

## BAB IV

### DATA DAN ANALISIS

#### 4.1 Kebutuhan Bahan Yang Digunakan

Pada penelitian yang dilakukan kali ini menggunakan beberapa bahan yang digunakan selama proses pembuatan sampel percobaan dan selanjutnya melakukan proses pengujian yakni konduktivitas termal. Perhitungan kebutuhan bahan yang digunakan menggunakan fraksi massa dengan mempertimbangkan ukuran dari cetakan yang digunakan. Ukuran cetakan sampel yang digunakan adalah 100 mm x 50 mm x 20 mm. Estimasi atau perkiraan kebutuhan dari beberapa bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### 1. Komposisi Filler Serbuk Cangkang Telur 55% dan 45% Matriks

- Karet Alam	= 100 phr		
- Sulfur	= 25 phr		
- ZnO	= 5 phr		
- Stearic Acid	= 2 phr		
Total Matriks	= 132 phr		45% Matriks
Total Formula Kompon Ebonit = $\frac{132}{45\%} = 293,33$ phr			
Filler Serbuk Cangkang Telur	= 293,33 - 132		55% Filler
	= 161,33 phr		

Mencari Jumlah Massa Setiap Komposisi:

- Karet Alam	= $\frac{100}{293,33} = 0,340 \times 480 \text{ gr} = 163,64 \text{ gr}$
- Sulfur	= $\frac{25}{293,33} = 0,085 \times 480 \text{ gr} = 40,91 \text{ gr}$
- ZnO	= $\frac{5}{293,33} = 0,017 \times 480 \text{ gr} = 8,18 \text{ gr}$
- Stearic Acid	= $\frac{2}{293,33} = 0,007 \times 480 \text{ gr} = 3,27 \text{ gr}$
- Serbuk Cangkang Telur	= $\frac{161,33}{293,33} = 0,550 \times 480 \text{ gr} = 263,99 \text{ gr}$

Konversi Karet Alam – Lateks (Karet Cair) berdasarkan standar karet alam dan lateks ASTM D.1076 dengan DRC (*Dry Rubber Content*) sebesar 60% = 0,6.

$$\text{Lateks yang dibutuhkan adalah sebesar} = \frac{163,64 \text{ gr}}{0,6} = 272,73 \text{ gr}$$

Untuk membuat sampel dengan komposisi 55% *filler* serbuk cangkang telur ayam dan 45% matriks karet alam cair maka dibutuhkan bahan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 269,99 gr, sulfur sebanyak 40,91 gr, ZnO sebanyak 8,18 gr, stearic acid sebanyak 3,27 gr, dan lateks cair sebanyak 272,73 gr.

## 2. Komposisi Filler Serbuk Cangkang Telur 60% dan 40% Matriks

- Karet Alam	= 100 phr	←	40% Matriks
- Sulfur	= 25 phr		
- ZnO	= 5 phr		
- Stearic Acid	= 2 phr		
Total Matriks	= 132 phr		
Total Formula Kompon Ebonit = $\frac{132}{40\%} = 330 \text{ phr}$			
Filler Serbuk Cangkang Telur	= 330 – 132	←	60% <i>Filler</i>
	= 198 phr		

Mencari Jumlah Massa Setiap Komposisi:

- Karet Alam	= $\frac{100}{330} = 0,300 \times 480 \text{ gr} = 145,45 \text{ gr}$
- Sulfur	= $\frac{25}{330} = 0,080 \times 480 \text{ gr} = 36,36 \text{ gr}$
- ZnO	= $\frac{5}{330} = 0,020 \times 480 \text{ gr} = 7,27 \text{ gr}$
- Stearic Acid	= $\frac{2}{330} = 0,006 \times 480 \text{ gr} = 2,91 \text{ gr}$
- Serbuk Cangkang Telur	= $\frac{198}{330} = 0,600 \times 480 \text{ gr} = 288 \text{ gr}$

Konversi Karet Alam – Lateks (Karet Cair) berdasarkan standar karet alam dan lateks ASTM D.1076 dengan DRC (*Dry Rubber Content*) sebesar 60% = 0,6.

Lateks yang dibutuhkan adalah sebesar  $= \frac{145,45 \text{ gr}}{0,6} = 242,42 \text{ gr}$

Untuk membuat sampel dengan komposisi 60% *filler* serbuk cangkang telur ayam dan 40% matriks karet alam cair maka dibutuhkan bahan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 288 gr, sulfur sebanyak 36,36 gr, ZnO sebanyak 7,27 gr, stearic acid sebanyak 2,91 gr, dan lateks cair sebanyak 242,42 gr.

### 3. Komposisi Filler Serbuk Cangkang Telur 65% dan 35% Matriks

- Karet Alam	= 100 phr	←	35% Matriks
- Sulfur	= 25 phr		
- ZnO	= 5 phr		
- Stearic Acid	= 2 phr		
Total Matriks	= 132 phr		

Total Formula Kompon Ebonit  $= \frac{132}{35\%} = 377,14 \text{ phr}$

Filler Serbuk Cangkang Telur  $= 377,14 - 132$   
 $= 245,14 \text{ phr}$  ← 65% Filler

Mencari Jumlah Massa Setiap Komposisi:

- Karet Alam	$= \frac{100}{377,14} = 0,270 \times 480 \text{ gr} = 127,32 \text{ gr}$
- Sulfur	$= \frac{25}{377,14} = 0,070 \times 480 \text{ gr} = 31,82 \text{ gr}$
- ZnO	$= \frac{5}{377,14} = 0,013 \times 480 \text{ gr} = 6,36 \text{ gr}$
- Stearic Acid	$= \frac{2}{377,14} = 0,005 \times 480 \text{ gr} = 2,55 \text{ gr}$
- Serbuk Cangkang Telur	$= \frac{245,14}{377,14} = 0,650 \times 480 \text{ gr} = 311,99 \text{ gr}$

Konversi Karet Alam – Lateks (Karet Cair) berdasarkan standar karet alam dan lateks ASTM D.1076 dengan DRC (*Dry Rubber Content*) sebesar 60% = 0,6.

Lateks yang dibutuhkan adalah sebesar  $= \frac{127,32 \text{ gr}}{0,6} = 212,2 \text{ gr}$

Untuk membuat sampel dengan komposisi 65% *filler* serbuk cangkang telur ayam dan 35% matriks karet alam cair maka dibutuhkan bahan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 311,99 gr, sulfur sebanyak 31,82 gr, ZnO sebanyak 6,36 gr, stearic acid sebanyak 2,55 gr, dan lateks cair sebanyak 212,2 gr.

#### 4.2 Data Papan Partikel

Pada penelitian yang dilakukan kali ini terdapat beberapa data sampel dan parameter yang digunakan. Adapun data-data untuk sampel dan variasi yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini:

**Tabel 4.1** Data Sampel Papan Partikel

NO.	<i>Filler</i> (%)	Matriks (%)	P Hot Press (MPa)	T Hot Press (°C)	t (menit)	S 1	S 2
A1	55	45	40	150	50	✓	✓
A2	55	45	50	160	60	✓	✓
A3	55	45	30	170	70	✓	✓
B1	60	40	40	160	70	✓	✓
B2	60	40	50	170	50	✓	✓
B3	60	40	30	150	60	✓	✓
C1	65	35	40	170	60	✓	✓
C2	65	35	50	150	70	✓	✓
C3	65	35	30	160	50	✓	✓

Keterangan Nama Sampel:

- A1, A2, A3 = Sampel Dengan Komposisi *Filler* Serbuk Cangkang Telur Ayam 55% dan Matriks 45%
- B1, B2, B3 = Sampel Dengan Komposisi *Filler* Serbuk Cangkang Telur Ayam 60% dan Matriks 40%
- C1, C2, C3 = Sampel Dengan Komposisi *Filler* Serbuk Cangkang Telur Ayam 65% dan Matriks 35%
- P *Hot Press* = Tekanan yang diberikan pada proses kempa panas (MPa)
- T *Hot Press* = Temperatur yang diberikan pada proses kempa panas (°C)
- t *Hot Press* = Waktu yang dilakukan pada proses kempa panas (menit)

1. A1.1 = ES 55/45 P40 T150 t50
2. A1.2 = ES 55/45 P40 T150 t50
3. A2.1 = ES 55/45 P50 T160 t60
4. A2.2 = ES 55/45 P50 T160 t60
5. A3.1 = ES 55/45 P30 T170 t70
6. A3.2 = ES 55/45 P30 T170 t70
7. B1.1 = ES 60/40 P40 T160 t70
8. B1.2 = ES 60/40 P40 T160 t70
9. B2.2 = ES 60/40 P50 T170 t50
10. B2.2 = ES 60/40 P50 T170 t50
11. B3.1 = ES 60/40 P30 T150 t60
12. B3.2 = ES 60/40 P30 T150 t60
13. C1.1 = ES 65/35 P40 T170 t60
14. C1.2 = ES 65/35 P40 T170 t60
15. C2.1 = ES 65/35 P50 T150 t70
16. C2.2 = ES 65/35 P50 T150 t70
17. C3.1 = ES 65/35 P30 T160 t50
18. C3.2 = ES 65/35 P30 T160 t50

Berdasarkan data pada tabel 4.1 di atas, penelitian ini menggunakan beberapa variasi data sampel sebanyak 9 variasi. Penentuan variasi sampel berdasarkan metode taguchi dengan 3 level dan 4 parameter. Setiap variasi sampel akan dibuat dua kali pengulangan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai rata-rata dan mengakomodasi kebutuhan sampel. Untuk memudahkan pemahaman jenis data sampel maka penamaan jenis sampel yang ada dibuat berdasarkan huruf A, B, dan C berdasarkan urutan komposisi *filler* dan matriks yang digunakan. Huruf A, B, dan C memiliki arti bahwa komposisi pada sampel adalah sebesar 55%, 60%, 65% *filler*, dan 45%, 40%, 35% matriks. Sebagai salah satu contoh sampel yang digunakan adalah sampel dengan nama (A1.1 = ES 55/45 P40 T150 t50). Sampel A1.1 adalah sampel pertama dari dua sampel pada setiap variasi dengan komposisi *filler* dan matriks sebesar 55% dan 45%, kemudian memiliki tekanan *hot press* sebesar 40 Mpa, temperatur *hot press* sebesar 150°C, dan waktu yang digunakan pada saat *hot press* adalah selama 50 menit.

Dimensi sampel biokomposit pada penelitian ini adalah 100 mm x 50 mm x 20 mm dengan menggunakan mesin pengujian yaitu *Quick Thermal Conductivity Meter* (QTM-500) berdasarkan standar ASTM C1333-99 pada pengujian konduktivitas termal bahan dengan pelat panas (Yoon et al., 2021). Pada pengujian ini mencari nilai konduktivitas termal material dari sampel pengujian berdasarkan variasi komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam dan matriks karet alam cair (lateks) sebesar 55%, 60%, 65% *filler* dan 45%, 40%, 35% matriks. Sebelum dilakukan tahapan pengujian konduktivitas termal, sampel terlebih dahulu melalui beberapa tahapan seperti tahapan pemanasan pada temperatur 100°C pada oven untuk mengeringkan sampel dan proses kempa panas (*hot press*) pada temperatur, tekanan dan waktu yang bervariasi. Temperatur yang digunakan adalah 150°C – 170°C, dengan tekanan 30 MPa – 50 MPa, dan waktu selama 50 – 70 menit. Proses pengeringan dan kempa panas (*hot press*) bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang masih tersisa pada sampel. Penggunaan tekanan dan temperatur yang tinggi bertujuan untuk membuat sampel lebih padat serta memvulkanisasi kandungan sulfur pada sampel agar dapat lebih kuat dan elastis sehingga kandungan air maupun unsur

tambahan yang ada pada sampel dapat membuat biokomposit ini menjadi lebih maksimal (Naphon et al., 2020).

#### 4.3 Analisis Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah suatu kemampuan yang dimiliki suatu benda atau material untuk dapat menerima dan menghantarkan panas. Benda atau material yang memiliki konduktivitas tinggi akan lebih mudah menghantarkan panas dengan baik begitu juga sebaliknya. Pada penelitian ini diharapkan sampel yang dilakukan pengujian memiliki konduktivitas termal yang rendah agar dapat dijadikan sebagai isolator atau penghambat panas yang baik. Hasil pengujian yang didapatkan diupayakan seminimal mungkin agar mengantisipasi adanya hantaran panas yang lebih tinggi. Konduktivitas termal yang diharapkan berkisar antara 0,1 W/m.K – 0,5 W/m.K (Riyanto et al, 2022).

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai konduktivitas termal pada biokomposit papan partikel dengan *filler* serbuk cangkang telur ayam dan matriks adalah karet alam cair. Variasi komposisi *filler* dan matriks berturut-turut adalah 55%, 60%, 65% dan 45%, 40%, 35%. Pengujian konduktivitas termal material dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Pusat Teknologi Roket (Pustekroket) yang berlokasi di Rumpin, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Adapun hasil dari konduktivitas termal dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini:

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Nilai Konduktivitas Termal

Hari/Tanggal	05/07/2023
Alat Uji	Conductormeter QTM-500
Nama/Jenis Bahan	Komposit
Bentuk Benda Uji	<input checked="" type="checkbox"/> Konduktivitas Bahan Tebal ( $h \geq 20\text{mm}$ )
	<input type="checkbox"/> Konduktivitas Bahan Tipis ( $h \leq 3\text{mm}$ )
	<input type="checkbox"/> Konduktivitas Serbuk
Tipe Benda Uji Padat	<input type="checkbox"/> Logam/Konduktor (Probe PD-13)
	<input checked="" type="checkbox"/> Polimer/Komposit/Isolator (Probe PD-11)
Suhu Ruang/Kelembapan	22-24°C/50-55%
Arus Kuadrat ( $I^2$ )	1,0 A <sup>2</sup>

No	Nama Sampel	Konduktivitas Termal (W/m.K)	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	I <sup>2</sup> (A)	Standar Deviasi
1	A1.1	0,5981	26,7	29,5	1	0,0057
2	A1.2	0,5766	26,4	29,3	1	0,0055
3	A2.1	0,4390	26,2	29,8	1	0,0030
4	A2.2	0,5028	26,1	29,1	1	0,0101
5	A3.1	0,4040	26,0	29,3	1	0,0095
6	A3.2	0,4511	26,2	29,7	1	0,0039
7	B1.1	0,4133	24,8	29,4	1	0,0036
8	B1.2	0,4833	24,9	28,1	1	0,0102
9	B2.1	0,5125	26,1	29,4	1	0,0042
10	B2.2	0,5902	25,7	28,5	1	0,0092
11	B3.1	0,6415	26,0	28,6	1	0,0072
12	B3.2	0,5552	24,4	27,6	1	0,0092
13	C1.1	0,2618	25,2	29,6	1	0,0032
14	C1.2	0,3904	25,1	28,7	1	0,0050
15	C2.1	0,5380	24,7	29,7	1	0,0068
16	C2.2	0,5191	24,8	27,7	1	0,0057
17	C3.1	0,5739	24,9	28,6	1	0,0049
18	C3.2	0,4780	24,6	27,7	1	0,0067

Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

Min-Max : 0,2618 - 0,6415 W/m.K

Standar Deviasi : 0,0055

Rata-Rata : 0,4960 W/m.K

Keterangan Warna :

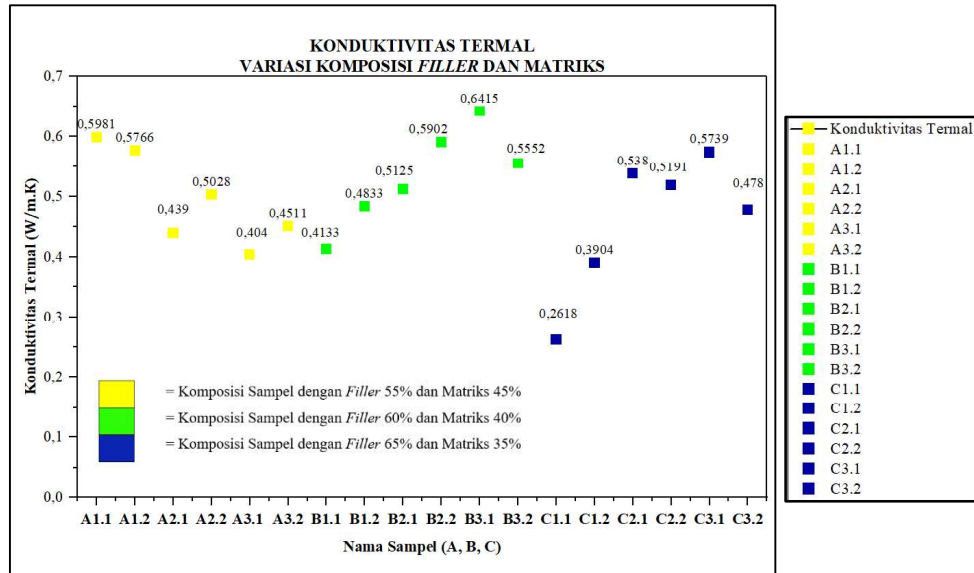


= Komposisi Sampel dengan *Filler* 55% dan Matriks 45%

= Komposisi Sampel dengan *Filler* 60% dan Matriks 40%

= Komposisi Sampel dengan *Filler* 65% dan Matriks 35%





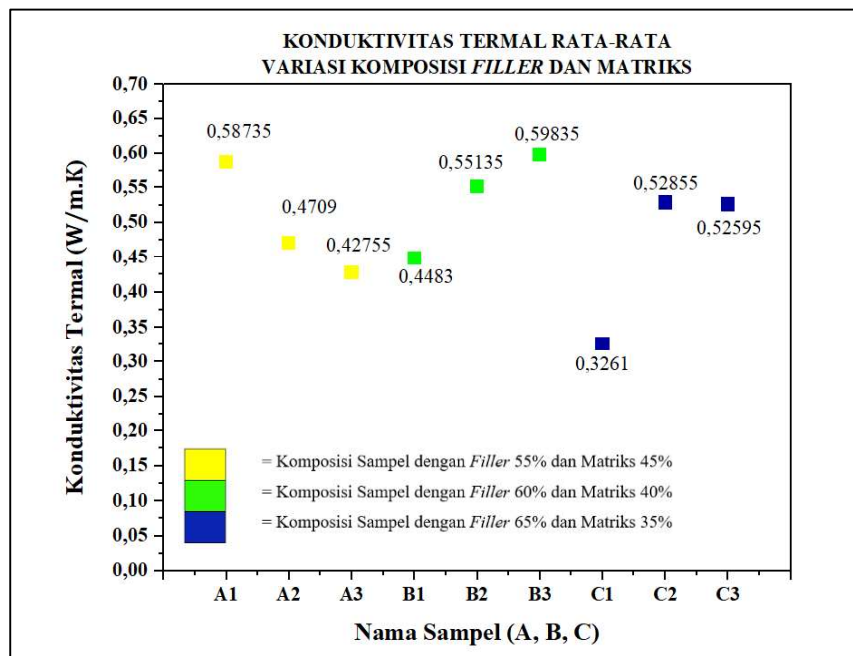
**Gambar 4.1** Nilai Konduktivitas Termal Sampel Uji

Gambar 4.1 di atas menunjukkan hasil dari pengujian konduktivitas termal dengan nilai range konduktivitas termal sebesar 0,2618 W/m.K – 0,6415 W/m.K. Sampel dengan konduktivitas termal terendah ditunjukkan oleh sampel dengan kode C1.1 (C1.1= ES 65/35 P40 T170 t60) dengan nilai konduktivitas termal sebesar 0,2618 W/m.K dan nilai konduktivitas termal tertinggi ditunjukkan oleh sampel dengan kode B3.1 (ES = 60/40 P30 T150 t60) dengan nilai konduktivitas termal sebesar 0,6415 W/m.K. Nilai rata-rata konduktivitas termal dari 18 sampel adalah sebesar 0,4960 W/m.K.

**Tabel 4.3** Konduktivitas Termal Rata Rata Sampel

NO	NAMA SAMPEL	K Rata-Rata (W/m.K)	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	I <sup>2</sup> (A)	Standar Deviasi
1	A1	0,58735	26,7	29,5	1	0,0057
			26,4	29,3	1	0,0055
2	A2	0,4709	26,2	29,8	1	0,0030
			26,1	29,1	1	0,0101
3	A3	0,42755	26	29,3	1	0,0095
			26,2	29,7	1	0,0039
4	B1	0,4483	24,8	29,4	1	0,0036
			24,9	28,1	1	0,0102
5	B2	0,55135	26,1	29,4	1	0,0042
			25,7	28,5	1	0,0092

6	B3	0,59835	26	28,6	1	0,0072
			24.4	27.6	1	0,0092
7	C1	0,3261	25.2	29.6	1	0,0032
			25.1	28.7	1	0,0050
8	C2	0,52855	24.7	29.7	1	0,0068
			24.8	27.7	1	0,0057
9	C3	0,52595	24.9	28.6	1	0,0049
			24.6	27.7	1	0,0067



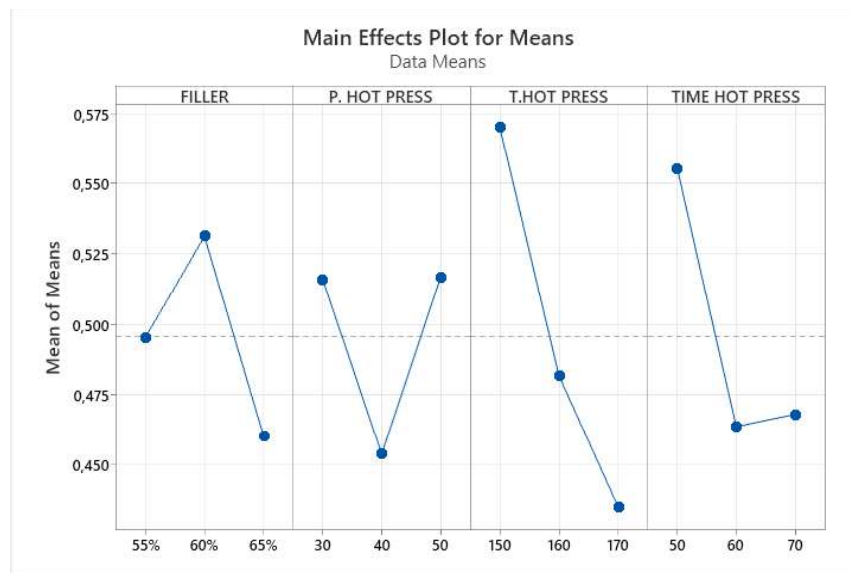
— Konduktivitas Termal    A1    A2    A3    B1    B2    B3    C1    C2    C3

**Gambar 4.2** Konduktivitas Termal Rata-Rata Sampel

Pada gambar 4.2 menunjukkan nilai konduktivitas termal rata rata pada setiap sampel pengujian. Terdapat 9 hasil dengan masing-masing adalah 3 komposisi *filler* dan matriks yang berbeda. Hasil yang didapatkan adalah sampel dengan kode B yang memiliki komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam sebesar 60% dan matriks karet alam cair 40% memiliki nilai konduktivitas termal tertinggi yaitu sebesar 0,59835 W/m.K pada kode B3, kemudian sampel dengan kode C dengan komposisi *filler* serbuk cangkang

telur ayam sebesar 65% dan matriks karet alam cair sebesar 35% memiliki nilai konduktivitas termal terendah yaitu sebesar 0,3261 W/m.K pada kode C1.

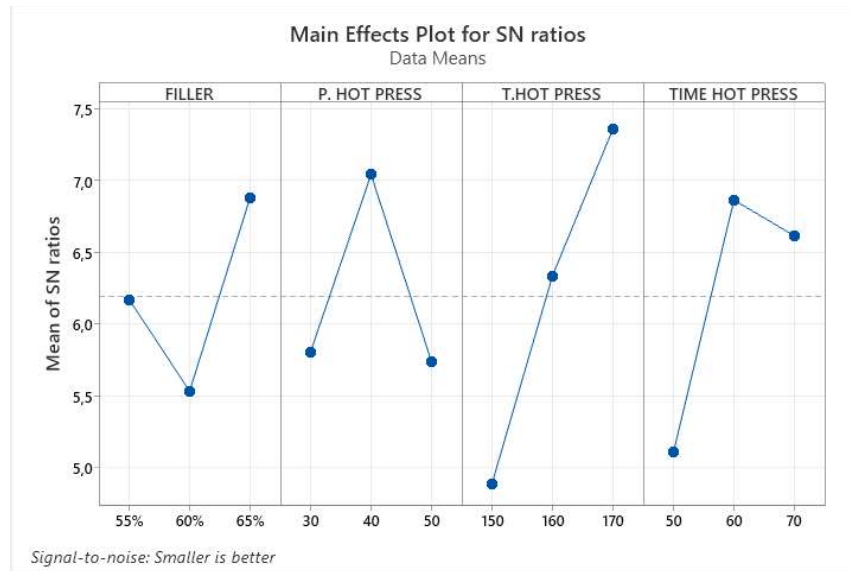
Hasil pengujian nilai konduktivitas termal pada setiap variasi komposisi sampel mendapatkan nilai konduktivitas termal pada range antara 0,4040 W/m.K - 0,5981 W/m.K untuk sampel A, range antara 0,4133 W/m.K – 0,6415 W/m.K untuk sampel B, dan range sebesar 0,2618 W/m.K – 0,5739 W/m.K untuk sampel C. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai dari konduktivitas termal yang ada dapat dipengaruhi oleh variasi komposisi *filler* dan matriks, proses manufaktur sampel dengan pengempaan panas (*Hot Press*) yang dilakukan dengan beberapa variasi parameter seperti tekanan, temperatur, dan waktu. Berdasarkan pengujian nilai konduktivitas termal, sampel dengan komposisi *filler* 65% dan matriks 35% memiliki nilai konduktivitas termal terendah diantara sampel dengan komposisi yang lain.



**Gambar 4.3** Nilai Optimum Pengujian Konduktivitas Termal

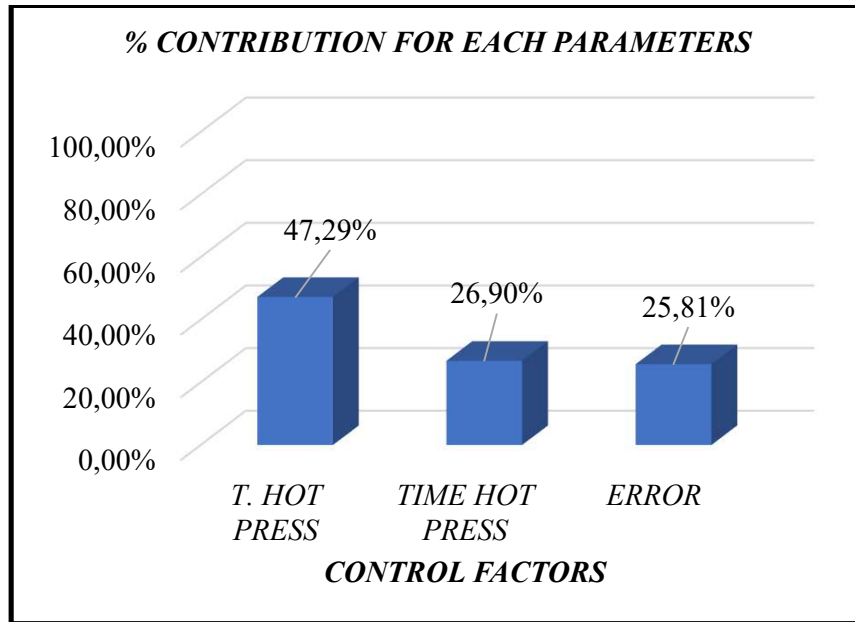
Pengujian konduktivitas termal pada semua sampel akan mendapatkan nilai optimum. Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai optimum pada pengujian yang sudah dilakukan dengan analisis data menggunakan metode taguchi. Nilai optimum yang didapatkan pada pengujian konduktivitas termal dengan beberapa variasi dan parameter pengujian adalah menggunakan komposisi

*filler* sebesar 65% dan matriks 35%, tekanan saat *hot press* sebesar 40 MPa, temperatur *hot press* sebesar 170°C, dan waktu selama 60 menit. Dengan menggunakan hasil optimum yang didapatkan maka nilai konduktivitas termal dari semua variasi sampel akan mendapatkan nilai terendah.



**Gambar 4.4** *Signal-to-Noise Ratio* Pengujian Konduktivitas Termal

Pada gambar 4.4 menunjukkan hasil dari *Signal-to-Noise Ratio* pengujian. *Signal-to-Noise Ratio* ini menunjukkan nilai terendah pada seluruh sampel pengujian dimana penentuan *signal-to-noise ratio* berdasarkan parameter *smaller is better*. Pada komposisi *filler* 65% dan matriks 35% mendapatkan nilai SN ratio sebesar 6,8831, pada tekanan sebesar 40 MPa mendapatkan nilai SN ratio sebesar 7,0434, pada temperatur 170°C mendapatkan nilai SN ratio sebesar 7,3615, dan pada waktu selama 60 menit mendapatkan nilai SN ratio sebesar 6,8644. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin kecil nilai konduktivitas dari sampel yang digunakan maka akan semakin baik. Konduktivitas termal yang semakin kecil akan menjadikan sampel uji lebih kuat untuk menerima panas dan dapat digunakan sebagai bahan isolator dari bikomposit dengan *filler* serbuk cangkang telur ayam dan *matriks* karet alam cair dengan baik.



**Gambar 4.5** Analisis Variasi Parameter

Gambar 4.5 di atas menunjukkan parameter yang paling berpengaruh pada penelitian. Penentuan nilai yang paling berpengaruh terhadap hasil konduktivitas termal menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA). Pada pengujian konduktivitas termal didapatkan hasil bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap nilai konduktivitas termal adalah temperatur pada saat proses *hot press* sebesar 47,29%, kemudian waktu yang digunakan selama proses *hot press* berada pada faktor yang paling berpengaruh kedua terhadap hasil pengujian yaitu sebesar 26,905. Adapun untuk komposisi *filler* serbuk cangkang telur ayam dan tekanan pada saat proses *hot press* memiliki pengaruh di bawah temperatur dan waktu *hot press* sebesar 25,81%.

Hasil pengujian dari nilai konduktivitas termal yang berada pada range 0,2618 W/m.K – 0,6415 W/m.K membuat sampel berada pada batas nilai yang masuk ke dalam isolator yang baik. Penggunaan biokomposit sebagai isolator yang baik ini berdasarkan beberapa hasil penelitian sebelumnya seperti yang telah dilakukan oleh Gamal (2022) tentang studi terkait baterai Li-Ion dengan koefisien konduktivitas termal *battery holder* mendapatkan hasil 0,2 W/m.K. Kemudian Teja Dwi dkk (2021) melakukan penelitian terkait pengaruh kompon karet alam cair terhadap sifat fisik dan kimia biokomposit dengan hasil

semakin banyak kompon karet alam cair yang diberikan akan membuat porositas menjadi semakin berkurang. Nilai konduktivitas termal pada pengujian ini dapat dipengaruhi oleh jenis *filler* dan matriks yang digunakan. Serbuk cangkang telur ayam yang digunakan sebagai *filler* memiliki daya serap panas yang baik karena salah satu kandungan yang ada yaitu  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat) mencapai 97% dapat meningkatkan kekuatan terhadap panas yang diberikan. Matriks karet alam cair dengan komposisi yang semakin rendah akan mengurangi ikatan antar partikel yang membuat adanya celah atau porositas yang menyebabkan nilai konduktivitas termal menjadi menurun. Nilai konduktivitas termal semakin dikarenakan semakin banyak pori-pori atau celah yang dihasilkan karena mengandung gas atau udara. Gas atau udara adalah salah satu penghantar panas yang buruk sehingga dapat membuat nilai tahan terhadap panas akan semakin meningkat.