

ANALISIS UKURAN PORI BIOKOMPOSIT [SERICIN-BIOPLASTIK] PADA BERBAGAI PEMBEKUAN DENGAN METODE TAGUCHI

Gaustama Putra^{*1}

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar
Email: ^{*1}ghostamaputra79@gmail.com

ABSTRACT

Increased demand for medical materials, triggering research into alternative medical materials. Alternative materials should have the same characteristics for the patient's body. Sericin is a protein that has biocompatible, biodegradable and other important properties. Sericin is widely used in biomedical applications, it is thought that sericin is a promising natural resource as an alternative medical material. This study analyzed pore diameter in sericin-bioplastic biocomposites by Taguchi method. Bioplastics of 3 variations of tapioca starch were 16 g, 14 g, and 10 g, mixed 80 ml of aquades and 6 ml of glycerin. Sericin was determined 0.03%, 0.1%, and 0.3% by weight of tapioca starch. The biocomposite undergoes freeze drying process and is frozen at -25oC, -45oC, and -80oC for one day. SEM test to see pore diameter and biocomposite structure. Optimal analysis was performed for optimal combinations of sericin-bioplastic biocomposites.

The SEM results showed pore diameters qualified for regeneration of skin tissue on freezers C -C, F, and I -25oC biocomposites of 41.94 μm , 33.416 μm and 32.743 μm respectively. Calculation of average response and maximum SNR at 16 g tapioca starch, 0.03% sericin and -25oC temperature. The predicted and confidence interval values for averages are large from 11,656 μm and small from 54,602 μm , SNR is large from 31,940 μm and small from 33,642 μm . The optimal experimental conditions for confirmation of large pore diameter for averages were large from 32.342 μm and small from 34.206 μm , large SNR of 32.342 μm and small from 34.206 μm .

Keywords: Composition optimization, alternative medical materials, sericin-bioplastic biocomposites, Taguchi Methods, SEM

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan akan bahan biomaterial dalam bidang medis untuk berbagai keperluan terus meningkat dewasa ini. Hal ini antara lain disebabkan oleh tingginya angka kecelakaan serta meningkatnya kasus kebakaran yang menimbulkan luka bakar yang serius pada korban. Selain itu berbagai kasus penyakit seperti penyakit kanker tulang, patah tulang dan lain-lain yang memerlukan *graft* tulang sintesis. Saat ini produk biomaterial di Indonesia sebagian besar merupakan produk impor dengan harga sangat mahal, serta memerlukan waktu lama di saat produk dibutuhkan.

Berdasarkan hal tersebut memicu perkembangan penelitian dengan berbagai macam metode untuk mendapatkan bahan biokomposit medis alternatif. Penelitian

dilakukan dengan menggunakan material mudah didapat karena ketersediaan yang melimpah di alam, harga murah, dan ramah lingkungan. Material yang digunakan harus bersifat *biocompatible*, *biofunctional*, dan memiliki karakteristik yang baik bagi tubuh penderita. Material diteliti dengan mendalam agar mempunyai persamaan bentuk dan sifat dengan material yang sudah ada. Penelitian yang dilakukan seperti sifat utama material, karakterisasi dari bahan setelah diproses silang, tingkat pori yang terbentuk, perkembangan sel, kadar toksik dan lainnya agar material cocok dan bisa sebagai bagian pengganti pada tubuh pengguna.

Pada riset sebelumnya, telah berhasil dibuat bahan hidroksiapatit untuk cangkok tulang biokramik dari sumber alami (gipsum, kalsit, tulang sapi dan cangkang sotong) [1]. Sementara sintesis makroporos komposit kolagen-hidroksiapatit sebagai kandidat *bone graft*, kolagen disintesis dari cakar ayam. Hasil penelitian mengatakan bahwa kontrol waktu pembekuan mempengaruhi ukuran makroporos dan sifat mekaniknya [2].

Sericin berasal dari kokon ulat sutera *Bombyx mori* (gambar 1). Protein utama yang terkandung di dalam kokon ulat sutera *Bombyx mori*, yaitu serat 75% dan *sericin* 25%. *Sericin* dapat dengan mudah dihilangkan dalam proses *degumming*.

Sericin bersifat hidrofilik, terdiri dari 17-18 asam amino yang sebagian besar memiliki gugus samping polar yang kuat seperti kelompok hidroksil, karboksil dan amino serta banyak mengandung serin yang berkontribusi terhadap sifat yang sangat hidrofilik [3].



Gambar 1. Kokon Ulat Sutera *Bombyx mori*

Dalam bidang kedokteran *sericin* biasanya disilang dengan polimer lain dalam membentuk perancah untuk mendapatkan sifat yang lebih baik pada aplikasi biomedis.

Pati tapioka mengandung bakteri selulosa yang banyak diaplikasikan dalam dunia medis, di antaranya adalah memberikan perawatan pada luka bakar dan dapat juga dijadikan sebagai benang jahit dalam pembedahan [4], dikarenakan bakteri selulosa memiliki kandungan air tinggi, penyerap cairan yang baik, bersifat non-alergenik, dan aman ketika disterilisasi tanpa menyebabkan perubahan karakteristiknya [5].

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa diameter pori yang terbentuk dan optimasi campuran biokomposit *sericin*-bioplastik dengan menggunakan metode Taguchi. Uji SEM dilakukan untuk melihat diameter pori dan struktur yang terbentuk pada biokomposit *sericin*-bioplastik yang mengalami proses pembekuan pada suhu -25°C , -45°C , dan -80°C . Harapan penelitian ini didapatkan campuran optimal dan diameter pori yang cocok dan memenuhi syarat yang ditentukan untuk meregenerasi kulit maupun tulang dan dapat digunakan sebagai bahan medis alternatif yang bersumber dari alam, murah, mudah didapat, dan alami.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bioplastik berasal dari pati tapioka (PT) dengan berat 16 g, 14 g, dan 10 g dicampur dengan 6 ml gliserin (G) dan 80 ml aquades (A) dalam gelas ukur, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 600 rpm, suhu 50°C selama 7 menit (Tabel 1). *Sericin* dari kepompong ulat sutera *Bombyx mori*. direndam dalam 1 liter *n-hexane* di *beaker glass* selama 20 detik untuk menghilangkan *wax* dan dikeringkan. Selanjutnya kepompong dicampur dengan 2,3 liter aquades dan dilakukan proses *autoclaving* pada suhu 120°C selama 30 menit. Kepompong disaring menggunakan kertas filter ukuran $\pm 11 \mu\text{m}$ untuk memisahkan larutan sericin dan serat, selanjutnya proses *freeze drying* untuk mendapatkan bubuk *sericin* (Gambar 2).

Sericin ditentukan sebesar 0,03%, 0,1%, dan 0,3%. Persentase *sericin* didapat dari masing-masing berat tapioka. Tiga variasi *sericin* dicampurkan dengan masing-masing bioplastik 1, 2, dan 3 (Tabel 2) menggunakan *magnetic stirrer* pada putaran 600 rpm dengan suhu 50°C selama 7 menit. Biokomposit di cetak dalam bentuk *disk* dengan cetakan ukuran 15x5 mm dan dibekukan pada suhu -25°C, -45°C, dan -80°C selama 1 hari. Selanjutnya dilakukan proses *freeze drying* selama 1 hari. Teknik *purposive sampling* digunakan dalam pengambilan sampel dan hanya 9 sampel dari 27 sampel dilakukan uji SEM (Tabel 3).

Tabel 1. Proses pembuatan bioplastik

No	Bioplastik			Proses
	PT (g)	A (ml)	G (ml)	
1	16			16 g PT + 80 ml A + 6 ml G
2	14	80	6	14 g PT + 80 ml A + 6 ml G
3	10			10 g PT + 80 ml A + 6 ml G

Persentase pati tapioka didapat dari berat aquades



Gambar 2. Bubuk *sericin* hasil *freeze drying* selama 2 hari

Tabel 2. Komposisi Biokomposit A s/d I

Bioplastik	Sericin		Proses Biokomposit
	%	G	
1	0,03	0,0048	A: Bioplastik 1 + 0,0048g <i>sericin</i>
	0,1	0,016	B: Bioplastik 1 + 0,016g <i>sericin</i>
	0,3	0,048	

			C: Bioplastik 1 + 0,048g <i>sericin</i>
2	0,03	0,0042	D: Bioplastik 2 + 0,0042g <i>sericin</i>
	0,1	0,014	E: Bioplastik 2 + 0,014g <i>sericin</i>
	0,3	0,042	F: Bioplastik 2 + 0,042g <i>sericin</i>
3	0,03	0,003	G: Bioplastik 3 + 0,003g <i>sericin</i>
	0,1	0,01	H: Bioplastik 3 + 0,01g <i>sericin</i>
	0,3	0,03	I: Bioplastik 3 + 0,03g <i>sericin</i>

% *sericin* ditentukan terhadap berat pati tapioka 16g, 14g, dan 10g

Tabel 3. Tabel pengujian SEM sampel biokomposit C, F, dan I

Biokomposit	Konsentrasi	Suhu (°C)		
C	Bioplastik 1 + 0,048g <i>sericin</i>			
F	Bioplastik 2 + 0,042 g <i>sericin</i>	-25	-45	-80
I	Bioplastik 3 + 0,03 g <i>sericin</i>			

2.1. Perencanaan desain eksperimen

Tahap perencanaan eksperimen sebagai berikut:

1. Identifikasi karakteristik kualitas
Biokomposit yang memenuhi syarat untuk material biokomposit medis khusus nya pada kulit dan tulang.
2. Penentuan faktor berpengaruh dan faktor terkendali
 - a. Bioplastik
Bioplastik dari campuran pati tapioka, aquades, dan gliserin.
 - b. *Sericin*
Sericin diproses melalui metode *autoclave* dan *freeze drying*,
 - c. Suhu pembekuan
3. Penentuan setting level faktor
 - a. Bioplastik
Aquades 80 ml dan 6 ml gliserin di campur dengan berat pati tapioka 16 g, 14 g, dan 14 g.
 - b. *Sericin*: 0,03%, 0,1%, dan 0,3%
 - c. Suhu pembekuan: -25°C, -45°C, dan -80°C

2.2. Perancangan metode Taguchi

A. Klasifikasi parameter

Beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas adalah:

1. Faktor *noise*, parameter penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai target.
2. Faktor terkendali, parameter yang nilainya ditentukan oleh peneliti.
3. Faktor *signal*, faktor yang mengubah nilai karakteristik kualitas.
4. Faktor skala, faktor yang digunakan untuk mengubah rata-rata level karakter.

B. Menentukan *Orthogonal Array*

$$db(\text{level}) = l - 1 \quad (1)$$

$$L_n = (l^f) \quad (2)$$

C. Analisis varians (ANOVA)

1. Menghitung rata-rata (*mean*)

$$\mu_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

2. *Signal to Noise Ratio* (SNR)

a. Makin kecil makin baik (*Smaller the better*)

$$SNR_{stb} = -10 \text{ Log } \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (4)$$

b. Makin besar makin baik (*larger the better*).

$$SNR_{ltb} = -10 \text{ Log } \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (5)$$

c. Terbaik pada nominal (*No minal the better*).

$$SNR_{ntb} = 10 \text{ log } 10 \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil pengujian SEM

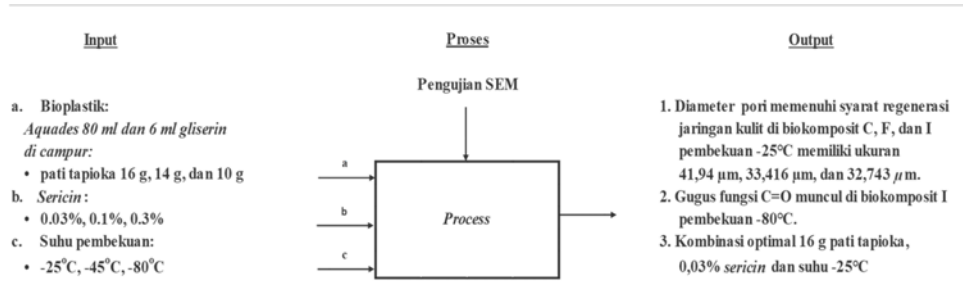
Dari gambar SEM pada biokomposit C pembekuan -25°C dan -45°C jarak pori jauh dan jumlah pori sedikit. Pembekuan -80°C permukaan rapat sehingga ukuran pori kecil (Gambar 4). Biokomposit F pembekuan -25°C memiliki pori tidak merata. Pembekuan -45°C tampak memiliki serat, jarak pori jauh dan permukaan bidang rata. Pembekuan -80°C permukaan bidang sangat rapat dan rata, pori terbentuk hanya di sebagian bidang (Gambar 5).

Biokomposit I pembekuan -25°C bidang permukaan rata dan kasar. Pembekuan -45°C bidang rata, pori merata pada bidang. Pembekuan -80°C permukaan bidang rapat dan rata, pori terbentuk sedikit (Gambar 6).

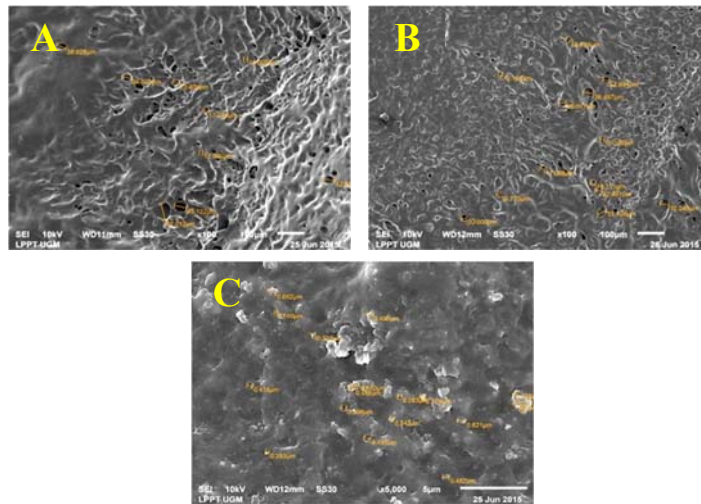
Ukuran diameter pori yang terbentuk pada biokomposit C, F, dan I pada pembekuan -25°C , -45°C , dan -80°C dari uji SEM dibandingkan dengan ukuran rerata pori penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk, (2014), dimana Wang dkk, (2014) melakukan penelitian tentang pembekuan *hydrogel sericin* pada suhu -20°C ($45,22 \mu\text{m} - 316,91 \mu\text{m}$), -80°C ($43,4 \mu\text{m} - 167,13 \mu\text{m}$), dan -196°C ($6,45 \mu\text{m} - 20,56 \mu\text{m}$) (Gambar. 7).

3.2. Porositas

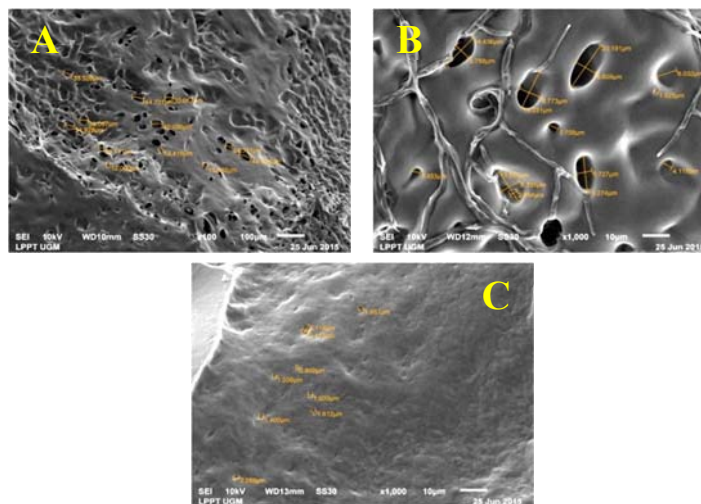
Perbandingan ukuran pori yang terbentuk pada biokomposit didapat kisaran pori. Biokomposit C pembekuan -25°C , -45°C , dan -80°C kisaran rata-rata adalah $41.94 \pm 16.51 \mu\text{m}$ dengan porositas 28.6%, $30.147 \pm 5.567 \mu\text{m}$ dengan porositas 31.9%, dan $0.345 \pm 0.129 \mu\text{m}$ dengan porositas 0.2%. Biokomposit F pembekuan 25°C , -45°C , dan -80°C kisaran rata-rata $33.416 \pm 8.988 \mu\text{m}$ dengan porositas 38.7%, $12.317 \pm 4.171 \mu\text{m}$ dengan porositas 15.7%, dan $3.102 \pm 3.461 \mu\text{m}$ dengan porositas 3.2%. Biokomposit I pembekuan kisaran rata-rata masing-masing adalah $32.743 \pm 11.911 \mu\text{m}$ dengan porositas 38.7%, $53.685 \pm 22.972 \mu\text{m}$ dengan porositas 15.7%, dan $3.387 \pm 1.575 \mu\text{m}$ dengan porositas 3.2%.



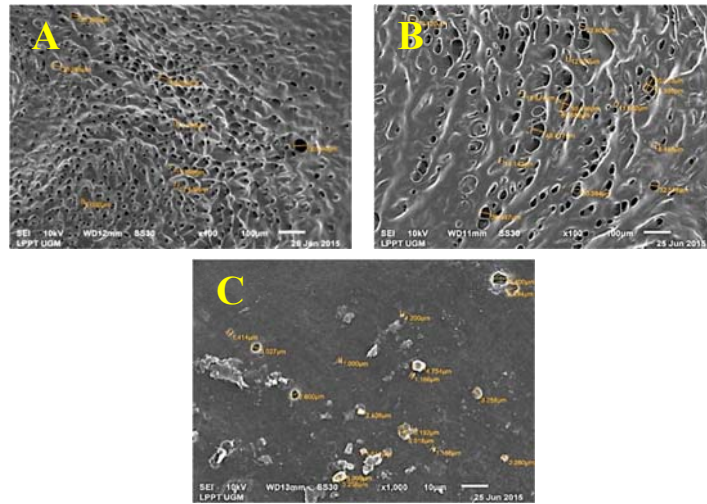
Gambar 3. Sistem *input* dan *output* pembuatan biokomposit *sericin*-bioplastik



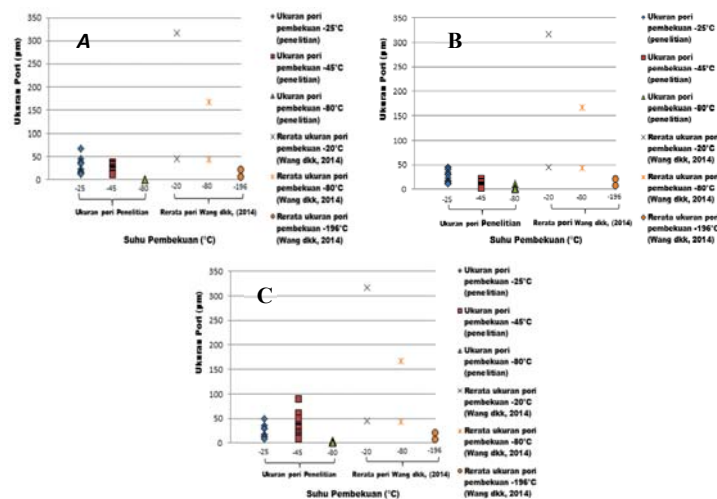
Gambar 4. Hasil SEM biokomposit C pembekuan {(A) -25°C, (B) -45°C, (C) -80°C}



Gambar 5. Hasil SEM biokomposit F pembekuan {(A) -25°C, (B) -45°C, (C) -80°C}



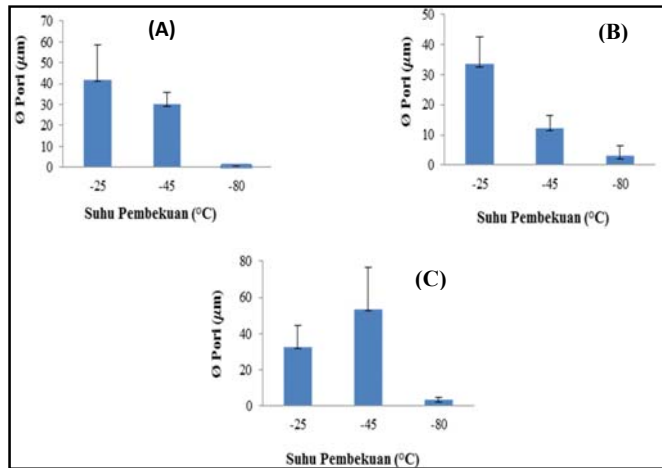
Gambar 6. Hasil SEM biokomposit I pembekuan {(A) -25°C, (B) -45°C, (C) -80°C}



Gambar 7. Perbandingan distribusi pori pembekuan -25°C, -45°C, dan -80°C dengan pori penelitian Wang dkk, (2014). (A) biokomposit C, (B) biokomposit F, (C) biokomposit I.

3.3. Eksperimen Taguchi

Variabel bebas adalah berat pati tapioka (PT) (g), *sericin* (S) (%), dan suhu pembekuan (SP) (°C). Sedangkan nilai dari level yaitu pati tapioka 16 g, 14 g, dan 10 g. *sericin* 0,03%, 0,1%, dan 0,3%, dan suhu pembekuan -25°C, -45°C, dan -80°C.



Gambar 8. Rerata diameter pori dan porositas pembekuan -25°C, -45°C, dan -80°C (A) Biokomposit C, (B) Biokomposit F, (C) biokomposit I

Tabel 4. Variabel bebas dan derajat kebebasan variabel bebas

Variabel Bebas	Level (<i>I</i>)	Nilai Variabel			(<i>I</i> -1)
PT (g)	3	16	14	10	2
S (%)	3	0,3	0,1	0,03	2
SP (°C)	3	-25	-45	-80	2
Total derajat kebebasan					6

Berdasarkan perhitungan matrik *orthogonal array* (OA) adalah $L_9(3^4)$. Jumlah eksperimen 9 kali dengan replikasi 3 kali pada masing-masing sampel. Replikasi dilakukan untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan ketelitian data percobaan. Sehingga jumlah total sampel yang dibuat sebanyak 27 sampel.

Tabel 5. Nilai *mean* dan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR)

No. Eksp	A	B	C	(μ)	SNR
1	1	1	1	36,374	33,275
2	1	2	2	27,019	30,586
3	1	3	3	23,898	29,509
4	2	1	2	20,587	28,123
5	2	2	3	17,604	26,866
6	2	3	1	15,074	25,583
7	3	1	3	13,444	24,750
8	3	2	1	11,439	23,173
9	3	3	2	9,484	21,565

Data penelitian adalah ukuran diameter pori biokomposit pada gambar SEM. Hasil perhitungan *mean* dan SNR pada Tabel 5.

B. Nilai *mean* respon.

$$\mu_1 = 36,374$$

C. Nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR).

$$\eta_1 = 33,275$$

3.4. Anova respon nilai rata-rata (mean)

Perhitungan Anova untuk mencari faktor mempengaruhi nilai respon *mean*.

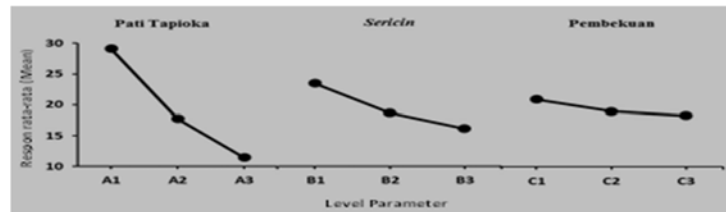
A. Nilai mean semua data percobaan

$$\bar{Y} = 19,436$$

B. Nilai *mean* setiap faktor dan level

Tabel 6. Respon nilai *mean* dari pengaruh faktor dan level

Variabel	Kode	Level			Selisih
		1	2	3	
PT	A	29,09	17,76	11,46	17,64
S	B	23,47	18,69	16,15	7,32
SP	C	20,96	19,03	18,32	2,65



Gambar 9 Grafik respon nilai *mean* dari pengaruh faktor dan level

Berdasarkan Tabel 6, respon *mean* faktor pati tapioka pada level A₁, *sericin* pada level B₁, dan suhu pembekuan pada level C₁.

C. Nilai *sum of square*.

$$ST = 56783,57$$

D. Nilai *sum of squares due to mean*.

$$SS_m = 3399,80$$

E. Nilai *sum of squares due to factors*.

$$SS_A = 8238,19, \quad SS_B = 7048,06$$

$$SS_C = 6833,36$$

F. Nilai *sum of squares due to error*:

$$SSE = 31264,15$$

G. Nilai derajat bebas.

$$db(\text{level})_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

H. Nilai *mean sum of squares*.

$$Mq_A = 4119,09, \quad Mq_B = 3524,03$$

$$Mq_C = 3416,68, \quad MS_e = 422,48$$

I. Nilai F-ratio.

$$Fr_A = 9,75, Fr_B = 8,34, Fr_C = 8,087$$

J. Nilai *pure sum of squares*.

$$SS'_A = 7393,22, SB'_B = 6203,087$$

$$SC'_C = 5988,381, st = 53383,770$$

$$S'_e = 33799,084$$

K. Nilai *percent contribution*.

$$\rho_A = 13,849\%, \rho_B = 11,620\%, \rho_C = 11,218\%$$

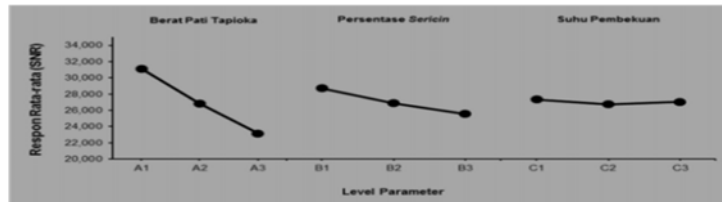
Pooling up dilakukan terhadap faktor Mq_{error} dan nilai *sum of squares* yang terkecil (Tabel 9).

3.5. Anova respon nilai *signal to noise ratio* (SNR)

A. Nilai SNR setiap faktor dan level.

Tabel 7. Respon nilai SNR dari pengaruh faktor dan level

Variabel	Kode	Level			Selisih
		1	2	3	
PT	A	31,12	26,86	23,16	7,96
S	B	28,72	26,88	25,55	3,16
SP	C	27,34	26,76	27,04	0,59



Gambar 10. Grafik respon nilai SNR dari pengaruh faktor dan level

Berdasarkan Tabel 7, pemilihan respon SNR pati tapioka pada level A_1 , *sericin* pada level B_1 , dan suhu pembekuan pada level C_1

B. Nilai total *sum of squares*.

$$ST = 6695,277$$

C. Nilai *sum of squares due to the mean*.

$$SS_m = 6584,245$$

D. Nilai *sum of square due to factors*.

$$SS_A = 95,212, SS_B = 15,147$$

$$SS_C = 0,514$$

E. Nilai *sum of squares due to error*:

$$SSe = 0,160$$

F. Nilai derajat bebas sumber-sumber variansi.

$$db \text{ (level)} v_{A,B,C} = 3 - 1 = 2$$

G. Nilai *mean sum of squares*.

$$Mq_A = 47,606, Mq_B = 7,573,$$

$$Mq_C = 0,257, MS_e = 0,002$$

H. Nilai F-ratio. Persamaan (4.37)

$$Fr_A = 21965,95, Fr_B = 3494,43$$

$$Fr_C = 118,597$$

I. Nilai *pure sum of squares*.

$$SS'_A = 95,207, SB'_B = 15,142$$

$$SC'_C = 0,510, st = 111,033$$

$$S'_e = 0,173$$

J. Nilai *percent contribution*.

$$\rho_A = 85,747\%, \rho_B = 13,638\%$$

$$\rho_C = 0,459\%$$

Pooling dilakukan dengan melakukan *pool* faktor C ke dalam *error* karena nilai *Mq* nya kecil (Tabel 11).

3.6. Prediksi respon dan selang kepercayaan kondisi optimal nilai *mean*

Nilai *mean* seluruh data percobaan adalah $\bar{y} = 19,436$, maka perhitungan respon *mean* prediksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu_{predicted} &= \overline{A1} + \overline{B1} - \bar{y} \\ &= 29,097 + 23,468 - 19,436 \\ &= 33,1 \mu m \end{aligned}$$

Selang kepercayaan *mean* prediksi:

$$CI_{Mean} = \pm \sqrt{4,967 \times 501,283 \times \left[\frac{1}{5,4} \right]}$$

$$CI_{Mean} = \pm 21,5 \mu m$$

Sehingga selang kepercayaan nilai *mean* proses yang optimal adalah:

$$33,1 - 21,5 \leq \mu_{predicted} \leq 33,1 + 21,5$$

$$11,656 \mu m \leq \mu_{predicted} \leq 54,602 \mu m$$

Tabel 8. *Analysis of variance mean*

Faktor	SS	v	Mq	Fr	SS'	ρ %
A	8238,196	2	4119,098	9,750	7393,218	13,849
B	7048,064	2	3524,032	8,341	6203,087	11,620
C	6833,359	2	3416,679	8,087	5988,381	11,218
e	31264,153	74	422,489	1	33799,084	63,313
st	53383,770	80	667,297	-	53383,770	100
Mean	3399,801	1	-	-	-	-

Tabel 9. Hasil setelah *Pooling up mean*

Faktor	Pool	SS	v	Mq	Fr	SS'	ρ %
A		8238,196	2	4119,098	8,217	7235,629	13,554
B		7048,064	2	3524,032	7,030	6045,498	11,325
Pooled e		38097,511	76	501,283	1	40102,643	75,121
st		53383,770	80	667,297		53383,770	100
Mean		3399,801	1				

Tabel 10. *Analysis of variance* SNR

Faktor	SS	v	Mq	Fr	SS'	ρ %
A	95,212	2	47,606	21965,952	95,207	85,747
B	15,147	2	7,573	3494,433	15,142	13,638
C	0,514	2	0,257	118,597	0,510	0,459
e	0,160	2	0,002	1	0,173	0,156
st	111,033	8	13,879	-	111,033	100
Mean	6584,245	1	-	-	-	-

Tabel 11. Hasil setelah *Pooling up* SNR

Faktor	Pool	SS	v	Mq	Fr	SS'	ρ%
A		95,212	2	47,606	282,343	94,874	85,447
B		15,147	2	7,573	44,916	14,809	13,338
Pooled e		0,674	4	0,169	1	1,349	1,215
st		111,033	8	13,879	-	111,033	100
Mean		6584,245	1	-	-	-	-

3.7. Prediksi respon dan selang kepercayaan kondisi optimal nilai SNR.

Nilai rata-rata SNR seluruh data percobaan adalah $\bar{\eta} = 27,048$, maka perhitungan respon SNR prediksi adalah:

$$\begin{aligned} \mu_{predicted} &= \bar{A1} + \bar{B1} - \bar{\eta} \\ &= 31,123 + 28,716 - 27,048 \\ &= 32,8 \mu m \end{aligned}$$

Selang kepercayaan SNR prediksi:

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{7,709 \times 0,169 \times \left[\frac{1}{1,8} \right]}$$

$$CI_{SNR} = \pm 0,9 \mu m$$

Sehingga selang kepercayaan untuk SNR proses yang optimal adalah:

$$32,8 - 0,9 \leq SNR_{predicted} \leq 32,8 + 0,85$$

$$31,940 \mu m \leq SNR_{predicted} \leq 33,642 \mu m$$

3.8. Selang kepercayaan nilai eksperimen konfirmasi

Perhitungan selang kepercayaan nilai eksperimen konfirmasi untuk nilai *mean* dan SNR di bagi ke dalam dua kelompok yaitu ukuran diameter pori besar dan kecil.

1. Untuk nilai *mean*

$$CI_{Mean} = \pm \sqrt{4,97 \times 501,28 \times \left[\frac{1}{5,4} + \frac{1}{9} \right]}$$

$$CI_{Mean} = \pm 27,16 \mu m$$

2. Untuk nilai SNR

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{7,71 \times 0,17 \times \left[\frac{1}{1,8} + \frac{1}{9} \right]}$$

$$CI_{SNR} = \pm 0,93 \mu m$$

A. Diameter pori besar

Tabel 12. Data hasil penelitian pori besar

No.	Diameter pori (μm)	No.	Diameter pori (μm)	Rata-rata	Variansi	Deviasi	SNR
1	67,912	6	12,000	36,37	902,67	30,045	33,27
2	36,497	7	50,040				
3	0,495	8	89,889				
4	44,944	9	5,400				
5	20,191	-	-				

Dari Tabel 12, rata-rata 36,37 μm , nilai SNR 33,27 μm , maka selang kepercayaan proses konfirmasi:

1. untuk *mean*:

$$36,37 - 27,16 \leq \mu_{conf} \leq 36,37 + 27,16$$

$$9,213 \mu m \leq \mu_{conf} \leq 63,535 \mu m$$

2. untuk SNR

$$33,27 - 0,93 \leq \mu_{conf} \leq 33,27 + 0,93$$

$$32,342 \mu m \leq \mu_{conf} \leq 34,206 \mu m$$

B. Diameter pori kecil

Tabel 13. Data hasil penelitian pori kecil

No.	Diameter pori (μm)	No.	Diameter pori (μm)	Rata-rata	Variansi	Deviasi	SNR
1	12,000	6	0,800	6,13	25,875	5,087	17,82
2	10,770	7	8,000				
3	0,160	8	8,485				
4	12,000	9	1,414				
5	1,523	-	-				

Dari Tabel 13, rata-rata 6,13 μm , nilai SNR 17,82 μm , maka selang kepercayaan proses konfirmasi:

1. untuk *mean*:

$$6,13 - 27,161 \leq \mu_{conf} \leq 6,128 + 27,161$$

$$-21,033 \mu m \leq \mu_{conf} \leq 33,289 \mu m$$

2. untuk SNR

$$17,82 - 0,93 \leq \mu_{conf} \leq 17,82 + 0,93$$

$$16,889 \mu m \leq \mu_{conf} \leq 18,753 \mu m$$

4. KESIMPULAN

Diameter pori memenuhi syarat untuk untuk regenerasi jaringan kulit menurut Wang dkk, (2014) adalah 20 ~125 μm , nilai ini cocok dengan diameter pori pembekuan -25°C biokomposit C: 41,94 μm , F: 33,416 μm dan I: 32,743 μm . Pembekuan -45°C biokomposit C: 30,147 μm dan F: 53,685 μm . Perhitungan respon mean dan SNR didapat urutan rancangan maksimal yaitu berat pati tapioka 16 g (A1), persentase *sericin* 0,03% (B1), dan suhu pembekuan -25°C (C1). Perhitungan nilai prediksi respon dan selang kepercayaan didapat *mean* prediksi besar dari 11,656 μm dan kecil dari 54,602 μm . SNR prediksi besar dari 31,940 μm dan kecil dari 33,642 μm . Kondisi optimal eksperimen konfirmasi nilai *mean* diameter pori besar, besar dari 9,213 μm dan kecil dari 63,535 μm . Untuk SNR besar dari 32,342 μm dan kecil dari 34,206 μm , Kondisi optimal eksperimen konfirmasi nilai *mean* diameter pori kecil, besar dari -21,033 μm dan kecil dari 33,289 μm . SNR besar dari 16,889 μm dan kecil dari 18,753 μm .

5. SARAN

1. Kontrol waktu untuk pembekuan perlu difariasikan, karena bisa mempengaruhi ukuran *makroporous* dan kekuatan biokomposit tersebut.
2. Untuk melakukan pembekuan -25°C, -45°C, dan -80°C, mesin pendingin sebaiknya dilakukan disatu tempat, agar tidak ada perbedaan perlakuan saat proses *freeze drying*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Herliansyah, M.K., Muzafar, C., Tontowi, A.E., 2012, Natural Bioceramics Bone Graft: A Comparative Study of Calcite Hydroxyapatite, Gypsum Hydroxyapatite, Bovine Hydroxyapatite and Cuttlefish Shell Hydroxyapatite, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference.
- [2] Ichsan, M.Z., Siswanto., Hikmawati, D., 2013, Sintesis Komposit Kolagen-Hidroksiapatit Sebagai Kandidat Bone Graft, Jurnal Fisika dan Terapannya, Vol 1, No.1, Januari 2013. Hal 2-3.
- [3] Kundu, S.C., Dash, B.C., Dash, R., Kaplan, D.L., 2008, Natural Protective Glue Protein, *Sericin Bioengineered by Silkworms: Potential for Biomedical and Biotechnological Applications*, *Progress in Polymer Science.*, 33: 998–1012.
- [4] Hoenich, N., 2006, Cellulose for Medical Applications: Past, Present, and Future. *BioRes.* 1 (2).270-280.
- [5] Ciechańska, D., 2004, Multifunctional Bacterial Cellulose/Chitosan Composite Material for Medical Applications. *Journal of Fibres & Textiles in Eastern Europe*. Vol. 12. No. 4.48.