

ANALISIS SIFAT KEKUATAN TARIK, DERAJAT KRISTALINITAS DAN STRUKTURMIKRO KOMPOSIT POLIMER POLIPROPILENA-PASIR

Sudirman¹, Aloma Karo Karo¹, Ari H.¹, Bambang Sugeng¹,
Rukihati¹ dan Mashuri²

¹*Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN
Kawasan Puspipetek, Serpong 15314, Tangerang*

²*Jurusan Fisika, FMIPA - ITS
Keputih Sukolilo, Surabaya 60111*

ABSTRAK

ANALISIS SIFAT KEKUATAN TARIK, DERAJAT KRISTALINITAS DAN STRUKTURMIKRO KOMPOSIT POLIMER POLIPROPILENA-PASIR. Telah dilakukan modifikasi bahan berbasis polimer menjadi komposit polimer dengan menambahkan *filler*. Sifat mekanik berupa kekuatan tarik, derajat kristalinitas dan strukturmikro dari komposit polimer berbasis polipropilena dengan *filler* pasir telah diteliti. Pembuatan komposit polimer dalam penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan matriks berupa polipropilena *melt flow* (MF) 2 atau polipropilena *melt flow* (MF) 10 dengan *filler* pasir di dalam alat *labo plastomill*. Komposisi pasir yang diberikan bervariasi yakni 10%v/v, 30%v/v, 40%v/v dan 50 %v/v. Kemudian dicetak berbentuk lembaran film dan dilakukan karakterisasi meliputi sifat kekuatan tarik, derajat kristalinitas dan strukturmikro. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume pasir didalam komposit polimer mengakibatkan nilai *tensile strength*nya berkurang sesuai dengan pengamatan strukturmikro yang menunjukkan daerah matriks mengalami deformasi plastis (retakan terbanyak) dan *fillernya* terdeformasi elastis sehingga mekanisme penguatan oleh *filler* tidak tercapai sesuai dengan harapan (teori Danusso dan Tieghi). Untuk komposisi lebih besar dari 30 fraksi volume *filler*, harga *tensile strength* polipropilena MF 10 lebih besar daripada polipropilena MF2, hal ini dikarenakan adanya plastisitas didalam polipropilena MF 10. Untuk komposisi di bawah 30 % fraksi volume *filler*, polipropilena MF 2 mempunyai nilai *tensile strength* yang lebih besar daripada polipropilena MF 10, hal tersebut dikarenakan polipropilena MF 2 mempunyai derajat kristalinitas yang lebih besar.

Kata kunci : Komposit polimer, polipropilena, pasir, *melt flow*

ABSTRACT

PROPERTIES ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH, CRYSTALINITY DEGREE AND MICROSTRUCTURE OF POLYMER COMPOSITE POLYPROPYLENE-SAND. Materials modification based on polymer toward polymer composite is needed by addition of filler. Mechanical properties such as tensile strength, crystallinity degree and microstructure of polymer composite based on polypropylene with sand filler have been investigated. In this work, the polymer composite has been made by mixing the matrix of polypropylene melt flow 2 (PP MF2) or polypropylene melt flow 10 (PP MF 10) with sand filler in a labo plastomill. The composition of sand filler was varied to 10, 30, 40 and 50 %v/v, a then the composite were casted to the film sheets form. The sheets were characterized mechanically i.e tensile strength, crystallinity degree and microstructure. The result showed that the tensile strength decreased by increasing the volume fraction of sand filler, in accordance with microstructure investigation that the matrix area under zone plastic deformation (more cracks), while the filler experienced elastic deformation, so that the strength mechanism of filler did not achieved with expectation (Danusso and Tieghi theory). For filler more than 30% of volume fraction, the tensile strength of polypropylene melt flow 10 (PP MF 10) was greater than that polypropylene melt flow 2 (PP MF2). It was caused by plasticities in PP MF 10. The tensile strength of PP MF2 was greater than that PP MF10 for volume fraction of sand filler less than 30 %. It was caused by PP MF2 to be have more degree of crystallinity.

Key words : Polymer composite, polypropylene, sand, melt flow

PENDAHULUAN

Produk komposit-polimer selama ini banyak dimanfaatkan oleh masyarakat, karena bahan tersebut mempunyai nilai yang lebih praktis dibandingkan produk non komposit-polimer. Hal tersebut mendorong dunia

industri dalam bidang ini untuk memasarkan produk komposit-polimer yang seluas-luasnya [1,2]. Dari uraian di atas jelaslah bahwa keunggulan sifat bahan tersebut dapat digunakan sebagai bahan rancang bangun. Secara umum, modifikasi polimer dapat dipakai untuk mengubah sifat bahan. Pemilihan polimer sebagai bahan rancang bangun perlu memperhatikan beberapa aspek, seperti kemampuan daya hantar panas, kekuatan mekanik (tahan terhadap struktur deformasi, tidak retak pada berbagai regangan), kompetibel terhadap bahan dasarnya (tidak mudah mengelupas atau lepas), ketahanan terhadap abrasi dan goresan [3,4].

Permasalahan yang sering timbul dalam pembuatan produk komposit-polimer yakni berkurangnya sifat fisik akibat suhu yang tinggi sehingga pemakaian bahan tidak dapat tahan lama. Oleh karena itu diperlukan pemilihan jenis polimer yang tepat. Untuk menunjang sifat termal komposit-polimer diperlukan bahan pengisi (*filler*) yang dapat memberikan daya hantar panas tinggi sehingga mampu mengalirkan panas, yang terbangun sistem (*head exchanger*) dan secara mekanik lebih kuat. Disamping itu juga pemberian *filler* pada polimer akan memberikan sifat yang variatif pada sifat bahan sehingga diperoleh sifat fisik dan mekanik yang memenuhi persyaratan [2,5].

Pemilihan polimer termoplastik jenis polipropilena (PP) sebagai matriks dalam komposit penelitian ini dikarenakan polimer ini mudah diproses, mempunyai titik leleh tinggi 176°C, densitas rendah, dan termasuk kelompok yang paling ringan di antara bahan polimer, tahan korosi, namun penghantar panas dan listriknya rendah. Polipropilena mempunyai sifat dan biaya proses relatif murah, mudah diperoleh di pasaran serta dapat didaur ulang. Jenis polipropilena dibedakan pada parameter proses yang dinyatakan oleh harga MF (*Melt Flow Indeks*). Semakin besar harga MF maka diperoleh PP dengan berat molekul semakin kecil. Polipropilena digunakan secara luas untuk aplikasi seperti alat-alat keperluan rumah tangga, pipa, komponen mobil (*automotive parts*), lantai, peralatan militer dan lain-lainnya [2-5].

Pemilihan pasir sebagai *filler* dalam penelitian ini diharapkan dapat mengubah karakteristik bahan, misalnya mengeraskan matriks dan membuatnya kaku, mengurangi tegangan internal, mengurangi koefisien muai panas, dan biaya produksi materialnya dapat ditekan [5,6].

Pada penelitian ini dibahas sifat mekanik berupa kekuatan tarik, derajat kristalinitas dan strukturmikro. Kemudian hasil eksperimen kekuatan tarik akan dikaji dengan model atau teori yang telah ada [2,5].

TEORI

Komposit polimer adalah komposit dengan matriks dari bahan polimer dengan pengisi (*filler*) bahan jenis lain [4], sehingga sifat komposit merupakan paduan

dari sifat-sifat bahan pendukungnya. Matriks adalah bahan dasar pembentuk komposit yang mengikat pengisi dengan tidak terjadi ikatan secara kimia [7]. Untuk memperoleh sifat bahan komposit seperti yang diinginkan maka perlu diperhatikan sifat dari bahan matriks yang ingin diperbaiki dan bahan pengisi yang akan diisikan agar diperoleh sifat bahan yang efektif. *Filler* partikel berbentuk pasir, akan tersebar dalam matriks dengan ukuran butir yang lebih besar dari 1 mm. Bentuk partikel dapat mempengaruhi kemampuan kontak permukaan serbuk dengan matriks komposit. Bentuk permukaan yang lebih beraturan akan memungkinkan untuk terjadi ikatan seluruh permukaan partikel dengan matriks sehingga sifat mekanik komposit lebih baik. Disamping itu dengan bentuk permukaan yang lebih beraturan maka terjadinya pori (*void*) dapat diminimalkan. Tingkat penguatan yang diberikan *filler* pasir dipengaruhi oleh diameter, distribusi, dan komposisi *filler* di dalam komposit tersebut.

Kekuatan tarik (*tensile strength*) dari komposit σ_c dapat diprediksikan dengan persamaan sebagai berikut [5] :

$$\sigma_c = \sigma_p (1 - \phi)S \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_c = \sigma_p (1 - \phi^{2/3})S' \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_c = \sigma_p (1 - b\phi^{2/3}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

dengan σ_p adalah *tensile strength* dari matriks polimer. Ekspresi ini mewakili jenis non adisi dari struktur komposit, dan diturunkan dari dasar hubungan fraksi luas pada fraksi volume pengisi. Parameter *S* atau *S'* menggambarkan kelemahan dalam menghasilkan struktur melalui ketidak kontinyuan transfer tegangan atau formasi dari titik konsentrasi tegangan antar muka (*interface*) matriks-pengisi. Nilai terendah dari *S* atau *S'* tidak mewakili efek konsentrasi tegangan terbesar.

Dalam persamaan (3), faktor *b* dihitung dari besar adisi antara matriks dan pengisi, untuk *b*=1,1 menggambarkan tebal bungkus heksagonal pada bidang datar dengan kerapatan tinggi; sedangkan *b*=1,21 mewakili kasus ekstrim dari sedikitnya adisi dengan pengisi berbentuk bola untuk tampang lintang minimum antar partikel berbentuk bola. Secara umum, nilai terendah dari *b* di bawah 1,21 menunjukkan adisi yang terbaik. Banyak persamaan dibangun untuk modulus elastisitas dari material pengisi dengan partikel berbentuk bola.

Prediksi kekuatan tarik (*tensile strength*) yang lain diusulkan oleh *Danusso* dan *Tieghi* [5], berdasarkan empiris murni untuk kasus adisi. Perkiraanannya mengikuti tiga parameter penyesuaian (*a, b*).

$$\sigma = \frac{1 - \phi}{a + b\phi} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Selanjutnya menurut teori *Pukanzky* dkk [5] menduga, bahwa tegangan dari komposit ditentukan oleh

pengurangan beban efektif pada penampang lintang matriks (akibat pengisian) dan oleh interaksi polimer pengisi.

$$\sigma_c = \sigma_m \left(\frac{1 - V_f}{1 + 2,5V_f} \right) \exp(BV_f) \dots\dots\dots (5)$$

dengan B menyatakan parameter yang berkaitan dengan interaksi antar permukaan.

Dari beberapa teori yang diuraikan tersebut di atas maka dapat menggambarkan interaksi antara matriks dengan filler yang tergambar dari harga kekuatan tariknya.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Polipropilena (PP) dengan variasi Melt Flow Indeks 2,0 dan 10. Bahan ini didapatkan dari PT. TRI POLYTA INDONESIA, Tbk, Cilegon. Filler berupa Pasir dari PT. Pioner, Cikokol, Tangerang. Aseton dan Nitrogen cair.

Cara Kerja

Pembuatan Spesimen Uji

Alat laboplastomill dibersihkan dahulu dengan larutan aseton untuk menghindari impuritas saat sintesis bahan. Kemudian mencampur polipropilena (PP) melt flow (MF) 2 atau (MF) 10 dan pasir dalam laboplastomil model 30R 150 buatan Toyoseiki & Co pada suhu 180°C selama 10 menit. Komposisi pasir yang dicampurkan bervariasi yakni 10%, 30%, 40%, dan 50 %. Setelah tercampur homogen, campuran PP MF 2-pasir atau PP MF 10-pasir selanjutnya dibuat film dengan menggunakan pres panas (Hydraulic test press), masing-masing pada suhu 180°C dan suhu kamar selama 5 menit, serta tekanan yang diberikan 150 kg/cm². Setelah dipres panas, alat cetak film dimasukkan dalam alat pengepres dingin (Hydraulic press a/s 16T). Kemudian sampel film yang terbentuk dikarakterisasi.

Karakterisasi

Sebelum lembaran film tiap-tiap komposisi diuji, dibentuk dumb bell dengan menggunakan cetakan alat Die Cut, berdasarkan standar ASTM D-1822-L, dan tiap komposisi sampel dibuat sebanyak 6 buah dumb bell. Mengukur dan mencatat tebal, lebar dari dumb bell semua sampel uji dengan menggunakan mikrometer (Dial Thickness Gage), kemudian dicari rata-ratanya. Pengujian kekuatan tarik (Tensile Strength) yang dilakukan dengan mesin Stograph R1, merk Toyoseiki. Sampel dipasang dalam mesin uji tarik dan ditarik sampai putus dengan kecepatan tarik (cross head speed) pengujian 50 mm/menit. Penentuan kekuatan tarik

maksimum dilakukan pencatatan pada saat potongan uji putus. Pengujian dilakukan di Laboratorium Proses Industri, P3TIR-Batan, Jakarta.

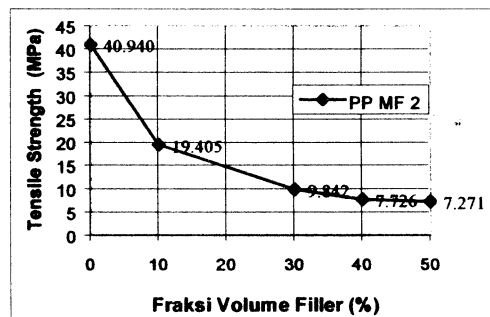
Pengamatan strukturmikro dilakukan dengan menggunakan alat SEM (Scanning Electron Microscope) sedangkan derajat kristalinitas diuji dengan alat Difraksi Sinar-X. Kedua pengujian dilakukan di Laboratorium Bidang Bahan Industri, P3IB-Batan, Serpong.

HASIL DAN PEMBAHASAN

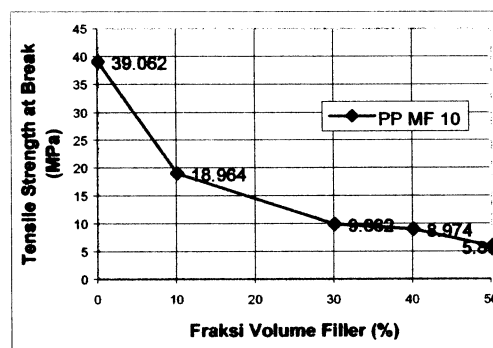
Analisis Sifat Kekuatan Tarik

Pada sampel penelitian dilakukan beberapa perlakuan, seperti pemanasan, pendinginan, dan ini akan mengakibatkan perubahan sifat mekanik dan termal dari bahan tersebut. Sementara itu tensile strength mencirikan kekuatan tarik suatu bahan yang dihitung dengan pembagian gaya maksimum yang mampu ditanggung bahan dengan luas penampang mula bahan.

Berdasarkan data yang ada, maka dapat dibuat grafik yang berhubungan antara komposisi fraksi volume pasir dalam bahan komposit bermatriks polipropilena MF2 dan polipropilena MF10 (sumbu x) dengan tensile strength yang dimiliki oleh masing-masing bahan komposit (sumbu y). Grafik ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh dari penambahan komposisi fraksi volume pasir terhadap kekuatan tarik polimer polipropilena dalam bentuk komposit, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2, dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik pengaruh fraksi volume filler pada tensile strength PP MF2



Gambar 3. Grafik pengaruh fraksi volume filler pada tensile strength PP MF 10

Dari grafik *tensile strength* di atas, pada bahan komposit terlihat matriks polipropilen murni mempunyai nilai *tensile strength* yang paling tinggi, sehingga mempunyai fleksibilitas yang tinggi. Pemakaian polipropilena sebagai matriks digunakan untuk mengikat *filler* pasir dalam komposit, sehingga memenuhi syarat-syarat mekanik.

Dengan mengingat model struktur dari bahan polimer semikristalin, yang terdiri atas rantai polimer yang konfigurasi tersusun rapi yang disebut *lamellar* diselingi dengan bagian yang terdiri atas rantai polimer yang tidak teratur konfigurasi, yaitu amorf. Pada saat matriks bahan dikenai gaya tarik, maka akan terjadi *interlamellar stretching* dimana hanya bagian amorf yang mengalami perubahan, rantai polimernya mengalami regangan. Selanjutnya mengalami *intracrystalline slip*, dimana bagian kristalnya (*lamellarnya*) mengalami perubahan, lempeng *lamellarnya* mengalami *slip*. Pada tahap selanjutnya konfigurasi rantai terarah ke arah tarikan, dan kemudian jika tarikannya diteruskan, maka rantai polimer mulai terputus.

Kekuatan tarik (*tensile strength*) pada polipropilena MF2 dan MF10 cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan *filler* (pengisi) pasir, hal ini diakibatkan dalam praktek distribusi *filler* dalam matriks polimer tidak merata. Seperti halnya kasus *filler* yang sering dijumpai, pasir tidak tersebar secara sempurna dalam komposit. Pasir cenderung untuk menggabungkan (pengelompokan) diri satu sama lain dan membentuk struktur yang lebih besar yang disebut *agglomeration* dan kurang terbentuknya adisi antar permukaan matriks dan *filler*. Terbentuknya *agglomeration* mengakibatkan sifat mekanik menurun dalam bahan komposit ini.

Pada komposisi persentase pengisi yang semakin besar, maka kontak antara partikel dengan partikel semakin besar, sehingga menurunkan kekuatan tarik sehingga kurang kuat terhadap pembebanan. Penambahan *filler* ke dalam matriks polimer mengurangi kekuatan tarik (*tensile strength*) dalam komposit, hal ini dikarenakan ketidak mampuan *filler* mendukung transfer tegangan yang merata dari matriks polimer, sehingga mekanisme penguatan (*reinforcement*) oleh adanya pasir tidak terjadi dengan baik. Dalam penelitian ini, *tensile strength* dari komposit PP MF 2-Pasir atau PP MF 10-Pasir menurun secara stabil dengan penambahan pembebanan sesuai dengan Gambar 2 dan Gambar 3.

Antara polipropilena dan pasir terlihat ada celah atau jarak yang membuat pasir menjadi satu fasa terpisah dari matriks polipropilena. Celah antara pasir dan polipropilena yang menyebabkan turunnya *tensile strength* pada matriks polipropilena-pasir dengan bertambahnya pasir pada polipropilena maka bertambah banyak celah antara pasir dengan matriks polipropilena. *Tensile strength* antara matriks dengan *filler* di dalam komposit polimer menjadi berkurang dengan

bertambahnya pasir. Faktor lain adalah ketidak-kompetibilitasnya pasir terhadap polipropilena. Hal ini disebabkan pasir mempunyai sifat polar sedangkan polipropilena tidak polar, disamping itu pasir bersifat *hidrofilik* (mudah larut dalam air), sedangkan polipropilena bersifat *hidrofobik* (tidak mudah larut dalam air). Disamping itu, penyebab lainnya dikarenakan *filler* terdeformasi elastis sedangkan matriks terdeformasi plastis.

Pada Gambar 2 dan Gambar 3, komposisi 100% polipropilena MF 2 dan 10%v/v *filler* pasir mempunyai kekuatan tarik yang lebih baik daripada polipropilen MF 10 dalam komposisi yang sama. Namun pada komposisi 30%v/v *filler* pasir, polipropilena MF 10 mempunyai nilai kekuatan tarik yang lebih besar dengan polipropilena MF 2 dalam komposisi yang sama, walaupun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan dari Gambar 10 dan Gambar 11 hasil foto SEM menunjukkan bahwa polipropilena MF 10 dengan pasir mempunyai pola yang masih terlihat halus, merata, agak rapat jika dibandingkan polipropilena MF 2 dengan pasir.

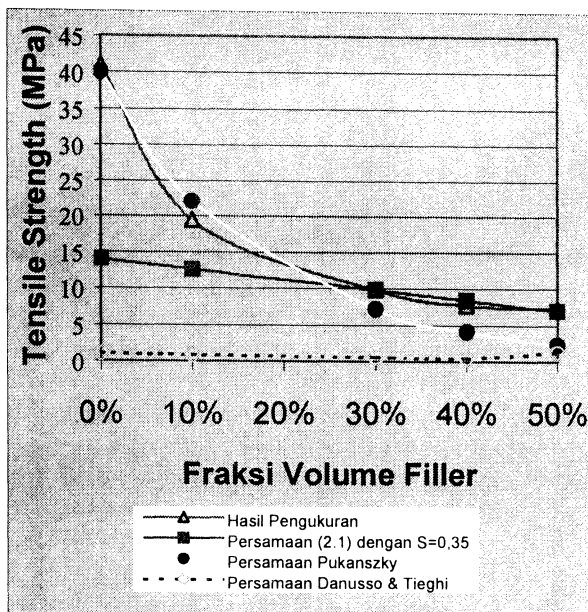
Pada fraksi volume *filler* di atas 30%v/v, polipropilena MF 10 mempunyai kekuatan tarik yang lebih besar dari polipropilena MF 2, hal ini dikarenakan zat pemlastis tertentu yang dimiliki polipropilena MF 10. Bahan pemlastis merupakan salah satu jenis bahan tambahan yang berguna untuk meningkatkan kemampuan pemrosesan atau untuk mengubah kualitas dan sifat produk dengan menambahkan bahan tersebut ke dalam bahan pokok yaitu polimer. Zat pemlastis ini akan memperbaiki kecocokan dengan matriksnya. Bila terdistribusi baik di antara rantai molekul dari polimer, maka jarak dari molekul rantai diperbaiki dan matriks akan lebih mudah lunak dengan bertambahnya beban (tarikan). Walaupun kadar zat pemlastis kecil, selain pemrosesan, akan mengubah fluiditas dan perpanjangan yang cukup berarti dan menurunkan titik transisi gelas. Pemlastikan atas bahan polimer akan menurunkan viskositas lelehannya, sehingga lebih mudah diproses. Zat pemlastis mensolvasi makromolekulnya sehingga lebih leluasa bergerak.

Selain itu, kehadiran bahan *filler* juga dapat bertindak sebagai aditif pengintian, sehingga dapat saja mengakibatkan berubahnya pola kristalisasi serta sifat produk yang dihasilkan. Artinya, bahwa pengaruh fraksi volume pasir terhadap sifat mekanik komposit sangat penting. Dengan demikian kekuatan mekanik bahan polimer dapat diramalkan dengan mengetahui sifat masing-masing bahannya.

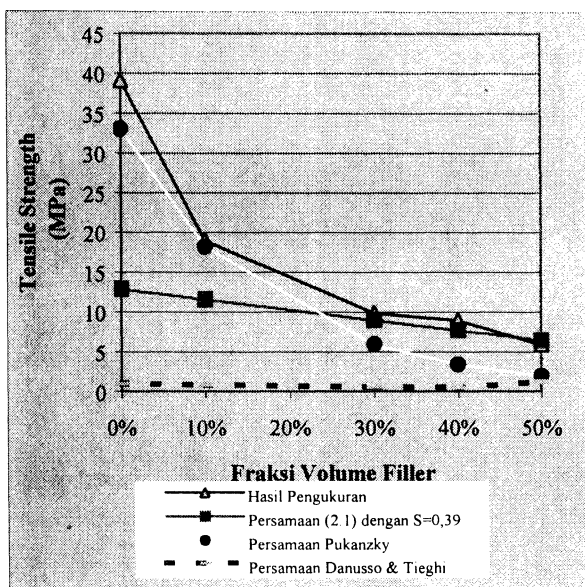
Pendekatan Hasil Eksperimen dengan Perhitungan Teoritis Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan grafik perbandingan antara hasil pengukuran dan prediksi teoritis kekuatan tarik (*tensile strength*) komposit polipropilena dengan pasir.

Pada komposit polipropilena MF 2 dengan pasir dan polipropilena MF10 dengan pasir, perhitungan



Gambar 4. Grafik perbandingan antara hasil pengukuran dan prediksi teoritis *tensile strength* pada komposit PP MF2 dengan pasir



Gambar 5. Grafik perbandingan antara hasil pengukuran dan prediksi teoritis *tensile strength* pada komposit PP MF10 dengan pasir

teoritis yang mendekati hasil pengukuran adalah persamaan *Pukanszky*, dengan $B = -2,66$, sedangkan untuk persamaan (1) dan *Danusso* dan *Tieghi*, tidak dapat digunakan untuk mendekati *tensile strength* komposit dari hasil pengukuran. Artinya kekuatan tarik antara polipropilena baik MF2 maupun polipropilena MF 10 dengan pasir ditentukan oleh interaksi antar permukaan tampang lintang matriks polipropilena dengan pengisi berupa pasir.

Secara mekanik, partikel pasir memberikan pengaruh penguatan (*reinforcement*) pada kompositnya, namun dengan meningkatnya fraksi volume serbuk pasir dalam komposit ini tidak memberikan indikasi pada peningkatan kekuatannya. Hal tersebut berkaitan dengan tidak adanya adhesi yang baik dan ini terlihat dengan adanya pengelompokan atau penggumpalan oleh *filler* yang memisahkan diri dari polipropilena, sehingga akan mengakibatkan bahan mudah mengalami patah dan rapuh.

Analisis Proses Pembuatan Komposit

Dalam proses pembuatan bahan komposit polimer ini melalui proses fisis, yakni pencairan, pembentukan, dan pembekuan. Pencairan dilakukan dengan *blending* dengan suhu leleh, pembentukan dilakukan saat sampel dicetak, dan selanjutnya pembekuan dilakukan dengan pendinginan. Parameter-parameter prosesnya adalah suhu, lamanya proses, dan kecepatan proses pengadukan.

Saat proses pencampuran (*blending*) polipropilena dengan pasir dilakukan pada suhu 180°C selama 10 menit dengan kecepatan putar pengaduk 30 rpm. Dengan menggunakan suhu 180°C diharapkan tingkat *swelling* PP lebih tinggi dan lebih lunak, sehingga partikel pasir lebih mudah terikat oleh PP, dan tersebar lebih merata dalam matriks serta kemungkinan terbentuknya *agglomeration* dan porositas komposit dapat dihindari.

Selanjutnya lamanya proses *blending* juga mempengaruhi produk hasil pemrosesan. Diharapkan dengan meningkatkan waktu pemrosesan didapatkan yang lebih baik, karena kesempatan partikel pasir tersebar secara merata menjadi lebih besar. Kecepatan putar pengaduk dapat juga mempengaruhi kualitas hasil, namun masih perlu penelitian lebih lanjut untuk menentukan kecepatan putar yang optimal guna mendapatkan hasil yang lebih baik.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam pembuatan komposit ini yakni proses pembekuan. Pemrosesan polimer disertai pendinginan cepat dari fasa cair ke fasa padat untuk mendapatkan kristalinitas yang meningkat. Profil pendinginan menentukan derajat kristalinitas, tegangan internal sampai pengkerutannya.

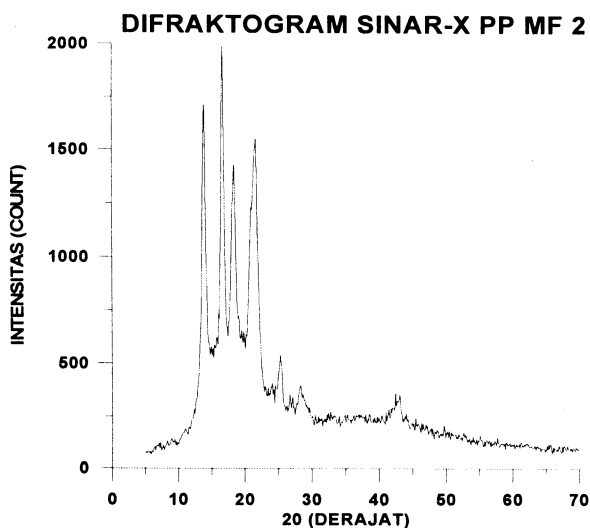
Kristalisasi acapkali disertai pengkerutan. Karena bagian luar cetakan mendingin lebih dulu, maka bagian permukaan akan mengkrystal, mengkerut dan memadat lebih dulu, padahal bagian dalamnya masih bentuk lelehan. Proses berlangsung makin ke bagian dalam, tetapi serentak makin besar pula terjadi tegangan dalam bahan. Tegangan tersebut dapat menimbulkan rongga dalam cetakan, sehingga produknya tidak memenuhi syarat. Tegangan dapat mengubah bahan menjadi berubah bentuk atau rusak (benjol). Walau tidak tampak, adanya tegangan jelas dapat memperlemah kekuatan bahan produk, sehingga produk dapat retak, dan mudah

rusak, bila peringkat tegangan termal internalnya cukup tinggi. Laju pendinginan maksimum menunjang produktivitas puncak, namun dapat menghasilkan cetakan yang rusak, cetakan yang lemah karena kristalisasi kurang atau akibat adanya tegangan internal.

Faktor lain yang harus diperhatikan dalam pembuatan polimer, yaitu perilaku viskoelastik bahan polimer, dimana bahan sampel mengalami pemelaran dan relaksasi tegangan. Pada polipropilena gaya antar molekulnya lemah dan dikonfigurasi hanya oleh gaya *van der Waals*. Kenaikan viskositas akibat kenaikan fraksi volume *filler* pasir perlu diperhatikan, mengingat viskositas ini berpengaruh pada sifat mampu alir dan mampu bentuk komposit saat dicampur (*mixing*), sedangkan *shaping* viskositas harus dijaga sampai batas maksimum karena sifat mampu alir maupun mampu bentuk komposit masih diperhitungkan.

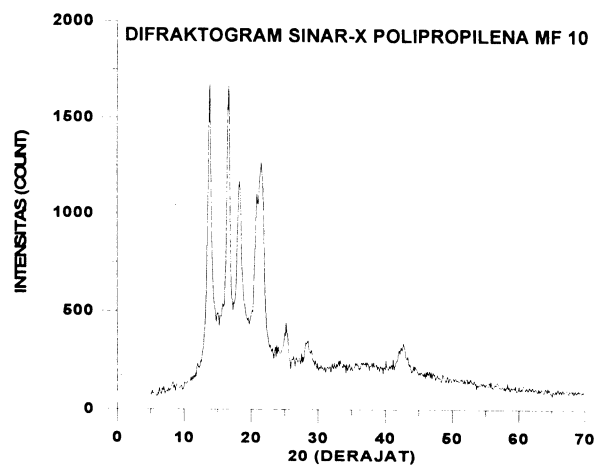
Analisis Derajat Kristalinitas

Sifat dari polimer sangat dipengaruhi oleh derajat kristalinitas, maka dalam pembuatan bahan komposit ini, kristalinitas polipropilena MF 2 atau polipropilena MF 10 akan dijadikan referensi dalam menganalisis penelitian ini.



Gambar 6. Difraktogram sinar-x polipropilena melt flow 2

Polipropilen merupakan polimer semikristalin yang memiliki fasa kristal dan fasa amorf. Pada polipropilen, yang mengandung fasa kristal, massa jenis di bagian yang berkrystal lebih tinggi daripada di bagian amorf, karena itu massa jenisnya tergantung pada derajat kristalinitasnya. Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7 di atas, menunjukkan secara kualitatif bahwa antara matriks PP MF 2 dan PP MF 10 mempunyai perbedaan intensitas pada puncak difraksinya, walaupun tidak terlalu besar. Polipropilena MF 2 mempunyai derajat kristalinitas yang lebih besar daripada polipropilena MF 10, karena memiliki fasa kristalin yang lebih besar daripada fasa amorf,

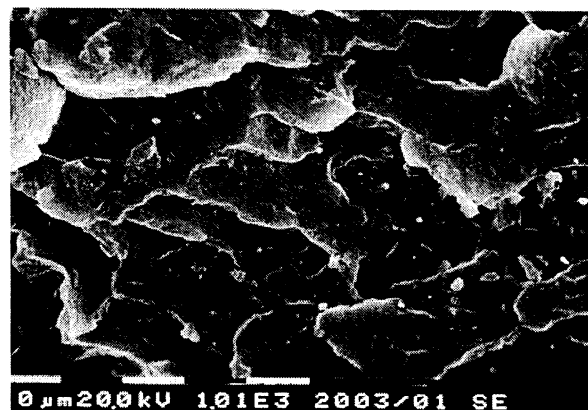


Gambar 7. Difraktogram Sinar-X Polipropilena Melt Flow 10

sehingga polipropilena MF 2 memiliki massa jenis yang lebih besar. Dengan adanya massa jenis yang lebih besar, mengakibatkan viskositas lelehan PP MF 2 lebih kental daripada PP MF 10. Polimer cair kristal berviskositas lelehan amat kental akibat keteraturan atom-atom pada struktur molekulnya tinggi.

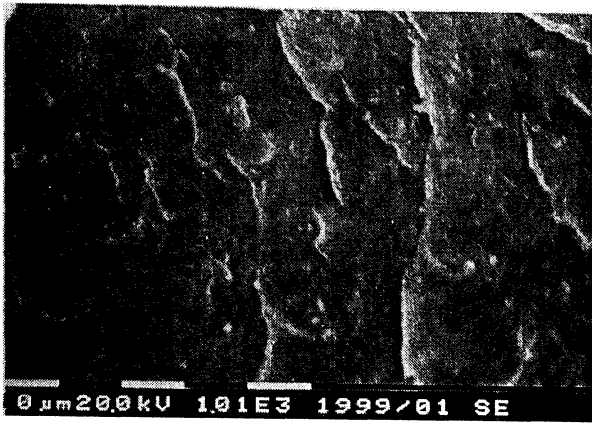
Analisis Strukturmikro

Gambar strukturmikro suatu bahan, berkaitan dengan sifat dari bahan itu sendiri. Gambar strukturmikro hasil pengamatan dengan alat SEM bahan komposit PP MF 2 atau PP MF10 dengan pasir sebagai berikut:

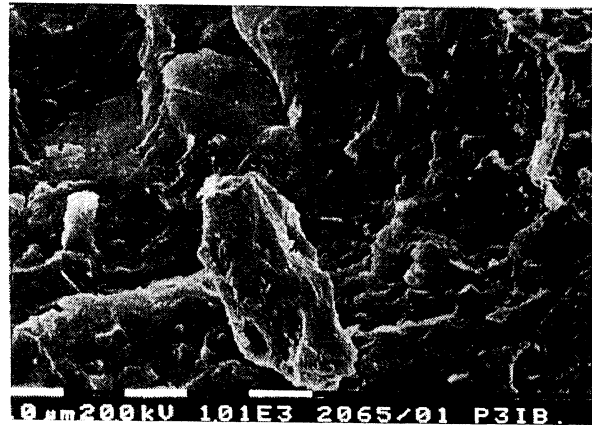


Gambar 8. Foto SEM PP MF 2 dengan perbesaran 1010 kali

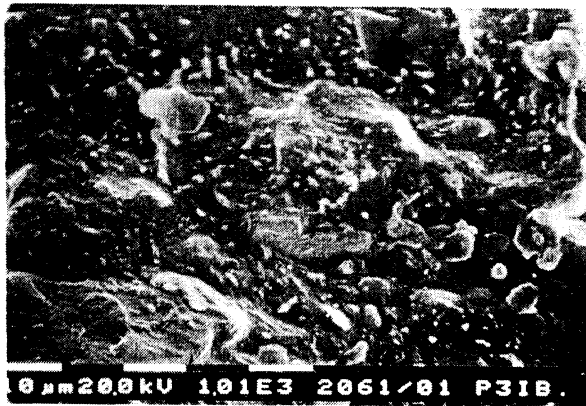
Gambar 8 dan Gambar 9 di atas memperlihatkan strukturmikro matriks PP MF 2 dan PP MF 10 sebelum ditambahkan *filler* pasir. Pada foto SEM Gambar 8 dan Gambar 9 memperlihatkan matriks tanpa pasir, menyebabkan permukaan patahan polipropilena sebagai satu fasa kontinyu yang tunggal, sehingga memiliki *tensile strength* yang cukup tinggi. Pada Gambar 10 sampai dengan Gambar 13 menampilkan matriks sebagai fasa diskontinyu, dan terlihat pasir rata-rata berbentuk *angular*, mempunyai ukuran rata-rata ± 425 μm (*U.S. ASTM E11*) yang terdistribusi pada matriks polipropilena.



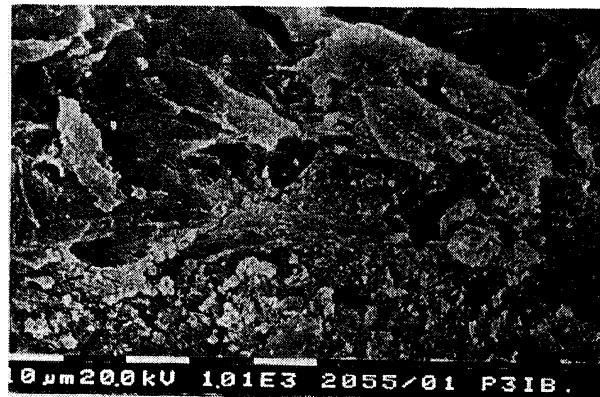
Gambar 9. Foto SEM PP MF10 dengan perbesaran 1010 kali



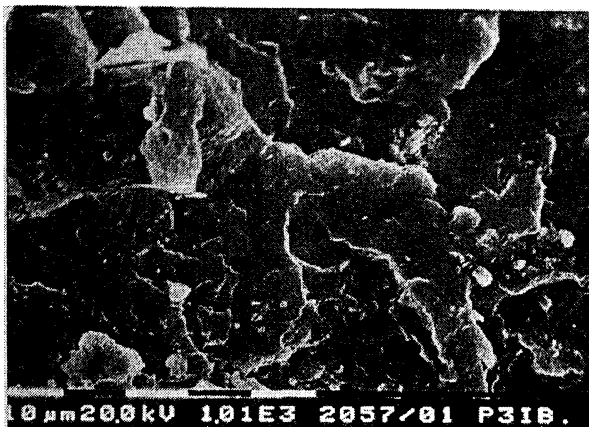
Gambar 12. Foto SEM Komposisi PP MF 2 50% : 50% pasir



Gambar 10. Foto SEM komposisi PP MF 2 70% : 30% pasir



Gambar 13. Foto SEM komposisi PP MF10 50% : 50% pasir



Gambar 11. Foto SEM komposisi PP MF 10 70% : 30% pasir

Selanjutnya pada Gambar 10 sampai dengan Gambar 13 menunjukkan pengisian *filler* pasir pada matriks, dimana partikel pengisi didorong keluar dari matriks polimer saat polipropilena menunjukkan orientasi selama arah penarikan. Saat perpatahan, partikel terlepas dari matriks hal ini menunjukkan ikatan secara fisika antara *filler* dan matriks kurang kuat. Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap sifat termal dan mekanik bahan komposit yang ada.

Pada Gambar 10 dan Gambar 11 menampilkan komposisi fraksi volume pasir 30% dengan 70%

polipropilena, dimana polanya masih terlihat halus, merata, agak rapat, dan nampak kompak dibandingkan dengan penambahan fraksi volume pasir lebih besar dari 30%. Dengan penambahan komposisi prosentase fraksi *filler* pasir ke dalam komposit, komposisi butiran yang ada akan semakin besar, pola distribusi butiran semakin kasar, tidak merata, dan tidak kompak. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh polipropilena yang cenderung menggumpal (*agglomerates*) dan melekat homogen.

Pada saat dikenai gaya tarik akan terjadi pemusatan tegangan, karena polipropilena mengalami regangan, bahan uji bertambah panjang dan terlihat distribusi partikel semakin jarang. Pada saat tarikan dilanjutkan sampai terjadi patah, maka daerah matriks yang mengalami deformasi plastis atau mengalami retakan terbanyak dan pada *filler* terdeformasi elastis, sehingga akan mengakibatkan bahan komposit bersifat getas dan mudah patah seiring dengan penambahan persentase *filler*. Dengan penambahan persentase *filler* yang besar, maka sumber patahan yang ada semakin banyak. Sehingga dengan penambahan regangan yang kecil sudah mengakibatkan terjadinya patahan. Hal tersebut akan nampak jelas terlihat pada foto SEM Gambar 12 dan Gambar 13, saat komposisi fraksi volume *filler* pasir 50% dengan 50% polipropilena.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, pengamatan, dan perhitungan secara teoritis dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh penambahan fraksi volume pasir dalam polipropilen akan mengakibatkan bahan mempunyai nilai *tensile strength* berkurang, dan ini terlihat dalam pengamatan strukturmikro (SEM) dimana daerah matriks mengalami deformasi plastis atau mengalami retakan terbanyak dan pada *fillernya* terdeformasi elastis, sehingga mekanisme penguatan oleh *filler* tidak tercapai sesuai dengan harapan
2. Nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) polipropilena MF 10 dengan pasir, pada komposisi lebih besar dari 30% fraksi volume *filler* mempunyai nilai yang lebih besar daripada polipropilena MF 2 dengan pasir, hal ini dikarenakan adanya plastisitas dalam polipropilena MF 10 sendiri. Namun pada kondisi di bawah 30% fraksi volume *filler*, polipropilena MF 2 dengan pasir mempunyai nilai yang lebih besar daripada polipropilena MF 10 dengan pasir, hal tersebut dikarenakan polipropilen MF 2 mempunyai derajat kristalinitas yang lebih besar.

DAFTARACUAN

- [1]. J.P. HOLMAN, E. JASJFI, *Perpindahan Kalor*, edisi keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, (1994).
- [2]. X. LU, G. XU, Thermally Conductive Polymer Composites for Electronic Packaging, *Journal of Applied Polymer Science*, **65** (1997) 2733-2738
- [3]. SAITO, S. , Terjemahan Surdia, T. , *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, (1995).
- [4]. FILDMAN. ODREL, HARTONO. A. J, *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, (1995).
- [5]. F. DANUSSO AND G. TIEGI, Strength Versus Composition of Rigid Matrix Particulate Composites, *Polymer*, **27** (1994) 1385-1390.
- [6]. Y. AGARI AND T. UNO, Estimation on Thermal Conductivities of Filled Polymers, *Journal of Applied Polymer Science*, **65** (1997) 2733-2738.
- [7]. NI NYOMAN RUPIASIH, *Pengaruh Beban Pengisi pada Sifat Mekanik Polimer*, Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
- [8]. BILLMEYER, FRIED W, *Textbook of Polymer Science*, John Wiley dan Sons, New York, (1984).
- [9]. I.H. TAVMAN, Thermal and Mechanical Properties of Copper Powder Filled Poly(ethylene) Composites, *Powder Technology*, **91** (1997) 63-67.