

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PREPARASI SAMPEL

4.1.1 Hasil Pencampuran (*Compounding*)

Hasil pencampuran bahan-bahan komposit berbentuk bongkahan padat yang disebut *master batch*, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Berdasarkan hasil pengamatan selama proses *hot blending*, dua buah formulasi komposit PP/EPDM/C (F2 dan F3) dengan kandungan PP 50 wt% terasa lebih lengket dan ulet. Lelehan komposit menempel pada ulir (*screw*) mesin Rheocord 90 sehingga sulit diambil hasilnya. Sebaliknya, dua buah formulasi komposit PP/EPDM/C (F4 dan F5) dengan kandungan PP 14 wt% terasa lebih kasar dan getas, proses pengambilannya pun mudah. Secara visual dapat diamati pada F2 dan F3 terjadi proses pembasahan (*wetting*) yang lebih sempurna dibandingkan pada F4 dan F5.



Gambar 4.1 *Master batch* komposit PP/EPDM/C hasil *hot blending*.

4.1.2 Hasil Penghalusan (*Crushing*)

Semua komposit PP/EPDM/C hasil *crushing* berbentuk granula dengan berbagai variasi ukuran (Gambar 4.2). Secara visual bentuk fisik formula F2, F3, F4 dan F5 hasil *crushing* adalah sama, tidak ada perbedaan yang signifikan. Akan tetapi, granula formula F4 dan F5 lebih halus karena sifatnya lebih getas dari F2 dan F3.



Gambar 4.2 *Master batch* komposit PP/EPDM/C berbentuk granula.

4.1.3 Hasil Pencetakan (*Compression Molding*)

Masing-masing formula komposit dicetak menjadi dua buah tipe pelat lingkaran. Pelat tipe I berdiameter 20 cm dengan ketebalan ± 2 mm, sedangkan pelat tipe II berdiameter 14 cm dengan ketebalan ± 4 mm. Foto kedua tipe pelat tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Pelat tipe I.



Gambar 4.4 Pelat tipe II.

Pelat hasil *hot press* ada yang sempurna, adapula yang retak dan pecah. Pelat tipe I dari formula F1, F2, F3, dan F5 berhasil dicetak dengan sempurna,

sedangkan pelat komposit F4 mengalami keretakan. Penyebab retaknya pelat adalah tidak dipakainya pelumas (*wax*) untuk melumasi cetakan (*mold*). Penyebab yang kedua, proses pembukaan *mold* oleh operator kurang hati-hati. Pada pencetakan pelat tipe II untuk formula F4, hasil cetakan menempel pada *mold* sehingga sulit diambil dan akibatnya pelat menjadi pecah berkeping-keping (lihat Gambar 4.4). Secara visual, permukaan pelat komposit dengan kandungan PP 50 *wt%* terasa lebih halus, sedangkan permukaan pelat komposit dengan kandungan PP 14 *wt%* terasa lebih kasar. Perbedaan tekstur permukaan tersebut karena adanya perbedaan daya pembasahan (*wettability*) pada masing-masing sampel.

4.1.4 Hasil Pembuatan Spesimen Uji

Hasil pencetakan spesimen uji tarik berbentuk *dog-bone* tipe IV sesuai standar ASTM D 638. Sedangkan spesimen uji tekuk berbentuk balok sesuai standar ASTM D 790 dengan dimensi 80 mm x 12 mm x 4 mm. Foto kedua spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Spesimen uji tarik tipe IV dan spesimen uji tekuk.

4.2 HASIL PENGUJIAN KARAKTERISASI

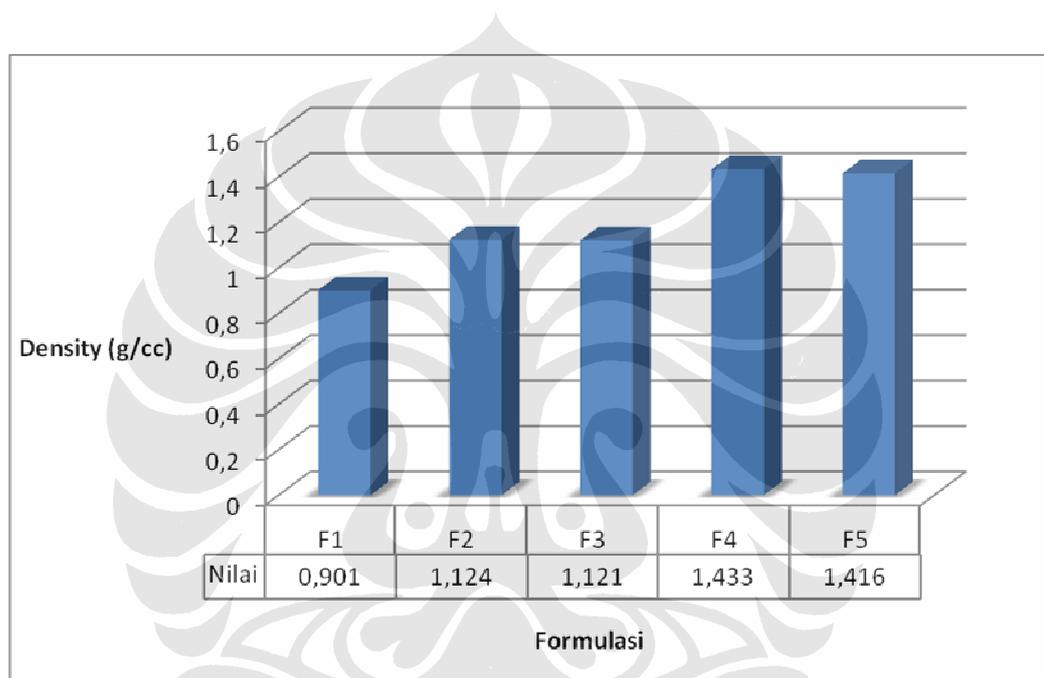
4.2.1 Hasil Pengukuran Kerapatan Massa (*Density*)

Menghasilkan komposit yang ringan untuk aplikasi pelat bipolar adalah salah satu tujuan dari penelitian ini. Oleh karena itu, kerapatan massa pelat bipolar komposit harus lebih kecil dari kerapatan massa pelat bipolar grafit murni. Tabel 4.1 dan Gambar 4.6 dibawah ini menunjukkan hasil pengukuran kerapatan massa komposit berdasarkan Persamaan 3.2, sedangkan pengolahan data secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 1. Kerapatan massa komposit

PP/EPDM/C berada dalam rentang 1,121 – 1,416 g/cm³. Hasil ini menunjukkan bahwa kerapatan massa komposit konduktif PP/EDPM/C memenuhi target untuk aplikasi pelat bipolar yang ringan, karena nilainya masih dibawah kerapatan massa dari grafit murni sebesar 1,88 g/cm³.

Tabel 4.1 Nilai kerapatan massa (*density*).

Kode Sampel	F1	F2	F3	F4	F5
ρ (g/cm ³)	0,901	1,124	1,121	1,433	1,416



Gambar 4.6 Grafik perbandingan kerapatan massa setiap formulasi komposit PP/EPDM/C.

Pada Grafik 4.6 terlihat kecenderungan nilai kerapatan yang hampir sama antara F2 dan F3, serta antara F4 dan F5. Secara keseluruhan nilai kerapatan cenderung meningkat seiring peningkatan konsentrasi karbon dari 44 wt% (F2 dan F3), dan 80 wt% (F4 dan F5). Perbedaan hasil nilai kerapatan massa setiap formulasi tergantung pada jenis dan konsentrasi dari bahan pengisi karbon dalam komposit. Selain itu, penambahan jenis bahan pengisi tunggal (*single*), ganda (*double*), dan *triple* menunjukkan kecenderungan variasi kerapatan komposit yang berbeda-beda [1]. Untuk komposit F2 berpengisi ganda (*double*) (karbon hitam

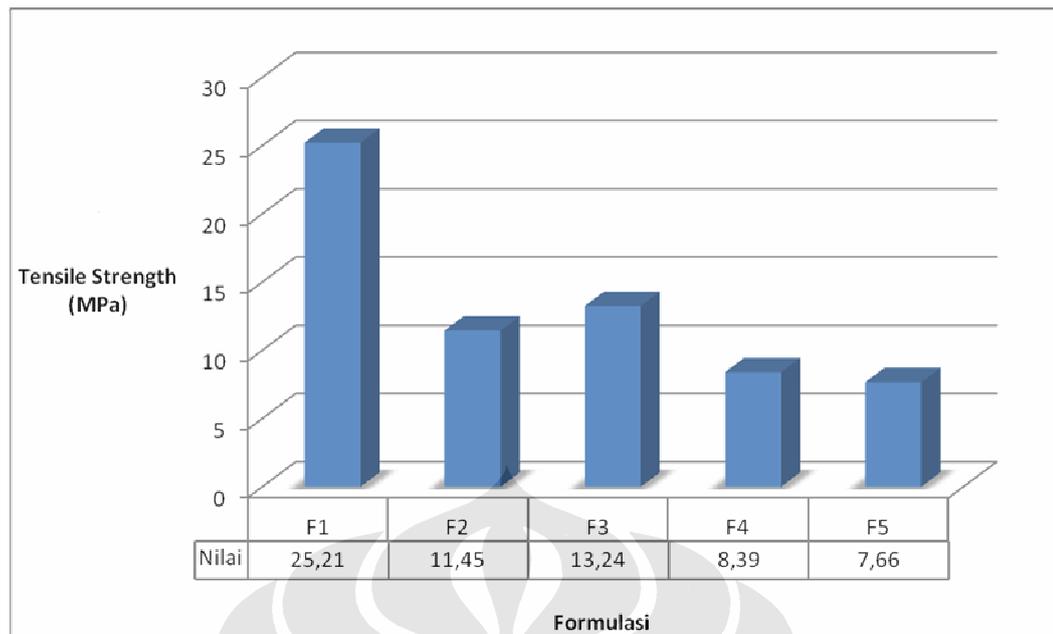
dan serat karbon) nilai kerapatannya tidak jauh berbeda dari komposit F3 berpengisi *triple* (karbon hitam, serat karbon, dan grafit sintetik). Komposit F2 dan F3 dengan konsentrasi karbon 44 wt% kecenderungan nilai kerapatan yang hampir sama antara F2 dan F3, serta antara F4 dan F5 selisih kerapatannya sangat kecil, begitu juga pada komposit F4 dan F5 dengan konsentrasi karbon 80 wt%. Secara keseluruhan, komposit F3 memiliki nilai kerapatan tertinggi sebesar 1,433 g/cm³ dibandingkan formulasi komposit lain.

4.2.2 Hasil Pengujian Tarik (*Tensile*)

Sifat mekanik adalah salah satu sifat yang penting dalam pengaplikasian pelat bipolar pada PEM *fuel cell*. Pelat harus menjaga stabilitas mekanik agar dapat mencegah rangkaian *fuel cell* dari kebocoran dan pelat tidak merusak membran. Data yang diperoleh dari pengujian mekanik adalah kurva tegangan-regangan. Dari kurva tegangan-regangan dapat dihitung nilai kekuatan tarik dan modulus tarik. Hasil pengujian tarik setiap komposit disajikan dalam Tabel 4.2 dan dan grafiknya dapat dilihat di Gambar 4.7.

Tabel 4.2 Nilai kekuatan tarik (*tensile strength*).

Kode Sampel	F1	F2	F3	F4	F5
σ_T (MPa)	25,21	11,45	13,24	8,39	7,66



Gambar 4.7 Grafik perbandingan kekuatan tarik setiap formulasi komposit PP/EPDM/C.

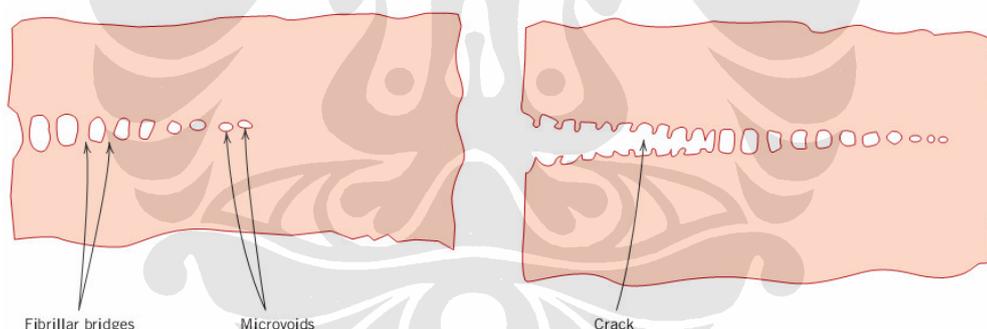
Grafik pada Gambar 4.7 di atas menunjukkan perbandingan kekuatan tarik setiap formulasi komposit. Komposit F3 menunjukkan kekuatan dan keuletan yang lebih tinggi dibandingkan komposit lain, yaitu sebesar 13,24 MPa. Dibandingkan dengan F2, kekuatan F3 lebih besar nilainya. Hal ini disebabkan pada sampel F2 terdapat rongga-rongga mikro yang lebih banyak dibandingkan pada sampel F3, rongga-rongga mikro inilah yang menyebabkan rendahnya energi perpatahan. Penambahan grafit pada formula F3 sebanyak 20,45% (45 gram) dari total fraksi massa karbon juga berpengaruh pada peningkatan kekuatan tarik.

Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa peningkatan konsentrasi pengisi 0 wt% (F1), 44 wt% (F2 dan F3), dan 80 wt% (F4 dan F5) cenderung menurunkan kekuatan tarik komposit. Kekuatan tarik komposit jauh lebih rendah dari kekuatan tarik PP (F1). Kekuatan mekanik komposit sangat bergantung pada kemampuan matriks untuk mentransfer tegangan ke pengisi. Akan tetapi, karena tidak adanya ikatan antarmuka antara matriks PP dan serat karbon, maka serat karbon tidak dapat menyerap tegangan hasil pembebanan dari luar. Adhesi yang kurang baik menjadikan matriks PP tidak membasahi permukaan pengisi karbon dengan sempurna, sehingga memungkinkan terdapat celah-celah mikro pada antarmuka.

Hal ini dapat dibuktikan pada gambar hasil pengamatan SEM pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

Selain celah-celah mikro, pada sampel komposit juga terdapat banyak rongga-rongga mikro (*micro-voids*), sehingga komposit menjadi rapuh. *Micro-voids* dalam sampel komposit dapat dilihat langsung secara visual dan hasil pengamatan SEM dapat dilihat pada Gambar 4.13. Rongga-rongga mikro tersebut dapat menjadi titik konsentrasi tegangan (*stress concentration*) ketika spesimen uji dikenakan pembebanan sehingga perpatahan mudah terjadi.

Suatu fenomena yang mendahului perpatahan pada beberapa polimer termoplastik adalah terbentuknya *craze*. Kegagalan pada polimer terjadi melalui tahap *crazing*. Pada tahap ini terjadi pengembangan rongga-rongga mikro dan terhubung menjadi satu. Rongga-rongga mikro yang tergabung mulai membentuk retak yang akhirnya menyebabkan perpatahan [27]. Gambar 4.8 berikut ini menunjukkan gambaran skematik dari fenomena *craze*.



Gambar 4.8 Gambaran skematik dari *craze* yang menunjukkan rongga-rongga mikro dan jembatan *fibrillar* kemudian diikuti oleh retak (*crack*) [27].

Terbentuknya rongga-rongga mikro dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya karena tingginya viskositas campuran sehingga kemampuan alirnya rendah dan ketika dicetak kepadatannya tidak merata, granula komposit hasil *crushing* menyerap moister karena bersifat higroskopis. Moister yang terperangkap ketika sampel dicetak membentuk *bubble* (gelembung-gelembung udara), gelembung-gelembung inilah yang menjadi awal terbentuknya rongga-

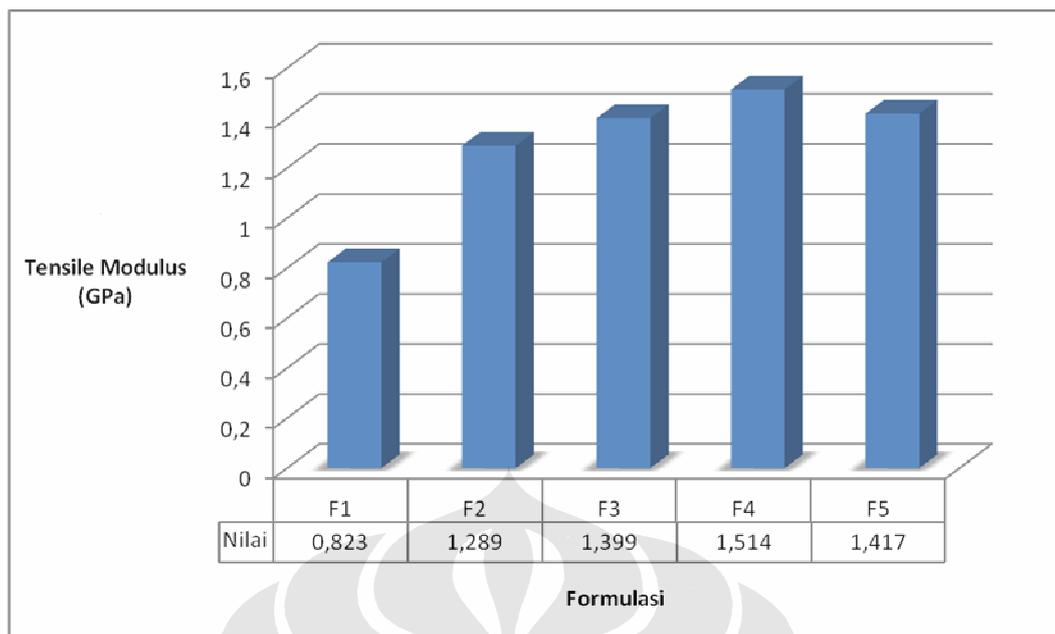
rongga mikro. Solusi untuk mencegah terbentuknya rongga adalah granula harus dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven pada suhu 110 °C selama 24 jam sebelum dicetak agar kandungan moisturnya hilang.

Penurunan kekuatan tarik komposit juga dipengaruhi oleh adanya EPDM sebesar 5 *wt%*. Seperti sudah dijelaskan dalam landasan teori bahwa penambahan polimer pelembut seperti EPDM mampu meningkatkan elongasi dan ketahanan impak, sebaliknya memberi dampak negatif pada kekuatan tarik (*tensile*) dan tekuk (*flexural*) [29]. Sehingga dalam dalam kasus seperti ini, EPDM tidak berfungsi sebagai zat penggabung (*coupling agent*) antara polipropilena dan karbon. Untuk menguatkan ikatan antarmuka antara matriks polipropilena dan serat karbon, maka perlu ditambahkan *coupling agent* yang tepat.

V. Di Liello *et al.* (1990) berdasarkan hasil penelitiannya mempercayai bahwa kecilnya nilai kekuatan tarik pada komposit PP diperkuat serat karbon lebih disebabkan karena perilaku getas dari komposit sebagaimana terlihat dari karakteristik morfologinya [49]. Hal ini juga dapat dihubungkan dengan nilai modulus tarik (*tensile modulus of elasticity*) pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.8. Terlihat dari data modulus tarik bahwa penambahan karbon cenderung meningkatkan kekakuan, sehingga data tersebut seolah-olah menunjukkan penambahan karbon menyebabkan kegetasan pada komposit.

Tabel 4.3 Nilai modulus tarik (*tensile modulus of elasticity*).

Kode Sampel	F1	F2	F3	F4	F5
E_T (GPa)	0,823	1,289	1,399	1,514	1,417



Gambar 4.9 Grafik perbandingan modulus tarik setiap formulasi komposit PP/EPDM/C.

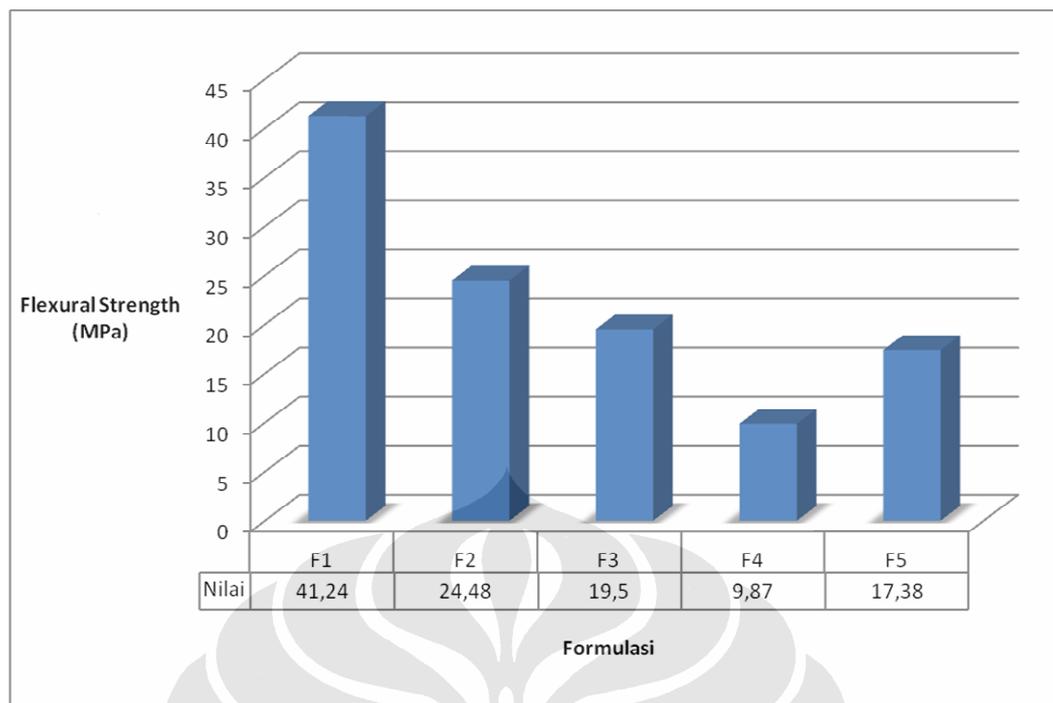
Grafik pada Gambar 4.9 di atas menunjukkan perbandingan modulus tarik setiap sampel komposit (F2, F3, F4, dan F5) yang dibandingkan dengan modulus tarik PP (F1). Dengan penambahan konsentrasi pengisi, modulus tarik menunjukkan peningkatan. Modulus tarik tertinggi diperoleh pada formula F4 sebesar 1,514 GPa.

4.2.3 Hasil Pengujian Tekuk (*Flexural*)

Data hasil pengujian tekuk untuk seluruh sampel disajikan dalam Tabel 4.4 dan digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.10.

Tabel 4.4 Nilai kekuatan tekuk (*flexural strength*).

Kode Sampel	F1	F2	F3	F4	F5
σ_F (MPa)	41,24	24,48	19,50	9,87	17,38



Gambar 4.10 Grafik perbandingan kekuatan tekuk setiap formulasi komposit PP/EPDM/C.

Dari grafik pada Gambar 4.10 di atas menunjukkan nilai kekuatan tekuk setiap formulasi komposit (F2, F3, F4, dan F5) dibandingkan dengan polipropilena (F1). Formula komposit F2 memiliki kekuatan tekuk tertinggi sebesar 24,48 MPa, sedangkan formula komposit F4 dengan kekuatan tekuk sebesar 9.87 MPa paling rendah nilainya.

Efek penurunan kekuatan tekuk seiring dengan penambahan konsentrasi pengisi karbon 0 wt% (F1), 44 wt% (F2 dan F3), dan 80 wt% (F4 dan F5) tergambar dengan jelas pada grafik. Semakin banyak fraksi massa karbon yang ditambahkan, berakibat kekuatannya semakin menurun. Perbedaan kekuatan tekuk antara F2 dan F3 serta antara F4 dan F5 lebih disebabkan perilaku getas dari komposit. Formula F3 lebih getas dari F2 karena adanya penambahan grafit sebanyak 20,45 wt% (45 g) dari total fraksi massa karbon. Sedangkan F4 lebih getas dari F5 karena pada formula F4 proses pencetakan pelat tipe II yang digunakan untuk membuat spesimen uji tekuk selalu mengalami kegagalan. Pelat sampel menempel di *mold* dan ketika *mold* dibuka pelat mengalami retak bahkan hancur. Karena bahan yang digunakan dalam penelitian ini terbatas, maka pelat

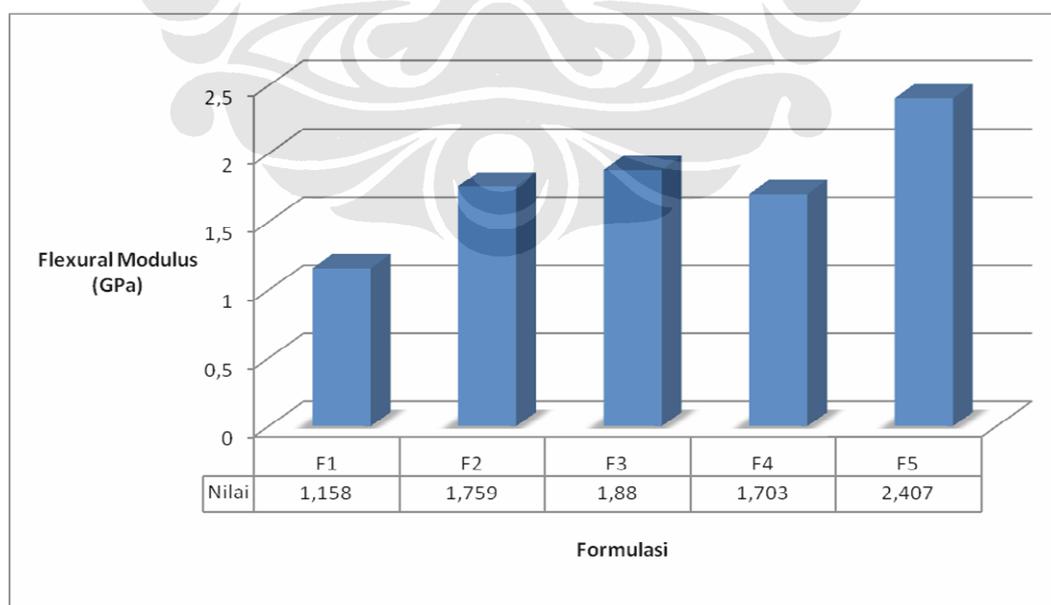
yang hancur di-*crushing* kembali kemudian dicetak ulang. Proses penghalusan dan pemanasan dalam *mold* yang berulang-ulang menyebabkan matriks PP mengalami degradasi. Fenomena degradasi secara singkat dijelaskan pada Sub-Bab 2.5.

Terjadinya degradasi ditandai dengan menurunnya sifat mekanik dalam hal ini sifat kuat tekuk. Kadar matriks PP yang berkurang karena mengalami degradasi menyebabkan komposit F4 menjadi sangat getas, kemampuan matriks PP untuk mengikat pengisi menjadi berkurang. Akibat yang ditimbulkan adalah menurunnya kekuatan tekuk dan modulus tekuk pada komposit F4.

Secara keseluruhan, penurunan kekuatan tekuk juga dipengaruhi oleh penambahan EPDM sebanyak 5 *wt%* dari total komposisi komposit. Dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik juga berpengaruh pada kekuatan tekuk.

Tabel 4.5 Nilai modulus tekuk (*flexural modulus of elasticity*).

Kode Sampel	F1	F2	F3	F4	F5
E_F (GPa)	1,158	1,759	1,880	1,703	2,407



Gambar 4.11 Grafik perbandingan modulus tekuk setiap formulasi komposit PP/EPDM/C.

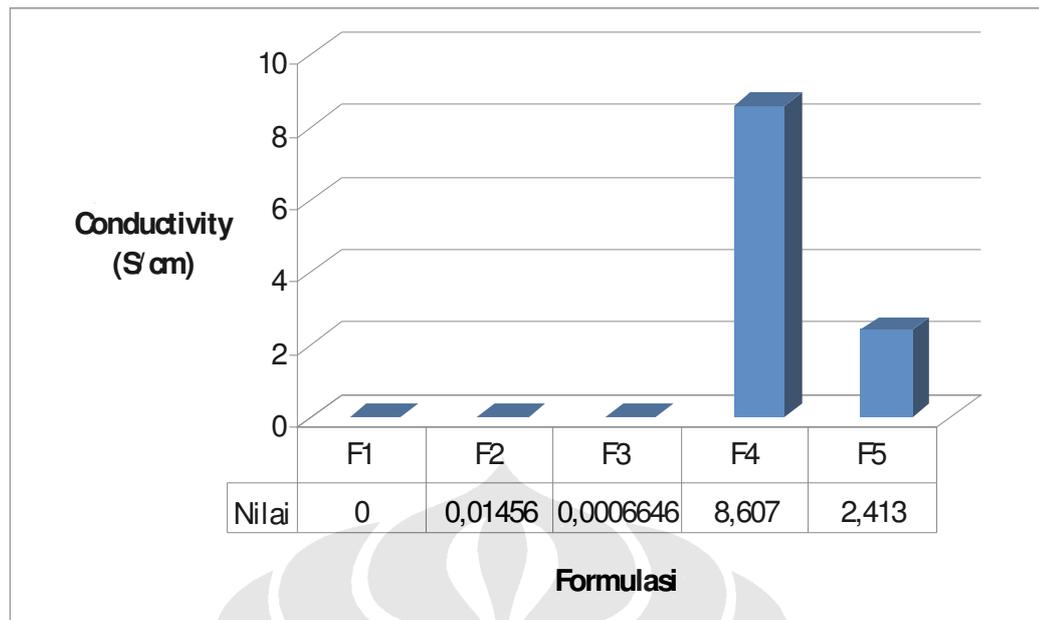
Dari grafik perbandingan modulus tekuk pada Gambar 4.11 di atas, formula komposit F5 menunjukkan kekakuan yang lebih tinggi dibanding yang formula lain. Seharusnya komposit F4 memiliki nilai modulus tekuk yang hampir sama dengan komposit F5, tetapi karena F4 bersifat sangat getas akibat degradasi maka nilai kekakuannya jauh lebih rendah.

4.2.4 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik merupakan sifat yang sangat penting dari pelat bipolar pada PEM *fuel cell*. Mendapatkan komposisi komposit bermatriks polimer dengan konduktivitas yang tinggi untuk aplikasi pelat bipolar merupakan tujuan utama dari penelitian ini. Tabel 4.6 dan Gambar 4.12 di bawah ini menyajikan data dan grafik hasil pengujian konduktivitas listrik seluruh sampel komposit PP/EPDM/C, kecuali F1 (PP) yang datanya diperoleh dari literatur.

Tabel 4.6 Nilai konduktivitas listrik.

Kode Sampel	Konduktivitas (S/cm)
F1	$1,00 \times 10^{-14}$
F2	$1,456 \times 10^{-2}$
F3	$6,646 \times 10^{-4}$
F4	8,607
F5	2,413



Gambar 4.12 Grafik perbandingan nilai konduktivitas setiap formulasi komposit PP/EDPM/C.

Dari data dan grafik pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.12 di atas terlihat data yang diperoleh bersifat fluktuatif. Seperti yang diperkirakan, nilai konduktivitas komposit PP/EPDM/C dengan konsentrasi karbon 80 *wt%* (F4 dan F5) jauh lebih besar nilainya dibandingkan komposit dengan konsentrasi karbon 44 *wt%* (F2 dan F3). Artinya, peningkatan nilai konduktivitas dari komposisi komposit yang berbeda merupakan fungsi dari konsentrasi karbon.

Formula komposit F4 memiliki nilai konduktivitas tertinggi sebesar 8,607 S/cm. Seharusnya nilai konduktivitas formula F4 tidak jauh berbeda dengan nilai konduktivitas formula F5 (2,413 S/cm) karena jumlah komposisi pengisi tiga jenis karbon (karbon hitam, serat karbon, dan grafit) kedua formula tersebut selisihnya kecil. Ketidakvalidan dan penyimpangan data F5 ini disebabkan sampel yang digunakan berasal dari pelat tipe II yang sudah mengalami pencetakan berulang-ulang sehingga matriks PP/EPDM mengalami degradasi. Kadar matriks PP/EPDM yang semula 19 *wt%* dari total berat komposisi komposit diprediksi mengalami penurunan akibat degradasi, sehingga yang tersisa sebagian besar adalah karbon dengan kadar matriks PP/EPDM yang sangat sedikit. Akibat

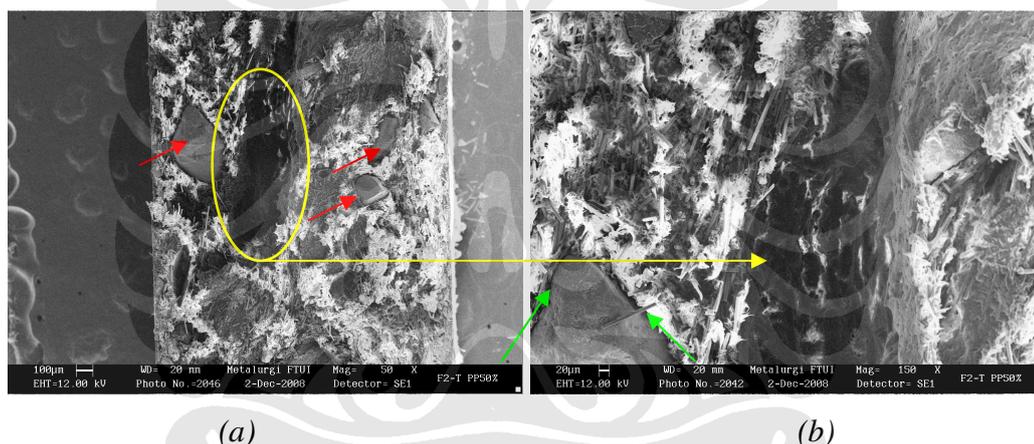
degradasi adalah menurunnya kekuatan mekanik karena komposit menjadi sangat rapuh.

Penurunan sifat mekanik komposit dapat dibuktikan berdasarkan hasil uji kekuatan tekuk (*flexural strength*) pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.10, sampel formula F4 memiliki kekuatan tekuk yang sangat kecil. Hasil pengamatan SEM pada Gambar 4.20 juga menunjukkan indikasi yang sama, permukaan patahan pada spesimen uji tekuk terlihat datar dan tidak terlihat adanya serabut-serabut (*fibrillar*) matriks PP akibat energi pembebanan.

4.2.5 Hasil Pengamatan SEM

4.2.5.1 Analisis Permukaan Patahan Spesimen Uji Tarik

Spesimen Uji Tarik F2

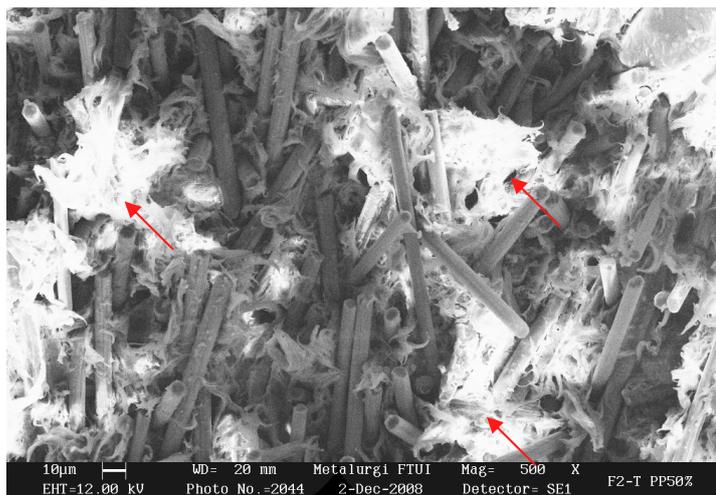


Gambar 4.13 Permukaan patahan spesimen uji tarik F2: (a) Perbesaran 50X, (b) Perbesaran 150X. Terlihat ada partikel karbon hitam yang teraglomerasi dan ada rongga (*voids*) di tengah spesimen. Serabut warna putih adalah matriks PP/EPDM, menandakan matriks polimer bersifat ulet.

Gambar 4.13 hasil foto SEM di atas menunjukkan permukaan patahan tarik sampel komposit PP/EPDM/C dengan konsentrasi pengisi 44 *wt%* karbon yang diwakili oleh formula F2. Tanda panah berwarna merah menunjukkan adanya beberapa partikel karbon hitam yang teraglomerasi. Partikel karbon hitam tersebut tidak terdispersi saat proses *hot blending*. Adanya celah-celah mikro disekeliling partikel karbon seperti yang ditandai panah hijau, menunjukkan

lemahnya daya pembasahan (*wettability*) dan ikatan adhesi antarmuka pada komposit. Dampak dari lemahnya *wettability* dan ikatan antarmuka adalah lemahnya kekuatan tarik komposit khususnya sampel F2 dibandingkan dengan sampel F3.

Bagian yang menjadi perhatian utama pada Gambar 4.13 di atas adalah rongga (*void*) di tengah spesimen yang ditandai dengan lingkaran kuning. Rongga tersebut juga dapat terlihat dengan jelas secara visual tanpa perbesaran. Terbentuknya rongga-rongga dalam spesimen komposit disebabkan oleh beberapa faktor seperti yang telah dijelaskan pada Sub-sub Bab 4.2.2. Diantara penyebab terbentuknya rongga adalah tingginya viskositas campuran sehingga kemampuan alirnya rendah dan ketika dicetak kepadatannya tidak merata, granula komposit hasil *crushing* menyerap moister karena bersifat higroskopis. Moister yang terperangkap ketika sampel dicetak membentuk *bubbles* (gelembung-gelembung udara), gelembung-gelembung inilah yang menjadi awal terbentuknya rongga-rongga mikro. Terbentuknya rongga dan celah mikro, partikel karbon yang teraglomerasi, dispersi pengisi yang tidak merata, *wettability* dan ikatan antarmuka yang lemah dapat berdampak negatif pada sifat mekanik dan konduktivitas komposit pelat bipolar.



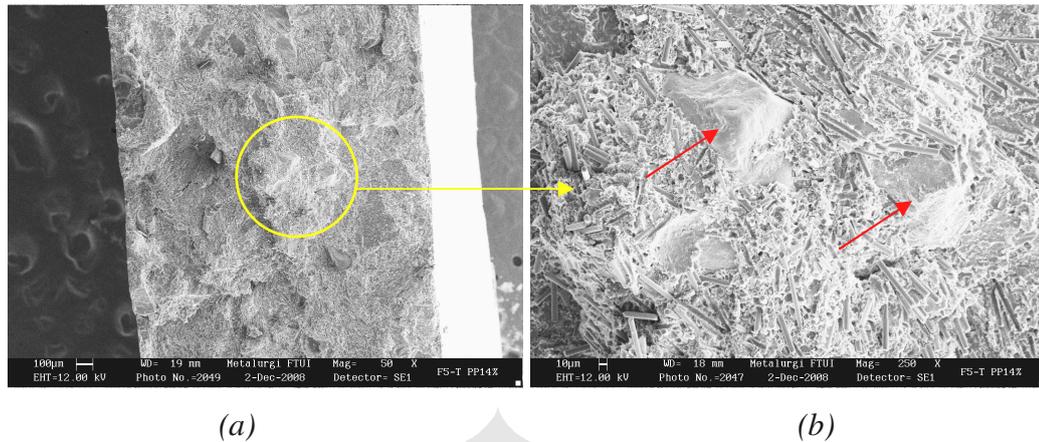
Gambar 4.14 Permukaan patahan spesimen uji tarik F2 dengan perbesaran 500X. Serat karbon terorientasi secara acak dan matriks PP/EPDM tidak membasahi serat karbon secara merata, hanya sedikit serat karbon yang terselimuti matriks. Terlihat sebagian serat karbon tertarik keluar (*pulled out*).

Pada Gambar 4.14 terlihat ikatan adhesi yang kurang kuat pada antarmuka serat karbon dan matriks PP/EPDM menyebabkan tidak terselimutinya pengisi oleh matriks PP/EPDM, sehingga menimbulkan pelepasan (*debonding*) pada antarmuka. Adanya *debonding* tersebut menunjukkan lemahnya *wettability* dan ikatan antarmuka antara matriks dan serat karbon, sehingga mempengaruhi hasil pengujian mekanik. Rendahnya kekuatan tarik dan modulus tarik membuktikan bahwa komposit PP/EPDM/C mengalami penurunan kekakuan yang disebabkan oleh lemahnya adhesi dan timbulnya celah-celah mikro pada permukaan patahan.

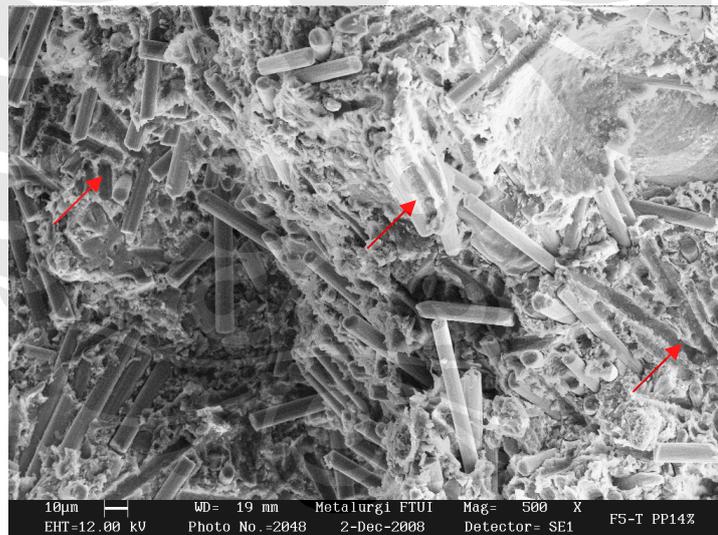
Gambar 4.13 dan 4.14 di atas juga memperlihatkan permukaan patahan yang berserabut (ditandai panah merah). Ini menunjukkan bahwa patahan yang terjadi adalah patahan ulet (*ductile*). Saat energi pembebanan diberikan matriks PP/EPDM masih dapat terdeformasi sehingga permukaan hasil patahan tersebut menjadi tidak rata.

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa kegagalan awal terjadi pada antarmuka, yaitu kegagalan yang terjadi karena ikatan antarmuka serat karbon dan matriks PP/EPDM tidak lebih kuat dibandingkan ikatan internal matriks PP/EPDM dan ikatan internal pengisi karbon, sehingga serat karbon tertarik keluar (*pulled out*) dari matriks ketika diberi beban tarik.

Spesimen Uji Tarik F5



Gambar 4.15 Permukaan patahan spesimen uji tarik F5: (a) Perbesaran 50X, (b) Perbesaran 250X. Permukaan patahan yang datar menandakan komposit bersifat getas. Pada beberapa bagian ada partikel karbon hitam yang teraglomerasi



Gambar 4.16 Permukaan patahan spesimen uji tarik F5 dengan perbesaran 500X. Adhesi yang buruk dan kandungan matriks PP/EPDM yang sedikit menyebabkan terlepasnya serat karbon (*pulled out*) akibat beban tarik.

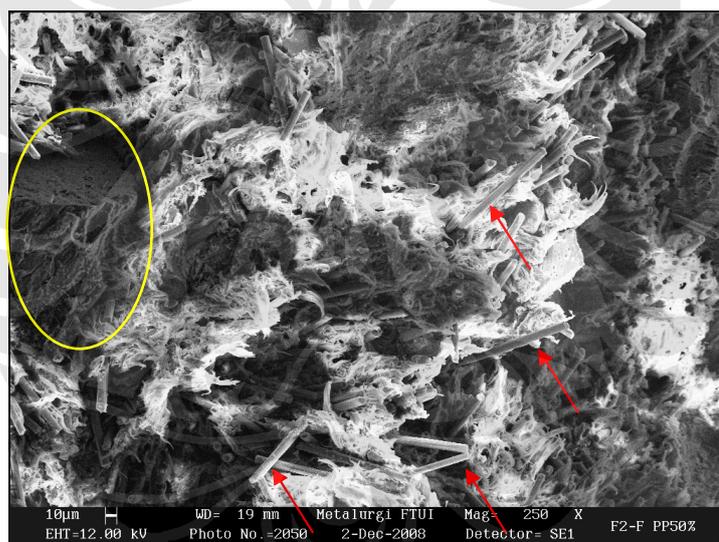
Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 memperlihatkan permukaan patahan tarik sampel komposit PP/EPDM/C dengan konsentrasi pengisi 80 wt% karbon yang diwakili oleh formula F5. Tanda panah berwarna merah pada Gambar 4.15 (b) menunjukkan adanya beberapa partikel karbon hitam yang teraglomerasi. Mode

perpatahannya cenderung membentuk pola getas (*brittle*) dilihat dari tekstur permukaannya yang rata. Hal ini disebabkan konsentrasi karbon yang terlalu tinggi sehingga matriks PP/EPDM tidak mampu berfungsi sebagai pengikat karena kadarnya yang terlalu sedikit.

Pada Gambar 4.16 terlihat dengan jelas suatu kegagalan ikatan antarmuka, yaitu kegagalan yang terjadi karena ikatan antara serat karbon dengan matriks PP/EPDM tidak lebih kuat dibandingkan ikatan internal matriks dan ikatan internal pengisi karbon. Ketika diberi beban tarik serat karbon tertarik keluar dari matriks dan meninggalkan jejak cekungan (ditandai panah merah).

4.2.5.2 Analisis Permukaan Patahan Spesimen Uji Tekuk

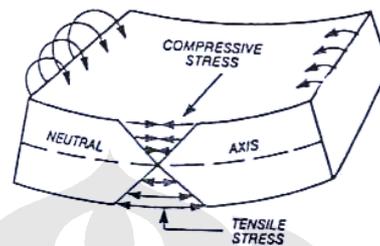
Spesimen Uji Tekuk F2



Gambar 4.17 Permukaan patahan spesimen uji tekuk F2 dengan perbesaran 250X. Sebagian serat karbon terselimuti matriks PP/EPDM. Ada partikel karbon yang teraglomerasi (ditandai lingkaran kuning) dan sebagian serat karbon mengalami *pulled out* (ditandai panah merah).

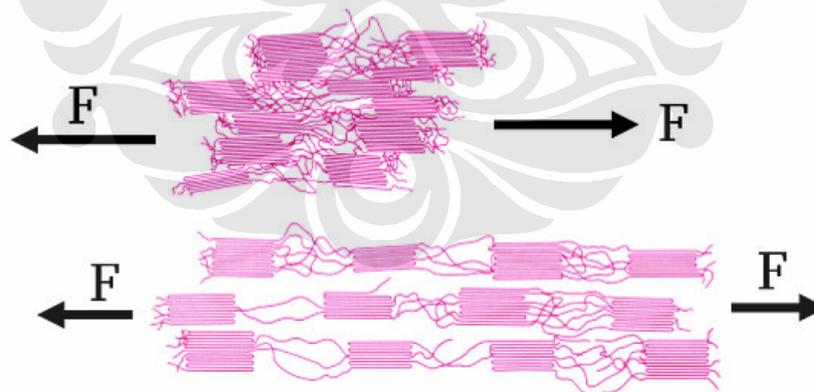
Foto permukaan patahan tekuk sampel F2 Gambar 4.17 mengindikasikan patahan yang terjadi bersifat ulet (*ductile*) karena matriks PP/EPDM mengalami deformasi plastis. Karena ikatan antarmuka antara matriks dan serat karbon kurang kuat, maka bagian komposit yang lebih berperan dalam menahan beban

tekuk adalah matriks. Hal ini yang menyebabkan kekuatan tekuk komposit F2 lebih besar dari kekuatan tekuk komposit F3. Pada pengujian tekuk spesimen mengalami tegangan tekan dan tegangan tarik (Gambar 4.18). Bagian matriks yang berbentuk serabut adalah fasa amorf dari polipropilena yang mengalami deformasi plastis akibat tegangan tarik.



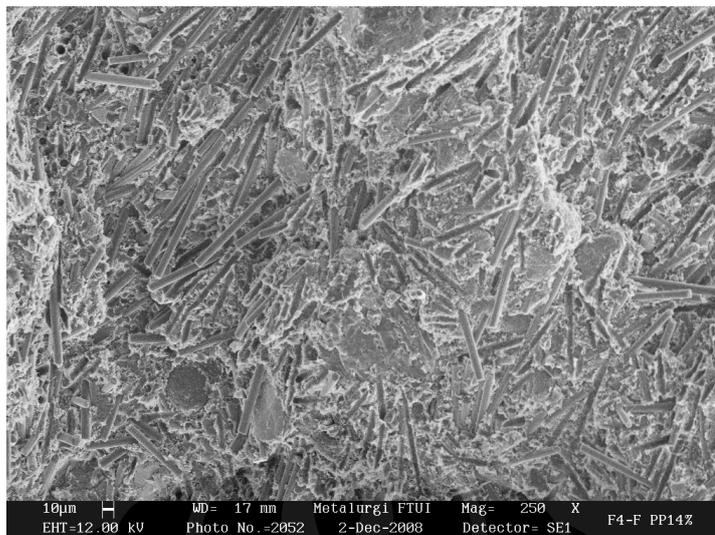
Gambar 4.18 Skema tegangan tarik-tekan yang dialami spesimen uji tekuk [48].

Ketika polimer semikristalin seperti polipropilena (PP) dikenai pembebanan, elongasi diawali dari bagian amorf. Fasa amorf akan meregang dan tertarik secara paksa membentuk susunan sejajar seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19 [27]. Fasa amorf yang tertarik karena pembebanan akan lebih mudah mengalami pemutusan rantai molekul dan akan tampak seperti serabut.



Gambar 4.19 Mekanisme deformasi material semikristalin, ketika mengalami tegangan tarik terjadi peregangan pada fasa amorf [27].

Spesimen Uji Tekuk F4



Gambar 4.20 Permukaan patahan tekuk sampel F4 dengan perbesaran 250X. Permukaan patahan terlihat datar dan banyak serat karbon yang mengalami *pulled out*.

Gambar 4.20 memperlihatkan permukaan patahan tekuk sampel komposit PP/EPDM/C dengan konsentrasi pengisi 80 *wt%* karbon yang diwakili oleh formula F4. Mode perpatahannya cenderung membentuk pola getas (*brittle*) dilihat dari tekstur permukaannya yang rata dan terlihat banyak cekungan jejak serat karbon yang mengalami *pulled out*. Perpatahan mudah terjadi karena ikatan antara serat karbon dengan matriks PP/EPDM sangat lemah. Akibatnya kekuatan tekuk sampel komposit F4 menjadi lebih rendah dibandingkan kekuatan tekuk sampel komposit F5.

F4 merupakan formula komposit yang mengalami proses pemanasan dan penghalusan berulang-ulang sehingga menyebabkan matriks PP/EPDM mengalami degradasi. Terjadinya degradasi ditandai dengan menurunnya sifat mekanik dalam hal ini sifat kuat tekuk. Kadar matriks PP/EPDM yang berkurang karena mengalami degradasi menyebabkan komposit F4 menjadi sangat getas, kemampuan matriks PP/EPDM untuk mengikat pengisi menjadi berkurang.