

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 HASIL PREPARASI SAMPEL

Seperti yang telah disebutkan pada bab sebelumnya preparasi sampel terdiri dari tiga tahap, yaitu *compounding (dry blending)*, *pelletizing (hot blending)* dan pencetakan sampel uji (*injection molding*).

4.1.1 Hasil Compounding (Dry Blending)

Dry Blending merupakan metode *mixing*. Pada metode *mixing* dengan melakukan metode *dry blending* terjadi kontak permukaan antar konstituen dan kualitas dari *mixing* tersebut dinyatakan sebagai homogenitas yakni ukuran dispersi dan distribusi konstituen. Distribusi konstituen yaitu tingkat pencampuran dimana terjadi penyebaran komponen yang merata ke seluruh sistem sehingga sifat asli dari masing-masing komponen tidak berubah. Dispersi konstituen yaitu tingkat kerataan dimana dalam proses pencampurannya terjadi gesekan antar komponen-komponen penyusun WPCs sehingga menjadi satu kesatuan yang ditandai dengan hilangnya sifat masing-masing komponen

Proses *dry blending* dilakukan dengan *Teledyne Mixer Blender* selama 10 menit pada temperatur kamar. Hasil yang diperoleh dari proses *dry blending* adalah homogenitas dari pencampuran komponen-komponen penyusun WPCs.



Gambar 4.1. Hasil *dry blending*

4.1.2 Hasil Pelletizing (*Hot Blending*)

Hot blending (pelletizing) merupakan proses ekstrusi yang bertujuan untuk merubah bentuk resin + aditif + bahan pengisi yang telah di-*mixing* pada proses *dry blending* untuk kemudian disatukan konstituen-konstituennya menjadi bentuk pellet. Proses *hot blending (pelletizing)* dilakukan dengan mesin *twin screw ekstruder* dengan kondisi proses seperti yang telah disebutkan pada **Bab III**.

Pada pellet dengan ukuran bahan pengisi 1410 μm (sampel nomor 2) didapatkan pellet yang berwarna keabu-abuan. Perubahan warna ini (putih ke abu-abu) disebabkan karena adanya kontaminan berupa *colorant* pada mesin *twin screw ekstruder* yang digunakan.

Pada pellet dengan ukuran bahan pengisi 1000 μm (sampel nomor 3) didapatkan pellet yang berwarna coklat. Pellet yang berwarna coklat ini bukan disebabkan karena kontaminan melainkan disebabkan karena *bahan pengisi* serbuk kayu berwarna coklat.

Pada pellet dengan ukuran bahan pengisi 365 μm (sampel nomor 4) didapatkan pellet berwarna coklat tua. Pellet yang berwarna coklat tua ini bukan disebabkan karena kontaminan melainkan disebabkan karena bahan pengisi kayu yang terdapat berwarna coklat dan ukuran *bahan pengisi* lebih halus.

Pada pellet dengan ukuran bahan pengisi 250 μm (sampel nomor 5) didapatkan pellet berwarna coklat kemerah-merahan. Warna kemerah-

merahan ini disebabkan karena adanya kontaminan berupa *colorant* pada mesin *twin screw ekstruder* yang digunakan.



Gambar 4.2. Pellet hasil *hot blending*

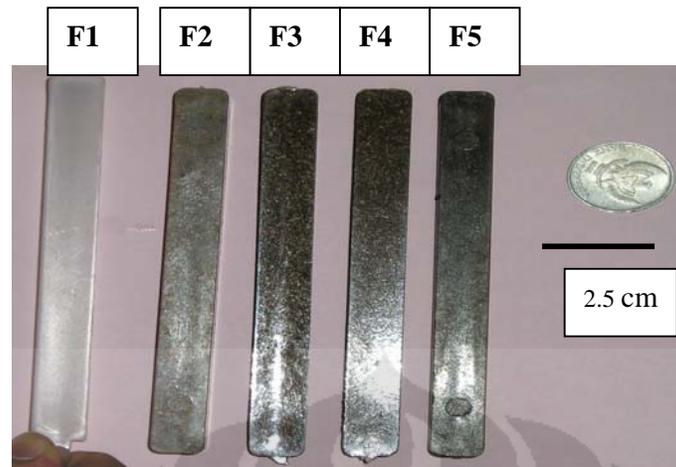
4.1.3 Hasil *Injection Molding*

Injection Molding atau pencetakan injeksi adalah salah satu metode pengubahan bentuk polimer dari material setengah jadi berupa pellet menjadi suatu produk jadi. Proses *injection molding* merupakan proses yang berlangsung siklis, artinya langkah-langkah prosesnya akan terulang kembali secara periodik.

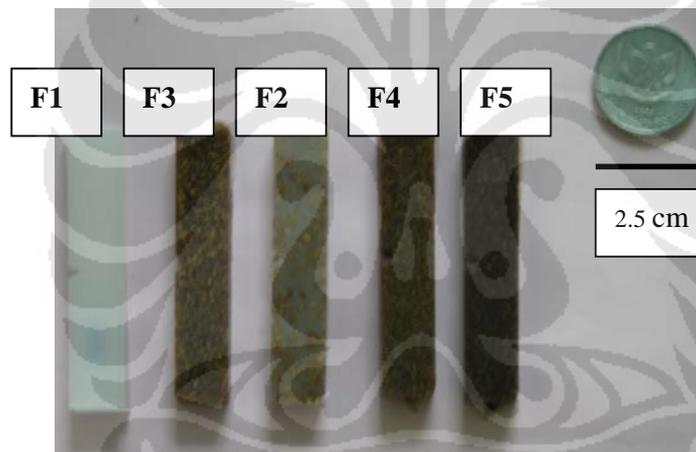
Hasil dari proses *injection molding* yaitu sampel yang akan digunakan pada uji kekuatan mekanik (uji tarik, uji fleksural, uji dampak dan uji kekerasan).



Gambar 4.3. Sampel uji tarik hasil *injection molding*



Gambar 4.4 Sampel uji fleksural hasil *injection molding*



Gambar 4.5. Sampel uji Impak hasil *injection molding*

4.2 PENGUJIAN MFR (*MELT FLOW RATE*)

MFR merupakan salah satu pengujian yang sangat praktis sehingga mudah diaplikasikan untuk mengetahui karakteristik dari suatu polimer. Pengukuran ini sangat berguna untuk mempelajari prosesabilitas dari suatu material polimer. Prinsipnya ialah dengan mengukur banyaknya sampel (bentuk bisa pellet ataupun serbuk) yang meleleh pada waktu (10 menit) apabila menerima pembebanan tertentu yang sesuai dengan standar.

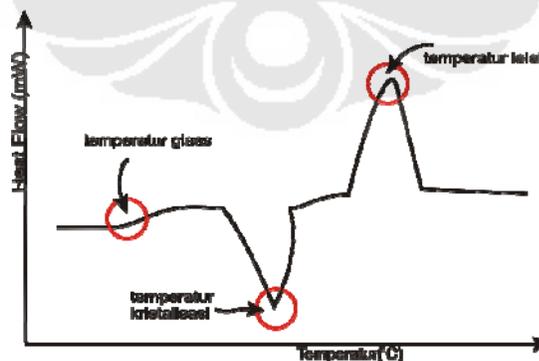
Pengujian MFR dilakukan satu kali untuk masing-masing variabel ukuran bahan pengisi. Data hasil pengujian MFR (*Melt Flow Rate*) dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Hasil Pengujian MFR

Kode Sampel	Ukuran Bahan pengisi (μm)	MFR rata-rata (gr/10 menit)
F1	Tanpa bahan pengisi	8.10
F2	1410	9.06
F3	1000	8.88
F4	365	11.40
F5	250	11.50

4.3 PENGUJIAN SIFAT TERMAL

Pengujian sifat termal (temperatur leleh dan temperatur kristalisasi) menggunakan alat DSC. Prinsip pengujian DSC ialah dengan membandingkan sampel dengan sampel referensi, dimana keduanya terisolasi secara termal dan dipanaskan secara linier. Perbedaan perilaku eksotermik dan endotermik sampel, seperti perubahan spesifik *heat capacity*, *heat flow*, dan nilai temperatur, akan dicatat dan diolah menjadi suatu informasi termal. Contoh ilustrasi kurva hasil pengujian DSC dapat dilihat pada gambar.



Gambar 4.6. Grafik hasil pengujian DSC^[13]

Sebanyak 5 mg sampel dimasukkan ke dalam tempat sampel untuk diukur titik leleh dan titik kristalisasi dengan alat *Differential Scanning Calorimeter* (DSC).

Laju pemanasan dan pendinginan adalah 10°C/min. Kisaran suhu antara 40°C hingga 220°C baik untuk pemanasan ataupun pendinginan. Dalam DSC digunakan pengukuran aliran panas yang dikomposisikan dan dicatat oleh perekam. Sampel dipanaskan dalam elemen pemanas yang terkontrol. Pada wadah sampel terdapat sensor temperatur yang diatur untuk merespon semua perubahan kalor yang terjadi secara kontinyu

4.3.1 Pengujian Temperatur Leleh

Temperatur leleh polimer akan diukur berdasarkan perilaku endotermik dari sampel saat temperatur dinaikkan. Sedangkan derajat kristalinitas dapat diketahui dari perbandingan antara *heat of fusion* dari sampel (digambarkan dengan luas daerah dibawah kurva pada grafik hasil DSC) dan *heat of fusion* dari material kristalin murni.

Pengujian temperatur leleh dilakukan dengan menggunakan satu spesimen uji untuk setiap variabel ukuran bahan pengisi. Pengujian temperatur leleh menggunakan alat DSC. Data hasil pengujian temperatur leleh rata-rata, dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Temperatur Leleh

Kode Sampel	Ukuran Bahan pengisi (µm)	Temperatur Leleh rata-rata (°C)
F1	Tanpa bahan pengisi	156.17
F2	1410	157.20
F3	1000	159.40
F4	365	158.31
F5	250	159.80

4.3.2 Pengujian Temperatur Kristalisasi

Temperatur Kristalisasi akan terukur saat terjadi isothermal kristalisasi saat pendinginan sampel dan terjadi perilaku eksotermik.

Pengujian temperatur kristalisasi dilakukan dengan menggunakan satu spesimen uji untuk setiap variabel ukuran bahan pengisi. Pengujian temperatur kristalisasi menggunakan alat DSC. Data hasil pengujian temperatur kristalisasi rata-rata, dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Temperatur Kristalisasi

Kode Sampel	Ukuran Bahan Pengisi (μm)	Temperatur Kristalisasi rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)
F1	Tanpa bahan pengisi	108.33
F2	1410	112.01
F3	1000	116.84
F4	365	115.11
F5	250	117.11

4.4 PENGUJIAN SIFAT MEKANIK

4.4.1 Pengujian Kekuatan Tarik dan *Tensile at Yield*

Pengujian kekuatan tarik dan *tensile at yield* dilakukan dengan menggunakan tiga spesimen uji untuk setiap variabel ukuran *bahan pengisi*. Hasil pengujian kekuatan tarik dan *tensile at yield* menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan *tensile at yield* spesimen uji akan meningkat seiring dengan semakin halusya ukuran *bahan pengisi*. Data hasil pengujian kekuatan tarik dan *tensile at yield* dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5**

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Kode Sampel	Ukuran Bahan Pengisi (μm)	Kekuatan Tarik rata-rata (Mpa)
F1	Tanpa bahan pengisi	593.00
F2	1410	633.33
F3	1000	656.67
F4	365	806.00
F5	250	919.00

Tabel 4.5. Hasil pengujian kekuatan tarik (*tensile at yield*)

Kode Sampel	Ukuran Bahan Pengisi (μm)	Tensile Strength rata-rata (Mpa)
F1	Tanpa bahan pengisi	31.44
F2	1410	32.12
F3	1000	33.27
F4	365	33.82
F5	250	33.92

4.4.2 Pengujian Fleksural

Pengujian fleksural merupakan salah satu sifat mekanik yang sangat penting pada pengujian sifat mekanik polimer terutama untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan *bending*. Kekuatan fleksural yaitu kemampuan material untuk mempertahankan bentuknya atau untuk melawan deformasi akibat gaya yang dikenakan padanya.

Pengujian kekuatan fleksural dilakukan dengan menggunakan tiga spesimen uji untuk setiap variabel ukuran bahan pengisi. Hasil pengujian kekuatan fleksural menunjukkan bahwa kekuatan fleksural spesimen uji akan meningkat seiring dengan semakin halusya ukuran bahan pengisi. Data hasil pengujian fleksural dapat dilihat pada **Tabel 4.6**

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Fleksural

Kode Sampel	Ukuran Bahan Pengisi (μm)	Kekutan Fleksural rata-rata (MPa)
F1	Tanpa bahan pengisi	1126.67
F2	1410	1433.33
F3	1000	1520.00
F4	365	1630.00
F5	250	1716.67

4.4.3 Pengujian Izod Impact Strength

Data yang didapat dari pengujian impak metode Izod ialah berupa energi absorb dari sampel. Energi absorb adalah besarnya energi dari luar yang diserap material sampai terjadinya kerusakan struktur.

Pengujian Izod *Impact Strength* dilakukan dengan menggunakan empat spesimen uji untuk setiap variabel ukuran bahan pengisi. Data hasil pengujian Izod *Impact Strength* rata-rata, dapat dilihat pada **Tabel 4.7**

Tabel 4.7. Hasil Pengujian *Izod Impact Strength*

Kode Sampel	Ukuran Bahan Pengisi (μm)	Energi Absorb rata-rata (J)
F1	Tanpa bahan pengisi	0.08
F2	1410	0.05
F3	1000	0.06
F4	365	0.06
F5	250	0.05

4.4.4 Pengujian Kekerasan

Prinsip pengujian kekerasan adalah mengukur ketahanan suatu material terhadap deformasi berupa indentasi permanen. Pada pengujian kekerasan digunakan metode indentasi Rockwell. Skala Rockwell didapat dari kombinasi beberapa jenis indentor dan beban tergantung material yang ingin diuji. Pada spesimen uji polimer polipropilena dan specimen uji WPCs, skala yang digunakan adalah skala R (indentor: bola baja diameter 1/2" dengan beban mayor 60 kgf).

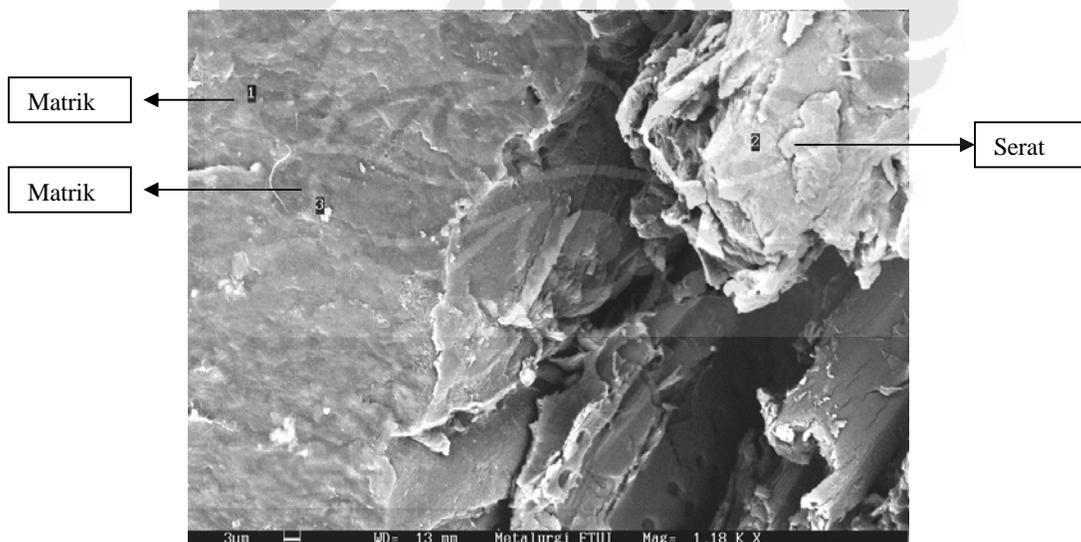
Pengujian kekerasan menggunakan satu spesimen uji, penjejukan dilakukan sebanyak lima kali di tempat yang berbeda. untuk setiap variabel ukuran bahan pengisi. Hasil pengujian kekeraan menunjukkan bahwa spesimen yang nilai kekerasan meningkat seiring dengan semakin halusya ukuran *bahan pengisi*. Data hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada **Tabel 4.8**

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Kekerasan

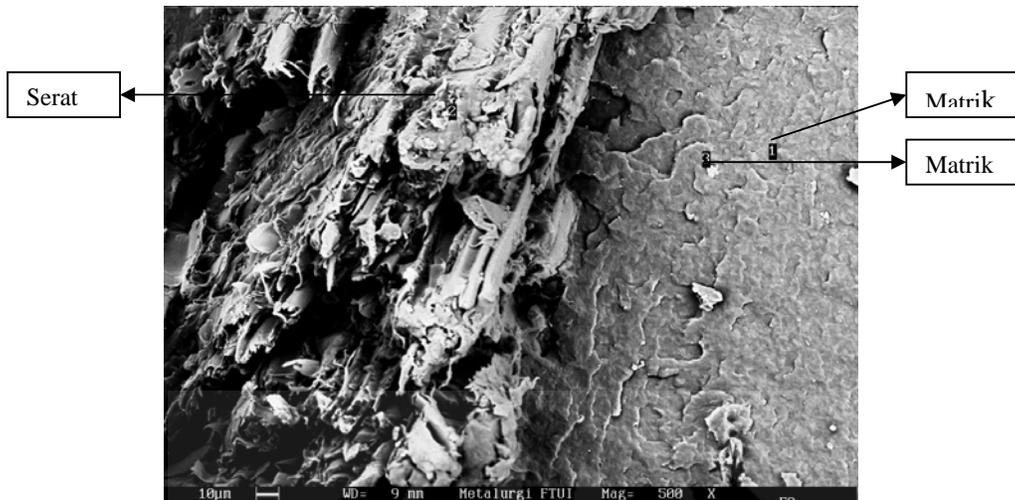
Kode Sampel	Ukuran Bahan Pengisi (μm)	Kekerasan rata-rata (HRR)
F1	Tanpa bahan pengisi	82
F2	1410	93
F3	1000	95
F4	365	96
F5	250	97

4.5 HASIL PENGUJIAN EDX

Pengujian komposisi kimia menggunakan alat EDX. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unsur apa saja yang terkandung di WPCs. Pengujian EDX menggunakan tiga spesimen uji, yaitu F2 (ukuran *bahan pengisi* 12 mesh), F3 (ukuran *bahan pengisi* 18 mesh) dan F5 (ukuran *bahan pengisi* 60 mesh). Pemilihan spesimen uji tersebut didasarkan pada adanya kontaminan di ketiga spesimen uji tersebut. Hasil pengujian EDX dapat dilihat pada tabel 4.9 sampai tabel 4.11.



Gambar 4.7. Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan EDX produk WPCs dengan ukuran bahan pengisi sebesar 1410 μm (F2)



Gambar 4.8. Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan EDX produk WPCs dengan ukuran bahan pengisi 1000 μm (F3)



Gambar 4.9. Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan EDX produk WPCs dengan ukuran bahan pengisi 250 μm (F5)

Tabel 4.9. Hasil Pengujian EDX Sampel F2

Posisi Pengujian	Unsur Yang Terkandung	Jumlah (%)
1	C	74.22
	O	25.78
2	C	31.19
	O	68.31
3	C	56.10
	O	39.15

Tabel 4.10. Hasil Pengujian EDX Sampel F3

Posisi Pengujian	Unsur Yang Terkandung	Jumlah (%)
1	C	74.66
	O	25.34
2	C	32.52
	O	67.48
3	C	73.62
	O	26.38

Tabel 4.11. Hasil Pengujian EDX Sampel F5

Posisi Pengujian	Unsur Yang Terkandung	Jumlah (%)
1	C	81.14
	O	18.86
2	C	33.98
	O	51.47
	Ca	14.35

BAB V

PEMBAHASAN DAN DISKUSI

5.1 ANALISIS PREPARASI SAMPEL

5.1.1 Analisis Proses *Dry Blending*

Proses *dry blending* adalah pencampuran resin dengan aditif untuk menghasilkan suatu homogenitas dari material yang dicampur tersebut. Pencampurannya (*mixing*) hanya terjadi pada permukaannya.

Proses *dry blending* berlangsung melalui beberapa tahap, yaitu :

- a) Penimbangan komponen-komponen yang akan dicampurkan yaitu resin polipropilena, aditif (antioksidan, *acid scavenger* dan *copuling agent*). Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penimbangan resin polipropilena, aditif-aditif dan bahan pengisi adalah komposisi komponen-komponen penyusun WPCs karena apabila komposisi komponen-komponen tersebut kurang dari ketentuan yang telah ditentukan , walaupun hanya kurang sedikit akan menyebabkan performa dari komposit menjadi tidak optimal. Begitupula penambahan aditif melebihi ketentuan menyebabkan performa dari material komposit hasil pencampuran resin, bahan pengisi dengan aditif menjadi kontraproduktif, pemakaian aditif biasanya berjumlah 0.1–5.0 wt%^[13] Dalam penelitian ini pemakaian aditif masih pada rentang yang dianjurkan.
- b) Setelah melakukan penimbangan, proses yang harus dilakukan berikutnya adalah mencampurkan aditif, resin dan bahan pengisi ke dalam *cone / drum*. Saat penuangan dilakukan yang perlu diperhatikan adalah bahwa metode penuangannya adalah bertahap. Artinya tidak semua aditif, resin dan bahan pengisi langsung dijadikan satu atau dituang langsung ke dalam alat *mixer*. Hal ini dilakukan untuk menjaga agar penyebaran komponen-komponen yang akan dicampurkan menyebar secara homogen di setiap arah sehingga dapat dihasilkan material hasil *mixing* dengan homogenitas yang optimal.
- c) Tahapan berikutnya yaitu proses pencampuran. Homogenitas penyebaran bahan pengisi di matriks merupakan faktor penting yang menentukan

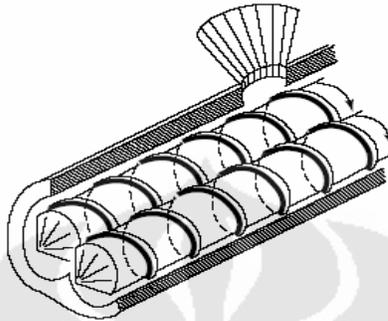
properties komposit^[18] Bahan pengisi serbuk kayu tidak terdispersi dengan mudah selama proses *compounding*. Adanya aditif *coupling agent* membantu pendispersian bahan pengisi di matriks^[19]. Dalam tahap pencampuran variabel yang perlu diperhatikan yaitu waktu dan temperatur *mixing*. Terlalu cepat akan menurunkan tingkat sebaran atau homogenitas. Terlalu lama pencampuran dapat mengakibatkan material menjadi berubah warna akibat makin lama pencampuran maka gesekan antara rotor dan *chamber* pun semakin tinggi, semakin tinggi friksi, maka akan menimbulkan panas yang berlebih yang justru akan merusak stabilitas material dan performanya kelak. Dalam penelitian ini waktu *mixing* adalah 10 menit. 10 menit merupakan waktu optimal *mixing*, hal ini dibuktikan bahwa tingkat homogenitas komponen-komponen penyusun komposit telah merata dan hasil *mixing* tidak berubah warna, perubahan warna yang terjadi pada sampel F2 dan F5 bukan karena disebabkan oleh waktu *mixing* yang terlalu lama melainkan disebabkan oleh kontaminan (*colorant*) yang terjadi pada proses *pelletizing*. Sedangkan temperatur *mixing* yaitu temperatur kamar. Penggunaan temperatur kamar ini dikarenakan pada alat *mixer* tidak terdapat alat untuk mengatur temperatur.

5.1.2 Analisis Proses Pelletizing (*Hot Blending*)

Proses *hot blending* dilakukan setelah proses *dry blending* selesai. Sebelum dilakukan proses *hot blending* mesin *twin extruder*, pendingin, dan cutter harus disiapkan terlebih dahulu. Proses *hot blending* bertujuan mengubah bentuk resin polipropilena yang telah bercampur dengan additif dan bahan pengisi menjadi pellet WPCs.

Proses *pelletizing* menggunakan *twin screw extruder*, berbeda dengan *single screw extruder*, di dalam *twin screw extruder* terdapat dua buah *screw*. Jenis *twin screw* yang digunakan adalah tipe *co-rotating*, jenis *screw* ini biasa digunakan untuk proses *compounding*. Kecepatan *screw* sangat tinggi yaitu antara 200 sampai 500 rpm. Makin cepat kecepatan *screw*, maka kemungkinan material akan semakin encer dan akan berpengaruh pada viskositas (mampu alir) material. Atau dengan kata lain kita tidak perlu menambahkan temperatur

untuk mengencerkan material, hal ini dibutuhkan dalam pembuatan pellet komposit WPCs karena apabila temperatur dinaikkan lebih dari 190°C maka bahan pengisi kayu akan terdegradasi. Berikut merupakan gambar *screw co-rotating twin screw extruder*.



Gambar 5.1. *Screw Co-rotating twin screw extruder*^[18]

Di *twin screw extruder* yang digunakan terdapat 9 bagian (zona) dengan kondisi temperatur yang berbeda-beda. Kesembilan zona tersebut adalah sebagai berikut :

Zone 1	: 120 °C
Zone 2	: 140 °C
Zone 3	: 140 °C
Zone 4	: 140 °C
Zone 5	: 150 °C
Zone 6	: 150 °C
Zone 7	: 160 °C
Zone 8	: 190 °C
Zone 9	: 190 °C
Dies	: 190 °C

Dari ke 9 zone tersebut terlihat bahwa semakin mendekati bagian depan ekstruder (zone 9) temperatur akan semakin bertambah. Hal ini dimaksudkan agar material umpan yang diproses tidak mengalami pelunakan secara ekstrim. Dalam proses ini diharapkan terjadi pelunakan secara bertahap yang dimaksudkan agar proses pendorongan material dari zone 1 sampai zone 9 hingga ke *dies* memiliki sinergitas temperatur yang memungkinkan bagi *screw*

untuk mendorong material umpan dengan baik (tidak terjadi pengendapan /penyumbatan). Karena apabila diset dengan temperatur yang sama maka kemungkinan material sulit untuk dimobilisasi dan dengan temperatur yang ekstrim kemungkinan yang terjadi adalah *thermalshock* dan *overheating*. *Overheating* bisa menyebabkan degradasi material. Pengesetan temperatur proses yang tidak tepat akan mengakibatkan produknya tidak optimal.

Dies temperaturnya sebesar 190 °C . Temperatur *dies* tidak boleh lebih rendah dari temperatur di zone-zone sebelumnya (tidak boleh lebih kecil dari 190 °C) hal ini dimaksudkan agar material dapat keluar dari *dies* dengan sempurna

Pada proses *dry belending* terjadi perubahan warna (terkena kontaminan berupa colorant) pada F2 dan F5. Perubahan warna ini disebabkan oleh mesin *twin screw extruder* yang digunakan tidak dibilas sebelum digunakan

5.1.3 Analisis Proses *Injection Molding*

Dalam proses *injection molding*, material komposit mengalami berbagai perlakuan maupun perubahan-perubahan antara lain : *shearing*, *stretching* (*orienting*), *shrinking*, *crystalizing* dan lain sebagainya yang kesemuanya akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.

Kondisi proses *injection molding* adalah sebagai berikut :

- *Injection pressure* sebesar : 4.83 MPa
- *Clamp pressure* : 11.72 Mpa
- *Injection temperature* : 190°C
- *Injection time* : 9.5 s
- *Cooling time* : 25 s
- *Mold opening time* : 2 s

Besarnya tekanan injeksi (*injection pressure*) akan mempengaruhi kualitas produk yang akan dihasilkan, hal ini mengacu pada sampai seberapa sinergis hubungan antara sifat rheologi dari *feed* material dengan tekanan injeksi. Hal ini dimaksudkan agar ketika material diinjeksi, tekanan injeksi tidak akan merusak kondisi *mold* dan tidak akan menyebabkan cacat pada produk.

Besar kecepatan injeksi juga harus diatur agar tidak mempengaruhi proses material untuk mengalir pada cetakan dan masa *curing time*-nya. Semakin besar *injection flow rate* (kecepatan injeksi) maka akan semakin tinggi orientasi. Variabel proses ini terkait dengan tekanan *holding* yang diperlukan agar keadaan *mold female* dan *male* ketika proses injeksi dilakukan dalam keadaan rapat, sehingga tidak memungkinkan adanya gangguan-gangguan yang dapat merusak kualitas proses, seperti material yang keluar dari cetakan akibat tekanan antar *mold* yang rendah, dsb.

Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu temperatur *mold*. Temperatur *mold* akan mempengaruhi kondisi dari material dengan orientasi molekul yang rendah karena semakin tinggi *melt* temperatur semakin rendah orientasi dan semakin tinggi *mold* temperatur semakin rendah orientasi. Orientasi molekul yang tinggi berindikasi pada tingkat homogenitas yang tidak optimal. Ketidakefektifan ini akan berpengaruh pada kualitas produk komposit yang dihasilkan (kekuatan, ketahanan, kelenturan, dll). Temperatur *mold* harus dijaga agar tidak melebihi 190°C karena jika melebihi temperatur yang telah ditentukan akan menyebabkan bahan pengisi kayu terdegradasi. [30]

5.2. ANALISIS PENGARUH UKURAN BAHAN PENGISI TERHADAP MFR (*MELT FLOW RATE*)

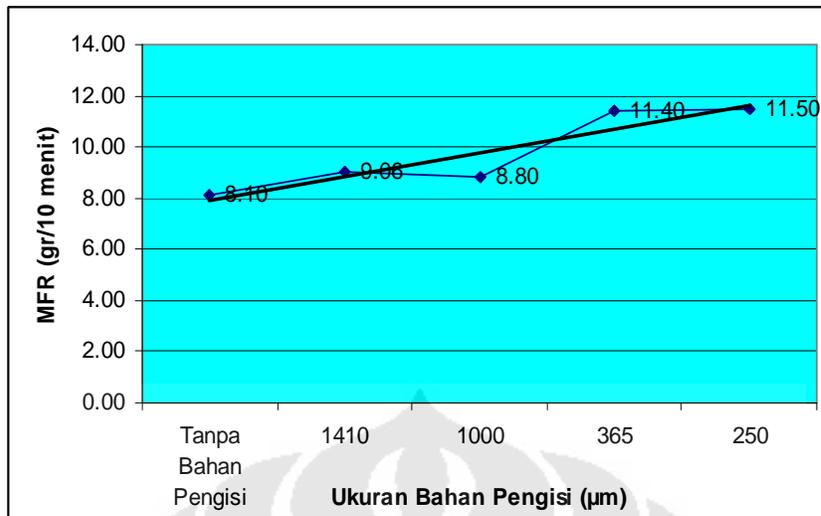
Pengujian *Melt Flow Rate* dilakukan untuk mengetahui kemampuan alir suatu polimer. *Melt Flow Rate* adalah berat polimer yang mengalir melalui dies dengan diameter dan panjang tertentu selama 10 menit dan beban yang konstan.

Pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap *Melt Flow Rate* ditunjukkan oleh **gambar 5.2**. Nilai MFR paling rendah diperoleh pada sampel F1 (PP murni tanpa bahan pengisi) yaitu sebesar 8.1 gr/10 menit dan nilai MFR paling tinggi diperoleh pada sampel F5 (PP dengan bahan pengisi yang berukuran 250) yaitu sebesar 11.5 gr/10 menit. Terlihat bahwa nilai MFR cenderung meningkat dengan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi. Hal ini bertolak belakang dengan yang disebutkan di literatur. Menurut literatur nilai MFR akan turun dengan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi atau dengan kata lain aliran polimer akan semakin

kental, penurunan nilai MFR ini disebabkan karena bahan pengisi menghambat kemampualiran polimer.^[24,31]

Penyebab hasil MFR yang didapat bertolak belakang dengan literatur yaitu sebagai berikut :

- *Bubble* yang terperangkap di pellet WPCs. *Buble trap* ini disebabkan oleh kurang optimalnya proses pengovenan dan proses *compounding*.. Menurut (M.Kazayawoko et. al.)^[31] proses *mixing* antara resin, aditif dan bahan pengisi harus dilakukan di *thermokinetic mixer* selama 10 menit dan pada temperatur 50°C. Sementara pada penelitian ini proses *mixing* hanya dilakukan di mixer biasa pada selama 10 menit dan pada temperatur kamar. Sedangkan lama pengovenan seharusnya dilakukan lebih dari 24 jam. Hal ini berakibat *moisture* yang terkandung di *bahan pengisi* serbuk kayu tidak hilang atau berkurang secara signifikan dan menyebabkan *buble* di pellet WPCs.
- Pengukuran MFR untuk WPCs tidak dapat dilakukan dengan menggunakan *melt indexer* konvensional hal ini dikarenakan kemampuan alir dari lelehannya sangat rendah.^[24,32,22] Pengukuran MFR untuk WPCs harus menggunakan alat *melt indexer* dengan ukuran *dies* yang lebih besar dan dilengkapi dengan *venting*. Disain *die melt indexer* yang tidak tepat menyebabkan lelehan WPCs yang keluar dari die mengalami *melt fracture (sharkskin)*.^[24,33,24] Penggunaan *melt indexer* konvensional berakibat nilai MFR yang didapatkan tidak sesuai dengan literatur.



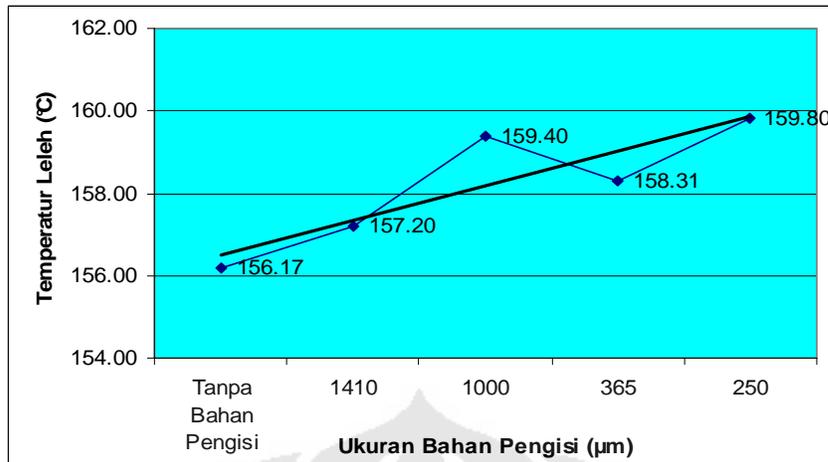
Gambar 5.2. Grafik pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap MFR

5.3 ANALISIS SIFAT TERMAL

5.3.1 Analisis Pengaruh Ukuran Bahan Pengisi Terhadap Temperatur Leleh

Pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap *temperature* leleh ditunjukkan oleh **gambar 5.3**. Temperatur leleh paling rendah diperoleh pada sampel F1 (PP murni tanpa bahan pengisi) yaitu sebesar 156.17°C dan temperatur leleh paling tinggi diperoleh pada sampel F5 (PP dengan bahan pengisi yang berukuran 250) yaitu sebesar 159.8°C. Secara umum (*trendline*) dapat dilihat dari **gambar 5.3** temperatur leleh cenderung meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi. Hal ini disebabkan oleh bahan pengisi serbuk kayu bertindak sebagai *nucleating agent* yang menyebabkan temperatur leleh meningkat. ^[33,34]

Pada sampel F2 (ukuran bahan pengisi 1410 µm) kenaikan temperatur leleh relatif lebih kecil dan pada sampel F4 (ukuran bahan pengisi 365 µm) temperatur leleh cenderung menurun, hal tersebut dikarenakan adanya kontaminan berupa *colorant*. Adanya *colorant* dapat menurunkan energi untuk melelehkan polimer, sehingga temperatur leleh juga menurun.



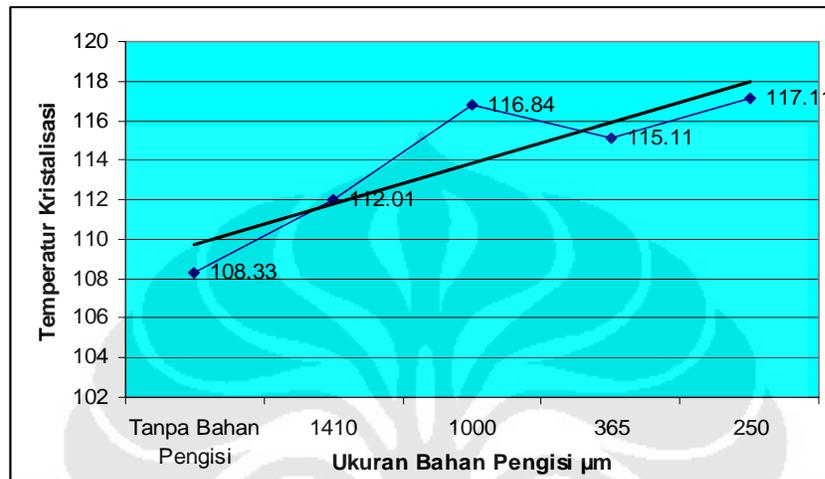
Gambar 5.3. Grafik pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap temperatur leleh

5.3.2. Analisis Pengaruh Ukuran Bahan Pengisi Terhadap Temperatur Kristalisasi

Pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap temperatur kristalisasi ditunjukkan oleh **gambar 5.4**. Temperatur kristalisasi paling rendah diperoleh pada sampel F1 (PP murni tanpa bahan pengisi) yaitu sebesar 108.33°C dan temperatur kristalisasi paling tinggi diperoleh pada sampel F5 (PP dengan bahan pengisi yang berukuran 250 µm) yaitu sebesar 117.11°C. Secara umum dapat dilihat dari **gambar 5.4** temperatur kristalisasi cenderung bertambah seiring dengan semakin halusya ukuran bahan pengisi. Pada sampel F2 dengan ukuran bahan pengisi 1410 µm kenaikan temperatur kristalisasi relatif lebih kecil dan pada sampel F4 dengan ukuran 365 µm temperatur kristalisasi cenderung menurun, hal tersebut dikarenakan adanya kontaminan berupa *colorant*. Selain menurunkan temperatur leleh, *colorant* juga dapat menurunkan temperatur kristalisasi.

Kenaikan temperatur kristalisasi disebabkan oleh bahan pengisi serbuk kayu yang bertindak sebagai *nucleating agent* yang menyebabkan temperatur kristalisasi meningkat. Temperatur kristalisasi yang meningkat menyebabkan kecepatan kristalisasi (*crystallization rate*) menjadi lebih cepat.^[33-35] Serat kayu merupakan tempat terjadinya *heterogeneous nucleation* berakibat menambah terbentuknya kristal di matriks, sehingga menaikkan temperatur kristalisasi. Dengan semakin banyaknya inti kristal berarti jumlah kristal akan semakin

banyak pula sehingga derajat kristalinitas juga meningkat. Hal ini bisa dibuktikan dengan menggunakan mikroskop optik atau dengan menggunakan SEM dengan menggunakan detektor BSE. Pengaruh kenaikan derajat kristalinitas dapat menyebabkan material lebih kuat dan lebih *brittle*. Pengaruh ini dapat dilihat pada sifat mekanik material komposit yang lebih kuat namun lebih *brittle*.^[33]



Gambar 5.4. Grafik pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap temperatur kristalisasi

5.4 ANALISIS SIFAT MEKANIK

Kekuatan bahan komposit dapat diperkirakan dengan mengetahui kekuatan masing-masing komponen penyusunnya. Dengan polimer polipropilena sebagai matriks dan serbuk kayu sebagai bahan pengisi, sifat-sifat mekanik yang didapat merupakan kombinasi dari sifat-sifat mekanik bahan-bahan penyusunnya.

Polimer merupakan bahan yang bersifat viskoelastis, yaitu perpaduan antara sifat elastis dan kental (*Viscous*). Karena sifat ini, apabila suatu polimer dikenai suatu beban, perpanjangan yang terjadi tidak selalu sebanding dengan beban. Pada saat beban diturunkan, sebagian regangan hilang, namun sebagian lagi tidak kembali ke asal. Sifat-sifat mekanik dari polimer dipengaruhi oleh sifat viskoelastisitas. Dalam pengamatan sifat mekanik polimer, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Sifat viskoelastisitas polimer menyebabkan polimer dapat mengalami pemuluran dan juga relaksasi tegangan.

- Pada temperatur yang tinggi, banyak polimer yang ketahanannya rendah.
- Pada pemanasan, regangan sisa pada saat pencetakan dapat menyebabkan polimer retak.
- Dalam pelarut, minyak dan air yang mengandung surfaktan, beberapa polimer memiliki ketahanan yang baik dalam waktu yang pendek. :
- Sifat mekanik komposit polipropilena serbuk kayu dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu sebagai berikut :^[29]
- Kompatibilitas antara serbuk kayu dan polipropilena (interfasial adhesi antara serbuk kayu dengan matriks polipropilena)
- Pendispersian serbuk kayu di matriks polipropilena.

5.4.1 Analisis Pengaruh Ukuran Bahan Pengisi Terhadap Kekuatan Tarik dan *Tensile Strength at Yield*

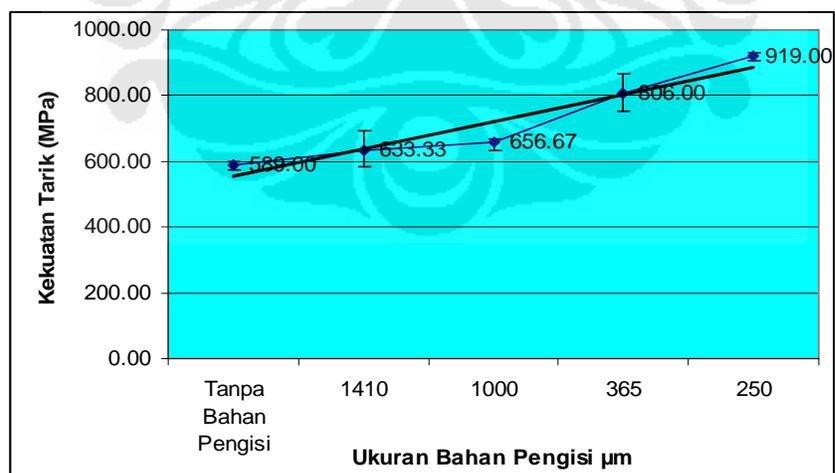
Uji tarik merupakan salah satu pengujian mekanik yang digunakan untuk memeriksa kualitas suatu produk yang dihasilkan berdasarkan suatu standar spesifikasi. Kekuatan tarik merupakan daya tahan suatu material terhadap tegangan, sedangkan *Tensile at yield* adalah kekuatan tarik dari material polimer namun kekuatan tarik yang diukur tidak sampai putus tetapi sampai keadaan polimer tidak elastis lagi menerima beban.

Pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap kekuatan tarik dan *tensile strength at yield* ditunjukkan oleh **gambar 5.5.** dan **gambar 5.6** Nilai kekuatan tarik dan *tensile strength at yield* paling rendah diperoleh pada sampel F1 (PP murni tanpa bahan pengisi) yaitu sebesar 593 Mpa dan kekuatan tarik diperoleh pada sampel F5 (PP dengan bahan pengisi berukuran 250 μm) yaitu sebesar 919 Mpa. Berdasarkan **gambar 5.5** terlihat bahwa nilai kekuatan tarik *tensile strength at yield* cenderung meningkat dengan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi.

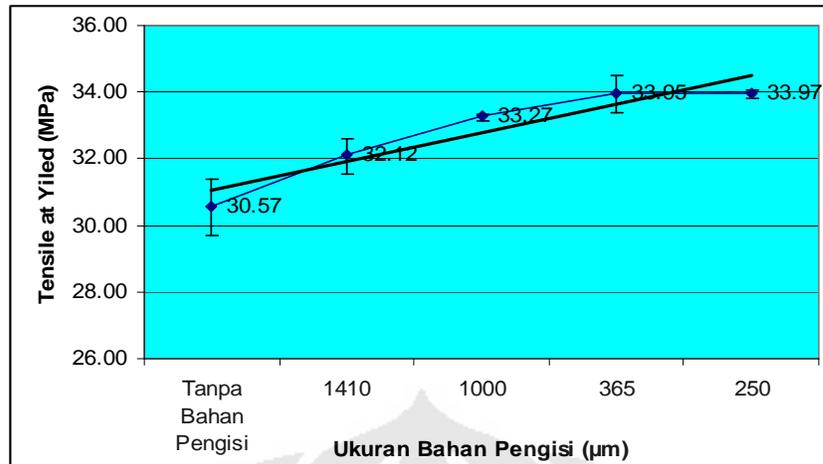
Nilai *tensile strength at yield* paling rendah diperoleh pada sampel F1 (PP murni tanpa bahan pengisi) yaitu sebesar 30.57 Mpa dan nilai *tensile strength at yield* paling tinggi diperoleh pada sampel F5 (PP dengan bahan pengisi berukuran 250 μm) yaitu sebesar 33.92 Mpa. Berdasarkan **gambar 5.6** terlihat bahwa nilai *tensile strength at yield* cenderung meningkat dengan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi.

Hasil pengukuran kekuatan tarik dan *tensile strenght at yiled* sesuai dengan literatur. Menurut (Anatole)^[24] nilai kekuatan tarik dan *tensile strenght at yield* suatu material komposit akan bertambah seiring dengan berkurangnya ukuran bahan pengisi. Kenaikan ini disebabkan oleh penyebaran (dispersi) serbuk kayu yang berukuran kecil lebih merata dibandingkan dengan ukuran serbuk kayu yang lebih besar. Perbedaan tingkat dispersi ini disebabkan oleh permukaan bidang sentuh, semakin kecil ukuran bahan pengisi serbuk kayu maka kemampuan kontak permukaan penguat dengan matriks lebih besar sebaliknya semakin besar ukuran bahan pengisi serbuk kayu maka kemampuan kontak permukaan penguat dengan matriks lebih kecil.

Selain disebabkan oleh tingkat pendispersian kenaikan nilai kekuatan tarik dan nilai *tensile strenght at yield* disebabkan oleh adanya PPMA yang bertindak sebagai *coupling agent*. Penggunaan PPMA dapat meningkatkan sifat *tensile strenght*^[24]. PPMA memiliki kemampuan untuk membasahi (*wetting*) dan mendispersikan bahan pengisi kayu ke matriks secara efisien. Prinsip kerja dari *coupling agent* adalah sebagai interfase, yang mempengaruhi *adhesi interfacial* dan tegangan *interfacial*. *Interfacial adhesion* akan semakin besar dan tegangan *interfacial* akan turun dengan penambahan *coupling agent*. Akibatnya akan terbentuk sistem yang saling *micible*.



Gambar 5.5. Grafik pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap kekuatan tarik



Gambar 5.6. Grafik pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap *tensile strenght at yield*

5.4.2 Analisis Pengaruh Ukuran Bahan Pengisi Terhadap Nilai Fleksural

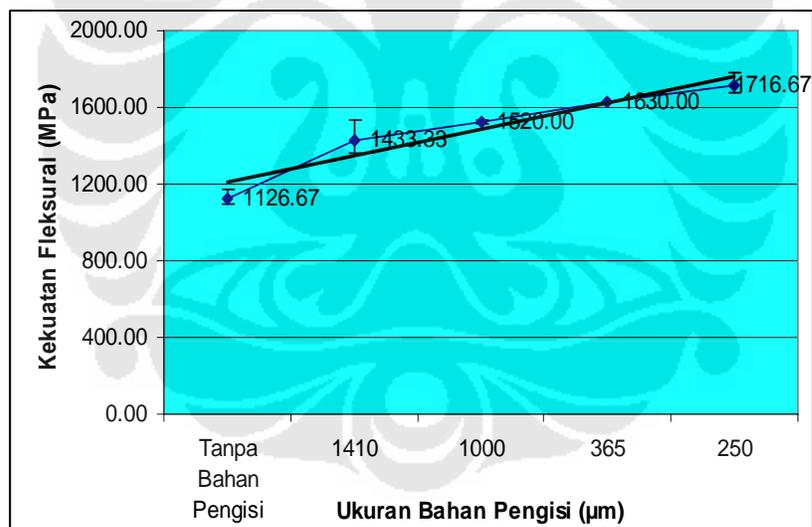
Data yang didapat dari pengujian fleksural adalah: data awal berupa dimensi dari spesimen, untuk setiap langkah pembebanan didapat besar beban dan defleksi maksimum dari spesimen. Pembebanan maksimal akan tercatat pada komputer dan membentuk peak pada grafik hasil pengujian. Pembebanan mungkin membuat spesimen patah atau sobek, tetapi yang diinginkan disini bukanlah beban ketika spesimen tersebut patah melainkan yang diinginkan adalah beban maksimum yang mampu diterima oleh spesimen tanpa mengalami pembengkokan.

Pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap kekuatan fleksural ditunjukkan oleh **gambar 5.7**. Nilai fleksural paling rendah diperoleh pada sampel F1 (PP murni tanpa bahan pengisi) yaitu sebesar 1126.67 Mpa dan nilai fleksural paling tinggi diperoleh pada sampel F5 (PP dengan bahan pengisi berukuran 250 µm) yaitu sebesar 1716.67 MPa. Berdasarkan **gambar 5.7** terlihat bahwa nilai *fleksural* cenderung meningkat dengan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi.

Sama seperti pengujian kekuatan tarik dan *tensile strenght at yield*, hasil pengujian fleksural sesuai dengan literatur. Menurut Anatole ^[24] kekuatan fleksural suatu material komposit akan bertambah seiring dengan berkurangnya ukuran bahan pengisi. Kenaikan ini disebabkan oleh penyebaran (dispersi) serbuk kayu yang berukuran kecil lebih merata dibandingkan dengan ukuran serbuk kayu

yang lebih besar. Perbedaan tingkat dispersi ini disebabkan oleh permukaan bidang sentuh, semakin kecil ukuran bahan pengisi serbuk kayu maka kemampuan kontak permukaan penguat dengan matriks lebih besar sebaliknya semakin besar ukuran bahan pengisi serbuk kayu maka kemampuan kontak permukaan penguat dengan matriks lebih kecil.

Selain disebabkan oleh tingkat pendispersian kenaikan nilai fleksural disebabkan oleh adanya PPMA yang bertindak sebagai *coupling agent*. Penggunaan PPMA dapat meningkatkan sifat fkesural. ^[24,31] PPMA memiliki kemampuan untuk membahasi (*wetting*) dan mendispersikan bahan pengisi kayu ke matriks secara efisien. Prinsip kerja dari *coupling agent* adalah sebagai interfase, yang mempengaruhi adhesi interfacial dan tegangan interfacial. *Interfacial adhesion* akan semakin besar dan tegangan interfacial akan turun dengan penambahan *coupling agent*. Akibatnya akan terbentuk sistem yang saling *micible*.

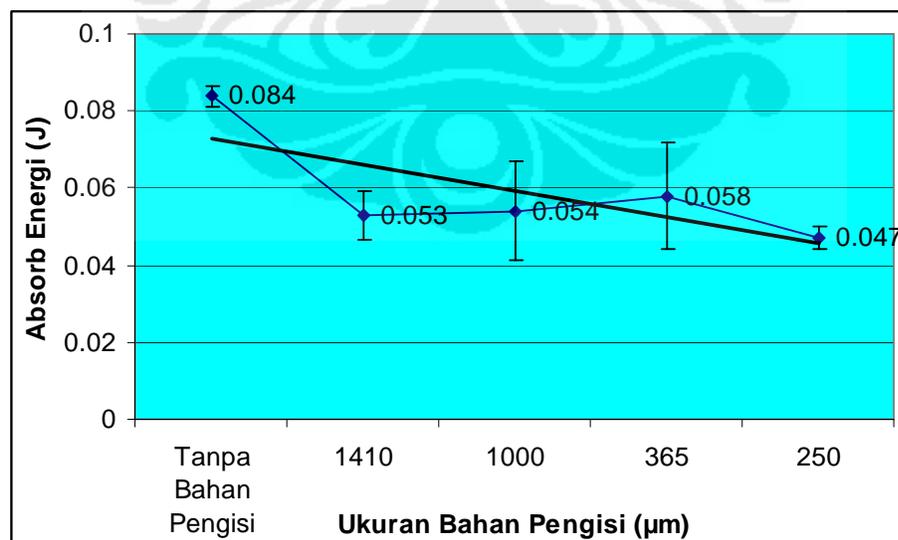


Gambar 5.7. Grafik pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap kekuatan fleksural

5.4.3 Analisis Pengaruh Ukuran Bahan Pengisi Terhadap *Izod Impact Strength*

Pengujian impact merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan material terhadap beban kejut (beban dengan kecepatan pembebanan yang tinggi). Data yang didapat dari pengujian impact metode Izod ialah berupa energi abrorb.

Pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap nilai energi absorb ditunjukkan oleh **gambar 5.8**. Nilai energi absorb paling rendah diperoleh pada sampel F5 (ukuran bahan pengisi 250 μm yaitu sebesar 0.047 J sedangkan nilai energi absorb paling tinggi diperoleh pada sampel F1 (PP murni tanpa bahan pengisi) yaitu sebesar 0.084 J. Terlihat dari *trendline* bahwa dengan penambahan bahan pengisi kayu maka kemampuan material komposit untuk menyerap energi impak cenderung menurun. Penurunan energi absorb mengindikasikan bahwa dengan penambahan bahan pengisi kayu dan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi maka material komposit yang dihasilkan menjadi getas. Hal ini disebabkan karena kayu bersifat getas. Selain sifatnya yang getas, bahan pengisi serbuk kayu bersifat sebagai *nucleating agent* yang menyebabkan jumlah inti kristal lebih banyak dan membuat ukuran kristal menjadi lebih kecil, sehingga kristal akan saling bersentuhan satu sama lain yang akan menimbulkan tegangan permukaan antar sesama kristal^[36-38]. Dengan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi maka permukaan sentuh antar kristal akan semakin banyak pula, hal ini akan menjadi pusat konsentrasi tegangan dan menyebabkan distorsi apabila diberi beban dengan kecepatan pembebanan tinggi. Untuk menaikkan nilai resilience WPCs biasanya ditambahkan polybutadiene rubber sebagai *impact modifier*.^[33]



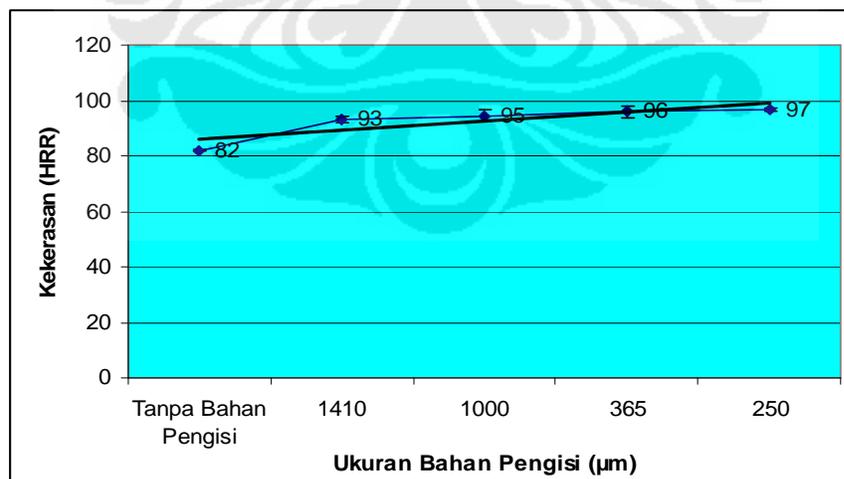
Gambar 5.8. Grafik pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap energi absorb

5.4.5 Analisis Pengaruh Ukuran Bahan Pengisi Terhadap Kekerasan

Kekerasan (*hardness*) merupakan ketahanan suatu material terhadap deformasi permukaan, *indentation*, ataupun penarikan (*stretching*). Kekerasan juga didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap penetrasi lokal, machining, abrasi dan yielding. Metode pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode rockwel

Pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap kekerasan ditunjukkan oleh **gambar 5.9**. Kekerasan paling rendah diperoleh pada sampel F1 (PP murni tanpa bahan pengisi) yaitu sebesar 82 HRR dan kekerasan paling tinggi diperoleh pada sampel F5 (ukuran bahan pengisi 250 μm) yaitu sebesar 97 HRR. Terlihat dengan semakin kecilnya ukuran bahan pengisi kayu maka material komposit cenderung lebih keras.

Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh *filller* kayu yang bersifat keras dan getas. Selain itu peningkatan kekerasan juga disebabkan oleh bahan pengisi kayu (serat) di dalam WPCs bertindak sebagai *nucleating agent*^[33-35]. *Nucleating agent* dapat membuat jumlah inti kristal lebih banyak dan memperkecil ukuran kristal, sehingga kristal yang satu dengan yang lainnya saling bersentuhan dan akan menimbulkan tegangan permukaan antar sesama kristal. Tegangan permukaan inilah yang menyebabkan kekerasan meningkat.^[39,40]



Gambar 5.9. Grafik pengaruh ukuran bahan pengisi terhadap kekerasan

5.5 ANALISIS PENGUJIAN EDX

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalam kontaminan. Pengujian ini menggunakan alat EDX dengan menggunakan detektor BSE.

Berdasarkan hasil pengujian temperatur leleh dan temperatur kristalisasi dapat dilihat bahwa kontaminan cenderung untuk menurunkan temperatur leleh dan temperatur kristalisasi. Penurunan temperatur kristalisasi dan temperatur leleh tidak terjadi secara signifikan (hanya beberapa derajat celcius) sehingga dapat disimpulkan bahwa kontaminan tersebut merupakan *colorant* dan bukan polimer jenis lain. Hasil pengujian komposisi kimia dengan menggunakan alat EDX juga membuktikan bahwa kontaminan tersebut merupakan *colorant*, hal ini disebabkan karena EDX tidak mampu mendeteksi unsur-unsur yang terkandung di dalam *colorant*. Ketidakmampuan ini disebabkan karena keterbatasan alat EDX yang tidak dapat mendeteksi unsur-unsur dalam jumlah yang kecil sedangkan *colorant* yang merupakan salah satu aditif ditambahkan ke dalam polimer dalam jumlah yang kecil (umumnya 0.1–5.0 wt%).^[18]

Warna putih ke abu-abuan pada sampel F2 mengandung senyawa titanium dioksida dan warna merah pada sampel F5 mengandung senyawa iron oksida.^[13]

Data hasil pengujian EDX dapat dilihat pada **Tabel 4.9** sampai **tabel 4.11**. Berdasarkan ketiga tabel tersebut pada posisi pengujian 1 dan posisi pengujian 3 di ketiga sampel menunjukkan bahwa unsur karbon (C) merupakan unsur yang jumlahnya paling banyak dibandingkan dengan unsur oksigen (O), hal ini dikarenakan posisi pengujian 1 dan 3 bertempat di matriks. Matriks merupakan polipropilena yang merupakan senyawa hidrokarbon, sehingga unsur karbon merupakan unsur yang dominan.

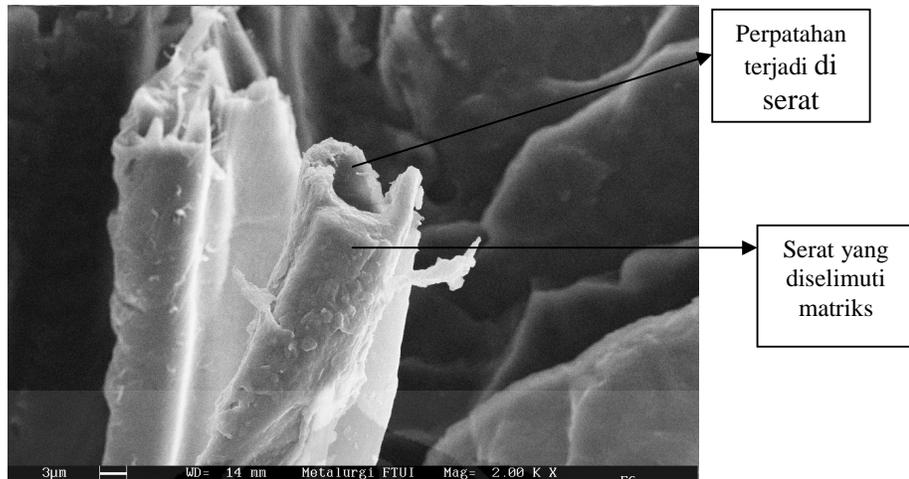
Sedangkan pada posisi pengujian 2 di ketiga sampel menunjukkan bahwa unsur oksigen (O) merupakan unsur yang jumlahnya paling banyak dibandingkan dengan unsur karbon (C), hal ini dikarenakan posisi pengujian 2 bertempat di serat. Serat yang digunakan di WPCs berasal dari serat kayu yang tersusun dari senyawa hemiselulosa dan lignin. Kedua senyawa inilah yang menyebabkan unsur oksigen lebih banyak daripada unsur carbon. Pada sampel F5 (sampel dengan ukuran bahan pengisi 250 μm) di posisi pengujian 2 yaitu di serat ditemukan

unsur kalsium (Ca) sebesar 14.35 % unsur ini berasal dari aditif *calcium stearate* yang beragglomerasi disuatu titik.

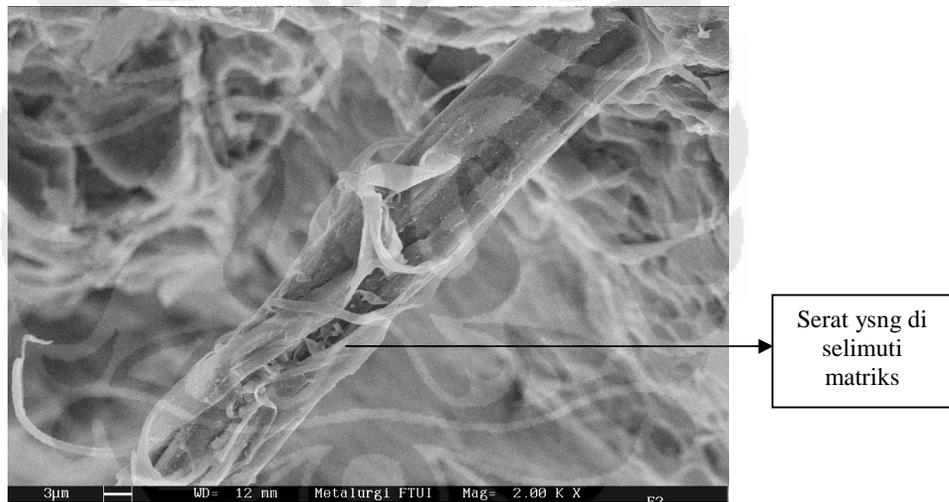
5.6 ANALISIS MODEL PERPATAHAN KOMPOSIT

Pada saat komposit diberi gaya dari luar terjadi pergeseran dalam fase dispersi. Jika gaya yang diberikan lebih besar dari *interfacial adhesive* (gaya rekat antarmuka) maka terjadi pelepasan partikel bahan pengisi dari matriksnya. Namun jika gaya yang diberikan lebih kecil dari gaya adhesi maka yang bertanggung jawab menerima gaya adalah *interfacial tension* (gaya tegang antar muka) antara dua fasa. Dan jika gaya tersebut tersebut terus diberikan maka terjadi *crazing*. *Crazing* menyebabkan terjadinya penambahan jumlah rongga (*void*). Komposit yang ditakik seperti dalam pengukuran *notched izod impact strenght* berarti komposit tersebut diberi sedikit kerusakan tahap awal (*crack*). *Crack* tersebut membantu terjadinya rongga (*void*). Dengan adanya *void* maka gaya rekat antar muka akan terganggu.

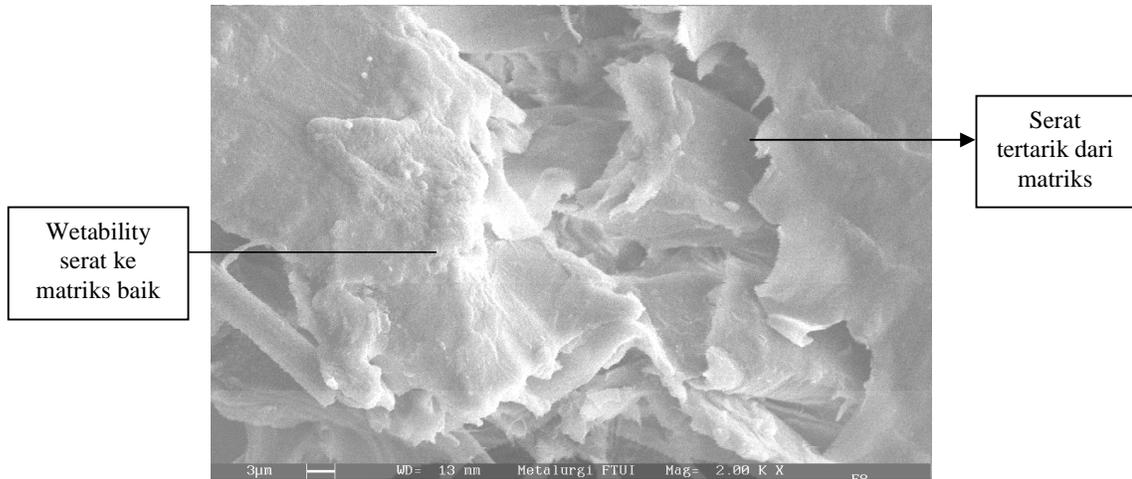
Dari hasil pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) terlihat dua model perpatahan di ketiga sampel komposit. Model perpatahan yang pertama yaitu model kegagalan di daerah *interface* (sampel F2), hal ini berarti *interfacial adhesive* (gaya rekat antarmuka) antara bahan pengisi dan matriks di sampel F2 tidak mampu menahan gaya yang diberikan dari luar sehingga perpatahan terjadi di daerah *interface*. Model perpatahan yang kedua yaitu kegagalan di serat (sampel F3 dan F5). Hal ini berarti *interfacial adhesive* (gaya rekat antarmuka) antara bahan pengisi dan matriks di kedua sampel mampu menahan gaya yang diberikan dari luar sehingga perpatahan terjadi di serat.



Gambar 5.9. Hasil pengamatan model perpatahan menggunakan SEM produk WPCs dengan ukuran bahan pengisi 1410 µm (F2)



Gambar 5.10. Hasil pengamatan model perpatahan menggunakan SEM produk WPCs dengan ukuran bahan pengisi 1000 µm (F3)



Gambar 5.11. Hasil pengamatan model perpatahan menggunakan SEM produk WPCs dengan ukuran bahan pengisi 250 µm (F5)

