

Penerapan Metode Optimasi Multirespon Menggunakan *Hybrid* PCA-Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi pada Penggurdian Material Komposit

Chusnul Khotimah dan Muhammad Mashuri
Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: m_mashuri@statistika.its.ac.id

Abstrak—Penggunaan material komposit mengalami peningkatan yang signifikan. Kelebihan material komposit dibandingkan material konvensional adalah memiliki kekuatan yang tinggi dengan berat yang rendah, *formability*, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan arah kekuatan dapat dikendalikan. Proses gurdi merupakan proses pemesinan yang dilakukan pada material komposit. Kinerja dari proses gurdi pada material komposit dapat dievaluasi berdasarkan beberapa karakteristik kualitas seperti gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi yang terjadi pada entri dan exit lubang hasil penggurdian. Ukuran-ukuran kinerja tersebut juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari proses gurdi. Penelitian dilakukan pada proses penggurdian dengan menggunakan material komposit. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi yang dibandingkan dengan PCR-TOPSIS Taguchi. Dari hasil penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level $A_3B_1C_3$ dengan kecepatan putaran spindle 1250 rpm, gerak makan 0,07 mm per putaran dan sudut ujung pahat 135° . Sedangkan dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level yang sama. Berdasarkan persentase kontribusi error dan koefisien determinasi dari kedua metode, didapatkan kesimpulan bahwa dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi didapatkan hasil yang lebih baik.

Kata kunci—*Hybrid PCA-Taguchi, Material Komposit, Mesin Gurdi, Optimasi, PCR-TOPSIS Taguchi*

I. PENDAHULUAN

Metode statistika telah banyak dikembangkan dan digunakan pada berbagai bidang. Salah satu bidang yang sering menerapkannya ialah bidang optimasi. Metode statistika yang biasa diterapkan untuk optimasi adalah Taguchi [1].

Dalam perkembangan teknologi industri terutama industri manufaktur, penggunaan material yang memiliki sifat-sifat istimewa seperti komposit sudah mengalami peningkatan yang cukup signifikan, seperti pada industri pembuatan pesawat terbang, *automobile*, dan perlengkapan militer. Kelebihan material komposit dibandingkan material konvensional adalah memiliki kekuatan yang tinggi dengan berat yang rendah, *formability*, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan arah kekuatan dapat dikendalikan [2].

Proses pemesinan yang sering dilakukan pada material komposit adalah proses gurdi. Kinerja dari proses gurdi pada material komposit dapat dievaluasi berdasarkan beberapa karakteristik kualitas seperti kekasaran permukaan, keausan

tepi pahat, dan ketinggian *burr*. Selain itu, gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi yang terjadi pada *entry* dan *exit* lubang hasil penggurdian juga dapat digunakan untuk mengevaluasi proses gurdi. Oleh karena itu, ukuran-ukuran kinerja tersebut juga dapat digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap kinerja dari proses gurdi. Pada proses gurdi, tiga faktor yang sering mempengaruhi karakteristik kualitas adalah kecepatan putaran spindle, gerak makan, dan sudut ujung pahat [3].

Sebenarnya, banyak metode Taguchi yang telah digunakan untuk mengoptimasi suatu respon terutama yang memiliki lebih dari satu respon (multirespon). Diantaranya metode *hybrid* PCA-Taguchi serta PCR-TOPSIS Taguchi. Metode *hybrid* PCA-Taguchi memiliki kelebihan yaitu baik digunakan pada saat terdapat banyak variabel respon. PCA juga dapat menghilangkan multikolinearitas antar respon dan mengubah korelasi antar respon ke dalam indeks kualitas yang tidak berkorelasi yang disebut komponen utama [4]. Sedangkan metode PCR-TOPSIS Taguchi didasarkan pada PCR (*Process Capability Ratio*) teori dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). PCR didasarkan pada kemampuan proses ratio teori sehingga apabila dikombinasikan dengan TOPSIS dapat memperoleh solusi yang terbaik dan dapat menghasilkan solusi yang memuaskan untuk masalah multirespon [5].

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan dua metode optimasi multirespon antara *hybrid* PCA-Taguchi dengan PCR-TOPSIS Taguchi mengenai pengaturan faktor-faktor pemesinan gurdi pada material komposit polimer yang diperkuat serat gelas (GFRP) untuk mengoptimalkan gaya tekan, momen torsi, dan delaminasi secara serentak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Uji Korelasi

Koefisien korelasi adalah ukuran keeratan hubungan dua peubah. Koefisien korelasi untuk polulasi dinyatakan dengan ρ [6].

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (1)$$

B. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru di bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses sekaligus menekan biaya dan sumber daya [7].

C. Orthogonal Array (OA)

Orthogonal Array (OA) merupakan suatu matriks faktor dan level yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau level yang lain [8]. Bentuk umum dari Orthogonal Array (OA) standart tiga level adalah sebagai berikut.

$$L_{3^m} (3^{(3^m-1)/2}) \tag{2}$$

Dengan,

m : bilangan positif yang lebih dari 1

3^m : banyaknya eksperimen yang dilakukan

3 : banyaknya level dari setiap faktor

(3^m-1)/2 : banyaknya kolom dari Orthogonal Array (OA)

D. Analysis of varians (ANOVA)

ANOVA adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi setiap faktor pada semua pengukuran respon [9]. Percobaan dalam rancangan yang menggunakan faktor A, diuji dengan sebaran F yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari faktor. Respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dalam bentuk:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \epsilon_{ijkl} \tag{3}$$

maka hipotesis yang digunakan adalah:

Untuk taraf faktor A

H₀ : α₁ = α₂ = α₃ = ... = α_k = 0.

H₁ : salah satu α_i tidak sama dengan 0.

H₀ gagal ditolak mengindikasikan tidak adanya pengaruh faktor A terhadap respon, sedangkan H₀ ditolak mengindikasikan adanya pengaruh faktor A terhadap respon. H₀ gagal ditolak atau ditolak didasarkan pada nilai F_{hitung} yang dirumuskan:

$$\text{Untuk taraf faktor A} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E} \tag{4}$$

H₀ ditolak pada masing-masing dilakukan jika mengalami kondisi berikut.

$$\text{Untuk taraf faktor A} \rightarrow F_{hitung} > F_{\alpha, \nu_A, \nu_E} \tag{5}$$

H₀ ditolak juga dilakukan apabila nilai F_{hitung} lebih besar dari dua [8], tanpa memperhatikan rumusan di atas.

E. Persentase Kontribusi

Persentase kontribusi digunakan untuk mengindikasikan kekuatan relatif sebuah faktor dan atau interaksi untuk mengurangi variasi yang terjadi. Persentase kontribusi suatu faktor A (ρ_A) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [10].

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \tag{6}$$

$$SS'_A = SS_A - \nu_A \cdot MS_E \tag{7}$$

Dengan,

SS_A : jumlah kuadrat dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

SS_T : jumlah kuadrat total

ν_A : derajat kebebasan dari faktor yang dihitung persentase kontribusinya

MS_E : rata-rata kuadrat dari faktor error

F. Interval Kepercayaan Taksiran SNR Respon pada Kondisi Optimum

Interval keyakinan dugaan rata-rata respon dengan taraf keyakinan (1 - α) x 100% dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [10].

$$\hat{\mu} - CI \leq \mu \leq \hat{\mu} + CI \tag{8}$$

$$CI = \sqrt{\frac{F_{\alpha, 1, df_{error}} MSE}{n_{eff}}} \tag{9}$$

Dengan $\hat{\mu}$ merupakan dugaan rata-rata respon pada kondisi optimum. $F_{\alpha, 1, df_{error}}$ merupakan nilai distribusi F pada taraf nyata α dengan derajat bebas 1 dan derajat bebas dari error. Sedangkan n_{eff} adalah banyaknya pengamatan efektif yang diperoleh dari persamaan (9) [1].

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{\text{Jumlah derajat bebas dalam estimasi mean}} \tag{10}$$

G. Analisis Komponen Utama

Analisis komponen utama atau Principal Component Analysis (PCA) adalah sebuah prosedur matematika yang mentransformasikan secara orthogonal multi-variabel yang diduga berkorelasi satu sama lain, menjadi multi-komponen (principal component) baru yang tidak saling berkorelasi. Analisis PCA diawali dengan melakukan normalisasi pada variabel, menggunakan formula yang diadopsi dari Grey Relational Analysis untuk menskalakan data pada range antara nol dan satu [11]. Jika target variabel semula adalah larger-the-better, normalisasi data adalah sebagai berikut.

$$x_i^* (j) = \frac{x_i (j) - \min x_i (j)}{\max x_i (j) - \min x_i (j)} \tag{11}$$

Jika target variabel semula adalah smaller-the-better, maka :

$$x_i^* (j) = \frac{\max x_i (j) - x_i (j)}{\max x_i (j) - \min x_i (j)} \tag{12}$$

Jika target variabel semula adalah nominal-the-best, maka :

$$x_i^* (j) = 1 - \frac{|x_i (j) - T|}{\max \{ \max x_i (j) - T, T - \min x_i (j) \}} \tag{13}$$

Dengan T adalah nilai target. Jika multi variabel ini adalah respon eksperimen Taguchi, maka respon-respon tersebut selanjutnya disusun dalam matriks varians kovarians. Selanjutnya, menentukan eigenvektor \overline{V}_j dan eigenvalue λ_j dihitung dari matriks varians kovarians. Eigenvektor \overline{V}_j merupakan faktor pembobot untuk j respon di dalam principal component ke-j. Jika Q_j adalah respon ke-j maka principal component ke-j atau ditulis sebagai Ψ_j merupakan kombinasi linier sebagai berikut.

$$\Psi_j = V_{1j} Q_1 + V_{2j} Q_2 + \dots + V_{jj} Q_j \tag{14}$$

Setiap principal component Ψ_j memberikan derajat penjelasan relatif terhadap variasi keseluruhan respon [4]. Satu variabel yang dapat mewakili semua principal component Ψ_j adalah composite principal component yang dapat diperoleh dengan :

$$\psi_i = \sqrt{(\psi_{1j}^2 + \psi_{2j}^2 + \dots + \psi_{jj}^2)} \tag{15}$$

Dimana i adalah nomor eksperimen. *Composite principal component* inilah respon tunggal yang mewakili kondisi multirespon.

H. PCR-TOPSIS

PCR (*Process Capability Ratio*) merupakan kemampuan sebuah proses untuk memenuhi spesifikasi desain yang ditetapkan oleh permintaan konsumen, walaupun sebuah proses terkendali secara statistik. Bagi sebuah proses untuk dapat dikatakan mampu, nilainya harus berada diantara spesifikasi atas dan bawah. TOPSIS didasarkan pada konsep dimana alternatif terbaik tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif, namun juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negatif [12]. Langkah-langkah yang digunakan dalam melakukan optimasi dengan PCR-TOPSIS diawali dengan menghitung SNR. Dalam langkah ini, η_j^i (SNR untuk respon ke j pada percobaan ke i dimana $i = 1,2,3,\dots,m$ dan $j = 1,2,3,\dots,n$) dihitung dengan tiga rumus sebagai berikut.

Untuk karakteristik respon *smaller the better*, maka :

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l (y_{jk}^i)^2 \right], 0 \leq y_{jk}^i < \infty \tag{16}$$

Untuk karakteristik respon *larger the better*, maka :

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \frac{1}{(y_{jk}^i)^2} \right], 0 \leq y_{jk}^i < \infty \tag{17}$$

Untuk karakteristik respon *nominal is best*, maka :

$$\eta_j^i = -10 \log_{10} \left[\frac{(y_j^i)^2}{(S_j^i)^2} \right], 0 \leq y_{jk}^i < \infty \tag{18}$$

dengan,

y_{jk}^i : Data yang diamati untuk respon ke- i pada percobaan ke i dan k pengulangan

\bar{y}_j^i : Rata-rata data yang diamati untuk respon ke- j pada percobaan ke- i

$(S_j^i)^2$: Variasi data yang diamati untuk respon ke- j pada percobaan ke- i . $i = 1,2,\dots,m$ dan $k = 1,2,3,\dots,l$.

Kontribusi kualitas yang maksimal untuk respon ke- j pada percobaan ke- i menunjukkan C_j^i (PCR-SNR dalam respon ke- j untuk percobaan ke- i) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$C_j^i = \frac{\eta_j^i - \bar{x}_j \eta_j}{3s\eta_j} \tag{19}$$

Tahap selanjutnya adalah menghitung TOPSIS dari hasil PCR-SNR.

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} + d^{i-}} \tag{20}$$

dengan,

$$d^{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^+)^2} \tag{21}$$

$$d^{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (C_j^i - C_j^-)^2} \tag{22}$$

d^{i+} untuk $i = 1,\dots,m$: Jarak percobaan ke- i dari solusi ideal

d^{i-} untuk $i = 1,\dots,m$: Jarak percobaan ke- i dari solusi ideal

$C_j^+ = \max \{C_j^i\}$, untuk $i = 1,2,\dots,m\}$, $\forall C_j^i$ ($i = 1,2,\dots,m, j = 1,2,\dots,n$)

$C_j^- = \min \{C_j^i\}$, untuk $i = 1,2,\dots,m\}$, $\forall C_j^i$ ($i = 1,2,\dots,m, j = 1,2,\dots,n$)

I. Material Komposit

Material komposit yang dibahas dalam penelitian ini adalah jenis *Fibre-Reinforced Polymer* (FRP). Tujuan dibuatnya komposit yaitu memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu, mempermudah desain yang sulit pada manufaktur, keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya produksi, dan menjadikan bahan lebih ringan [2].

J. Proses Gurdi

Proses gurdi dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*). Sedangkan proses bor (boring) adalah proses meluaskan atau memperbesar lubang [13].

K. Delaminasi

Delaminasi merupakan salah satu dari model kerusakan kritis yang terjadi pada komposit laminat. Delaminasi digambarkan sebagai lubang yang berbentuk elips pada hasil penggurdian [14]. Delaminasi adalah selisih dari D_{max} dan D merupakan diameter maksimum pada delaminasi yang diamati dan diameter lubang nominal [15].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Sumber data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari penelitian [3] mahasiswa jurusan teknik mesin ITS tahun 2014.

B. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada variabel respon dan variabel proses. Variabel respon yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Gaya tekan (Y_1)
2. Momen torsi (Y_2)
3. Delaminasi (Y_3)

Terdapat 3 variabel yang digunakan sebagai variabel proses. Ketiga variabel tersebut ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1.

Variabel Bebas Penelitian		
Variabel	Level	
A	Kecepatan putaran spindle (rpm)	Level 1 : 368 rpm
		Level 2 : 681 rpm
		Level 3 : 1250 rpm
B	Gerak makan (mm per putaran)	Level 1 : 0,07 mm per putaran
		Level 2 : 0,13 mm per putaran
		Level 3 : 0,22 mm per putaran
C	Sudut ujung pahat (derajat)	Level 1 : 95°
		Level 2 : 118°
		Level 3 : 135°

Dalam penelitian ini, faktor konstan adalah pahat gurdi HSS diameter 10 mm. Karakteristik respon optimal yang

digunakan adalah semakin kecil semakin baik (*smaller the better*) dan dilakukan replikasi sebanyak 2 kali pada masing-masing seting faktor. Sedangkan rancangan percobaan yang digunakan adalah L_9 .

C. Langkah Analisis

Pada penelitian ini ada beberapa langkah tujuan yang ingin dicapai, sehingga perlu dilakukan tahapan analisis sebagai berikut.

1. Melakukan uji korelasi dengan menggunakan persamaan (1).
2. Dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi :
 - a. Melakukan normalisasi masing-masing respon yang sesuai karakteristik data dengan menggunakan persamaan (12).
 - b. Membuat matriks varians kovarians dari data hasil normalisasi sehingga mendapatkan nilai eigen value dan eigen vektor dari matriks tersebut.
 - c. Membuat persamaan *principal component* (PC) dari nilai eigen vektor yang diperoleh dari analisis sebelumnya.
 - d. Menghitung *principal component* (PC) dengan menggunakan persamaan (14). Kemudian menghitung *composite principal component* dengan menggunakan persamaan (15).
 - e. Membuat ANOVA untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon secara serentak.
 - f. Membuat *main effect plot* dari *composite principal component* untuk mengetahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon secara serentak.
3. Dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi :
 - a. Melakukan transformasi masing-masing respon ke dalam *Signal To Noise Ratio* (SNR) yang sesuai karakteristik data dengan menggunakan persamaan 16.
 - b. Menghitung PCR berdasarkan SNR dari setiap variabel respon dengan menggunakan persamaan 18.
 - c. Menghitung nilai TOPSIS dari hasil PCR-SNR dengan menggunakan persamaan (21) dan (22). Kemudian menghitung PCR-TOPSIS dengan menggunakan persamaan (20).
 - d. Membuat ANOVA hasil PCR-TOPSIS untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon secara serentak.
 - e. Membuat *main effect plot* dari hasil PCR-TOPSIS untuk mengetahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon secara serentak.
4. Membandingkan hasil optimasi multirespon dengan menggunakan metode *hybrid* PCA Taguchi dengan PCR-TOPSIS Taguchi dengan melihat,
 - a. Nilai taksiran dan SNR pada kondisi optimum masing-masing respon pada masing-masing metode.
 - b. Persentase kontribusi *error* pada masing-masing metode.
 - c. Koefisien determinasi masing-masing metode.

- d. *Confidence interval* masing-masing respon dalam kondisi optimum masing-masing respon pada tiap metode.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Uji Korelasi Antar Respon

Sebelum melakukan optimasi respon secara serentak, langkah yang harus dilakukan adalah melakukan uji korelasi data antar respon dengan menggunakan persamaan (1).

Tabel 2.
Hasil Uji Korelasi Data antar Respon

Respon	Korelasi
Y_1, Y_2	0,823
Y_1, Y_3	0,791
Y_2, Y_3	0,790

Berdasarkan tabel 2, dapat diketahui bahwa nilai korelasi antara Y_1 (gaya tekan) dengan Y_2 (momen torsi) sebesar 0,823. Sehingga terdapat korelasi antara gaya tekan dengan momen torsi. Begitu juga dengan hasil korelasi antara Y_1 dengan Y_3 dan Y_2 dengan Y_3 . Karena antar respon terdapat korelasi, maka ketiga respon dapat dioptimasi secara serentak.

B. Optimasi Multirespon dengan Metode Hybrid PCA-Taguchi

1. Melakukan normalisasi masing-masing data respon sesuai dengan karakteristik data.
Normalisasi dilakukan pada data rata-rata pengamatan tiap respon dengan menggunakan persamaan (12).

Tabel 3.
Hasil Normalisasi Data Respon

Y_1	Y_2	Y_3
0,512574	0,156379	0,578947
0,373367	0,000000	0,000000
0,769757	0,300412	0,578947
0,450602	0,216049	0,315789
0,940040	0,685190	0,736840
0,340420	0,158440	0,578950
1,000000	1,000000	1,000000
0,586220	0,551440	0,368420
0,000000	0,104940	0,15790

2. Membuat matriks varians kovarians dari data hasil normalisasi
Berikut ditampilkan hasil perhitungan matriks varians kovarians hasil normalisasi.

$$M = \begin{bmatrix} 0,0991352 & 0,084611 & 0,0757146 \\ 0,0846114 & 0,1065564 & 0,0784420 \\ 0,0757146 & 0,078442 & 0,0924131 \end{bmatrix}$$

3. Membuat persamaan *principal component* (PC) dari nilai eigen vektor matriks varians kovarians.
Berdasarkan perhitungan eigen value dan eigen vektor maka didapatkan persamaan PC sebagai berikut.
 $PC_1 = -0,579226Y_1 - 0,603688 Y_2 - 0,54775 Y_3$
 $PC_2 = 0,280818 Y_1 + 0,483075 Y_2 - 0,829325 Y_3$
 $PC_3 = 0,76527 Y_1 - 0,634192 Y_2 - 0,1103282 Y_3$
4. Menghitung *principal component* (PC) yang dihitung dari perkalian hasil normalisasi dengan persamaan PC yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (14).

Tabel 4.
Hasil Perhitungan *Principal Component*

PC ₁	PC ₂	PC ₃	Composite PC(Ψ)
-0,70844	-0,26064	0,229239	0,78890
-0,21625	0,104841	0,285737	0,37337
-0,94435	-0,11884	0,334716	1,00894

-0,56441	-0,03098	0,172996	0,59114
-1,36176	-0,01609	0,203596	1,37699
-0,60997	-0,30799	0,096187	0,69005
-1,7307	-0,0654	0,0208	1,73205
-0,87427	0,12548	0,058275	0,88514
-0,14985	-0,08025	-0,08397	0,18959

Berdasarkan tabel 4, dengan menggunakan persamaan (15) dapat diketahui bahwa dengan memakai tiga PC, didapatkan nilai *composite principal component* dengan derajat variasi sebesar 100%.

5. Membuat ANOVA dari nilai *composite principal component* untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan.

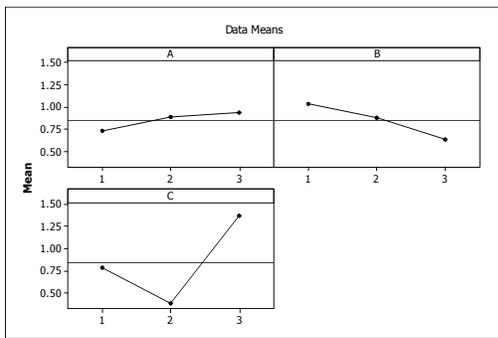
Tabel 5.

Analysis of Variance (ANOVA) Hasil PCA-Taguchi

Source	DF	SS	MS	F hitung	SS ²	p (%)
A	2	0,07369	0,03684	2,16	0,03961	2,15
B	2	0,25356	0,12678	7,44	0,21948	11,92
C	2	1,48053	0,74027	43,45	1,44647	78,53
Error	2	0,03408	0,01704		0,13631	7,40
Total	8	1,84185				100

Pada faktor A, Fhitung sebesar 2,16, Fhitung pada ANOVA bernilai lebih besar dari 2 maka dapat disimpulkan bahwa faktor A berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak. Pada faktor B dan C, Fhitung pada ANOVA bernilai lebih besar dari 2 maka dapat disimpulkan bahwa gerak makan dan sudut ujung pahat berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak. Selain itu juga didapatkan koefisien determinasinya yaitu sebesar 98,15%. Dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi persentase kontribusi *error* nya sebesar 7,4%.

6. Membuat *main effect plot* dari nilai nilai *composite principal component*.



Gambar 1. *Main Efek Plot* Respon *Composite Principal Component* *Hybrid* PCA-Taguchi

Berdasarkan gambar 1, dapat dilihat bahwa kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level yang memiliki nilai mean yang terbesar. Faktor A memberikan pengaruh terbesar pada level 3, faktor B pada level 1 dan faktor C pada level 3 sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi didapatkan kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level A₃B₁C₃.

C. *Optimasi Multirespon dengan Metode PCR-TOPSIS Taguchi*

1. Melakukan transformasi data respon ke dalam SNR dengan menggunakan persamaan (16).

Tabel 6.

Hasil Perhitungan SNR pada Masing-Masing Variabel Respon SNR

Y ₁	Y ₂	Y ₃
-40,6485	0,871795	15,2578
-42,0426	0,512700	12,9371
-37,1834	1,213045	15,2578
-41,2828	1,010424	14,1965
-33,8170	2,202758	15,9774
-42,3514	0,863890	15,2578
-32,2254	3,104243	17,1220
-39,7698	1,845189	14,4249
-44,9816	0,744358	13,5556

2. Menghitung PCR berdasarkan SNR dari setiap respon dengan menggunakan persamaan (19).

Tabel 7.

Hasil Perhitungan PCR-SNR pada Masing-Masing Respon

PCR SNR		
Y ₁	Y ₂	Y ₃
0,181450	-0,260020	-0,211785
0,111943	-0,398502	-0,541532
0,354219	-0,128420	-0,211785
0,149825	-0,206559	-0,362593
0,522063	0,253253	-0,109547
0,096549	-0,263068	-0,211785
0,601417	0,600902	0,053085
0,225266	0,115360	-0,330130
-0,034590	-0,309165	-0,453648

3. Menghitung nilai TOPSIS dari hasil PCR-SNR dengan menggunakan persamaan (21) dan (22) yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai PCR-TOPSIS dengan menggunakan persamaan (20).

Tabel 8.

Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS

Separation Measure		PCR
d ⁺	d ⁻	TOPSIS
0,993838	0,417832	0,295984
1,261729	0,146534	0,104053
0,814355	0,576931	0,414675
1,014257	0,320733	0,240251
0,391926	0,959822	0,71006
1,035129	0,379832	0,26844
0,000000	1,325474	1
0,723944	0,613408	0,458674
1,220453	0,125318	0,09312

4. Membuat ANOVA hasil PCR-TOPSIS untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan.

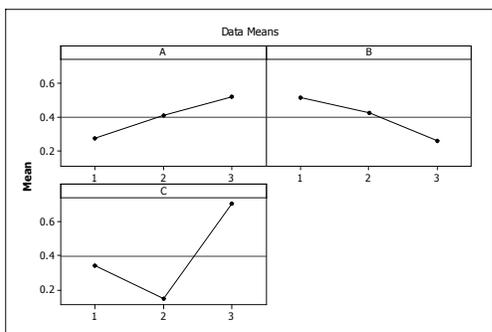
Tabel 9.

ANOVA dari Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS

Source	DF	SS	MS	F hitung	SS ²	p
A	2	0,09083	0,04541	5,76	0,07505	10,80
B	2	0,09929	0,04964	6,30	0,08351	12,01
C	2	0,48929	0,24465	31,02	0,47351	68,11
Error	2	0,01577	0,00789		0,06311	9,08
Total	8	0,69518				100

Pada faktor A, F hitung sebesar 10,8 .Fhitung pada ANOVA bernilai lebih besar dari 2 maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran spindel berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak. Pada faktor gerak makan dan sudut ujung pahat, Fhitung pada ANOVA bernilai lebih besar dari 2 maka dapat disimpulkan bahwa gerak makan dan sudut ujung pahat berpengaruh signifikan terhadap respon secara serentak. Selain itu juga didapatkan koefisien determinasinya yaitu sebesar 97,73%. Hal itu menunjukkan bahwa secara keseluruhan variabel proses dapat menggambarkan variabilitas respon sebesar 97,73%, sedangkan 2,27% lainnya digambarkan oleh variabel lain yang belum dimasukkan dalam proses. Dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi, persentase kontribusi *error* nya sebesar 9,08%.

5. Membuat *main effect plot* dari hasil PCR-TOPSIS untuk mengetahui level faktor yang dapat mengoptimalkan respon secara serentak.



Gambar 2. *Main Efek Plot* Respon PCR Topsis

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level yang memiliki nilai mean yang terbesar. Faktor A memberikan pengaruh terbesar pada level 1 (1250 rpm) faktor B pada level 3 (0,07 mm per putaran) dan faktor C pada level 2 (135°) memberikan pengaruh terhadap respon yang terbesar dari pada level lainnya sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi didapatkan kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level $A_3B_1C_3$.

D. Perbandingan Hasil Analisis Metode PCA-Taguchi dengan PCR-TOPSIS Taguchi

Taksiran nilai optimum pada metode *hybrid* PCA-Taguchi berada pada taraf level optimum $A_3B_1C_3$. Dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi berada pada taraf level optimum yang sama. Perbandingan nilai optimum *hybrid* PCA-Taguchi dengan PCR-TOPSIS Taguchi disajikan pada Tabel 10 sebagai berikut.

Tabel 10.
Perbandingan Nilai Optimum *Hybrid* PCA-Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi

No	Respon	Kondisi Optimum			
		PCA-Taguchi		PCR-TOPSIS Taguchi	
		SNR	Mean	SNR	Mean
1	Gaya Tekan	-32,7192	43,41056	-32,7192	43,41056
2	Momen Torsi	2,984899	0,707667	2,984899	0,707667
3	Delaminasi	16,90379	0,134444	16,90379	0,134444

Berdasarkan Tabel 10, dapat diketahui nilai SNR dan mean masing-masing respon. Pada metode *hybrid* PCA-Taguchi, nilai SNR pada ketiga respon lebih besar dari pada metode PCR-TOPSIS Taguchi dan nilai mean masing-masing respon pada metode PCA-Taguchi lebih kecil dari pada metode PCR-TOPSIS Taguchi. Dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi didapatkan kontribusi *error* sebesar 7,40 %. Sedangkan dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi didapatkan kontribusi *error* sebesar 9,08 %. Selain itu juga didapatkan koefisien determinasinya. Dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi didapatkan koefisien determinasi yaitu sebesar 98,15%. Sedangkan dengan menggunakan metode PCR-TOPSIS Taguchi didapatkan koefisien determinasi sebesar 97,73%. Cara lain yang digunakan untuk mengetahui metode mana yang lebih baik, yaitu melalui *confidence interval* taksiran rata-rata pada tiap respon. Berdasarkan *confidence interval*, dapat diketahui dengan metode *hybrid* PCA-Taguchi pada masing-masing respon nilainya sama karena taksiran nilai optimumnya berada pada taraf level optimum yang sama.

Sehingga dapat diketahui dan disimpulkan bahwa dalam penelitian ini, metode *hybrid* PCA-Taguchi lebih baik dari pada metode PCR-TOPSIS Taguchi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa dengan menggunakan metode *hybrid* PCA-Taguchi dan PCR-TOPSIS Taguchi kondisi optimum dapat dicapai pada kombinasi level yang sama yaitu $A_3B_1C_3$. Berdasarkan empat kriteria yang digunakan sebagai pembanding yaitu nilai mean dan SNR masing-masing respon pada kondisi optimum, persentase kontribusi *error* serta koefisien determinasi maka metode *hybrid* PCA-Taguchi lebih baik dari pada metode PCR-TOPSIS Taguchi karena memiliki persen kontribusi *error* yang lebih kecil dan koefisien determinasi yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Belavendram, N. (1995). *Quality by Design*. Great Britain : Prentice Hall International.
- Callister. (2004). *Material Science and Engineering : An Introduction*. John Wiley & Sons: New York.
- Chiang, Y., Hsieh, H., (2009). *The Use of Taguchi Method with Grey Relational Analysis to Manufacturing, Computers and Industrial Engineering*, Vol. 56, pp 648-661.
- Datta, S., Nandi, G., Bandyopadhyay, A& Kumar, P. (2009). *Applicati on of PCA-Based Hybrid Taguchi Method for Correlated Multicriteria Optimization of Submerged arc Weld : a case study*. *international Journal Manufacturing Technology* 45:276-286.
- Faraz, A., Biermann, D., &Weinert, K. (2009). *Cutting Edge Rounding : An Inovative Tool Wear Criterion in drilling CFRP Composite laminates*. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 49 , 1185-1196.
- Fowlkes, W. Y. (1995). *Engineering methods for Robust Product Design (Using taguchi Methods in Technology and Product Development)*. Massachusetts : Addison Wesley Publishing Company.
- Hwang & Yoon. (1981). *Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* , 186.
- John, R. (2014). *Metode PCR-TOPSIS Taguchi untuk Optimasi Taguchi Multirespon*. *Statistika*, Vol 2, No1, Mei 2014.
- Park, S. (1996). *Robust Design and analysis for quality Engineering*. London: Chapman & Hall.
- Ramasegar, A., Souiyah, M., El-Tayeb, N.S.M. (2012). *Minimizing Push-Out Delamination in Glass Fiber Reinforced Polyester using RSM*. *International Journal of Applied Science and Technology*, Vol.2 No.3 March 2012.
- Rifalda, R. (2014). *Optimasi Multirespon gaya Tekan, Torsi dan Delaminasi pada Penggurdian Maretial Komposit Gelas 7781/ Epoxy dengan gabungan Metode Taguchi-Grey Relational Analysis (GRA)*.
- Rochim, T. (1993). *Teori dan Teknologi Proses Permesinan*. Jakarta : Higher Education Development Support Project.
- Ross, T. J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering : Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*. New York: McGraw-Hill International Edition.
- Soejanto, I. (2009). *Design Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Walpole, R E. (1995). *Pengantar Statistika Edisi ke 3*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.