

Pengaruh Komposisi *Montmorillonite* pada Pembuatan Polipropilen-Nanokomposit terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasannya

Dhena Ria Barleany, Rudi Hartono, dan Santoso

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman Km.3 Cilegon – Banten

Abstract

Polipropilen can be modified with bentonite (clay) that contain 50-80% montmorillonite. Montmorillonite has nano sized layers so that can be used as nanofiller on polipropilene-nanocomposite production. This research was done to find effect of montmorillonite composition on polipropilene-nanocomposite production to the mechanical properties. Mechanical tests in this research are tensile strength and hardness. Nanocomposite was produced through Melt Compounding method using injection molding equipment. This research used polipropilene (PP) and masterbatch that contain 0; 2,4, 3,6; and 5,4% montmorillonite composition. Result of the observation shows that nanofiller addition can increase mechanical properties of material. Optimum tensile strength was 32,88 MPa and was obtained when montmorillonite composition is 2,4%. Optimum hardness 72 mN was obtain when montmorillonite composition is 3,6%.

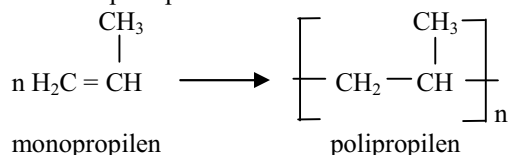
Keywords: , montmorillonite, polipropilene-clay nanocomposite, mechanical test

Pendahuluan

Pengembangan teknologi dapat dilakukan dengan rekayasa material, salah satunya pada pembuatan komposit. Pembuatan polimer komposit dilakukan dengan memadukan dua material yang berbeda sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dari material tersebut. Rekayasa material dapat dilakukan dalam ukuran berskala nano. Banyak penelitian menyebutkan bahwa pembuatan komposit dengan *filler* ukuran nano dapat meningkatkan *properties* dari material.

Pada pembuatan polimer komposit harus dipilih material yang memiliki sifat lebih baik dibandingkan kelas lainnya yang sejenis. Polipropilen merupakan jenis polimer yang memiliki beberapa keunggulan, diantaranya kemudahan dalam proses produksi, kekuatan tarik yang tinggi, tahan terhadap zat kimia, dan harga produk murah.

Polipropilen (PP) merupakan polimer yang terbentuk dalam struktur satuan (monomer) propilen melalui polimerisasi, dimana reaksi yang terjadi adalah seperti pada Gambar 1.



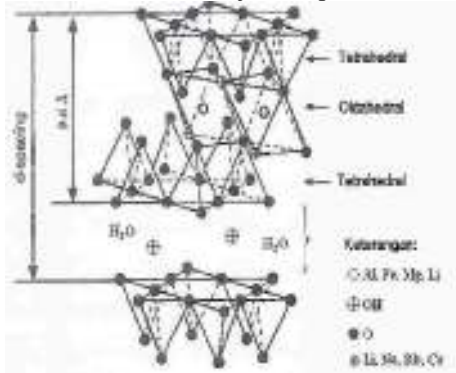
Gambar 1. Struktur molekul propilen dan polipropilen

Polipropilen memiliki sifat mudah dimodifikasi dengan material lain. Sebagai bahan paduan dipilih material yang dapat meningkatkan *properties* dari polipropilen. Polipropilen dapat dipadukan dengan bentonit yang diperoleh dari purifikasi *clay*. Bentonit mengandung 50-80% *montmorillonite*, dan sisanya sebagai mineral pengotor yang terdiri dari campuran mineral kuarsa, *feldspar*, kalsit, gipsum, dan lain-lain. *Montmorillonite* dapat digunakan sebagai material paduan karena merupakan *nanoreinforcement* yang memiliki lapisan-lapisan berukuran nano.

Bentonit atau *clay* adalah istilah yang digunakan untuk sejenis lempung yang mengandung mineral *montmorillonite*. Pada tahun 1960 Billson mendefinisikan bentonit sebagai mineral lempung yang terdiri dari 85% *montmorillonite* dan mempunyai rumus kimia $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O})$. Nama *montmorillonite* ini berasal dari jenis lempung plastis yang ditemukan di Montmorillonite, Perancis pada tahun 1847 (Labaik, 2006).

Struktur *montmorillonite* adalah $\text{M}_x(\text{Al}_4 \cdot x \text{Mg}_x)\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$. *Montmorillonite* terdiri dari tiga unit lapisan, yaitu dua unit lapisan tetrahedral (mengandung ion silika) mengapit satu lapisan oktahedral (mengandung ion besi dan magnesium). Struktur utama *montmorillonite* selalu bermuatan negatif walaupun pada lapisan oktahedral ada

kelebihan muatan positif yang akan dikompensasi oleh kekurangan muatan positif pada lapisan tetrahedral (Alexandre dan Dubois, 2000). Hal ini terjadi karena terjadinya substitusi isomorfik ion-ion, yaitu pada lapisan tetrahedral terjadi substitusi ion Si^{4+} oleh Al^{3+} , sedangkan pada lapisan oktahedral terjadi substitusi ion Al^{3+} oleh Mg^{2+} dan Fe^{2+} . Struktur kristal *montmorillonite* ditunjukkan pada Gambar 2.



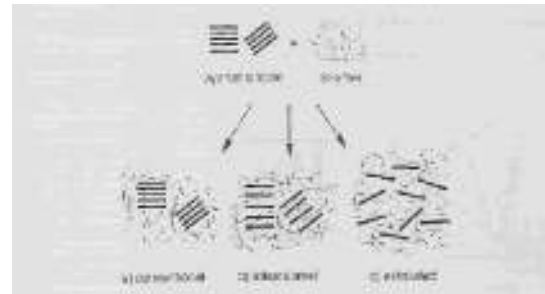
Gambar 2. Struktur kristal *montmorillonite*

Montmorillonite atau bentonit merupakan mineral aluminosilikat (Al-silikat) yang banyak digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan berbagai produk di berbagai industri, salah satunya sebagai katalis, penyangga katalis (*catalyst support*), dan juga sebagai *reinforcement*. Ketebalan setiap lapisan *montmorillonite* sekitar 0,96 nm, tiap dimensi permukaan pada umumnya 300-600 nm, sedangkan *d-spacing* 1,2 – 1,5 nm (Utracki dan Kamal, 2002).

Polimer – *clay* nanokomposit biasanya merupakan bahan penggabungan antara polimer dan bahan komposit sebagai penguat (*reinforcement*), seperti silika, zeolit, dan lain-lain. *Reinforcement* yang digunakan biasanya juga sebagai pengisi (*filler*) pada matriks polimer. Antara polimer dan *montmorillonite* mempunyai sifat yang berbeda. Untuk mempersatukan kedua bahan yaitu polipropilen yang bersifat nonpolar dan *clay* yang bersifat polar dibutuhkan zat pemersatu yang biasa disebut *compatibilizer*. *Compatibilizer* yang biasa digunakan adalah zat yang identik dengan matriks polimer serta dapat mengikat *filler* itu sendiri. Bahan *compatibilizer* yang sering digunakan dalam pembuatan polimer – nanokomposit adalah PP-g-MA. *Compatibilizer* memegang peranan penting dalam proses *compounding*. Peran *compatibilizer* sama seperti peran *emulsifier* dalam teknologi emulsi. *Compatibilizer* yang paling banyak digunakan adalah kopolimer baik tipe blok maupun *graft* (Liza, 2005).

Pada sistem konvensional, sebagai penguat polimer digunakan *filler* dengan ukuran mikron. Biasanya *filler* dalam ukuran mikro tidak dapat menghasilkan produk yang baik, karena pendispersiannya yang tidak merata di dalam matriks

polimer. Polimer nanokomposit merupakan alternatif yang lebih menjanjikan dibandingkan sistem konvensional. Pola pendispersian *filler* di dalam matriks polimer terdiri dari tiga tipe, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbedaan morfologi pendispersian *filler* pada matriks polimer

Jika polimer tidak dapat memenuhi ruang (interkelasi) di antara lapisan silikat, maka komposit yang dihasilkan adalah (a) mikrokompisit. Mikrokompisit ini memiliki sifat yang sama dengan komposit konvensional. Dua tipe komposit yang lain (b,c) adalah nanokompisit. Jika salah satu atau beberapa rantai polimer masuk (menyisip) di antara lapisan silikat maka terbentuk struktur interkelasi. Nanokompisit yang dihasilkan mempunyai struktur multi *layer*, yaitu alternasi polimer dan lapisan silika. Struktur eksfoliasi atau delaminasi terbentuk jika lapisan silikat seluruhnya terdispersi di dalam matriks polimer. Konfigurasi dimana nanokompisit tersebar di dalam matriks polimer menghasilkan perubahan yang signifikan dalam sifat *gas barrier*, *heat deflection temperature*, dimensi, dan ketahanan api karena terjadi interaksi yang maksimum antara polimer dan *clay* (Manias et. al, 2000; Wang et. al., 2004).

Ada tiga metoda yang biasa digunakan untuk sintesa polimer – *clay* nanokompisit (Utracki dan Kamal, 2002):

a. *In Situ* Polymerization

In Situ polymerization merupakan metoda yang pertama ditemukan untuk sintesa polimer –*clay* nanokompisit menggunakan poliamid-6 oleh S. Fujiwara dan Sakamoto (Manias et al, 2001). Pada metoda ini *organoclay* dilarutkan terlebih dahulu dalam pelarut monomer. Monomer kemudian berpindah ke silikat, sehingga polimerisasi dapat terjadi di antara lapisan silikat. Reaksi polimerisasi ini dapat terjadi dengan proses pemanasan, radiasi, atau menggunakan inisiator.

b. Metoda Pelarut

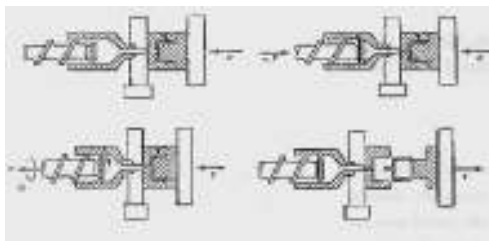
Pada prinsipnya metoda ini hampir sama dengan *in situ polymerization*. Mula-mula *organoclay* dilarutkan dengan pelarut seperti toluen atau n,n

dimetil formamid. Polimer yang telah dilarutkan kemudian ditambahkan ke dalam larutan *organoclay* sehingga polimer dapat terinterkalasi di antara lapisan silikat. Tahap terakhir adalah menghilangkan pelarut dengan evaporasi, biasanya dalam kondisi vakum. Keuntungan proses ini adalah interkalasi nanokomposit dapat dilakukan pada polimer nonpolar atau yang mempunyai polaritas rendah. Kekurangan dari metoda ini adalah penggunaan pelarut yang sukar diaplikasikan di dunia industri karena pelarut yang dibutuhkan jumlahnya cukup besar dan membutuhkan biaya tinggi.

c. Melt Compounding

Pada metoda ini, pencampuran *organoclay* dan termoplastik polimer dengan *compatibilizer* dilakukan dalam *Twin Screw Extruder* pada kondisi leleh dan diharapkan terjadi interkalasi yang maksimum antara polimer dan *organoclay*. Sejak ditemukannya metoda ini oleh Giannelis, hal ini merupakan penemuan yang penting untuk dunia industri dimana memungkinkan terjadinya pencampuran antara polimer dan *organoclay* tanpa menggunakan pelarut.

Mesin *injection molding* merupakan contoh alat *melt compounding* selain *Twin Screw Extruder*. Proses yang terjadi di dalam *injection molding* merupakan proses siklis, yang berarti langkah-langkahnya akan terulang kembali termasuk proses *blow molding*, *thermoforming*, dan *rotational molding*, sedangkan proses ekstrusi dan calendaring berjalan kontinyu. Proses *injection molding* merupakan proses penyemprotan (penginjeksian) plastik lumer (*compressible fluid*) melalui lubang yang sempit (*gate*) ke dalam suatu ruangan (*cavity*) yang dingin. Mengalirnya plastik lumer di dalam cetakan pada umumnya melalui *sprue*, *runner*, *gate*, baru kemudian masuk ke dalam *cavity*. Skema proses *injection molding* secara umum dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Proses *Injection Molding* secara Umum

Proses *injection molding* mempunyai banyak keuntungan yaitu dapat menghasilkan produk yang murah dengan volume tinggi, dapat membuat berbagai macam produk, dapat menghasilkan produk yang sama dalam toleransi tertentu secara berulang, dan dapat memproduksi bentuk yang rumit.

Semakin menariknya bidang nanoteknologi mendorong dilaksanakannya penelitian di berbagai

bidang salah satunya pengembangan produksi material nanokomposit khususnya polipropilen-nanokomposit.

Banyak faktor yang mempengaruhi pembuatan nanokomposit, diantaranya perbandingan komposisi antara matriks polimer dengan komposit (*clay*). Perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan komposisi komposit yang menghasilkan produk dengan kualitas mekanik terbaik.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan *montmorillonite* terhadap sifat kekuatan tarik dan kekerasan material serta mendapatkan komposisi optimum dalam produksi polipropilen-nanokomposit.

Material polimer dalam penelitian ini dibatasi pada polipropilen serta material komposit berupa *clay* yang mengandung *montmorillonite*. Hasil yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah data sifat kekuatan tarik dan kekerasan material nanokomposit pada berbagai komposisi *montmorillonite* yang diujikan.

Landasan Teori

Sifat mekanis merupakan sifat terpenting dari semua jenis material plastik karena semua kondisi pemakaian serta penggunaan dari plastik melibatkan beban mekanis.

a. Kekuatan tarik (*Tensile strength*)

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinyu. Bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Tegangan diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas penampang lintang benda uji.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Regangan linier rata-rata diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur (*gage length*) benda uji (δ) dengan panjang awal.

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2)$$

b. Kekerasan (*Hardness*)

Uji pengukuran kekerasan terdiri dari tiga jenis yang tergantung dari cara melakukan pengujian. Ketiga jenis tersebut adalah (1) kekerasan goresan (*scratch hardness*), (2) kekerasan lekukan (*indentation hardness*), dan (3) kekerasan pantulan (*rebound*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*) (Dieter, 1996).

Kekerasan *Rockwell* (HR) dipakai untuk menentukan kekerasan polimer adalah sebagai

dengan menggunakan bola sebagai penekan, beban mula-mula P_0 diberikan untuk mendapat kedalaman mula, selanjutnya beban P untuk waktu tertentu, dan setelah dikembalikan ke beban mula diukur kedalaman deformasi plastisnya (h) yang disubstitusikan dalam persamaan (3).

$$HR = 130 - 500 h \quad (3)$$

Dalam ASTM kekerasan α - Rockwell ditetapkan dengan beban dimana deformasi elastik diperhitungkan, seperti pada persamaan (4).

$$\alpha - HR = 150 - 500 h \quad (4)$$

c. Ketahanan Kejut (*Impact Charpy*)

Sifat impact dari material dihubungkan langsung dengan ketangguhan dari material. Ketangguhan (*toughness*) didefinisikan sebagai kemampuan dari polimer menyerap energi yang diberikan. Semakin tinggi energi impact dari material maka ketangguhan juga semakin tinggi. Ketahanan impact adalah kemampuan dari material untuk menahan kerusakan pada beban kejut atau kemampuan untuk menahan perpatahan pada tegangan yang diberikan pada kecepatan tinggi (Surdia dan Shinroku, 1999).

Metodologi

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *trilene* HI 35 HO dan *masterbatch nanomax* yang mengandung 70 % polipropilen dan 30 % *montmorillonite*.

Dalam pembuatan polipropilen - *clay* nanokomposit ini, variabel kuantitatif yang digunakan adalah komposisi *montmorillonite* yaitu 0; 2,4; 3,6; dan 5,4 % berat. Prosedur penelitian dilakukan dengan pembuatan polipropilen murni sebagai pembanding dan pembuatan polipropilen - nanokomposit. Pembuatan polipropilen nanokomposit dilakukan dengan mesin *injection molding* dengan kondisi operasi temperatur *nozzle* 185°C, temperatur *zone* 1,2, dan 3 masing-masing 190°C, 185°C, dan 175°C. Setelah dinyalakan dan penyetingan kondisi operasi, mesin *injection molding* harus didiamkan kurang lebih 30 menit sampai kondisi temperature tercapai. Bahan polipropilen dan *masterbatch* kemudian ditimbang sesuai perbandingan yang telah ditetapkan dalam variabel percobaan dengan total basis material 400 gram. Kedua material kemudian dimasukkan ke dalam wadah tertutup, lalu dikocok sampai bercampur kemudian dimasukkan ke dalam *hopper* mesin injeksi. Mesin dioperasikan dengan menggunakan tombol, lalu didapatkan spesimen material PP - nanokomposit yang menempel pada *mold*. Spesimen harus sesegera mungkin dilepaskan dari *mold* dan dihindari adanya *bending* yang terjadi saat penarikan spesimen. Spesimen kemudian didiamkan sampai suhunya turun hingga mencapai suhu kamar. Produk yang dihasilkan adalah dalam bentuk spesimen pengujian, yang kemudian dimasukkan dalam ruang *conditioning* yaitu

pada ± 50 *relative Humidity* (RH), temperatur $\pm 23^\circ\text{C}$ selama 48 jam.

Pengujian mekanis yang dilakukan yaitu uji kekuatan tarik dan kekerasan. Kekuatan tarik diuji menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)* berdasarkan ASTM D-638, *Test Method for Tensile Properties of Plastics*. Kekerasan diuji dengan cara indentasi dengan alat Durometer.

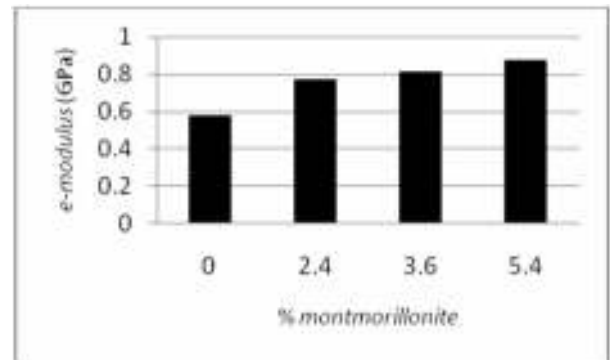
Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh komposisi *montmorillonite* terhadap sifat mekanik polipropilen-nanokomposit berdasarkan uji kekuatan tarik dan uji kekerasan.

Dari hasil pengujian diperoleh data *elongation modulus* material seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji *Elongation Modulus*

Komposisi Bahan (% <i>montmorillonite</i>)	<i>Elongation Modulus</i> (Gpa)
0	0,582
2,4	0,769
3,6	0,812
5,4	0,874



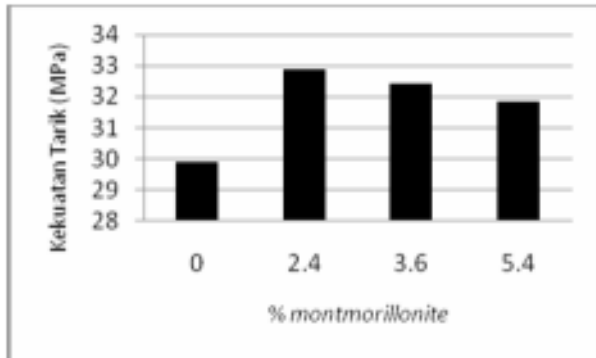
Gambar 5. Hubungan antara komposisi *montmorillonite* di dalam polipropilen -nanokomposit dengan *elongation modulus*

Dari data pada Tabel 1 dan Gambar 5 terlihat bahwa adanya penambahan *clay* pada polipropilen nanokomposit dapat meningkatkan *e-modulus* material. Pada komposisi 0% *montmorillonite* (polipropilen murni) diperoleh hasil uji *e-modulus* sebesar 0,582 GPa. Setelah dilakukan penambahan *clay* dengan kandungan 2,4 % *montmorillonite* diperoleh kenaikan nilai kekuatan tarik sebesar 32,13%. Peningkatan nilai *e-modulus* kembali terjadi saat komposisi *montmorillonite* 3,6% dan 5,4 %, yaitu berturut-turut sebesar 39,52% dan 50,17% dibandingkan nilai awal. Semakin banyak *montmorillonite* yang ditambahkan maka semakin

tinggi nilai e-modulusnya, dimana nilai tertinggi diperoleh pada komposisi 5,4% yaitu sebesar 0,874.

Tabel 2. Hasil Uji Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Komposisi Bahan (% <i>montmorillonite</i>)	Kekuatan Tarik (Mpa)
0	29,9
2,4	32,88
3,6	32,44
5,4	31,85

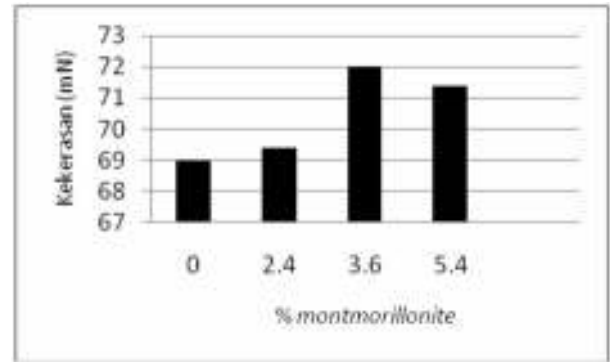


Gambar 6. Hubungan antara komposisi *montmorillonite* di dalam polipropilen -nanokomposit dengan kekuatan tarik

Tabel 2 dan Gambar 6 menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan antara penambahan *clay* dengan kekuatan tarik material nanokomposit. Pada material polipropilen murni, nilai kekuatan tarik sebesar 29,9 MPa. Penambahan *clay* sebesar 2,4 % *montmorillonite* dapat meningkatkan kekuatan tarik material hingga nilainya mencapai 32,88 MPa. Penurunan kekuatan tarik terjadi saat komposisi *montmorillonite* 3,6 % dan 5,4%. Hal ini menunjukkan bahwa di dalam matriks polimer telah terkandung *layered silica* yang semakin menumpuk dan mengurangi nilai kuat tariknya.

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan

Komposisi Bahan (% <i>montmorillonite</i>)	Kekerasan (mN)
0	69
2,4	69,4
3,6	72
5,4	71,4



Gambar 7. Hubungan antara komposisi *montmorillonite* di dalam polipropilen -nanokomposit dengan kekerasan

Uji kekerasan terhadap material menunjukkan bahwa polipropilen – nanokomposit memiliki sifat lebih keras dibandingkan dengan polipropilen murni. Dari Tabel 3 dan Gambar 7 terlihat bahwa pada komposisi *montmorillonite* 2,4; 3,6; dan 5,4% menghasilkan nilai kekerasan yang lebih besar dibandingkan dengan polipropilen murni. Nilai kekerasan semakin meningkat berturut-turut dengan penambahan komposisi *montmorillonite* 2,4 dan 3,6% kemudian mengalami penurunan pada komposisi 5,4%. Penurunan ini dapat disebabkan terlaunya banyaknya kandungan aditif dari Masterbatch yang memiliki *Melt Flow Rate* rendah sehingga menurunkan sifat kekerasan polimer.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan *montmorillonite* pada produksi polipropilen – nanokomposit dapat meningkatkan sifat mekanis material yaitu kekuatan tarik dan kekerasannya.

Kekuatan tarik optimum diperoleh saat komposisi *montmorillonite* 2,4% yaitu sebesar 32,88 Mpa, dan kekerasan optimum diperoleh sebesar 72 mN yang dicapai pada komposisi 3,6%.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Sentra Teknologi Polimer atas segala fasilitas tempat dan alat-alat penelitian serta masukan-masukan dari para pengelola yang sangat membantu keberhasilan penelitian.

Daftar Pustaka

Alexandre, M., Dubois, P., 2000, Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, *Laboratory of Polymeric and Composite*

- materials*, University of Mons-Hainaut, Belgium
- Dieter, G. E., 1996, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1 dan 2, Edisi 3, Erlangga, Jakarta
- Labaik, G., 2006, *Kajian Bentonit di Kabupaten Tasikmalaya*, Jurnal Kajian terhadap Bentonit di Kabupaten Tasikmalaya dan Kemungkinannya Dijadikan Bahan Pembersih Minyak Sawit (CPO), Bandung
- Liza, C., 2005, *Pengaruh Konsentrasi Organoclay pada pendispersian Lapisan Silikat nanokomposit Polipropilen – Organoclay dengan Compatibilizer PP – g – MA*, Thesis Program Pasca Sarjana, Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Ilmu Material, Universitas Indonesia, Jakarta
- Manias et. al., 2000, *Polypropylene/Silicate Nanocomposite, Synthetic Routes and Material properties*, halaman 82, 282-283, *Polymer Material science and Engineering*
- Manias et. al., 2001, *Polypropylene/Montmorillonite Nanocomposite, Review of the Synthetic Routes and Material properties*, halaman 13, 3516-3523, *Chemical Material*
- Surdia, T. dan Shinroku, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta
- Utracki, L., A., Kamal, M. R., 2002, *Clay Containing Polymeric Nanocomposite*, Halaman 27, 43-67. *UEA: The Arabian Journal for Science and Engineering*
- Wang et.al., 2004, *Twin screw Extrusion Compounding of Polypropylene/ Organoclay Nanocomposite Modified by Maleated Polypropylenes*, halaman 93, 100-112. *Journal of Applied Polymer Science*