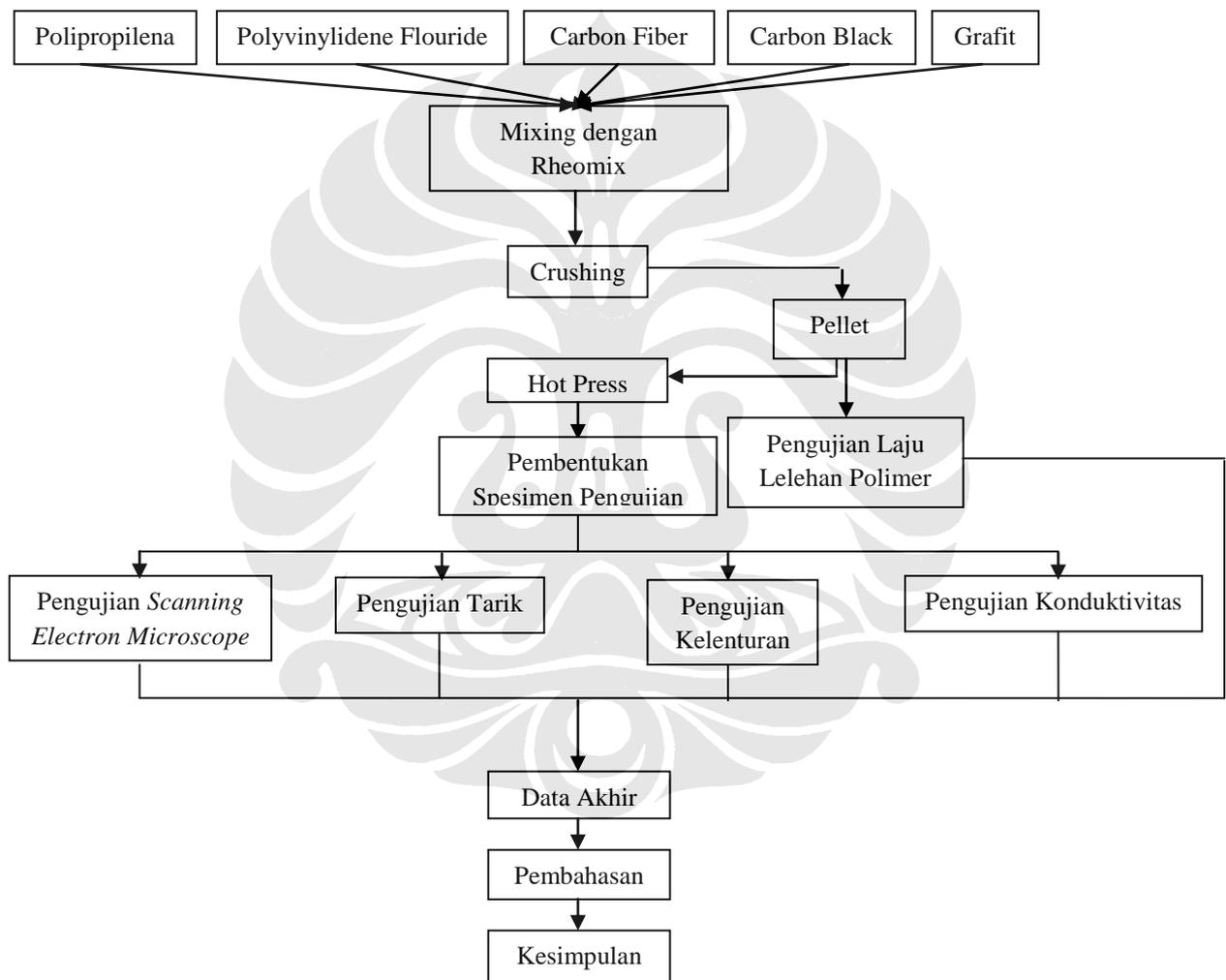


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir yang menggambarkan secara umum kegiatan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan PVDF dan penguat karbon ke dalam komposit pelat bipolar berbasis PP.



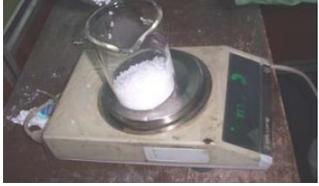
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat & Bahan

3.2.1 Peralatan Penelitian

Berikut ini adalah peralatan yang digunakan pada pembuatan dan preparasi *masterbatch* PP, PVDF, dan penguat karbon.

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Preparasi

<i>Nama Alat</i>	<i>Spesifikasi</i>	<i>Foto Alat</i>
Timbangan Digital	Mettler PM600 Kapasitas 600 gram	
<i>Internal Mixer</i>	Rheomix HAAKE 3000 + Rheocord 90 Kapasitas 250 gram	
<i>Crusher</i>	KPi Crusher Tipe KF-808-B HP 3	
<i>Hot Press</i>	Collin Hot Press Presse 300P Temperatur : 230°C Tekanan : 1 bar	
<i>Milling</i>	Rema 2000 Tipe DS04/175	

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Preparasi (Lanjutan)

<i>Nama Alat</i>	<i>Spesifikasi</i>	<i>Foto Alat</i>
<i>Conditioning Chamber</i>		
<i>Mesin Punch</i>	Toyoseiki Mini Test Press-10	
<i>Sputter Coater</i>	Polaron SG 7610 Sputter Coater	

Alat yang digunakan pada karakterisasi *masterbatch* :

Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Karakterisasi

<i>Nama Alat</i>	<i>Spesifikasi</i>	<i>Foto Alat</i>
<i>Tensile Test</i>	Shimadzu Universal Testing Machine AGS-10kNG ASTM D-638 (Uji Tarik)	
<i>Flexural Test</i>	ASTM D-790 (Uji Kelenturan)	
<i>Conductivity Test</i>	LCR-Meter ASTM B-193	
<i>Melt Flow Indexer</i>	Melt Flow Indexer Model 9 Davenport ASTM D-1238	
<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	Leo 420i <i>Secondary Electron (SE) Detector</i>	

3.2.2 Bahan

Pada penelitian ini, digunakan polipropilena sebagai matriks, PVDF sebagai aditif, antioksidan, dan 3 jenis penguat karbon, yaitu *carbon fiber*, *carbon black*, dan grafit. Adapun jumlah dari massa bahan baku yang digunakan sesuai dengan persentase tiap bahan pada masing-masing formula dan jumlah spesimen yang

dibutuhkan untuk pengujian dan pencarian parameter untuk pemrosesan material. Untuk setiap formula, dibutuhkan 500 gram sampel.

3.2.2.1 Polipropilena (PP)

Dalam penelitian ini, polipropilena digunakan sebagai matriks pada sistem pelat bipolar. Pemilihan PP sebagai matriks mengacu kepada penelitian terdahulu. Matriks PP ini tidak hanya berperan sebagai matriks pengikat pada proses fabrikasi pelat bipolar, tetapi juga salah satu faktor utama yang mempengaruhi sifat konduktivitas dan sifat mekanisnya.

Dalam penelitian ini digunakan *Cosmoplene Polypropylene Block Copolymer grade AH561* yang memiliki sifat-sifat yang dijelaskan pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Sifat *Cosmoplene Polypropylene Block Copolymer Grade AH561*^[15]

<i>Sifat</i>	<i>Nilai</i>
<i>Melt Flow (g/10min)</i>	3
Berat Jenis (g/cm ³)	0.9
Modulus Kelenturan (MPa)	1080
Kekuatan Tarik (MPa)	24.5
Elongasi (%)	680

Adapun jumlah massa PP yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Jumlah Massa PP yang Digunakan

Formula	Persentase	Massa yang digunakan (gram) (Persentase x 500 gram)
1	50 %	250
2	50 %	250
3	14 %	70
4	14 %	70
Total		640

3.2.2.2 Polyvinylidene Flouride (PVDF)

PVDF digunakan sebagai *compatibilizer* antara PP dengan penguat karbon. Selain itu, penambahan PVDF dalam masterbatch akan memberikan pengaruh terhadap sifat mekanis dan juga sifat konduktivitas dari pelat bipolar.

Pada penelitian ini digunakan *PVDF Homopolymer SOLEF[®] 1015/1001* dengan sifat seperti dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Sifat *PVDF Homopolymer SOLEF[®] 1015/1001*^[16]

<i>Sifat</i>	<i>Nilai</i>
<i>Melt Flow (g/10min)</i>	0.2 – 0.7
Berat Jenis (g/cm ³)	1.78
Kekuatan Kelenturan (MPa)	70
Modulus Kelenturan (MPa)	2000
Kekuatan Tarik (MPa)	53 – 57
Modulus Elastisitas (MPa)	2200
Elongasi (%)	5 – 10
Temperatur Leleh (°C)	173
Temperatur Transisi Gelas (°C)	-30

Adapun jumlah massa PVDF yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.6 di bawah ini.

Tabel 3.6 Jumlah Massa PVDF yang Digunakan

Formula	Persentase	Massa yang digunakan (gram) (Persentase x 500 gram)
1	5 %	25
2	5 %	25
3	5 %	25
4	5 %	25
Total		100

3.2.2.3 Carbon Black

Pada penelitian ini, *carbon black* digunakan sebagai material semi konduktif. *Carbon black* dengan luas permukaan yang luas akan mampu

menyaring arus listrik dan membentuk jaringan karbon yang konduktif. Namun, struktur *carbon black* yang berporos akan mengurangi sifat mekanis dari komposit.

Pada penelitian ini digunakan *Cabot Vulcan XC72 Carbon Black* yang memiliki sifat yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.7 Sifat *Cabot Vulcan XC72 Carbon Black*^[1]

<i>Sifat</i>	<i>Nilai</i>
Tampak	Serbuk hitam
Bau	Tidak berbau
Berat Jenis (g/cm ³)	1.7 – 1.9
<i>Bulk Density</i> (g/cm ³)	20 – 550
Ukuran Partikel Rata-rata (nm)	30

Adapun jumlah massa *carbon black* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.8 di bawah ini.

Tabel 3.8 Jumlah Massa *Carbon Black* yang Digunakan

Formula	Persentase	Massa yang digunakan (gram) (Persentase x 500 gram)
1	22 %	110
2	20 %	100
3	30 %	150
4	40 %	200
Total		560

3.2.2.4 *Carbon Fiber*

Penggunaan *carbon fiber* pada penelitian ini dimaksudkan untuk meningkatkan sifat mekanis dari komposit. Namun, penelitian lebih lanjut telah menemukan bahwa *carbon fiber* mampu meningkatkan sifat konduktivitas pada komposit termoplastik. Hal ini dapat dicapai dengan mengontrol arah orientasi dari *carbon fiber* itu sendiri.

Pada penelitian ini digunakan *Chopped Carbon Fiber Fortafil 243*. Adapun sifat dari *carbon fiber* tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.9 di bawah ini.

Tabel 3.9 Sifat dari *Chopped Carbon Fiber Fortafil 243*^[1]

<i>Sifat</i>	<i>Nilai</i>
Kekuatan Tarik (MPa)	3450
Modulus Elastisitas (GPa)	207
Elongasi (%)	1.7
Berat Jenis (g/cm ³)	1.8
Bentuk Filamen	Bulat
Luas <i>Cross-Sectional</i> (mm ²)	3.3 x 10 ⁻⁵
Bentuk Fisik	Serbuk
Tahanan Listrik (mΩ/cm)	1.67

Adapun jumlah massa *carbon fiber* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.10 di bawah ini.

Tabel 3.10 Jumlah Massa *Carbon Fiber* yang Digunakan

Formula	Persentase	Massa yang digunakan (gram) (Persentase x 500 gram)
1	22 %	110
2	15 %	75
3	25 %	125
4	20 %	100
Total		410

3.2.2.5 Grafit

Grafit merupakan salah satu penguat karbon yang paling konduktif dan mampu membantu sifat kemampuprosesan dari komposit karena sifatnya yang mampu melubrikasi lelehan. Grafit juga mampu meningkatkan sifat mekanis dari komposit pelat bipolar. Jumlah massa grafit yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.11 di bawah ini.

Tabel 3.11 Jumlah Massa Grafit yang Digunakan

Formula	Persentase	Massa yang digunakan (gram) (Persentase x 500 gram)
1	0 %	0
2	9 %	45
3	25 %	125
4	20 %	100
Total		270

3.2.2.6 Anti-Oksidan

Pada penelitian ini, anti-oksidan digunakan sebagai agen pencegah degradasi pada pelat bipolar, khususnya degradasi akibat temperatur tinggi pada sistem khususnya saat fabrikasi.

Pada penelitian ini digunakan anti-oksidan CN-CAT B215/B225 *Antioxidant* dengan sifat yang dapat dilihat pada Tabel 3.12 di bawah ini.

Tabel 3.12 Sifat CN-CAT B215/B225 *Antioxidant*^[17]

Sifat	B215	B225
Tampak	Serbuk putih	Serbuk Putih
Komposisi Utama	A168 : 61.5 – 71.5 A1010 : 28.5 – 38.5	A168 : 45.5 – 55.5 A1010 : 45.5 – 55.5
TGA (105°C, 2 jam)	0.5 % maks.	0.5 % maks.
Transmittance 425nm/500nm (%)	96 min / 98 min	95 min / 98 min

Adapun jumlah massa anti-oksidan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.13 di bawah ini.

Tabel 3.13 Jumlah Massa Anti-Oksidan yang Digunakan

Formula	Persentase	Massa yang digunakan (gram) (Persentase x 500 gram)
1	1 %	5
2	1 %	5
3	1 %	5
4	1 %	5
Total		20

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan *Masterbatch*

Masterbatch dibuat dengan cara mencampurkan PP, PVDF, anti-oksidan, dan penguat karbon di dalam mesin rheomix HAAKE 3000, tetapi sampel telah terlebih dahulu dicampurkan secara manual (*dry mixing*) di dalam beaker glass. Komposisi dari masing-masing masterbatch disesuaikan dengan formulasi yang telah disusun terlebih dahulu (Tabel 3.14). Pada proses ini diharapkan tercipta sebuah campuran yang homogen.

Tabel 3.14 Formulasi *Masterbatch*

Formula	% PP	% PVDF	% Carbon Black	% Carbon Fiber	% Grafit	% Anti-oksidan
1	50 %	5 %	22 %	22 %	0 %	1 %
2	50 %	5 %	20 %	15 %	9 %	1 %
3	14 %	5 %	30 %	25 %	25 %	1 %
4	14 %	5 %	40 %	20 %	20 %	1 %

Mesin rheomix HAAKE 3000 merupakan suatu *hot mixer internal* yang mencampurkan zat dengan cara melelehkan dan mencampurkannya. Mesin ini menggunakan 2 buah screw yang berputar secara berlawanan di dalam suatu *chamber* yang memiliki kapasitas penuh 379 gram. Namun, kapasitas optimal dari mesin rheomix agar pencampuran berlangsung sempurna adalah sekitar 250 gram ($\pm 70\%$). Kapasitas ini diperhitungkan berdasarkan pemuai zat akibat kenaikan temperatur dan kemungkinan timbulnya gas akibat reaksi.

Mesin ini terdiri dari 3 pelat, pelat pertama yang stasioner, dan pelat kedua serta ketiga yang dapat dilepas. Pada mesin ini, *chamber* pencampuran berada pada pelat kedua yang dibersihkan untuk mendapat hasil rheomix. Adapun kondisi operasi yang digunakan adalah :

- Temperatur : 180°C
- Deviasi : 0
- Waktu Pencampuran : 6 menit

Prosedur penelitiannya :

1. Mencampurkan (*dry mixing*) PP, PVDF, anti-oksidan, dan penguat karbon sesuai komposisi yang ditetapkan di dalam *beaker glass*.
2. Memasukkan campuran tersebut ke dalam *chamber* mesin rheomix yang kondisi operasinya telah disiapkan dan diatur terlebih dahulu. Persiapan ini termasuk *pre-heating* dan menyalakan rotor sebelum zat dimasukkan.
3. Memulai waktu pencampuran setelah seluruh zat masuk ke dalam mesin. Waktu dihitung selama 6 menit.
4. Setelah proses rheomix selesai, maka mesin dibuka dan dibersihkan untuk mengambil *masterbatch* hasil rheomix.

Setelah proses rheomix selesai, maka didapatkan gumpalan hasil pencampuran. Gumpalan ini selanjutnya dihancurkan (*crushing*) menggunakan mesin *crusher* KPi Crusher tipe KF-808-B. Proses *crushing* ini akan mampu menghancurkan gumpalan hasil rheomix terdahulu menjadi *pellet-pellet* atau *flakes* yang berukuran kecil sehingga memudahkan proses preparasi sampel selanjutnya.

Adapun prosedur *crushing* yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menyalakan mesin *crusher*.
2. Memasukkan gumpalan hasil rheomix ke dalam mesin *crusher*.
3. Setelah proses penghancuran selesai, mesin dimatikan lalu dibuka dan dibersihkan dari sisa hasil *crushing*.

3.3.2 Preparasi Sampel Uji

Pada penelitian ini, preparasi sampel pengujian dilakukan dengan membuat *slab* menggunakan mesin hot press Collin Hot Press tipe Presse 300P. Pada proses ini dihasilkan *slab* berbentuk lingkaran dengan ketebalan 2mm untuk kemudian dipunching untuk mendapatkan spesimen pengujian. Kondisi operasi proses adalah :

Tabel 3.15 Kondisi Operasi *Hot Press* Untuk Formula 1 & 2

Fasa	1	2	3	4	5
Temperatur (°C)	230	230	230	230	230
Tekanan (bar)	1	1	1	1	1
Waktu (menit)	4	5	5	0	12

Tabel 3.16 Kondisi Operasi *Hot Press* Untuk Formula 3 & 4

Fasa	1	2	3	4	5
Temperatur (°C)	240	240	240	240	240
Tekanan (bar)	200	200	200	200	200
Waktu (menit)	4	5	5	0	12

Langkah-langkah preparasi sampel :

1. Membersihkan cetakan *hot press*, melapis cetakan dengan pelumas, dan memasukkan parameter proses pada mesin.
2. Menimbang *pellet* sebesar 63,4 gram untuk sekali proses penekanan untuk formula 1 dan 2 dan 90 gram untuk formula 3 & 4. Massa *pellet* tersebut disesuaikan dengan ketebalan *slab* yang diinginkan, yaitu 2mm dengan cetakan berdiameter 10 cm. Ketebalan ini disesuaikan dengan kebutuhan tebal spesimen yang dibutuhkan dalam pengujian tarik. Sedangkan untuk pengujian kelenturan, dibutuhkan tebal sampel sebesar 4mm. Dengan menggunakan cetakan berdiameter 7 cm, maka dibutuhkan *pellet* seberat 64 gram untuk formula 1 & 2 dan 89 gram untuk formula 3 & 4.
3. Meletakkan *pellet* di dalam cetakan secara merata agar terjadi distribusi ketebalan yang merata pada *slab* yang dihasilkan.

4. Cetakan selanjutnya diletakkan ke dalam mesin. Selanjutnya proses dimulai secara otomatis pada mesin.
5. Proses penekanan dimulai dengan pemanasan cetakan hingga mencapai batas toleransi temperatur proses.
6. Setelah cetakan mencapai temperatur proses, maka cetakan akan naik ke *platform* atas dan mengalami penekanan dengan tekanan sesuai proses.
7. Setelah 26 menit, maka cetakan akan kembali turun dan proses selesai.
8. Selanjutnya cetakan diambil dan dibongkar untuk mendapatkan *slab* hasil penekanan.
9. Selanjutnya *slab* dipunching untuk mendapatkan sampel *dog-bone* untuk pengujian tarik dan kelenturan. Sedangkan, untuk pengujian SEM dapat diambil spesimen dari sisa *punching*.
10. Karena dibutuhkan 2 buah *slab* untuk setiap formula agar mencukupi kebutuhan jumlah spesimen, maka langkah di atas diulangi 2 kali untuk setiap formula.
11. Proses ini diulangi untuk setiap formula.

Setelah penekanan, sampel hasil penekanan dipotong dan dibentuk sesuai spesimen uji tarik maupun kelenturan dengan *punching* untuk formula 1 & 2, serta proses milling / gerinda untuk formula 3 & 4. Proses milling dilakukan karena sifat dari formula 3 & 4 yang sangat getas sehingga sulit untuk dikeluarkan dari *puncher* (Gambar 3.2) tanpa merusak spesimen. Setelah pembentukan spesimen, dilakukan *conditioning* terhadap sampel uji pada suatu *chamber* dengan temperatur 23°C dan tingkat kelembaban 50% selama 40 jam. Setelah *conditioning* dilakukan, dilakukan pengujian tarik dan kelenturan terhadap spesimen.



Gambar 3.2 Cetakan Spesimen (*Puncher*)

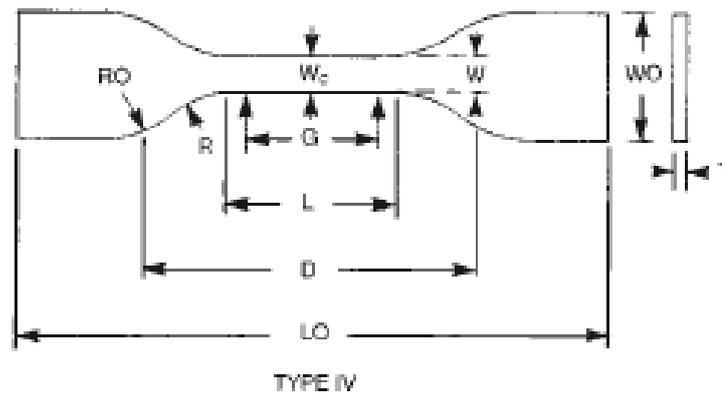
3.3.3 Karakterisasi *Masterbatch*

3.3.3.1 Pengujian Tarik

Tujuan utama dilakukannya pengujian tarik material ini adalah untuk menganalisa respon material pada saat dikenakan beban atau deformasi terhadap pembebanan statis yang diberikan serta untuk memprediksi performa material di bawah kondisi pembebanan.

Prinsip pengujian ini yaitu sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu diberi beban tarik *uniaxial* (satu arah) yang bertambah secara kontinu hingga spesimen tarik tersebut putus, bersamaan dengan penarikan tersebut dilakukan pengamatan pertambahan panjang yang dialami benda uji.

Spesimen uji memiliki ukuran dan bentuk standar yang telah ditentukan oleh standar ASTM D 638 tipe 4. Memiliki bentuk *dog bone shape* dimana panjang bagian tengah spesimen memiliki luas penampang lebih kecil dibandingkan kedua ujungnya. Hal ini dimaksudkan agar patahan yang terjadi berada di sekitar daerah tersebut. Daerah tersebut dinamakan *Gauge length*, yaitu daerah bagian tengah spesimen dimana elongasi yang terjadi diukur. Gambar 3.3 dan Tabel 3.17 di bawah ini menunjukkan bentuk dan dimesni spesimen pengujian tarik.

Gambar 3.3 Bentuk Spesimen Uji Tarik^[18]Tabel 3.17 Dimensi Spesimen Uji Tarik^[18]

Dimensi	Ukuran (mm)	Toleransi
Lebar bagian leher (W)	6	± 0.5
Panjang bagian leher (L)	33	± 0.5
Lebar keseluruhan (WO)	19	+ 6.4
Panjang keseluruhan (LO)	115	Tidak ada batas maksimum
<i>Gauge Length</i> (G)	25	± 0.13
Jarak antar grip (D)	65	± 5
<i>Radius of fillet</i> (R)	14	± 1
<i>Outer radius</i> (RO)	25	± 1
Ketebalan (T)	3.2	± 0.4

Mesin uji tarik didisain untuk menarik spesimen pada laju yang konstan dan secara kontinu memberikan beban yang menghasilkan elongasi pada spesimen. Pengujian tarik ini termasuk pengujian merusak dimana material terdeformasi permanen dan terjadi patahan. Parameter yang digunakan dalam pengujian tarik yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.18 di bawah ini.

Tabel 3.18 Parameter Pengujian Tarik

Parameter	Kondisi
Temperatur Pengujian	22.1°C
Kelembaban Udara	61.0%
<i>Pretension</i>	0.1 N
<i>Gripped Length</i>	65 mm
Kecepatan Pengujian	5 mm/min

Data yang didapatkan dari pengujian ini terdiri dari modulus elastisitas dari material, kekuatan tariknya, beban maksimum yang dapat diterima material serta besar elongasi saat terjadi perpatahan yang langsung didapatkan pada komputer yang tersambung dengan mesin.

Data yang didapatkan dari pengujian ini dapat dibagi atas data yang didapatkan secara manual seperti diameter spesimen untuk mengetahui luas penampang spesimen (A), dan data yang terekam dari mesin uji tarik berupa beban P yang diberikan (*load cell*) dan elongasi (Δl) yang dihasilkan. Beban dan elongasi ini kemudian dikonversikan ke kurva tegangan-regangan berdasarkan persamaan :

$$\text{Stress (tegangan) yang digunakan} = \sigma = \frac{P}{A_o} \quad (3.1)$$

$$\text{Strain (regangan) yang dihasilkan} = \epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} \quad (3.2)$$

Kemudian nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan dihubungkan dengan persamaan :

$$\sigma = E \epsilon \quad (3.3)$$

dengan E adalah modulus elastisitas dari material yang digunakan, P adalah beban yang diterima / diaplikasikan, A_o adalah luas penampang awal, l_o adalah panjang awal, dan l_i adalah panjang saat penarikan.

Adapun prosedur pengujian tarik adalah :

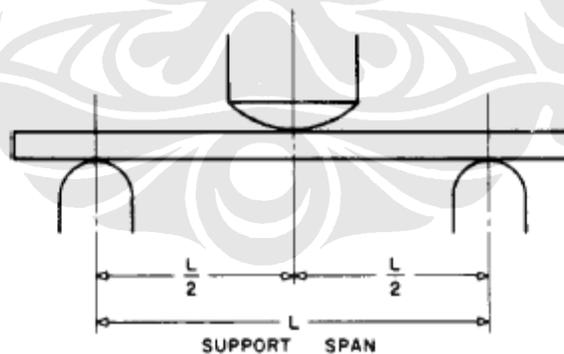
1. Preparasi spesimen pengujian. Hal ini termasuk pemotongan spesimen pengujian dan pengkondisian spesimen.
2. Mengukur lebar leher spesimen.

3. Mengatur parameter pengujian (kecepatan penarikan, beban, temperatur ruang, dan kelembaban ruang).
4. Meletakkan spesimen pada grip pengujian.
5. Memulai penarikan.
6. Sampel patah, grafik diamati.
7. Mendapatkan hasil pengujian.
8. Ulangi langkah 3 - 6 di atas untuk tiap spesimen.

3.3.3.2 Pengujian Kelenturan

Pengujian kelenturan ditujukan untuk mengetahui ketahanan material komposit terhadap beban lentur. Pada aplikasinya sebagai pelat bipolar, material ini akan terkena beban lentur sebagai akibat dari penyusunannya sebagai *fuel cell*.

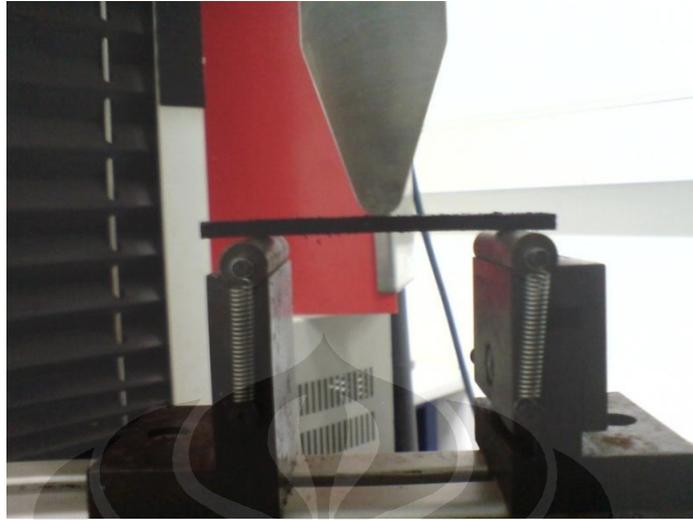
Pengujian kelenturan ini dilakukan dengan metode *three-point bending* yang memiliki tiga titik utama, yaitu dua titik tumpuan pada pinggir spesimen uji dan satu titik pembebanan pada bagian tengah spesimen. Selanjutnya, beban lentur dengan kecepatan konstan diberikan kepada spesimen hingga spesimen mengalami perpatahan. Gambar 3.4 di bawah ini menunjukkan skema *three-point bending*.



Gambar 3.4 Skema Metode *Three-Point Bending*^[19]

Pengujian ini menggunakan mesin *universal testing machine* Shimadzu AGS 10kNG yang sama dengan pengujian tarik. Namun, dilakukan penggantian terhadap *head* pengujian (Gambar 3.5) untuk pengujian kelenturan *three-point bending*. Pengujian ini menggunakan parameter yang diatur oleh standar ASTM

D790 yang mengatur mengenai standar pengujian kelenturan untuk material plastik.



Gambar 3.5 *Head* Pengujian Kelenturan

Pada pengujian ini, kecepatan pembebanan (R) dihitung menurut *support span* yaitu 16 kali ketebalan sampel (L), kecepatan peregangan spesimen (Z), dan ketebalan sampel (d) menggunakan rumus :

$$R = ZL^2 / 6d \quad (3.4)$$

Data yang didapatkan dari pengujian ini terdiri dari modulus kelenturan dari material, kekuatan lenturnya, serta beban maksimum yang dapat diterima material. Data tersebut langsung didapatkan pada komputer yang tersambung dengan mesin. Data yang terekam dari mesin uji kelenturan berupa beban P yang diberikan (*load cell*) dan defleksi (D) yang dihasilkan. Beban dan regangan ini kemudian dikonversikan ke kurva tegangan-defleksi berdasarkan persamaan :

$$\text{Stress (tegangan) yang digunakan} = \sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.5)$$

$$\text{Strain (regangan) yang dihasilkan} = \varepsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \quad (3.6)$$

Untuk menghitung modulus fleksural dari spesimen digunakan rumus :

$$E_f = L^3 m / 4bd^3 \quad (3.7)$$

dengan E_f adalah modulus kelenturan dari material yang digunakan, P adalah beban yang diterima / diaplikasikan, L adalah *support span*, b adalah lebar

spesimen, d adalah ketebalan spesimen, dan m adalah sudut tangensial dari kurva tegangan-defleksi .

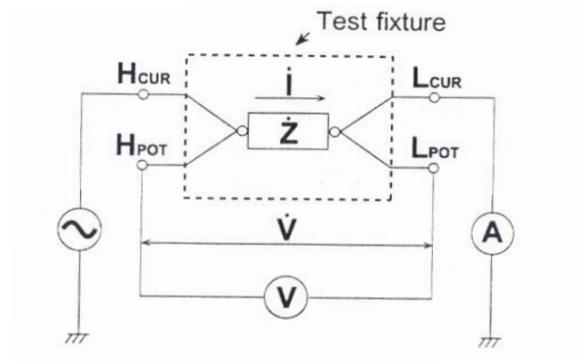
Adapun prosedur pengujian kelenturan adalah :

1. Preparasi spesimen pengujian. Hal ini termasuk pemotongan spesimen pengujian dan pengkondisian spesimen.
2. Mengukur lebar dan ketebalan spesimen. Selanjutnya dilakukan penghitungan terhadap *support span* dan juga kecepatan pembebanan.
3. Mengatur parameter pengujian (kecepatan pembebanan, beban, temperatur ruang, dan kelembaban ruang).
4. Meletakkan spesimen pada grip pengujian.
5. Memulai pembebanan.
6. Sampel mengalami kegagalan, grafik diamati.
7. Mendapatkan hasil pengujian.
8. Ulangi langkah 3 - 6 di atas untuk tiap spesimen.

3.3.3.3 Pengujian Konduktivitas

Fungsi material komposit sebagai pelat bipolar haruslah ditunjang dengan sifat konduktivitas listrik yang tinggi. Oleh karena itu, dilakukan pengujian konduktivitas terhadap sampel untuk melihat besar arus listrik yang dapat dihantarkan oleh material komposit tersebut.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan LCR-Meter sesuai dengan dtandar ASTM B 193. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur sifat bahan yang meliputi induktansi, kapasistansi, dan konduktansi terhadap fungsi frekuensi. Frekuensi dapat divariasikan antara 0,01 Hz sampai 100 kHz. Parameter lain yang dapat diukur yaitu sudut fase terhadap fungsi frekuensi. Gambar 3.6 di bawah ini menunjukkan prinsip pengujian konduktivitas.



Gambar 3.6 Prinsip Dasar Pengukuran dengan Alat LCR-Meter^[22]

Data yang didapatkan berupa besar nilai konduktansi (G) yang kemudian dibagi dengan perbandingan ketebalan dengan luas permukaan bidang (K) sesuai rumus di bawah ini untuk mendapatkan nilai konduktivitas material.

$$\sigma = \frac{G}{K} \quad (3.8)$$

Prosedur pengujiannya sebagai berikut :

1. Persiapkan cuplikan yang akan diukur, yang ditempatkan diantara dua pemegang cuplikan yang terbuat dari tembaga, dijepit yang dihubungkan melalui kabel terminal ke alat LCR-meter.



Gambar 3.7 Tempat Penyimpan Cuplikan^[22]

2. Nyalakan sistem power, dengan menekan tombol 'Power switch'.
3. Sistem pengukuran diatur, antara lain batas open circuit voltage, batas voltase konstan, batas arus konstan, dan parameter-parameter lainnya.

4. Setelah pengaturan parameter, pada monitor akan terpampang kondisi operasional LCR-meter.
5. Untuk pengukuran dengan frekuensi dependent dilakukan dari frekuensi terendah 0,001 Hz sampai ke frekuensi tertinggi 100000 Hz. Setelah pengukuran selesai, frekuensi harus dikembalikan ke frekuensi rendah.
6. Setelah pengujian selesai, matikan alat LCR-meter dengan menekan tombol power dan melepas kabel test dari alat LCR-meter.
7. Alat ini tidak dapat digunakan untuk bahan atau komponen aktif seperti lilitan yang akan menimbulkan arus tinggi pada pengukuran dengan frekuensi tinggi dan akan merusakkan alat LCR-meter.

3.3.3.4 Pengujian *Melt Flow Index* (MFI)

Karakterisasi MFI ditujukan untuk menghitung kemampualiran dari formula komposit yang disusun. Karakterisasi ini menggunakan mesin Melt Flow Indexer-9, Davenport yang mengikuti standar ASTM D-1238 dan spesimen pengujian berupa *pellet*. Hasil yang didapat berupa berat ekstrudat yang dipotong setiap *cut-off time* yang kemudian dihitung untuk mendapatkan besar MFI nya. Besar MFI inilah yang akan dibandingkan pada setiap formula. Penghitungan besar MFI menggunakan rumus

$$MFI = \frac{10 W}{T} \quad (3.9)$$

Parameter karakterisasi yang diberikan adalah sebagai berikut :

- Temperatur : 230°C
- Beban : 2160 gram
- *Cut-off time* : 15 detik / 0,25 menit

Adapun prosedur pengujiannya adalah :

1. Memasang *ceramic insert* ke dalam pelat tembaga dan memasangnya ke alat pengujian.
2. Meletakkan *die* ke dalam silinder.

3. Menyalakan mesin pengujian dan memilih parameter pengujian. Selanjutnya mesin akan memanaskan silinder hingga temperatur pengujian.
4. Menyiapkan *pellet* untuk diuji.
5. Setelah temperatur dicapai, maka *pellet* dimasukkan ke dalam silinder lalu menekan tombol start. Pellet kemudian ditekan dengan alat penekan selama satu menit.
6. Setelah satu menit beban dipasang, tetapi tetap ditunjang dengan *piston support*.
7. Setelah cincin bawah pada alat penekan memasuki silinder, tekan tombol start dan waktu *cut-off* dimulai.
8. Ekstrudat yang keluar dipotong setiap 15 detik hingga cincin atas memasuki silinder.
9. Massa ekstrudat yang didapat ditimbang untuk mendapatkan nilai MFI dengan perhitungan di atas.
10. Ulangi langkah di atas untuk setiap formula.

3.3.3.5 Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Karakterisasi dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) ditujukan untuk melihat topografi dari permukaan spesimen pengujian. Dari permukaan yang tampak, dapat dilihat ikatan dari komposit dan juga arah orientasi penguat karbon. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui porositas dari komposit yang terbentuk. Adanya porositas dapat mempengaruhi sifat mekanis dan konduktivitas dari material komposit.

Prinsip dari pengujian ini adalah peninjauan permukaan sampel dengan menembakkan elektron berenergi tinggi dan menterjemahkannya ke dalam sebuah gambar di monitor. Elektron-elektron yang ditembakkan tersebut akan berinteraksi dengan atom-atom pada sampel yang akan memproduksi sinyal yang mengandung informasi mengenai topografi permukaan sampel. Pada pengujian ini digunakan detektor *secondary electron* (SE) yang dapat memproduksi gambar permukaan sampel beresolusi sangat tinggi (1-5 nm). Detektor ini mampu memberikan tingkat kejelasan gambar yang sangat baik sehingga mampu

memberikan karakter 3 dimensi yang berguna untuk mempelajari struktur permukaan dari sampel. Pengujian dengan SEM mampu dilakukan pada perbesaran 25x hingga 250.000x.

Prosedur pengujian SEM adalah :

1. Pelapisan sampel dengan emas untuk meningkatkan konduktivitasnya terhadap elektron.
2. Sampel diletakkan ke dalam *chamber* yang kemudian akan divakum.
3. Setelah divakum, elektron dinyalakan.
4. Selanjutnya dilakukan pengambilan gambar terhadap bagian-bagian yang diinginkan. Perbesaran diatur menurut bagian yang ingin dilihat.
5. Pengambilan gambar dilakukan pada beberapa titik untuk melihat kondisi permukaan secara umum.
6. Langkah tersebut diulangi untuk setiap sampel.

