

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembuatan Sampel Papan Partikel Bio-Komposit

Penelitian ini melibatkan pembuatan sampel papan partikel berukuran 100x50x20mm, menggunakan bahan serbuk cangkang telur, karet alam cair, sulfur, ZnO, dan asam stearat. Sub-bab ini mencakup perhitungan jumlah bahan sesuai variasi yang ditentukan. Berikut estimasi bahan yang dibutuhkan:

A. Papan Bio-Komposit Komposisi Filler 55% dan Matriks 45 %

Tabel 4.1 Komposisi Papan A

Bahan	Komposisi	Nilai
Asam Stearat	2 phr	45%
ZnO	5 phr	
Sulfur	25 phr	
Serbuk Cangkang Telur	161,33 phr	
Karet Alam	100 phr	233,33 phr
Total Matriks	132 phr	55%

Tabel 4.2 Komposisi Papan Partikel A dalam gram

Bahan	Perhitungan	Komposisi	Nilai
Karet Alam	$\frac{100}{293,33}$	0,340 x 480 gr	163,64 gr
Sulfur	$\frac{25}{293,33}$	0,085 480 gr	40,91 gr
ZnO	$\frac{5}{293,33}$	0,017 x 480 gr	8,18 gr
Asam Stearat	$\frac{2}{293,33}$	0,007 x 480 gr	3,27 gr
Serbuk Cangkang Telur	$\frac{161,33}{293,33}$	0,550 x 480 gr	263,99 gr

Dalam proses konversi karet alam menjadi lateks (karet cair) berdasarkan standar ASTM D.1076, dengan Dry Rubber Content (DRC) sebesar 60% (atau 0,6), jumlah lateks yang digunakan adalah 272 gram. Untuk membuat sampel

dengan komposisi filler 55% dan matriks 45%, diperlukan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 269,99 gram, lateks cair sebanyak 272,73 gram, sulfur sebanyak 40,91 gram, ZnO sebanyak 8,18 gram, dan asam stearat sebanyak 3,27 gram.

B. Papan Bio-Komposit Komposisi Filler 60% dan Matriks 40%

Tabel 4.3 Komposisi Papan B

Bahan	Komposisi	Nilai
Asam Stearat	2 phr	40%
ZnO	5 phr	
Sulfur	25 phr	
Serbuk Cangkang Telur	161, 33 phr	
Karet Alam	100 phr	330 phr
Total Matriks	132 phr	60%

Tabel 4.4 Komposisi Papan Partikel B dalam gram

Bahan	Perhitungan	Komposisi	Nilai
Karet Alam	$\frac{100}{330}$	0,300 x 480 gr	145,45 gr
Sulfur	$\frac{25}{330}$	0,080 x 480 gr	36,36 gr
ZnO	$\frac{5}{330}$	0,020 x 480 gr	7,27 gr
Asam Stearat	$\frac{2}{330}$	0,006 x 480 gr	2,91 gr
Serbuk Cangkang Telur	$\frac{198}{330}$	0,600 x 480 gr	288 gr

Dalam proses konversi karet alam menjadi lateks (karet cair) berdasarkan standar ASTM D.1076 dengan Dry Rubber Content (DRC) sebesar 60% (atau 0,6), jumlah lateks yang digunakan adalah 242,42 gram. Untuk membuat sampel dengan komposisi filler 60% dan matriks 40%, diperlukan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 288 gram, lateks cair sebanyak 242,2 gram, sulfur sebanyak 36,36 gram, ZnO sebanyak 7,27 gram, dan asam stearat sebanyak 2,91 gram.

C. Papan Bio-Komposit Komposisi Filler 65% dan Matriks 35%

Tabel 4.5 Komposisi Papan C

Bahan	Komposisi	Nilai
Karet Alam	100 phr	35%
Sulfur	25 phr	
ZnO	5 phr	
Asam Stearat	2 phr	
Total Matriks	132 phr	377,14 phr
Serbuk Cangkang Telur	245,14 phr	65%

Tabel 4.6 Komposisi Papan Partikel C dalam gram

Bahan	Perhitungan	Komposisi	Nilai
Karet Alam	$\frac{100}{377,14}$	0,270 x 480 gr	127,32 gr
Sulfur	$\frac{25}{377,14}$	0,070 480 gr	31,82 gr
ZnO	$\frac{5}{377,14}$	0,013 x 480 gr	6,36 gr
Asam Stearat	$\frac{2}{377,14}$	0,005 x 480 gr	2,55 gr
Serbuk Cangkang Telur	$\frac{245,14}{377,14}$	0,0650 x 480 gr	311,99 gr

Dalam proses konversi karet alam menjadi lateks (karet cair) berdasarkan standar ASTM D.1076 dengan Dry Rubber Content (DRC) sebesar 60% (atau 0,6), jumlah lateks yang digunakan adalah 212,2 gram. Untuk membuat sampel dengan komposisi filler 65% dan matriks 35%, diperlukan serbuk cangkang telur ayam sebanyak 311,99 gram, lateks cair sebanyak 212,2 gram, sulfur sebanyak 31,82 gram, ZnO sebanyak 6,36 gram, dan asam stearat sebanyak 2,55 gram.

4.2 Sampel Komposit

Pada penelitian ini, telah ditentukan jumlah level dan faktor. Selanjutnya, dilakukan penetapan banyaknya sampel menggunakan metode Taguchi. Jumlah sampel yang diperoleh ditentukan berdasarkan banyaknya level dan derajat kebebasan. Dengan tiga level dan empat faktor, diperoleh derajat kebebasan sebesar 8. Berdasarkan derajat kebebasan tersebut, matriks

ortogonal yang dipilih adalah matriks ortogonal 3 tingkat, yaitu $L_9(3^4)$. Sebagai hasilnya, jumlah sampel yang dibuat adalah 9 sampel. Demikianlah variasi sampel yang digunakan dalam penelitian ini.

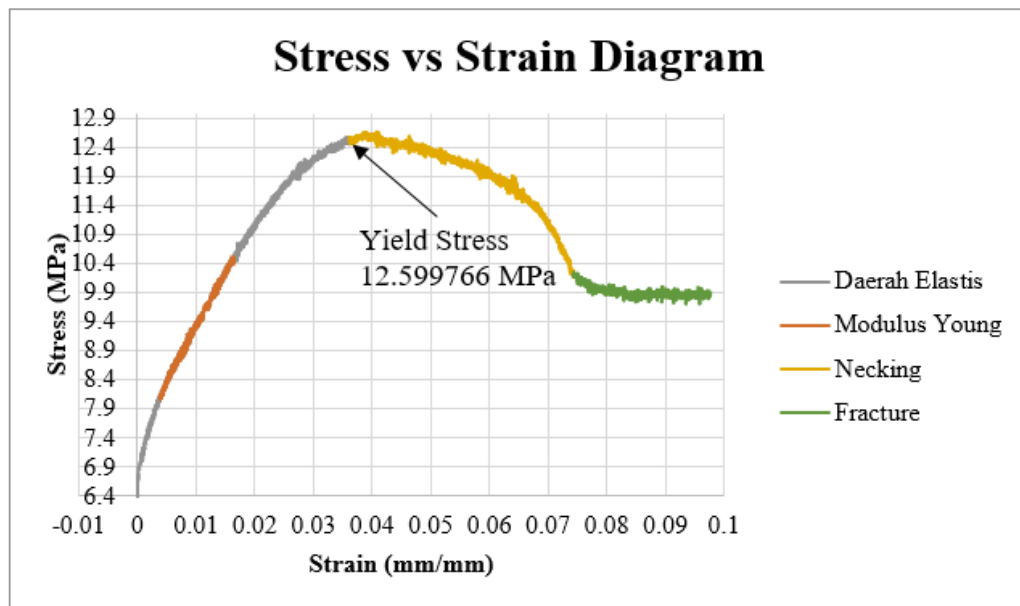
Tabel 4.7 Sampel Uji dengan Variasi Komposisi

SAMPLE	FILLER (%)	P. HOT PRESS (MPa)	T. Hot Press	t. Hot Press (menit)
A1	55	40	160	50
A2	55	50	170	60
A3	55	30	170	70
B1	60	40	160	70
B2	60	50	170	50
B3	60	30	150	60
C1	65	40	170	60
C2	65	50	150	70
C3	65	30	160	50

4.3 Hasil Uji Tarik Papan Partikel Menggunakan Alat Uji Universal Testing Machine

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Fokus penelitian adalah menguji sifat mekanik suatu material menggunakan alat uji Universal Testing Machine (UTM). Alat UTM yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Nama Alat: *Universal Testing Machine (UTM) Dynamic 100 k*
2. Merek: MTS System Corp
3. Kapasitas Maksimum: 100 kN (kilonewton)
4. Kekuatan Grip: 500 psi (*pound per square inch*)

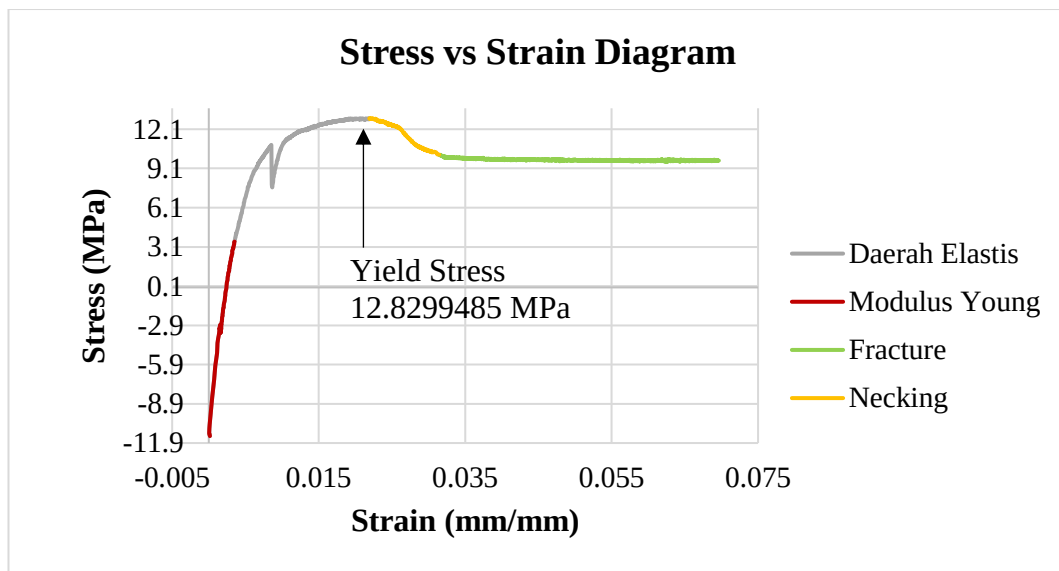


Gambar 4.1 Spesimen A1

Grafik tegangan-regangan seperti gambar di atas menunjukkan hubungan antara tegangan yang diberikan pada suatu material dan regangan yang dialaminya. Tegangan adalah gaya yang diterapkan per satuan luas, sedangkan regangan adalah perubahan panjang per satuan panjang. Daerah elastis adalah bagian linear dari grafik di awal. Pada daerah ini, material bersifat elastis, artinya akan kembali ke bentuk semula ketika tegangan dihilangkan. Kemudian, kemiringan daerah elastis adalah *modulus young*, yang merupakan ukuran kekakuan material. *Yield Stress* adalah tegangan di mana material mulai mengalami deformasi plastis. Hal ini berarti bahwa material tidak akan kembali ke bentuk semula ketika tegangannya dihilangkan. *Ultimate Tensile Strength* adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum patah. *Ultimate Tensile Strength* adalah ukuran kekuatan material. Daerah *necking* adalah daerah pada grafik di mana material mulai menipis sebelum patah. Daerah *necking* merupakan hasil dari material mencapai ketika setelah mencapai kekuatan tarik maksimumnya. Daerah *fracture* adalah daerah terjadinya material patah. Daerah *fracture* adalah akhir dari kurva tegangan-regangan.

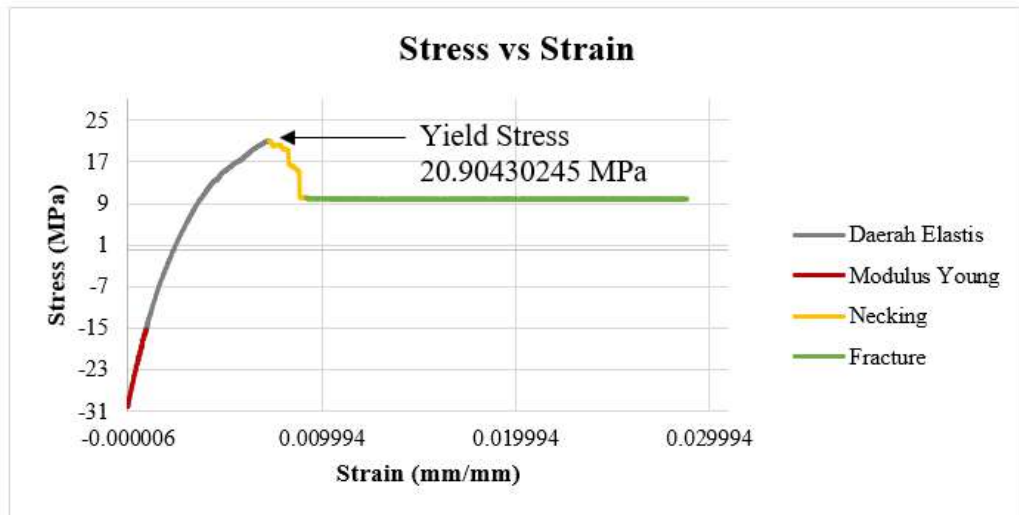
Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada kisaran 7,9 hingga 12,59 MPa sesaat sebelum mencapai area *yield Stress*,

kemudian untuk nilai *yield stress* nya adalah 12,59 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 12,672 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 12,673 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 9,4 MPa. Material pada grafik di atas dapat digambarkan bahwa materialnya bersifat ulet, yang artinya material ini bisa diregangkan banyak sebelum patah. Hal ini ditunjukkan oleh daerah *necking* yang panjang. Sebaliknya untuk material yang rapuh, akan memiliki daerah *necking* yang jauh lebih pendek.



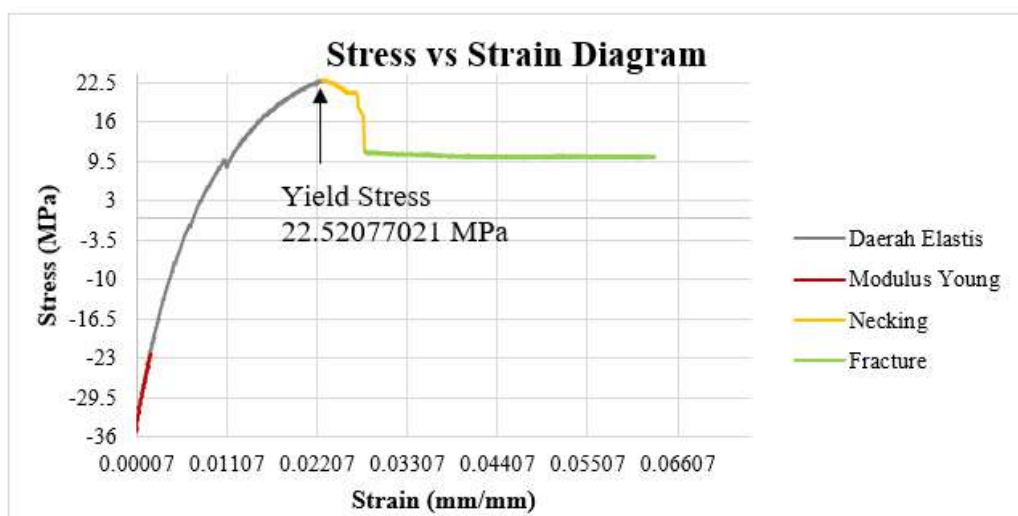
Gambar 4.2 Spesimen A2

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen A2. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3 MPa hingga 12,6 MPa sesaat sebelum mencapai area *yield Stress*, kemudian untuk nilai *yield Stress* nya adalah 12,83 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 12,931 MPa, lalu *area necking* nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 12,93 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 9,4 MPa.



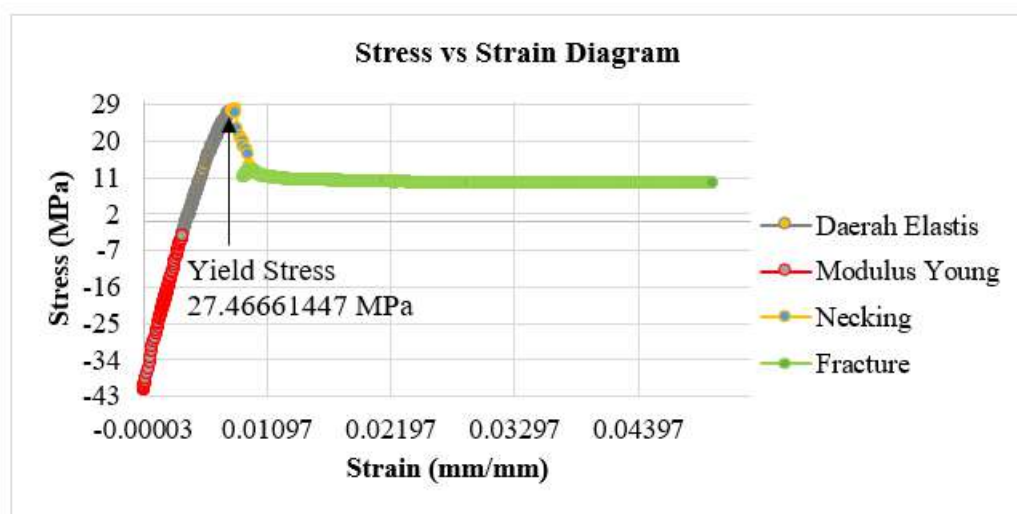
Gambar 4.3 Spesimen A3

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen A3. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 2 MPa hingga 13 MPa sesaat sebelum mencapai area *yield Stress*, kemudian untuk nilai *yield Stress* nya adalah 20,9 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 21,113 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 21 MPa hingga 13 MPa. Terakhir, untuk *area fracture*nya berada pada kisaran 13 MPa hingga 8 MPa.



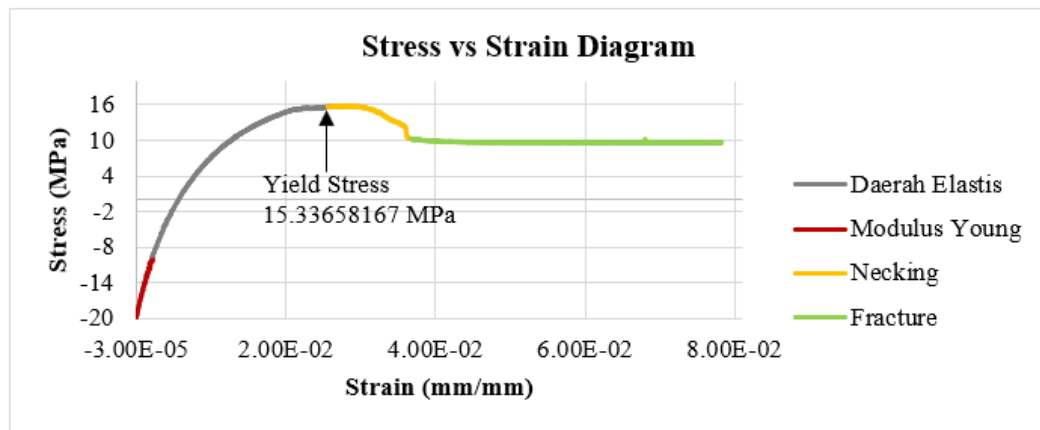
Gambar 4.4 Spesimen B1

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen B1. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3,5 hingga 13,5 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 22,5 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 22,663 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 15,5 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 9,5 MPa.



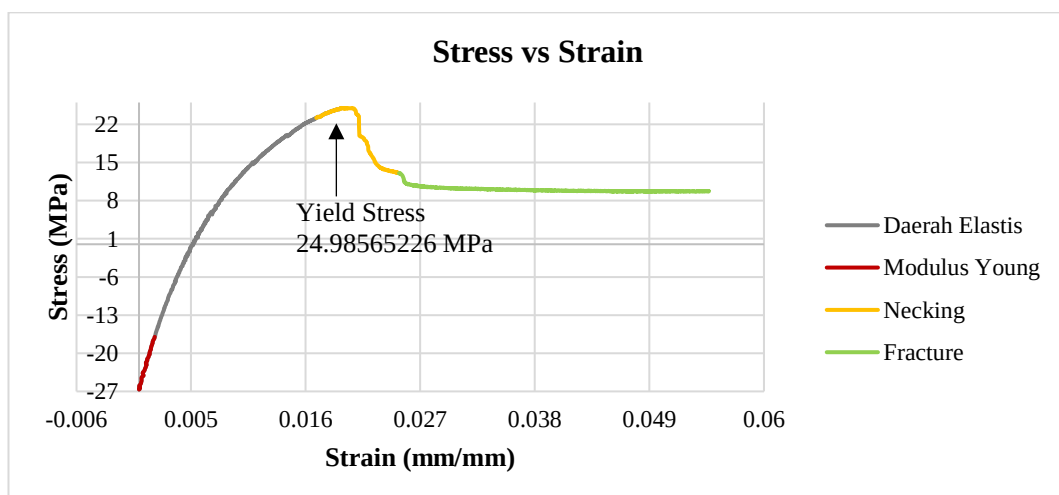
Gambar 4.5 Spesimen B2

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen B2. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3 hingga 17 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 27,46 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 27,711 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 27 MPa hingga 17 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 7 MPa.



Gambar 4.6 Spesimen B3

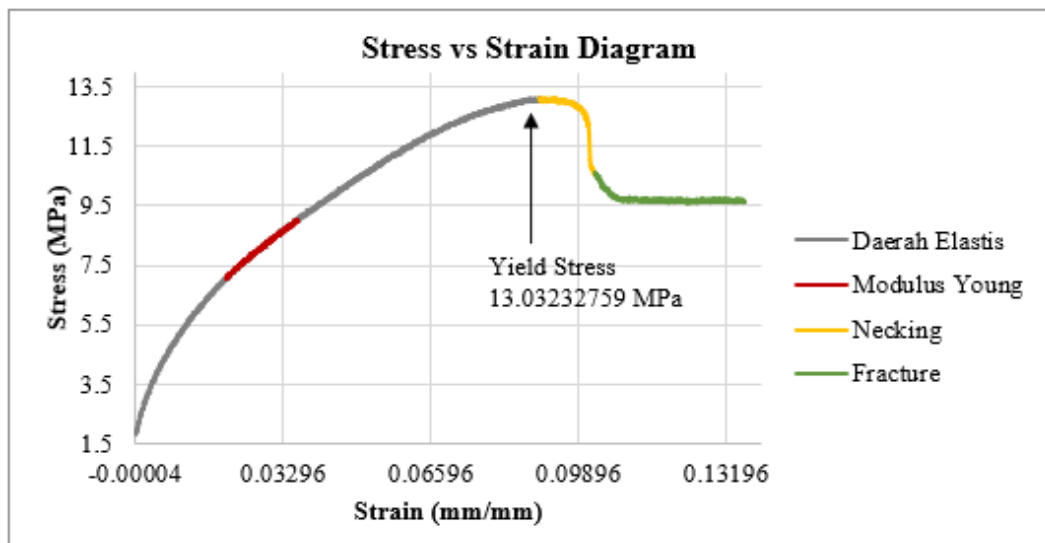
Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen B3. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3 hingga 13 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 15,33 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 15,922 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 15 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk *area fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 10 MPa.



Gambar 4.7 Spesimen C1

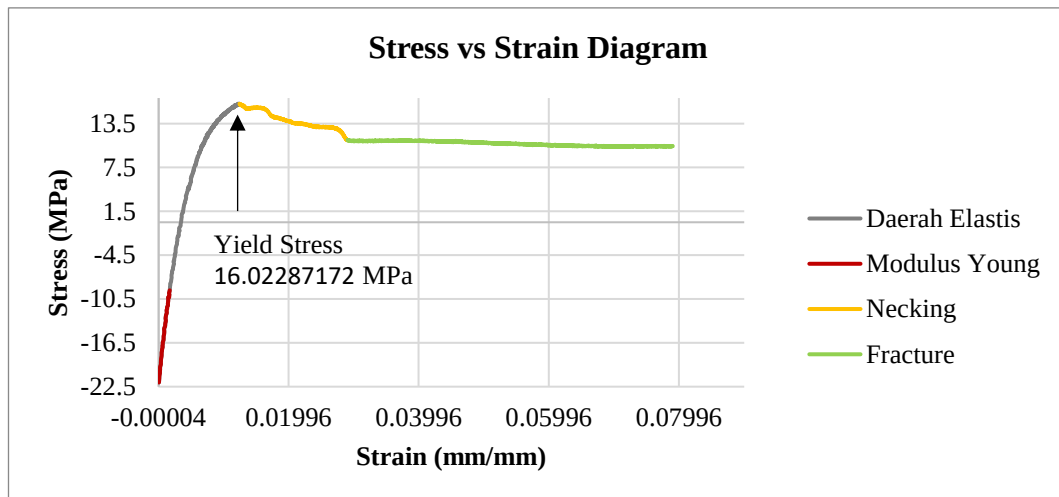
Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen C1. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk

daerah elastisnya berada pada 3 hingga 20 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 24,98 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 25,008 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 25 MPa hingga 15 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 15 MPa hingga 9 MPa.



Gambar 4.8 Spesimen C2

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen C2. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 5 hingga 13 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 13,03 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 13,127 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada 13 MPa hingga 11 MPa. Terakhir, untuk area *fracture*nya berada pada kisaran 11 MPa hingga 9 MPa.



Gambar 4.9 Spesimen C3

Gambar diatas merupakan hasil grafik pengujian uji tarik stress terhadap strain untuk spesimen C3. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat untuk daerah elastisnya berada pada 3 MPa hingga 13 MPa sesaat sebelum mencapai area *Yield Stress*, kemudian untuk nilai *Yield Stress* nya adalah 16,022 MPa, lalu nilai *Ultimate Tensile Strength* nya 16,220 MPa, lalu *area necking*nya berada pada area penurunan setelah di puncak grafik yaitu berada pada kisaran 16 MPa hingga 13 MPa. Terakhir, untuk *area fracture*nya berada pada kisaran 13 MPa hingga 11 MPa.

4.4 Analisa Hasil Pengujian Sifat Mekanik Uji Tarik dengan Universal Testing Machine

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Spesimen A

Spesimen	Variabel	Nilai
(A1) Filler 55% P. 40 MPa T. 150°C t. 50 min	UTS	12,672 MPa
	<i>Yield Stress</i>	12,6 MPa
	Modulus Young	0,18644 Gpa
	Strain	0,097 mm/mm
(A2) Filler 55% P. 50 MPa T. 160°C t. 60 min	UTS	12,931 MPa
	<i>Yield Stress</i>	12,83 MPa
	Modulus Young	2,2 Gpa
	Strain	0,0746 mm/mm
(A3) Filler 55% P. 30 MPa T. 170°C t. 70 min	UTS	21,113 MPa
	<i>Yield Stress</i>	20,9 MPa
	Modulus Young	16,117 Gpa
	Strain	0,0298 mm/mm

Kekuatan tarik (UTS) adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum patah. UTS dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 12,672 MPa hingga 21,113 MPa. Nilai UTS tertinggi dicapai oleh sampel A3 dengan komposisi filler cangkang telur 55%, tekanan hot press 30 MPa, temperature hot press 170°C, dan waktu 70 min.

Yield Stress adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum mengalami deformasi plastis permanen. *Yield Stress* dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 12,6 MPa hingga 20,9 MPa. Nilai *Yield Stress* tertinggi dicapai oleh sampel A3 dengan filler cangkang telur 55%, tekanan hot press 30 MPa, temperature hot press 170°C, dan lama waktu hot press 70 min.

Modulus Young adalah ukuran kekakuan material. Modulus Young dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0,18644 GPa hingga 2,2 GPa. Nilai Modulus Young tertinggi dicapai oleh sampel A3 dengan filler cangkang telur 55%, tekanan hot press 50 MPa, temperature hot press 160°C, dan waktu 60 min.

Strain adalah perubahan panjang material akibat beban tarik. Strain dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0,0298 mm/mm hingga 0,18644 mm/mm. Nilai strain terendah dicapai oleh sampel A1 dengan filler cangkang telur 55%, tekanan hot press 30 MPa, temperature hot press 170°C, dan waktu 70 min.

Berdasarkan data di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) dan Modulus Young dari spesimen papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pengolahan. Di sisi lain, nilai Strain dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur menurun seiring dengan peningkatan temperatur pengolahan [29]. Lebih lanjut, semakin tinggi nilai Modulus Young, semakin kaku material tersebut. Papan komposit bio-komposit berbahan dasar cangkang telur dengan Modulus Young yang tinggi memiliki kemampuan untuk menahan deformasi dengan baik. Artinya, material tersebut tidak mudah bengkok atau melengkung saat dikenai beban.

Selain itu, papan komposit bio-komposit berbahan dasar cangkang telur dengan *Ultimate Tensile Strength* yang tinggi memiliki kemampuan untuk menahan beban tarik dengan baik. Hal ini berarti material tersebut tidak mudah robek atau patah saat ditarik [30].

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Spesimen B

Spesimen	Variabel	Nilai
(B1) Filler 60% P. 40 MPa T. 160°C t. 70 min	UTS	22,663 MPa
	<i>Yield Stress</i>	22,521 MPa
	Modulus Young	7,127 GPa
	Strain	0,0743 mm/mm
(B2) Filler 60% P. 50 MPa T. 170°C t. 50 min	UTS	27,711 MPa
	<i>Yield Stress</i>	27,467 MPa
	Modulus Young	10,993 GPa
	Strain	0,0518 mm/mm
(B3) Filler 60% P. 30 MPa T. 150°C t. 60 min	UTS	15,922 MPa
	<i>Yield Stress</i>	15,336 MPa
	Modulus Young	0,482 GPa
	Strain	0,0783 mm/mm

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Ultimate Tensile Strength* (UTS) dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 15.922 MPa hingga 27.711 MPa. Nilai UTS tertinggi tercatat pada sampel B2 dengan filler 60%, tekanan 50 MPa, suhu 170°C, dan waktu 50 menit.

Selain itu, *Yield Stress* dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 15.336 MPa hingga 27.467 MPa, dengan nilai tertinggi pada sampel B2 yang memiliki filler 60%, tekanan 50 MPa, suhu 170°C, dan waktu 50 menit.

Modulus Young dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0.482 GPa hingga 10.993 GPa, dengan nilai tertinggi pada sampel B2 yang memiliki filler 60%, tekanan 50 MPa, suhu 170°C, dan waktu 50 menit.

Selanjutnya, nilai Strain dari papan komposit biomaterial berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0.0518 mm/mm hingga 0.0743 mm/mm, dengan nilai terendah pada sampel B3 yang memiliki filler 60%, tekanan 50 MPa, suhu

170°C, dan waktu 50 menit. Dapat disimpulkan bahwa specimen B2 dengan suhu terbesar (170°C) memberikan pengaruh paling optimal terhadap hasil pengujian.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Spesimen C

Spesimen	Variabel	Nilai
(C1) Filler 65% P. 40 MPa T. 170°C t. 60 min	UTS	25,008 MPa
	<i>Yield Stress</i>	24,985 MPa
	Modulus Young	6,406 GPa
	Strain	0,055 mm/mm
(C2) Filler 65% P. 50 MPa T. 150°C t. 70 min	UTS	13,127 MPa
	<i>Yield Stress</i>	13,032 MPa
	Modulus Young	0,121 GPa
	Strain	0,137 mm/mm
(C3) Filler 65% P. 30 MPa T. 160°C t. 50 min	UTS	16,220 MPa
	<i>Yield Stress</i>	16,022 MPa
	Modulus Young	7,531 GPa
	Strain	0,0839 mm/mm

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Ultimate Tensile Strength (UTS) dari papan komposit bio-material berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 13.127 MPa hingga 25.008 MPa. Nilai UTS tertinggi tercatat pada sampel C1 dengan filler 65%, tekanan 40 MPa, suhu 170°C, dan waktu 60 menit.

Selain itu, *Yield Stress* dari papan komposit bio-material berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 13.032 MPa hingga 24.985 MPa, dengan nilai tertinggi pada sampel C1 yang memiliki filler 65%, tekanan 40 MPa, suhu 170°C, dan waktu 60 menit.

Modulus Young dari papan komposit bio-material berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0.121 GPa hingga 7.531 GPa, dengan nilai tertinggi dicapai oleh sampel C3 yang memiliki filler 65%, tekanan 40 MPa, suhu 170°C, dan waktu 60 menit.

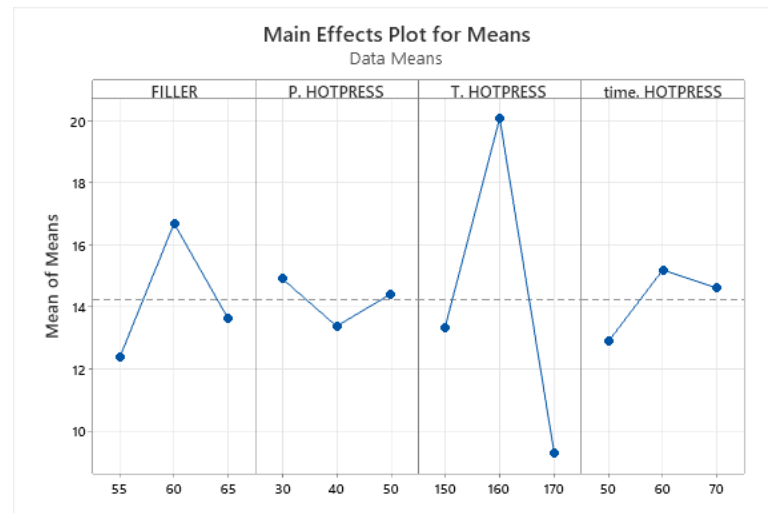
Selanjutnya, Strain adalah perubahan panjang material akibat beban tarik. Strain dari papan komposit bio-material berbahan dasar cangkang telur berkisar antara 0.055 mm/mm hingga 0.137 mm/mm. Nilai strain terendah dicapai oleh

sampel C2 dengan filler 65%, tekanan 50 MPa, suhu 150°C, dan waktu 70 menit.

Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Terbesar dan Terkecil Setiap Sampel

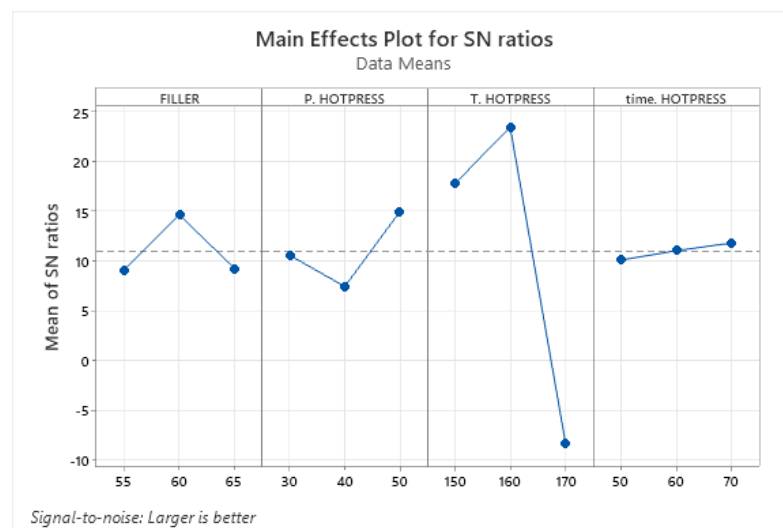
No	Spesimen	Komposisi	Variabel	Nilai	
				Terkecil	Terbesar
1	A1	Filler 55% P. 40 MPa T. 150°C t. 50 min	UTS	12,672 MPa	
			<i>Yield Stress</i>	12,6 MPa	
			Modulus Young	0,18644 Gpa	
			Strain	0,097 mm/mm	
	A3	Filler 55% P. 30 MPa T. 170°C t. 70 min	UTS		21,113 MPa
			<i>Yield Stress</i>		20,9 MPa
			Modulus Young		16,117 Gpa
			Strain		0,0298 mm/mm
2	B3	Filler 60% P. 30 MPa T. 150°C t. 60 min	UTS	15.922 MPa	
			<i>Yield Stress</i>	15,336 MPa	
			Modulus Young	0,482 GPa	
			Strain	0,0783 mm/mm	
	B2	Filler 60% P. 50 MPa T. 170°C t. 50 min	UTS		27,711 MPa
			<i>Yield Stress</i>		27,467 MPa
			Modulus Young		10,993 GPa
			Strain		0,0518 mm/mm
3	C2	Filler 65% P. 50 MPa T. 150°C t. 70 min	UTS	13,127 MPa	
			<i>Yield Stress</i>	13,032 MPa	
			Modulus Young	0,121 Gpa	
			Strain	0,137 mm/mm	
	C1	Filler 65% P. 40 MPa T. 170°C t. 60 min	UTS		25,008 MPa
			<i>Yield Stress</i>		24,985 MPa
			Modulus Young		6,406 Gpa
			Strain		0,055 mm/mm

Tabel diatas merupakan perbandingan nilai dari terkecil hingga terbesar untuk setiap sampel. Terdapat indikasi bahwa nilai UTS dan *Yield Stress* mengalami peningkatan seiring meningkatnya temperatur *hot press*.



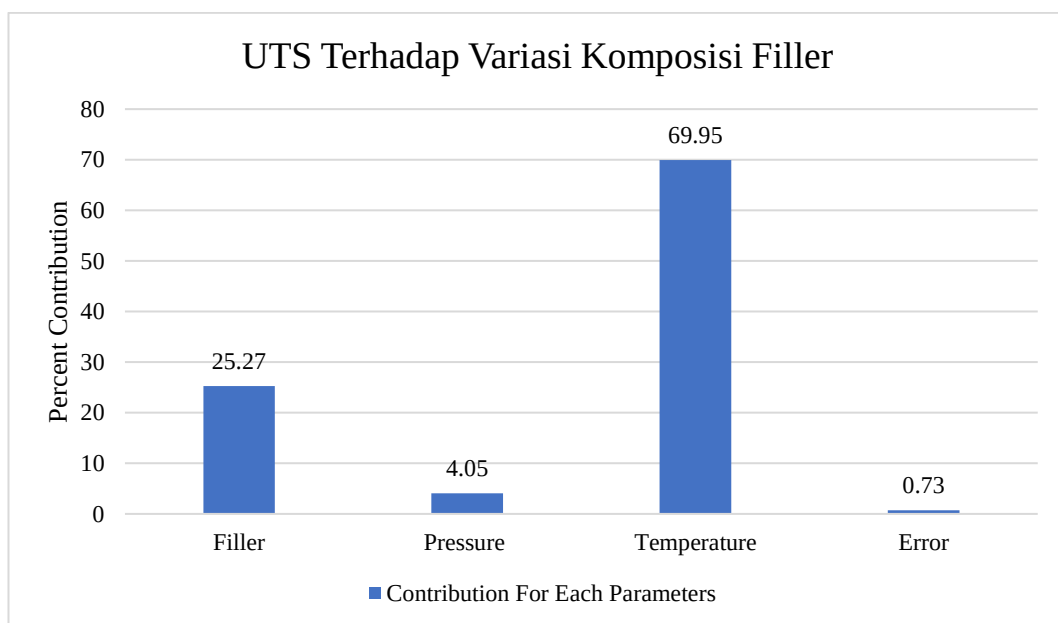
Gambar 4.10 Nilai Optimum

Gambar di atas menunjukkan nilai optimum dari pengujian yang telah dilakukan menggunakan analisis data dengan metode Taguchi. Nilai optimum yang diperoleh dari pengujian tarik dengan berbagai variasi dan parameter adalah dengan menggunakan komposisi *filler* sebesar 60%, tekanan *hot press* sebesar 30 MPa, temperatur *hot press* sebesar 160°C, dan waktu hot press selama 60 menit. Diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi hasil dari penelitian merupakan *temperature hot press*. Temperatur yang lebih tinggi berdampak pada sifat bahan yang semakin getas. Dapat disimpulkan bahwa temperatur *hot press* mempengaruhi kekerasan matriks dan kekerasan komposit [31].



Gambar 4.11 SN Rasio

Gambar di atas menunjukkan perubahan arah garis pada setiap parameter. Jika garis naik atau turun secara tajam, itu menunjukkan pengaruh yang signifikan. Dalam penelitian ini, SN ratio dari spesimen yang paling tinggi dicapai oleh temperatur hot press, diikuti oleh tekanan hot press, filler, dan terakhir lama waktu hot press. Setelah nilai hasil pengujian didapat, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode anova untuk mengetahui kontribusi dari setiap faktor atau untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh pada sampel tersebut.

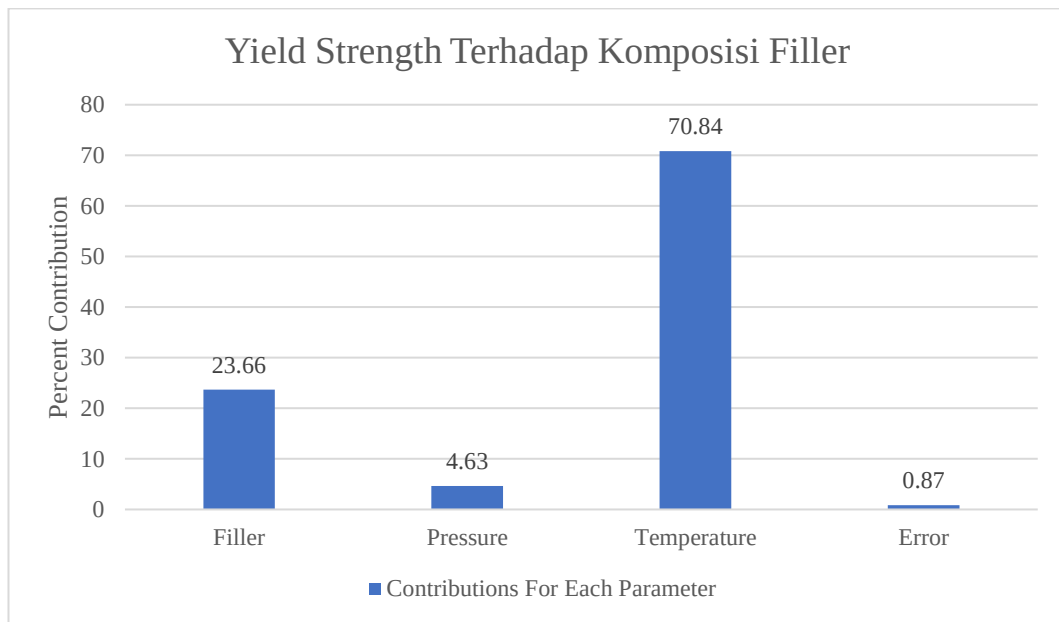


Gambar 4.12 Grafik UTS Terhadap Variasi Komposisi Filler

Gambar berikut menjelaskan bahwa pada penelitian kali ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase nilai UTS pada sampel. Diketahui bahwa faktor yang paling optimum merupakan temperatur dengan nilai sebesar 69,95%, kemudian diikuti *filler* dengan nilai sebesar 25,27%, dan terakhir adalah tekanan dengan nilai sebesar 4,05%. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa persentase error yang terjadi adalah sebesar 0,73%.

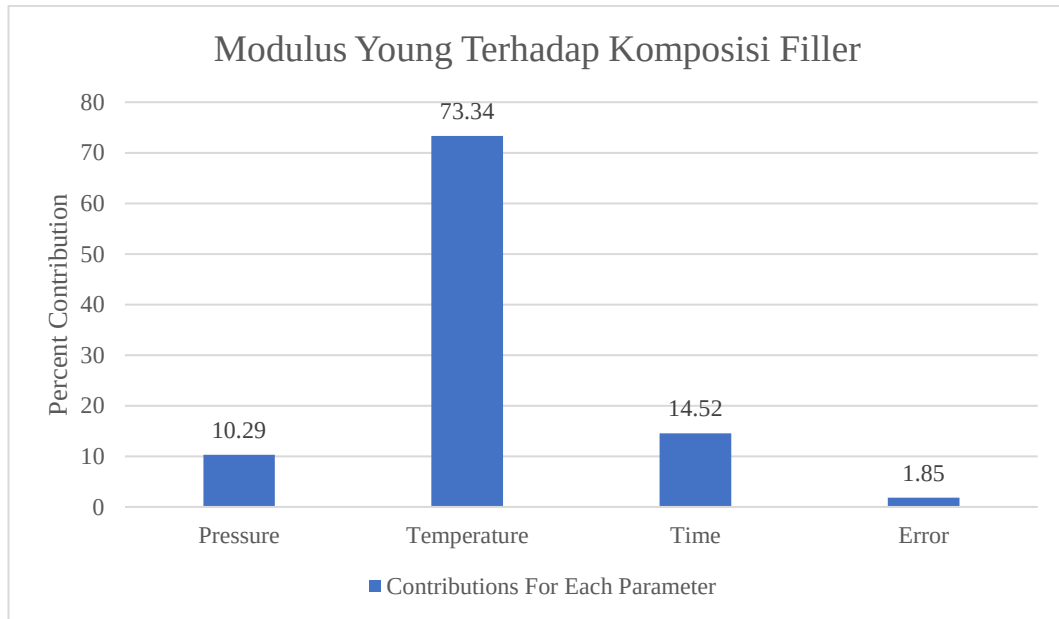
Temperature hot press (69,95%) merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) papan partikel bio-komposit berbahan dasar cangkang telur. Hal ini menunjukkan bahwa suhu *hot press* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai hasil uji tarik papan

partikel. Semakin tinggi suhu hot press, semakin kuat pula papan partikel. Suhu hot press memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik papan partikel bio-komposit. Semakin tinggi suhu hot press, semakin tinggi pula nilai Modulus Young papan partikel. Hal ini disebabkan oleh peningkatan luas permukaan yang menyebabkan lebih banyak interaksi antara pengisi dengan matriks karet [32].



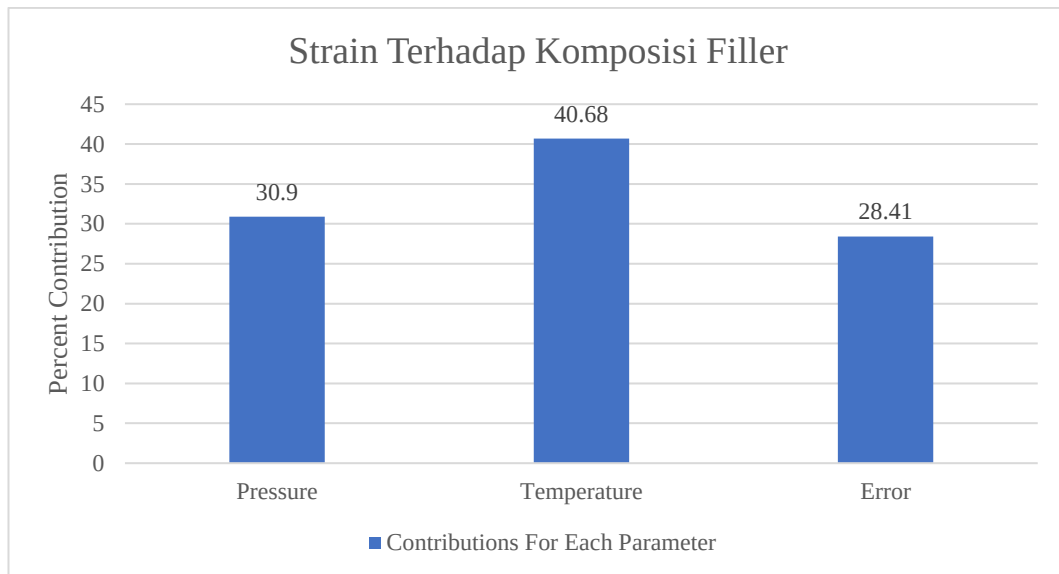
Gambar 4.13 Grafik *Yield Stress* Terhadap Variasi Komposisi *Filler*

Gambar berikut menjelaskan bahwa pada penelitian kali ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase nilai *Yield Stress* pada sampel. Diketahui bahwa faktor yang paling optimum merupakan temperatur dengan nilai sebesar 70,84%, kemudian diikuti *filler* dengan nilai sebesar 23,66%, dan terakhir adalah tekanan dengan nilai sebesar 4,63%. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa persentase error yang terjadi adalah sebesar 0,87%.



Gambar 4.14 Grafik Modulus Young Terhadap Variasi Komposisi Filler

Gambar berikut menjelaskan bahwa pada penelitian kali ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase nilai Modulus Young pada sampel. Diketahui bahwa faktor yang paling optimum merupakan temperatur dengan nilai sebesar 73,34%, kemudian diikuti waktu dengan nilai waktu sebesar 14,52%, dan terakhir adalah tekanan dengan nilai sebesar 10,29%. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa persentase error yang terjadi adalah sebesar 1,85%. Ketika suhu meningkat selama proses vulkanisasi, molekul karet alam menjadi lebih bergerak dan reaktif. Nilai *Tensile Modulus* menunjukkan seberapa tahan material terhadap deformasi elastis. Peningkatan suhu selama vulkanisasi dapat meningkatkan Tensile Modulus karena proses tersebut memadatkan struktur material.



Gambar 4.15 Grafik Strain Terhadap Variasi Komposisi Filler

Gambar berikut menjelaskan bahwa pada penelitian kali ini terdapat faktor yang paling berpengaruh terhadap persentase nilai Strain pada sampel. Diketahui bahwa faktor yang paling optimum merupakan temperatur dengan nilai sebesar 40,68%, kemudian diikuti waktu dengan nilai tekanan sebesar 30,9%. Penelitian kali ini menunjukkan bahwa persentase error yang terjadi adalah sebesar 28,41%.

Tabel 4.12 Perbandingan Nilai Standar Beybland dengan Nilai Hasil Uji Tarik

No	Spesimen	Variabel	Nilai	
			Beybland	Uji Tarik
1	A3 Filler 55% P. 30 MPa T. 170°C t. 70 min	Tensile Modulus	2700 MPa	16117 MPa
		Yield Stress	65 MPa	20,9 MPa
		Yield Strain	4%	2,98%
2	B2 Filler 60% P. 50 MPa T. 170°C t. 50 min	Tensile Modulus	2700 MPa	10993 MPa
		Yield Stress	65 MPa	27,467 MPa
		Yield Strain	4%	5,18%
3	C3 Filler 65% P. 30 MPa T. 160°C t. 50 min	Tensile Modulus	2700 MPa	7531 MPa
		Yield Stress	65 MPa	16,022 MPa
		Yield Strain	4%	8.39%

Tabel hasil penelitian berikut menunjukkan perbandingan antara nilai variabel yang ingin dicapai berdasarkan standar Beybland untuk baterai elektrik dengan nilai hasil uji tarik yang telah dilakukan. Pada spesimen A, diketahui bahwa nilai uji tarik standar adalah sebesar 2700 MPa, sementara hasil pengujian tariknya adalah sebesar 16117 MPa. Dalam hal ini, hasil uji tarik melebihi nilai standar yang ingin dicapai. Kemudian, pada yield stress diketahui bahwa nilai standar sebesar 65 MPa dan nilai pengujian tarik yang didapatkan adalah sebesar 20,9 MPa. Dalam hal ini, nilai yield stress tidak mencapai nilai standar yang diinginkan. Terakhir, perbandingan yield strain standar sebesar 4% dengan nilai pengujian tarik sebesar 2,98% menunjukkan bahwa nilai pengujian tarik tidak mencapai nilai standar.

Pada spesimen B, diketahui bahwa nilai uji tarik standar adalah sebesar 2700 MPa, sementara hasil pengujian tariknya adalah sebesar 10993 MPa. Dalam hal ini, hasil uji mencapai nilai standar yang ingin didapatkan. Kemudian, pada yield stress diketahui bahwa nilai standar sebesar 65 MPa dan nilai pengujian tarik yang didapatkan adalah sebesar 27,467 MPa. Dalam hal ini, nilai yield stress tidak mencapai nilai standar yang diinginkan. Terakhir, perbandingan yield strain standar sebesar 4% dengan nilai pengujian tarik sebesar 5,18% menunjukkan bahwa nilai pengujian tarik melebihi atau mencapai nilai standar.

Pada spesimen C, diketahui bahwa nilai uji tarik standar adalah sebesar 2700 MPa, sementara hasil pengujian tariknya adalah sebesar 7531 MPa. Dalam hal ini, hasil uji tarik mencapai nilai standar yang ingin didapatkan. Kemudian, pada yield stress diketahui bahwa nilai standar sebesar 65 MPa dan nilai pengujian tarik yang didapatkan adalah sebesar 16,022 MPa. Dalam hal ini, nilai yield stress tidak mencapai nilai standar yang diinginkan. Terakhir, perbandingan yield strain standar sebesar 4% dengan nilai pengujian tarik sebesar 8,39% menunjukkan bahwa nilai pengujian tarik melebihi atau mencapai nilai standar.

SAMPLE	PENGUJIAN MEKANIK						MRPI
	Uji Tarik						
	Yield Strength (MPa)	W	Modulus Young (MPa)	W	Strain (mm/min)	W	
A1	12,6	0,07604	186,44	0,00364	0,097	0,14229	1,65135
A2	12,83	0,07743	2200	0,04300	0,0746	0,10943	95,60042
A3	20,9	0,12614	16117	0,31501	0,0298	0,04371	5079,65523
B1	22,521	0,13592	7127	0,13930	0,0743	0,10899	995,85089
B2	27,467	0,16577	10993	0,21486	0,0518	0,07599	2366,51813
B3	15,336	0,09256	482	0,00942	0,0783	0,11486	5,96926
C1	24,985	0,15079	6406	0,12521	0,055	0,08068	805,84538
C2	13,032	0,07865	121	0,00236	0,137	0,20097	1,33868
C3	16,022	0,09670	7531	0,14719	0,0839	0,12307	1110,08477

Gambar 4.16 Multi – Response Optimization Problems

Berdasarkan gambar berikut diketahui bahwa sampel dengan nilai optimum adalah A3 dengan nilai MRPI sebesar 5079,65523 dan variasi spesimen dengan nilai *Yield Stress* sebesar 20,9 MPa, nilai Modulus Young sebesar 16117 MPa, nilai Strain sebesar 0,0298 mm/min. Sehingga dapat diketahui dari kesembilan spesimen yang ada, A3 merupakan yang paling optimum.

Material filler berperan penting sebagai pengisi ruang dalam komposit dan untuk mencegah terjadinya porositas pada bahan komposit tersebut. Dalam penelitian ini, kami menggunakan cangkang telur sebagai filler. Terdapat tiga sampel dengan variasi filler yang berbeda, dan masing-masing sampel memiliki nilai optimum. Cangkang telur mengandung kalsium karbonat dalam jumlah tinggi, sehingga memberikan sifat keras dan kuat. Ketika cangkang telur ditambahkan ke dalam material lain, potensinya adalah meningkatkan kekuatan dan kekakuan material tersebut. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa nilai optimum terdapat pada spesimen A3 dengan komposisi filler sebesar 55%. Pada spesimen ini, nilai Tensile Modulus mencapai 16117 MPa, nilai *Yield Stress* sebesar 20,9 MPa, dan nilai Yield Strain sebesar 2,98%.

Dalam penelitian kali ini, Filler 55% menghasilkan nilai tensile modulus terbesar kemudian disusul dengan Filler 60% yaitu pada sampel B2 dengan nilai Tensile Modulus sebesar 10993 MPa, nilai *Yield Stress* sebesar 27,467

MPa, dan nilai Yield Strain sebesar 5,18%. Dan terakhir yaitu Filler 65% pada sampel C3 dengan nilai Tensile Modulus sebesar 7531 MPa, nilai *Yield Stress* sebesar 16,022 MPa, dan nilai Yield Strain sebesar 8,39%.

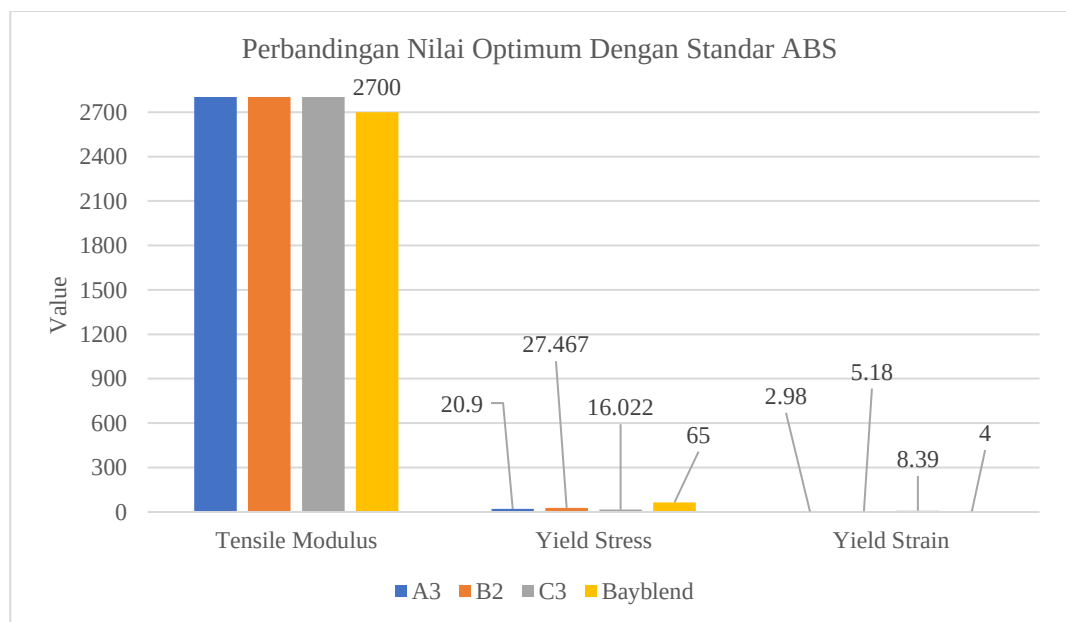
Disamping komposisi filler, nilai uji tarik spesimen B2 dipengaruhi oleh temperatur hot press yaitu sebesar 170°C [32]. Pada suhu tinggi terjadi peningkatan kekuatan dan kekakuan komposit namun mengurangi kelenturannya. Selain itu, ikatan antara pengisi dan karet dapat terpengaruh oleh suhu. Ikatan yang lebih kuat dapat meningkatkan sifat komposit secara keseluruhan, sementara ikatan yang lemah akibat suhu berlebihan dapat merusak sifat-sifat tersebut. Tidak hanya pengisi, matriks karet juga terpengaruh oleh suhu. Peningkatan suhu dapat mempercepat proses vulkanisasi, meningkatkan kekakuan dan kekerasan karet, tetapi mengurangi elastisitasnya. Suhu yang terlalu tinggi bahkan dapat menyebabkan degradasi karet, menurunkan kinerja keseluruhan komposit. Serbuk cangkang telur memiliki luas permukaan yang besar dan struktur permukaan yang kasar, memungkinkan interaksi yang lebih baik dengan matriks karet. Protein dalam serbuk cangkang telur juga berkontribusi pada adhesi yang lebih kuat antara pengisi dan karet. Kombinasi ini menghasilkan peningkatan kekuatan tarik, ketahanan sobek, kekerasan [34].

4.5 Komparasi Dengan Nilai Standar Bayblend

Penelitian kali ini dilakukan untuk mendapatkan spesimen uji dengan nilai yang mendekati atau menyerupai dengan standar ABS. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai Tensile Modulus untuk ketiga specimen (A3, B2, dan C3) memenuhi nilai standar Bayblend. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor diantaranya adalah densitas dan porositas yang mengacu pada penelitian sebelumnya [35]. Peningkatan nilai sifat mekanik hasil uji tarik dipengaruhi oleh variasi temperatur yang memiliki peranan penting dalam proses pembuatan spesimen. Peningkatan suhu vulkanisasi meningkatkan mobilitas molekul karet, dan meningkatkan Tensile Modulus. Penggunaan serbuk cangkang telur sebagai filler memberikan kontribusi tambahan pada peningkatan kekuatan tarik, ketahanan sobek, dan kekerasan

material komposit. Luas permukaan dan struktur permukaan serbuk cangkang telur yang unik, serta kandungan proteinnya, memungkinkan interaksi yang lebih kuat dengan matriks karet. Selain suhu dan jenis filler, densitas material juga berperan penting dalam menentukan sifat mekanik. Tekanan hot press dan temperatur yang lebih tinggi menghasilkan densitas yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan kekuatan material.

Kemudian untuk nilai yield stress specimen, diketahui bahwa dari ketiga nilai optimum specimen (A3, B2, dan C3) tidak ada yang memenuhi nilai standar. Ini mengindikasikan bahwa spesimen uji jauh lebih mudah mengalami deformasi plastis dibandingkan dengan standar Bayblend. Dan yang terakhir merupakan nilai yield strain specimen, diketahui bahwa specimen B2 dan C3 memenuhi nilai standar Bayblend, yaitu dengan nilai sebesar 5,18% dan 8,39% secara berurutan.



Gambar 4.17 Perbandingan Nilai Optimum Dengan Standar ABS