter vol. 90 no. 14, hh. 144502-1-144502-4, 2003.
- [6] Jang, J.S.R., dkk., *Neuro-Fuzzy and Softcomputing*, Prentice Hall International Inc., 1997.
- [7] Widhiyasa, A., *Kajian Genetic Algorithm Dalam Penyelesaian TSP*, Prodi Teknik Informatika ITB, [www.informatika.org/~rinaldi/Matdis/2006./Makalah0607-119.pdf](http://www.informatika.org/~rinaldi/Matdis/2006./Makalah0607-119.pdf), (1 Desember 2010).
- [8] Suyanto, *Algoritma Genetika Dalam MATLAB*, Andi Offset, 2005.
- [9] Maleki, M., dkk., *Optimizing Electrospinning Parameters for Finest Diameter of Nano Fibers World*, World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 64, hh. 389-392, 2010.
- [10] Thompson, C., *An Analysis of Variable Effect on Theoretical Model of The Electrospin Process for Making Nanofibers*, Thesis, Departemen of Physics, Akron University, 2007.
- [11] Saehana, S., dkk., *Simulasi Fabrikasi Serat Nano (Nanofiber) dengan Metoda Pemintalan Elektrik (Electrospinning): Pengaruh Jarak Nozzle-Kolektor*, Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi, vol. 2 no. 2, hh. 74-82, 2009.
- [12] Saehana, S., dkk., *Simulasi Geometri Nanoserat Hasil Pemintalan Elektrik*, Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi Edisi Khusus Agustus, hh.45-49, 2009.
- [13] Saehana, S., dkk., *Simulation of Fabrication of Nanofibers Using Alternating Current Electrospinning Technique*, in Proceeding of The 3<sup>rd</sup> Asian Physics Symposium, hh. 147-149, 2009.
- [14] Saehana, S., dkk., *The Effect of Liquid Properties to Fiber Radius on Electrospinning Process*, Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi vol. 3 no. 1, hh.15-17, 2010.
- [15] Kowalewsky, T.A., dkk., *Experiments and Modelling of Electrospinning Process*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, vol. 53 no. 4, hh.385-394, 2005.
- [16] Reneker, D.H., dkk., *Bending Instability of Electrically Charged Liquid Jets of Polymer Solutions in Electrospinning*, Journal of Applied Physics, vol. 87 no. 9, hh. 4531-4547, 2000.
- [17] Reneker, D.H., dkk., *Advance in Applied Mechanics*, Elsevier, 2007.
- [18] Prebys, E.K., *The Genetic Algorithm in Computer Science*, MIT Undergraduate Journal

- of Mathematics, vol. 1 no. 1, hh. 165-170, 1999.
- [19] Satriyanto, E., *Kecerdasan Buatan*, eepis-its, <http://lecturer.eepis-its.edu/~kangedi/materi%20kuliah/Kecerdasan%20Buatan/Bab%20AG.pdf>, (4 Desember 2010).
  - [20] Gazonas, G.A., dkk., *Genetic Algorithm Optimization of Phononic Bandgap Structures*, International Journal of Solids and Structures, vol. 43, hh. 5851–5866, 2006.
  - [21] Yang, E., dkk., *A Comparative Study of Genetic Algorithm Parameters for The Inverse Problem-Based Fault Diagnosis of Liquid Rocket Propulsion Systems*, International Journal of Automation and Computing, vol. 4 no. 3, hh. 255-261, 2007.
  - [22] Lopez-Pujalte, C. & Guerrero-Bote, V.P., *Order-Based Fitness Functions for Genetic Algorithms Applied to Relevance Feedback*, Journal of the American Society for Information Science And Technology, vol. 54 no. 2, hh. 152–160, 2003.