

# OPTIMASI MULTIRESPON GAYA TEKAN DAN MOMEN TORSI PADA PENGGURDIAN MATERIAL KOMPOSIT *GLASS FIBER REINFORCE POLYMER* (GFRP) YANG DITUMPUK DENGAN MATERIAL *STAINLESS STEEL* (SS) MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIKA

Angga Sateria<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin - Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung  
Kawasan Industri Airkantung Sungailiat,  
Telp.0717-93586, Fax.0717-93585, [anggasateria@gmail.com](mailto:anggasateria@gmail.com)

## Abstract

*Glass fiber reinforced polymer (GFRP)-stainless steel stacks used in the aircraft structural components. The assembly process of this components requires mechanical joining using bolt and nut. The drilling process is commonly used for producing hole to position the bolt correctly. Thrust force and torque are responses that used to evaluate the performance of drilling process. The quality characteristic of these responses are "smaller-is-better." The aim of this experiment is to identify the combination of process parameters for achieving required multiple performance characteristics in drilling process of GFRP-stainless steel stacks materials. The three important process parameters, i.e., point angle, spindle speed, and feed rate were used as input parameters. Point angle was set at two different levels, while the other two were set at three different levels. Hence, a 2 x 3 x 3 full factorial was used as design experiments. The experiments were replicated two times. The optimization was conducted by using genetic algorithm method. The minimum thrust force and torque could be obtained by using point angle, spindle speed and feed rate of 118°, 2383 rpm, 62 mm/min respectively.*

**Keywords:** *drilling process, GFRP-stainless steel stacks, genetic algorithm, multirespon optimization.*

## Abstrak

*Material komposit Glass fiber reinforced polymer (GFRP) yang direkatkan dengan material baja tahan karat (stainless steel) digunakan pada komponen struktural pesawat terbang. Proses perakitan komponen ini memerlukan sambungan mekanis dengan menggunakan baut dan mur. Proses gurdi biasanya digunakan untuk memproduksi lubang untuk posisi baut dan mur dibagian yang akan direkatkan. Gaya tekan dan momen torsi adalah respon yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja proses gurdi. Karakteristik kualitas dari respon ini "semakin kecil semakin baik". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kombinasi parameter-parameter proses untuk mencapai karakteristik kinerja yang diperlukan dalam proses penggurdian material GFRP-SS. Tiga parameter proses yang dipilih yaitu sudut ujung pahat, kecepatan spindel, dan kecepatan makan digunakan sebagai parameter proses. Sudut ujung pahat memiliki dua level, kecepatan spindel dan kecepatan makan memiliki tiga level. Oleh karena itu, faktorial 2 x 3 x 3 digunakan sebagai design eksperimen. Eksperimen direplikasi sebanyak dua kali. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode algoritma genetika. Gaya tekan dan momen torsi yang minimum dapat diperoleh dengan menggunakan sudut ujung pahat, kecepatan spindel, dan kecepatan makan masing-masing adalah 118°, 2383 rpm, dan 62 mm/menit.*

**Kata kunci:** *Proses gurdi, GFRP-stainless steel, algoritma genetika, optimasi multirespon.*

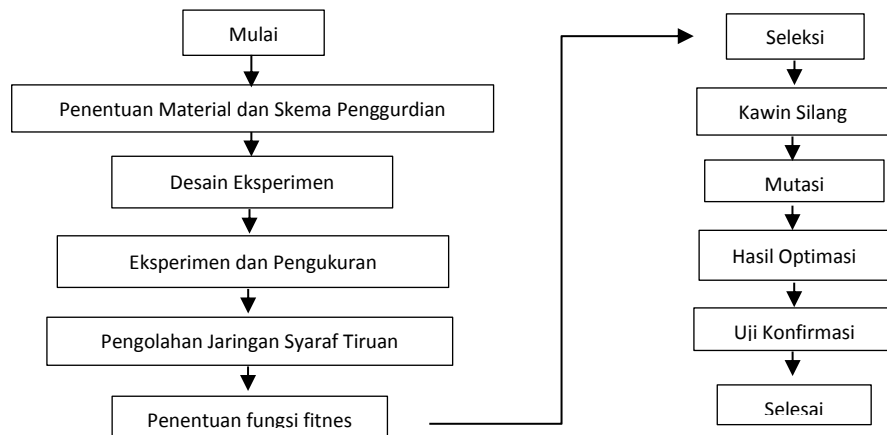
## 1. PENDAHULUAN

Material komposit GFRP yang direkatkan dengan material baja tahan karat (*stainless steel*) umumnya digunakan pada komponen struktural pesawat khususnya dibagian body fairing pesawat.

Body fairing pada pesawat menggunakan material GFRP-*stainless steel* bertujuan untuk mengurangi keausan material badan pesawat. Pada bagian tersebut terjadi gesekan antara bagian *wing flap* dengan bagian badan pesawat pada saat pesawat akan tinggal landas dan mendarat. Satu proses manufaktur yang dilakukan pada bagian body fairing pesawat adalah proses gurdi. Proses gurdi merupakan proses pembuatan lubang silindris pada benda kerja untuk proses perakitan komponen yang satu dengan komponen lainnya. Pembuatan lubang termasuk salah satu proses paling penting di bidang manufaktur. Kinerja dari proses gurdi dapat dievaluasi berdasarkan beberapa karakteristik kualitas seperti gaya tekan dan momen torsi. Kesalahan pemilihan parameter proses pemesinan akan menghasilkan gaya dan momen torsi yang besar. Gaya dan torsi yang besar akan mempercepat terjadinya kerusakan pada pahat dan mesin perkakas. Oleh karena itu, gaya dan momen torsi dapat digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap kinerja dari proses gurdi. Pada proses pemesinan secara umum, ukuran-ukuran kinerja tersebut dijadikan sebagai respon yang merupakan fungsi dari parameter proses atau faktor. Khusus pada proses gurdi, faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas ataupun ukuran-ukuran kinerja adalah kecepatan spindel, kecepatan makan, geometri dan sudut ujung pahat (*point angle*). Parameter proses pemesinan biasanya dipilih berdasarkan material benda kerja, material pahat dan geometri pahat. Optimasi kondisi pemesinan akan meningkatkan kualitas produk dan produktifitas kerja. Metode yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi multirespon pada proses pemesinan adalah metode algoritma genetika. Metode algoritma genetika (GA) banyak diterapkan di berbagai bidang penelitian untuk pengoptimalan parameter.

**2. METODE PENELITIAN**

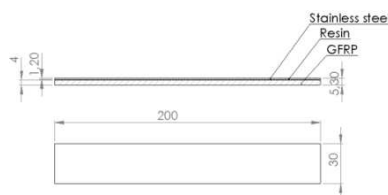
Langkah-langkah penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir berikut:



Gambar 1 Diagram alir penelitian

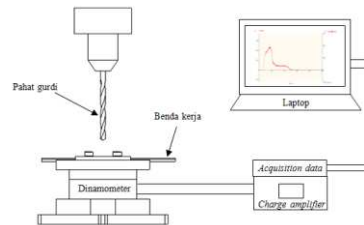
**2.1. Material dan skema penggurdian**

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah material baja tahan karat (*stainless steel*) yang ditumpuk dan direkatkan dengan material komposit GFRP. Spesimen benda kerja memiliki ukuran 200 x 30 x 5,3 mm. Tebal masing-masing material adalah *stainless steel* = 1,2 mm, GFRP = 4 mm, dan resin = 0.1 mm. Posisi material *stainless steel* berada diatas dan material GFRP berada dibawah. Kedua material ini ditumpuk dan direkatkan dengan menggunakan resin jenis Loctite EA 934NA. Gambar 2 menunjukkan ukuran spesimen GFRP-*stainless steel*.



Gambar 2 Ukuran spesimen GFRP-*stainless steel*.

Gambar 3 menunjukkan skema proses penggurdian GFRP-SS. Pahat gudi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *two flute straight twist drill* yang terbuat dari material karbida yang memiliki diameter 8 mm dan sudut helik  $30^{\circ}$ . Penggurdian dilakukan pada mesin CNC vertikal Brother TC-22A-O dan dilakukan tanpa menggunakan pendingin. Gaya tekan ( $F_z$ ) dan momen torsi ( $M_z$ ) diukur dengan menggunakan dinamometer KISTLER tipe 9272.



Gambar 3 Skema proses penggurdian material GFRP-SS

## 2.2. Desain Eksperimen.

Pada penelitian ini, terdapat tiga parameter proses yang digunakan. Parameter proses yang dipilih adalah sudut ujung pahat, kecepatan makan dan kecepatan spindel. Tabel 1 menunjukkan parameter proses dan masing-masing level yang digunakan dalam penelitian ini. Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan faktorial. Pada desain eksperimen, dua parameter mempunyai tiga level dan satu parameter mempunyai dua level. Rancangan seperti ini bisa juga disebut desain faktorial  $2 \times 3 \times 3$ . Jumlah kombinasi faktor adalah sebanyak 18. Akan ada dua pengulangan/replikasi yang dilakukan untuk setiap percobaan untuk memperkirakan ketidakpastian hasilnya. Oleh karena itu, jumlah pengamatan adalah sebanyak 36. Respon-respon yang diamati pada penelitian ini adalah gaya tekan dan momen torsi. Rancangan percobaan dan hasil percobaan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Parameter proses dan masing-masing level

| Parameter proses       | Unit    | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Sudut ujung pahat (PA) | derajat | 118     | 130     | -       |
| Kecepatan spindel (SS) | rpm     | 600     | 1500    | 2400    |
| Kecepatan makan (FS)   | mm/min  | 60      | 90      | 120     |

Table 2. Desain eksperimen dan hasil eksperimen

| No | Parameter proses |    |    | Fz (N) |        | Mz (Nm) |       |
|----|------------------|----|----|--------|--------|---------|-------|
|    | PA               | SS | FS | R1     | R2     | R1      | R2    |
| 1  | 1                | 1  | 1  | 232,80 | 234,30 | 3,035   | 3,187 |
| 2  | 1                | 1  | 2  | 291,20 | 315,20 | 4,594   | 3,976 |
| 3  | 1                | 1  | 3  | 350,30 | 370,20 | 5,350   | 5,666 |
| 4  | 1                | 2  | 1  | 152,60 | 160,40 | 2,195   | 2,018 |
| 5  | 1                | 2  | 2  | 235,50 | 230,20 | 2,900   | 2,824 |
| 6  | 1                | 2  | 3  | 290,40 | 284,20 | 3,591   | 3,614 |
| 7  | 1                | 3  | 1  | 109,20 | 109,40 | 1,597   | 1,551 |
| 8  | 1                | 3  | 2  | 190,80 | 182,50 | 2,074   | 1,911 |
| 9  | 1                | 3  | 3  | 250,90 | 257,50 | 2,708   | 2,672 |
| 10 | 2                | 1  | 1  | 293,10 | 309,90 | 2,828   | 2,941 |
| 11 | 2                | 1  | 2  | 379,00 | 344,90 | 4,08    | 4,064 |
| 12 | 2                | 1  | 3  | 424,60 | 437,20 | 5,331   | 5,211 |
| 13 | 2                | 2  | 1  | 212,40 | 224,10 | 1,793   | 1,855 |
| 14 | 2                | 2  | 2  | 288,10 | 279,20 | 2,571   | 2,246 |
| 15 | 2                | 2  | 3  | 349,70 | 358,60 | 3,280   | 3,261 |
| 16 | 2                | 3  | 1  | 175,50 | 163,70 | 1,334   | 1,282 |
| 17 | 2                | 3  | 2  | 249,20 | 240,00 | 1,631   | 1,678 |
| 18 | 2                | 3  | 3  | 300,70 | 314,40 | 2,220   | 2,390 |

### 3. OPTIMASI MULTIRESPON MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

#### 3.1 Algoritma genetika (*Genetic Algorithm*)

GA merupakan metode optimasi yang dapat digunakan untuk menentukan parameter-parameter proses yang menghasilkan nilai respon yang optimum. Perhitungan untuk menentukan optimasi dengan GA dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab seri R2013a. Berikut adalah langkah-langkah optimasi GA:

- **Penentuan fungsi fitness**

Pada penelitian ini, fungsi fitness didapatkan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. Fungsi fitness didapatkan dengan menggabungkan empat fungsi objektif (*objective function*) menjadi satu fungsi fitness (*fitness function*). Fungsi objektif dari masing-masing respon didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Obj_k = \left( \sum_{j=1}^{13} v_{jk} \cdot \left( \frac{2}{1 + e^{-2z}} - 1 \right) \right) + v_{0k} \quad (4)$$

$$z = \left( \sum_{j=1}^{15} (u_{ij} \cdot x_i) \right) + u_{0j} \quad (5)$$

Dengan:

$Obj_i$  = Respon dari eksperimen, yaitu gaya tekan dan torsi.

$i$  = jumlah parameter proses.

$j$  = jumlah *neuron* pada *hidden layer*.

$k$  = jumlah parameter respon.

$u$  = nilai bobot dari dari *input layer* ke *hidden layer*.

$v$  = nilai bobot dari dari *hidden layer* ke *output layer*

$u_0$  = nilai bias dari dari *input layer* ke *hidden layer*.

$v_0$  = nilai bias dari dari *hidden layer* ke *output layer*.

$z$  = nilai aktivasi masing-masing *neuron* pada *hidden layer*.

- **Seleksi**

Seleksi digunakan untuk memilih individu-individu mana saja yang akan dipilih untuk proses kawin silang dan mutasi. Seleksi digunakan untuk mendapatkan calon induk yang baik. Induk yang baik akan menghasilkan keturunan yang baik. Proses seleksi yang digunakan adalah proses seleksi dengan metode *roulette wheel*. Pada proses seleksi, tiap-tiap individu akan dihitung nilai probabilitasnya. Untuk menghitung nilai probabilitas, gunakan persamaan berikut:

$$p = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j} \quad (6)$$

Dengan:

$p$  = probabilitas seleksi dari individu..

$f_i$  = nilai fitness dari individu.

$n$  = jumlah individu.

- **Kawin silang**

Kawin silang (*crossover*) adalah operator dari algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk membentuk kromosom baru. *Crossover* dilakukan pada setiap individu dengan probabilitas *crossover* yang ditentukan. Proses *crossover* yang digunakan adalah *crossover* aritmatik. *Crossover* aritmatik digunakan untuk representasi kromosom berupa bilangan *float* (pecahan). *Crossover* ini dilakukan dengan menentukan nilai  $r$  sebagai bilangan random dari 0 dan kurang dari 1. Selain itu juga ditentukan posisi dari gen yang dilakukan *crossover* menggunakan bilangan random. Nilai baru dari gen pada anak mengikuti persamaan berikut:

$$y_i^1 = r \cdot x_i^1 + (1 - r) \cdot x_i^2 \quad (7)$$

$$y_i^2 = r \cdot x_i^2 + (1 - r) \cdot x_i^1 \quad (8)$$

dengan :

$y_i^1$  = keturunan 1.

$y_i^2$  = keturunan 2.

$r$  = nilai acak 0 sampai 1.

$x_i^1$  = induk 1.

$x_i^2$  = induk 2.

- **Mutasi**

Operator berikutnya pada algoritma genetika adalah mutasi gen. Operator ini berperan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi yang memungkinkan muncul kembali gen yang tidak muncul pada inisialisasi populasi. Kromosom anak dimutasi dengan menambahkan nilai random yang sangat kecil.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

- **Optimasi parameter dengan menggunakan metode algoritma genetika**

Parameter proses yang didapatkan dari optimasi algoritma genetika dan respon yang diprediksi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan ditunjukkan pada tabel 3. Seting yang dipilih adalah seting yang menghasilkan respon yang paling kecil untuk ke dua respon.

Tabel 3 Hasil seting optimasi GA dan prediksi JST

| Process Parameters |                   |                 | Prediksi Respon |                  |
|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Sudut ujung pahat  | Kecepatan spindel | Kecepatan makan | Gaya tekan (N)  | Momen torsi (Nm) |
| 118                | 2383              | 62              | 112,067         | 1,623            |

Optimasi multirespon dengan menggunakan metode GA menghasilkan sudut ujung pahat sebesar  $118^\circ$ , kecepatan spindel sebesar 2383 rpm dan kecepatan makan sebesar 62 mm/menit. Prediksi respon dengan menggunakan JST menghasilkan gaya tekan sebesar 112,067 N, dan momen torsi sebesar 1,623 Nm.

- **Eksperimen konfirmasi**

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk membandingkan hasil prediksi JST dengan hasil eksperimen. Eksperimen konfirmasi direplikasi sebanyak tiga kali. Seting parameter proses pada eksperimen konfirmasi sesuai dengan hasil optimasi yang dilakukan dengan menggunakan metode GA seperti ditunjukkan pada Tabel 3, yaitu sudut ujung pahat sebesar  $118^\circ$ , kecepatan spindel sebesar 2383 rpm, kecepatan makan sebesar 62 mm/menit. Pengukuran gaya tekan dan momen torsi dilakukan pada setiap replikasi. Hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil eksperimen konfirmasi

| Parameter proses  |                   |                 | Respon         |                  |
|-------------------|-------------------|-----------------|----------------|------------------|
| Sudut ujung pahat | Kecepatan spindel | Kecepatan makan | Gaya tekan (N) | Momen torsi (Nm) |
| 118               | 2383              | 62              | 115,45         | 1,553            |
|                   |                   |                 | 121,52         | 1,692            |
|                   |                   |                 | 118,65         | 1,626            |
| Rata-rata         |                   |                 | 118,54         | 1,623            |

Data hasil eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata respon yang dapat dicapai adalah gaya tekan sebesar 118,25 N, dan momen torsi sebesar 1,623 Nm.

#### 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan proses optimasi yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengaturan parameter-parameter proses gudi dengan menggunakan algoritma genetika yang dapat meminimumkan respon gaya tekan dan momen torsi secara serentak pada pengurdian material GFRP-*stainless steel* adalah sudut ujung pahat sebesar  $118^\circ$ , kecepatan spindel sebesar 2383 rpm dan kecepatan makan sebesar 62 mm/menit,.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Basuki, A., (2003), Strategi Menggunakan Algoritma Genetika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya.
- [2]. Montgomery, D. C., (2009), "Design and Analysis of Experiment," John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [3]. Shyha, I. S., Soo, S. L., Aspinwall, D. K., Bradley, S., Perry, R., et al., (2011), "Hole Quality Assessment Following Drilling of Metallic-Composite Stacks," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 51, No. 7, pp. 569-578.

- [4]. Tzeng, C. J., Chen, R., Y., (2013), "Optimization of Electrical Discharge Machining Process using the Response Surface Methodology and Genetic Algorithm Approach," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 14, No. 5, hal. 709-717.