

Analisis Ukuran Pori Biokomposit (*Sericin-Bioplastik*) pada Berbagai Suhu Pembekuan Awal dengan Metode Taguchi

Gaustama Putra dan Alva Edy Tontowi
Pascasarjana Teknik Industri, Bidang Sistem Manufaktur, Universitas Gadjah Mada
ghostamaputra@gmail.com

(Makalah: Diterima September 2019, direvisi Juni 2019, dipublikasikan November 2019)

Intisari— Kebutuhan Biomaterial bidang medis dalam berbagai keperluan terus meningkat. Produk biomaterial di Indonesia kebanyakan adalah produk impor, harganya mahal dan membutuhkan waktu lama saat dibutuhkan. Berdasarkan hal ini, penelitian di bidang biokomposit makin meningkat. Sericin adalah protein yang biokompatibel, biodegradable dan sifat penting lainnya. Sericin banyak digunakan dalam aplikasi biomedis dan merupakan bahan alami yang menjanjikan sebagai bahan medis alternatif. Tujuan penelitian adalah menganalisis diameter pori yang terbentuk dan campuran optimal biokomposit sericin-bioplastik dengan menggunakan metode Taguchi. SEM dan FTIR untuk melihat diameter pori dan struktur biokomposit. Bahan yang digunakan pati tapioka 16g, 14g dan 10g, aquades 80 ml dan glicerin 6 ml, sericin 0,03, 0,1, dan 0,3%. Biokomposit mengalami proses freeze drying dan pembekuan pada -25°C, -45°C dan -80°C. Hasil penelitian untuk respon rata-rata dan SNR, maksimum pada 16g tepung tapioka, 0,03% sericin dan pembekuan -25°C. SEM menunjukkan pembekuan -25°C biokomposit C: 41,94 µm, F: 33,416 µm, dan I: 2,743 µm memenuhi syarat regenerasi jaringan kulit. Nilai prediksi dan interval kepercayaan rata-rata besar 11,656 µm dan kecil 54,602 µm, SNR besar 31,940 µm dan kecil 33,642 µm. Nilai konfirmasi secara eksperimental kondisi optimal diameter pori besar untuk rata-rata lebih besar dari 32,342 µm dan lebih kecil dari 34,206 µm, SNR lebih besar dari 32,342 µm dan kecil 34,206 µm. pembekuan I biokomposit -80 C muncul gugus fungsi C=O yang tidak ada dalam sampel lain.

Kata kunci— Komposisi optimasi, bahan alternatif medis, biokomposit sericin- bioplastik, metode Taguchi, SEM, freze drying.

Abstract— The need for Biomaterials in the medical field for various purposes continues to increase. Most of biomaterial products available in Indonesia are imported products. They are expensive and take a long time to provide. Due to these reasons, research in the field of biocomposites is increasing. Sericin is a protein that is biocompatible, biodegradable and has other important properties. Sericin is widely used in biomedical applications and is a promising natural material as an alternative medical material. The aim of the study was to analyze the pore diameter formed and the optimal mixture of sericin-bioplastics biocomposite using the Taguchi method. SEM and FTIR were also employed to see the pore diameter and biocomposite structure. The materials used were 16g, 14g and 10g of tapioca starch, 80 ml of aquades and 6 ml of glycerin, as well as 0.03, 0.1 and 0.3% sericin. Biocomposite underwent a freeze drying and freezing process at -25°C, -45°C and -80°C. The results showed that the maximum mean and SNR responses were at 16g tapioca starch, 0.03% sericin and freezing temperature of -25°C. SEM showed that freezing at -25°C for biocomposite C: 41.94 µm, biocomposite F: 33.416 µm, and biocomposite I: 2.743 µm fulfilled the requirements for skin tissue regeneration. Predicted mean values and confidence intervals for large and small pore sizes were 11.656 µm and 54.602 µm, SNR values for large and small pore sizes were 31.940 µm and 33.642 µm. The mean experimental confirmation values of optimal conditions for pores with large diameters were greater than 32.342 µm and smaller than 34.206 µm, SNRs were greater than 32.342 µm and smaller than 34.206 µm. The freezing of biocomposite I at -80 C yielded C=O functional group which was not present in other samples.

Keywords— Optimal composition, alternative medical material, sericin-bioplastic composite, Taguchi method, SEM, freeze-drying.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan 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 disaat produk dibutuhkan (Darwis dan Abbas, 2010)

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.

Herliansyah dkk, (2012) berhasil membuat bahan hidroksipatit untuk cangkok tulang biokramik dari sumber alami (gipsum, kalsit, tulang sapi dan cangkang sotong). Ichsan dkk, (2013) melakukan sintesis makroporos komposit kolagen-hidroksipatit sebagai kandidat *bone graft*, kolagen disintesis dari cakar ayam. Hasil penelitian mengatakan bahwa kontrol waktu pembekuan mempengaruhi ukuran makroporos dan sifat mekaniknya. *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 (Kundu dkk, 2008).



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 (Hoenich, 2006), dikarenakan bakteri selulosa memiliki kandungan air tinggi, penyerap cairan yang baik, bersifat *non-alergenik*, dan aman ketika disterilisasi tanpa menyebabkan perubahan karakteristiknya (Ciechańska, 2004).

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa diameter pori yang terbentuk dan optimasi campuran biokomposit *sericin*-bioplastik dengan menggunakan metode Taguchi. Uji SEM dan FTIR 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.

II. BAHAN DAN METODE

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). 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 ± 11 µm 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	PT (g)	Bioplastik		Proses
		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

Percentase pati tapioka didapat dari berat aquades



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

TABEL 2.
KOMPOSISI BIOKOMPOSIT A S/D I

Bio plastik	Sericin %	Sericin g	Proses Biokomposit
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>

	0,03	0,0042	D: Bioplastik 2 + 0,0042g <i>sericin</i>
2	0,1	0,014	E: Bioplastik 2 + 0,014g <i>sericin</i>
			F: Bioplastik 2 + 0,042g <i>sericin</i>
	0,3	0,042	
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>					

Perencanaan desain eksperimen

Tahap perencanaan eksperimen sebagai berikut:

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

Perancangan metode Taguchi

A. Klasifikasi parameter

Beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas adalah:

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

B. Menentukan *Orthogonal Array*

$$db (level) = l - 1$$

(1)

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

C. Analisis varians (ANOVA)

- Menghitung rata-rata (mean)

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

- Signal to Noise Ratio (SNR)

- Makin kecil makin baik (*Smaller the better*)

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

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

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

- Terbaik pada nominal (*Nominal the better*).

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

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian SEM

Dari hasil 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 a,b,c). 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 4 d,e,f).

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 4 g,h,i).

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 μ m - 316,91 μ m), -80°C (43,4 μ m - 167,13 μ m), dan -196°C (6,45 μ m - 20,56 μ m) (Gambar. 5).

Porositas

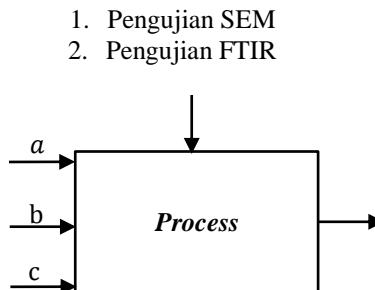
Perbandingan ukuran pori yang terbentuk pada biokomposit didapat kisaran pori. Biokomposit C pembekuan -25°C, -45°C, dan -80°C kisaran rata-rata masing-masing adalah $41.94 \pm 16.51 \mu$ m dengan porositas 28.6%, $30.147 \pm 5.567 \mu$ m dengan porositas 31.9%, dan $0.345 \pm 0.129 \mu$ m dengan porositas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

porositas 3.2%. Biokomposit I masing-masing 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%.

Input

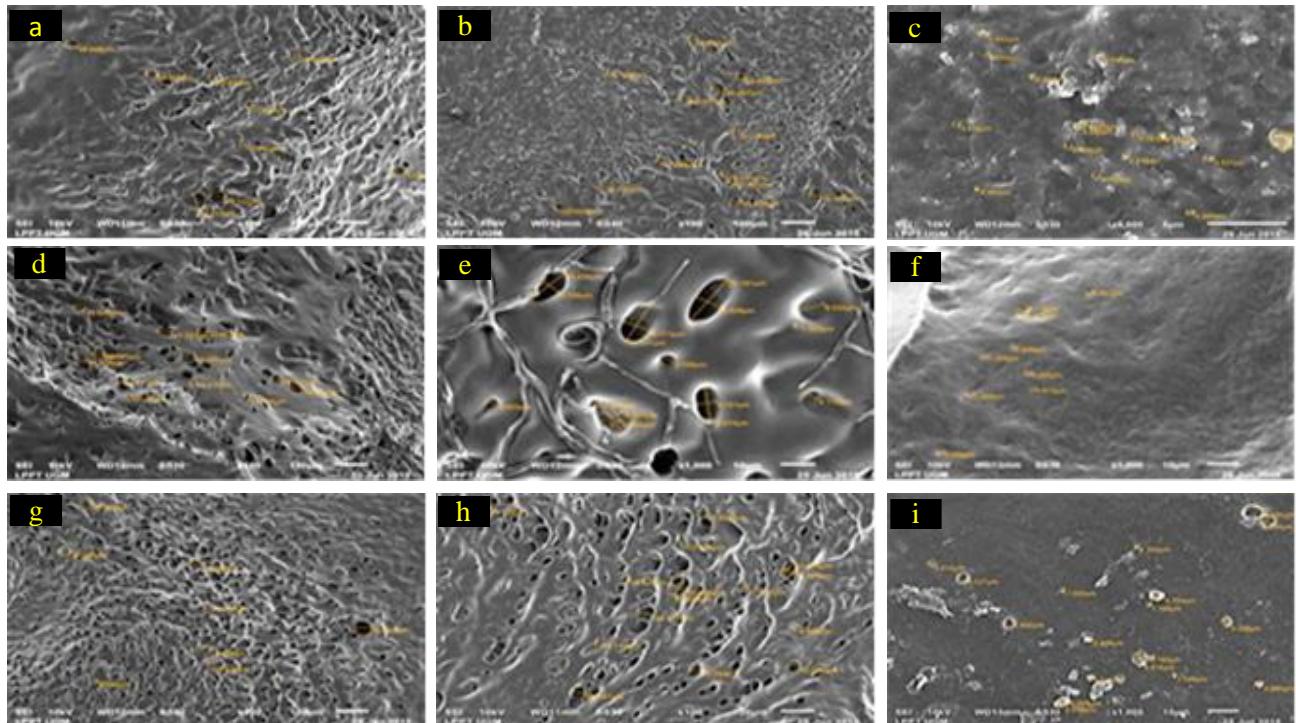
- a. Bioplastik:
Aquades 80 ml dan 6 ml gliserin di campur:
 - pati tapioka 16 g, 14 g, dan 10 g
- b. Sericin:
 - 0.03%, 0.1%, 0.3%
- c. Suhu pembekuan:
 - -25°C, -45°C, -80°C



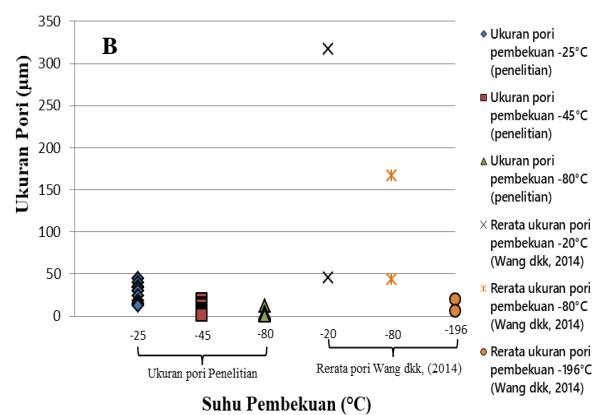
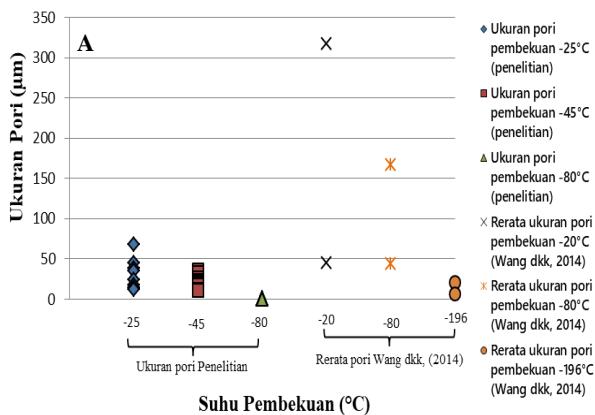
Output

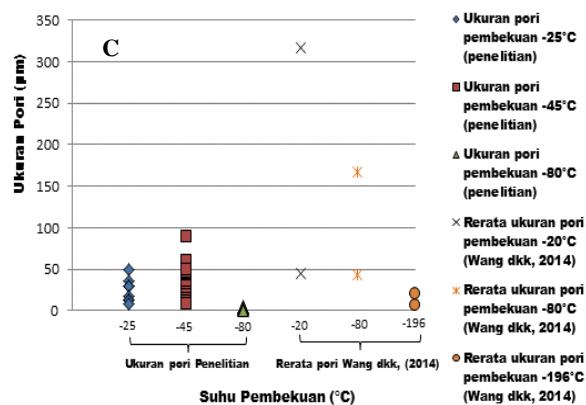
1. Diameter pori memenuhi syarat regenerasi jaringan kulit di biokomposit C, F, dan I pembekuan -25°C memiliki ukuran masing-masing $41.94 \mu\text{m}$, $33.416 \mu\text{m}$, dan $32.743 \mu\text{m}$.
2. Gugus fungsi C=O muncul di biokomposit I pembekuan -80°C.
3. Kombinasi optimal 16 g pati tapioka, 0.03% sericin dan suhu -25°C

Gambar 3. Sistem *input* dan *output* pembuatanbiokomposit sericin-bioplastik

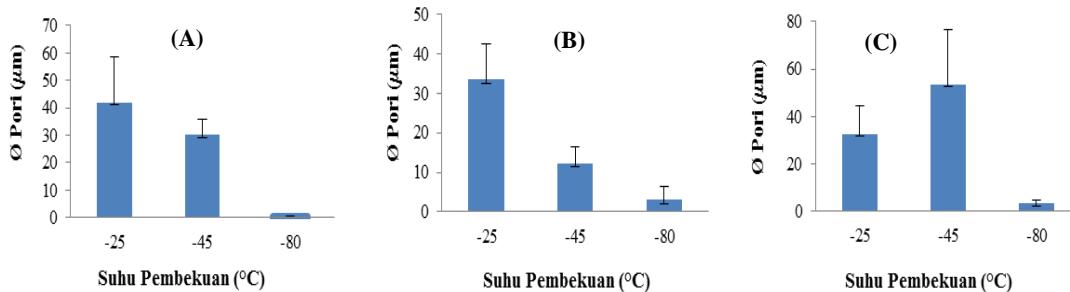


Gambar 4. Hasil SEM biokomposit C {(a) -25°C, (b) -45°C, (c) -80°C}, biokomposit F {(d) -25°C, (e) -45°C, (f) -80°C}, biokomposit I {(g) -25°C, (h) -45°C, (i) -80°C}





Gambar 5. 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



Gambar 6. Rerata diameter pori dan porositas pembekuan -25°C , -45°C , dan -80°C (A) Biokomposit C, (B) Biokomposit F, (C) biokomposit I

Eksperimen Taguchi

Variabel bebas adalah berat pati tapioka (PT) (g), sericin (S) (%), dan suhu pembekuan (SP) ($^{\circ}\text{C}$). 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 .

TABEL 4.

VARIABEL BEBAS DAN DERAJAT KEBEBASAN VARIABEL BEBAS

V Bebas	Level (<i>l</i>)	Nilai Variabel			(<i>l</i> -1)
PT (g)	3	16	14	10	2
S (%)	3	0,3	0,1	0,03	2
SP ($^{\circ}\text{C}$)	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.

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.

A. Nilai *mean* respon.

$$\mu_1 = 36,374$$

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

$$\eta_1 = 33,275$$

Anova respon nilai rata-rata (*mean*)

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

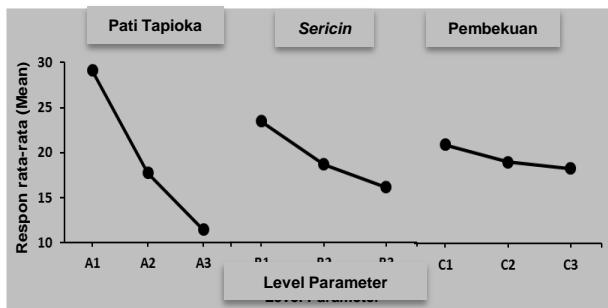
A. Nilai *mean* semua data percobaan

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

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 7. 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.

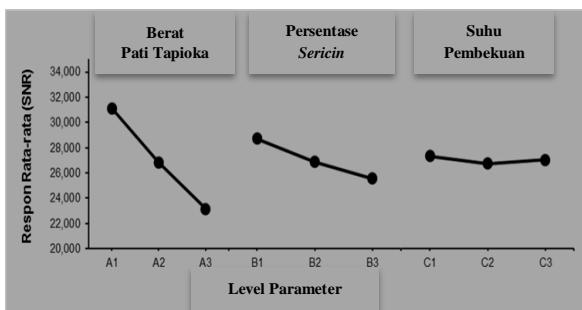
$$SS_A = 8238,19, SS_B = 7048,06$$

$$SS_C = 6833,36$$

F. Nilai sum of squares due to error:

$$SSe = 31264,15$$

G. Nilai derajat bebas.



Gambar 8. Grafik respon nilai SNR dari pengaruh faktor dan level

Berdasarkan Tabel 7, pemilihan respon SNR pati tapioka pada level A₁, sericin pada level B₁, dan suhu pembekuan pada level C₁.

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.

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

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)

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

H. Nilai mean sum of squares.

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

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

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).

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 1	Level 2	Level 3	Selisih
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

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

$$Fr_C = 118,597$$

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).

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:

$$\begin{aligned} \mu_{predicted} &= \bar{A}_1 + \bar{B}_1 - \bar{y} \\ &= 29,097 + 23,468 - 19,436 \\ &= 33,1 \mu m \end{aligned}$$

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	-	-	-	-

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:

$$\begin{aligned}\mu_{predicted} &= \bar{A}1 + \bar{B}1 - \bar{\eta} \\ &= 31,123 + 28,716 - 27,048 \\ &= 32,8 \mu\text{m}\end{aligned}$$

Selang kepercayaan SNR prediksi:

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

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

Sehingga selang kepercayaan untuk SNR proses yang optimal adalah:

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

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

Selang kepercayaan nilai eksperimen konfirmasi

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

1. Untuk nilai *mean*

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

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

2. Untuk nilai SNR

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

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

A. Diameter pori besar

TABEL 12.

DATA HASIL PENELITIAN PORI BESAR

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

Dari Tabel 13, rata-rata $36,37 \mu\text{m}$, nilai SNR 33,27 μm , maka selang kepercayaan proses konfirmasi:

1. untuk mean:

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

$$9,213 \mu\text{m} \leq \mu_{conf} \leq 63,535 \mu\text{m}$$
2. untuk SNR

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

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

B. Diameter pori kecil

TABEL 13.
DATA HASIL PENELITIAN PORI KECIL

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

Dari Tabel 14, rata-rata $6,13 \mu\text{m}$, nilai SNR 17,82 μm , maka selang kepercayaan proses konfirmasi:

1. untuk mean:

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

$$-21,033 \mu\text{m} \leq \mu_{conf} \leq 33,289 \mu\text{m}$$
2. untuk SNR

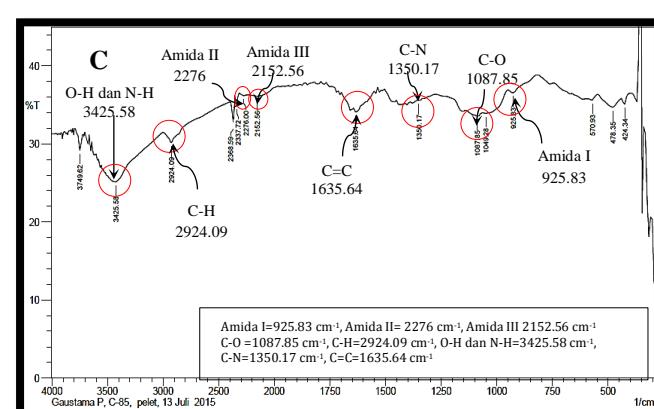
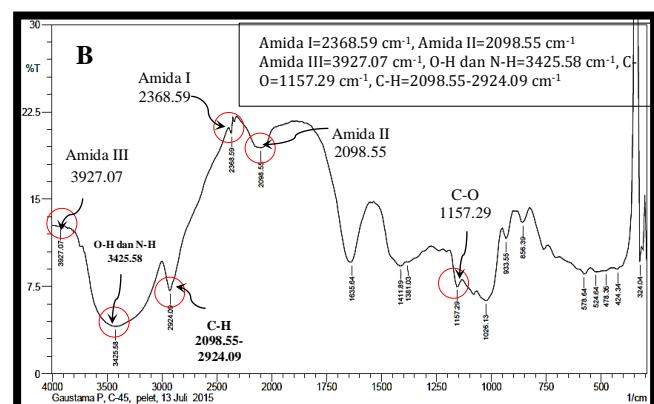
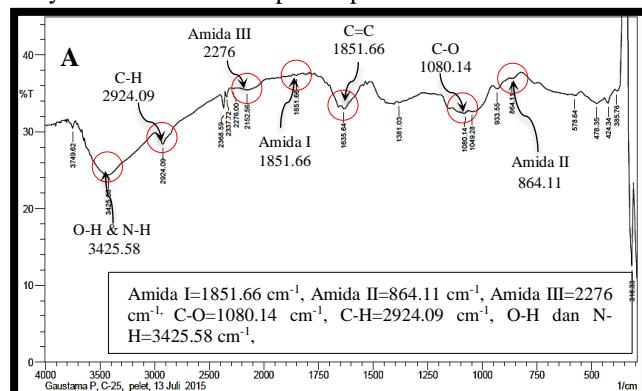
$$17,82 - 0,93 \leq \mu_{conf} \leq 17,82 + 0,93$$

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

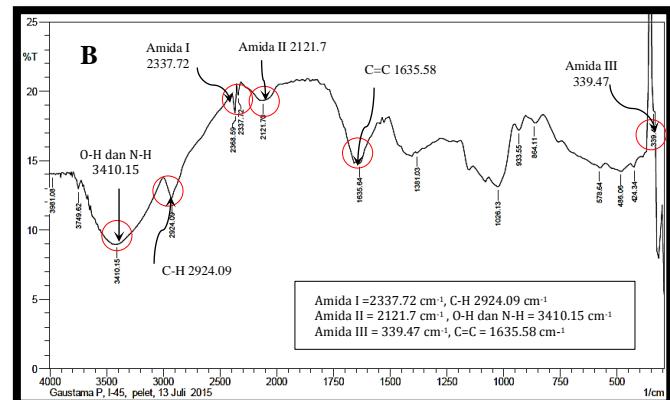
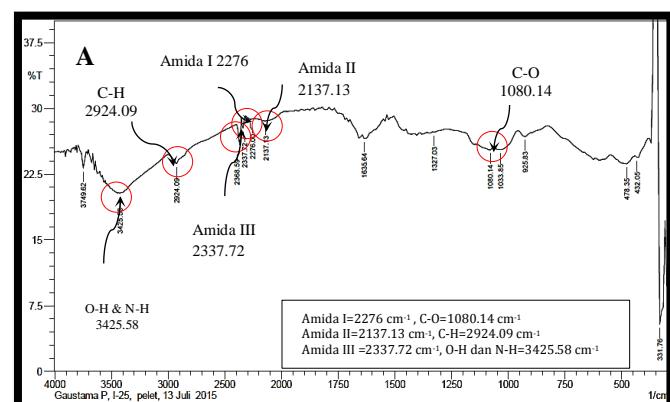
Analisa sampel biokomposit hasil FTIR

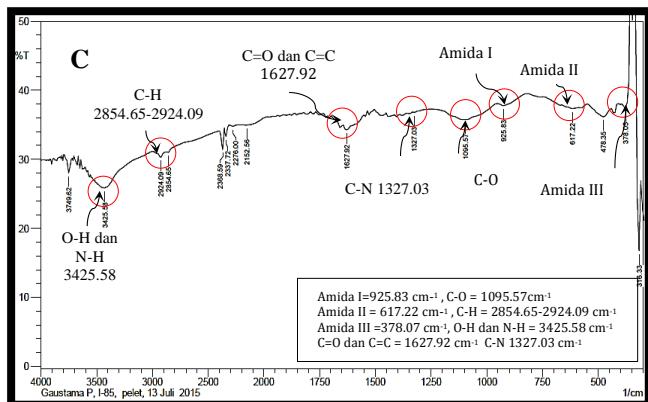
Perancah biokomposit *sericin*-bioplastik pada 3 variasi pembekuan konformasi ditentukan dengan identifikasi posisi puncak amida I, II dan III masing-masing sesuai dengan gugus fungsi yang terdapat di setiap sampel pengujian FTIR.

Pengujian FTIR pada sampel biokomposit C dan biokomposit I pada pembekuan -25°C mempunyai kesamaan nilai yang terbentuk terhadap gugus fungsi C=O, C-H, O-H, dan N-H masing-masing 1080.14 cm^{-1} , 2924.09 cm^{-1} , 3425.58 cm^{-1} , dan 3425.58 cm^{-1} . Gugus fungsi C=O hanya muncul di biokomposit I pembekuan -80°C .



Gambar 9. Grafik FTIR biokomposit C (A) pembekuan -25°C , (B) pembekuan -45°C , (C) pembekuan -80°C





Gambar 10. Grafik FTIR biokomposit I (A) pembekuan -25°C, (B) pembekuan -45°C, (C) pembekuan -80°C

IV. KESIMPULAN

1. Diameter pori memenuhi syarat 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 .
2. Perhitungan respon *mean* dan SNR urutan rancangan maksimal yaitu berat pati tapioka 16 g (A1), persentase *sericin* 0,03% (B1), dan suhu pembekuan -25 °C (C1)
3. 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 .
4. 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 ,
5. 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 .
6. Pengujian FTIR sampel biokomposit C dan biokomposit I pada pembekuan -25°C mempunyai kesamaan nilai terhadap gugus fungsi C-O, C-H, O-H, dan N-H masing-masing 1080.14 cm⁻¹, 2924.09 cm⁻¹, 3425.58 cm⁻¹, dan 3425.58 cm⁻¹. pada biokomposit I pembekuan -80°C muncul gugus fungsi C=O dengan nilai 1627.92 cm⁻¹.

REFERENSI

- [1] Ciechańska, D., 2004, Multifunctional Bacterial Cellulose/Chitosan Composite Material for Medical Applications. Journal of Fibres & Textiles in Eastern Europe. Vol. 12. No. 4.48
- [2] Darwis, D., dan Abbas, B., 2010, Aplikasi Isotop dan Radiasi Dalam Pembuatan dan Pengembangan Bahan Biomaterial Untuk Keperluan Klinis, Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VI, Jakarta, 15-16 Juni 2010.
- [3] 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.
- [4] Hoenich, N., 2006, Cellulose for Medical Applications: Past, Present, and Future. BioRes. 1 (2).270-280.
- [5] Ichsan, M.Z., Siswanto., Hikmawati, D., 2013, Sintesis Komposit Kolagen-Hidroksipatit Sebagai Kandidat Bone Graft, Jurnal Fisika dan Terapannya, Vol 1, No.1, Januari 2013. Hal 2-3.

- [6] Wang, Z., Zhang, Y., Zhang, J., Huang, L., Liu, J., Li, Y., Zhang, G., Kundu, S.C., dan Wang, L., 2014, Exploring Natural Silk Protein Sericin for Regenerative Medicine: an Injectable, Photoluminescent, Cell-Adhesive 3D Hydrogel, Scientific Reports, 4 : 7064, DOI: 10.1038/srep07064.