

STABILITAS TERMAL GALERI CLAY PADA KOMPOSIT NANO POLIPROPILENA-CLAY MONTMORILLONIT DENGAN PENGKOMPATIBEL POLIPROPILENA-g-MALEIK ANHIDIRIDA

Sotya Astutiningsih, Pandu Lanang Kinasih, dan Arief Cahyo Wibowo

Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: sotya@metal.ui.ac.id

Abstrak

Untuk mendapatkan kemasan makanan dengan sifat yang superior, *trend* saat ini ialah pengembangan teknologi komposit nano. Salah satu permasalahan yang ada ialah pembuatan komposit nano ini terbilang rumit dan mahal. Tujuan jangka panjang dari riset ini adalah membuat polipropilena (PP) *clay* komposit nano (PPCN) yang berbiaya rendah dengan menerapkan prinsip pembuatan singkat *cascade engineering*. Prinsip *cascade engineering* pada pembuatan PPCN ini, dilakukan dengan pembuatan pengkompatibel (*compatibilizer*) dalam hal ini PP-g-maleik anhidrida (*maleic anhydride/MA*) (untuk memungkinkan pencampuran PP dengan *clay*), *masterbatch*, dan PPCN secara berkelanjutan dalam satu alat *melt mixing*. Hasil penelitian yang disajikan pada tulisan ini difokuskan pada stabilitas termal PPCN yang dibuat dengan prosedur '*cascade engineering*' yang disimulasikan dengan perlakuan anil (pemanasan), yang diamati dengan teknik difraksi sinar x (XRD) *small angle* pada morfologi sampel PPCN. Dari hasil XRD yang dilakukan, terlihat bahwa morfologi yang dihasilkan sistem ini ialah berupa interkelasi. Dan secara umum, terlihat tidak adanya pengaruh yang signifikan dari variabel waktu pembuatan *masterbatch* yang digunakan (1, 3, dan 6 menit). Setelah dilakukan pengujian XRD pasca anil, terlihat bahwa stabilitas termal sistem yang dihasilkan kurang baik. Hal ini terlihat dari adanya penurunan ukuran galeri montmorillonit (deinterkelasi). Diperkirakan hal ini disebabkan oleh kurang kuatnya ikatan yang terbentuk antara pengkompatibel PP-g-MA dengan *clay* dan juga kurang baiknya kompatibilitas PP-g-MA.

Abstract

Thermal Stability of Clay's Galleries in Polypropylene - Clay (montmorillonite) Nanocomposites using Polypropylene-g-Maleic Anhydride as Compatibilizer. Superior properties of food packaging can be achieved using nanocomposite technology. However, fabrication of this materials are complex and expensive. Long term objectives of this research is the synthesis of low cost polypropylene clay nanocomposites (PPCN) via a short-cut method known as '*cascade engineering*'. Cascade engineering principle in PPCN fabrication is performed by using compatibilizer (to enable the mixing of PP and clay) masterbatch, and PPCN in one pot process using melt mixer. This paper present the experimental results using small-angle x-ray diffraction (XRD) on the thermal stability of the PPCN. Results from the XRD analysis showed that the clay was intercalated, however no significant changes were observed as a result of variation in mixing time. XRD patterns of the annealed PPCN showed reduction of MMT's gallery (deintercalation). These phenomenon was probably caused by insufficient bonding and lack of compatibility between PP-g-MA and MMT.

Keywords: polypropylene clay nanocomposite, cascade engineering, PP-g-MA, thermal stability

1. Pendahuluan

Dalam tinjauan ilmu bahan, material yang dapat memenuhi fungsinya sebagai kemasan adalah material yang memiliki sifat *barrier*, mekanis, dan optis yang baik. Sifat *barrier* sangat penting pada aplikasi kemasan, sebab kontak makanan dengan udara dan uap

air akan menyebabkan makanan menjadi cepat basi atau juga membuat kudapan ringan menjadi tidak renyah [1]. Kemudian dengan sifat mekanis yang sesuai, maka makanan yang ada di dalam kemasan tersebut dapat terlindung dengan baik, namun tetap tidak menyulitkan konsumen untuk membuka kemasan tersebut.

Sampai saat ini, teknologi film laminasi (kombinasi lapisan *barrier* oksigen yang tinggi –EVOH– dengan lapisan *barrier* uap air yang tinggi –PET) cukup untuk mengatasi permasalahan *barrier* ini [2], tetapi teknologi ini masih terbilang cukup mahal. Solusi lain yang dapat digunakan ialah dengan mengaplikasikan teknologi komposit nano yang mengandung lapisan material berukuran nano yang tersebar merata di dalam matriksnya. Dengan meningkatnya liku-liku jalur difusi dengan tingginya *aspect ratio* lapisan material berukuran nano tersebut, difusi gas akan menurun atau dengan kata lain meningkatkan sifat *barrier* hingga lebih dari 50% [3,4].

Indonesia sebenarnya memiliki sumber daya alam yang sebenarnya sangat memungkinkan untuk pengaplikasian teknologi ini. *montmorillonit* (MMT), salah satu fraksi dari bentonit, yang menjadi material penguat dalam komposit nano ini sebenarnya merupakan bagian dari tanah liat (*clay*) yang secara luas terdistribusi di Indonesia dari Sumatra, Jawa, sampai Timor Timur dan Sulawesi [5]. Selain itu, PP yang merupakan salah satu plastik komoditas yang juga dapat diaplikasikan sebagai bahan kemasan makanan (*food contact*), juga telah diproduksi oleh industri-industri lokal Indonesia. Sehingga dalam pembuatan komposit nano (pada pembahasan selanjutnya disebut PPCN (*Polypropylene Clay Nanocomposite*)) ini, PP dapat digunakan sebagai struktur matriksnya. Dengan bahan-bahan yang dapat didapatkan secara lokal ini, maka biaya material penyusun komposit nano ini dapat diefisienkan.

Permasalahan dalam pembuatan PPCN ini terletak pada proses penyatuan PP dan *clay* (MMT). Proses penyatuan ini seharusnya diawali dengan modifikasi pembukaan (interkelasi) lapisan *clay*. Sebenarnya proses interkelasi ini dapat dilakukan dengan penambahan surfaktan, sehingga polimer polar dapat disatukan dengan *clay*. Tetapi penambahan ini harus melewati proses cukup lama dan biaya yang mahal. Selain itu, untuk polimer non-polar seperti PP, selain membutuhkan proses interkelasi, juga perlu adanya pengkompatibel/*compatibilizer* agar PP dapat tetap berada dalam struktur PPCN. Tantangannya disini ialah membentuk interaksi yang lebih baik antara PP dan lapisan silika dibanding dengan adanya penambahan surfaktan. Atau dengan kata lain, membentuk material komposit nano yang lebih murah dan performa yang lebih baik. Hal ini dapat dilakukan dengan penambahan pengkompatibel PP-g-MA pada *clay* dengan *shear mixing* proses yang sesuai. Sehingga diharapkan akan terbentuk interaksi kovalen (*primary bonding*). PP-g-MA dengan MFR yang tinggi dan derajat maleik anhidrida (MA) yang moderat telah dibuktikan sesuai untuk membuat morfologi eksfoliasi pada PPCN [6,7].

Kemudian setelah terbentuk PPCN, agar peningkatan performanya dapat terlihat pada aplikasi, diperlukanlah suatu PPCN yang memiliki stabilitas morfologi. Stabilitas yang dimaksud ialah stabilitas termal, agar lapisan silika yang telah mengalami eksfoliasi tidak *collapse* (de-interkelasi) akibat lepasnya *pillar* materi organik (*Hoffmann elimination*) yang berupa *quarternary ammonium* (surfaktan). Untuk itulah digunakan PP-g-MA, selain sebagai *compatibilizer* juga sebagai pilar yang lebih kuat (akibat interaksi kovalen), pengganti surfaktan.

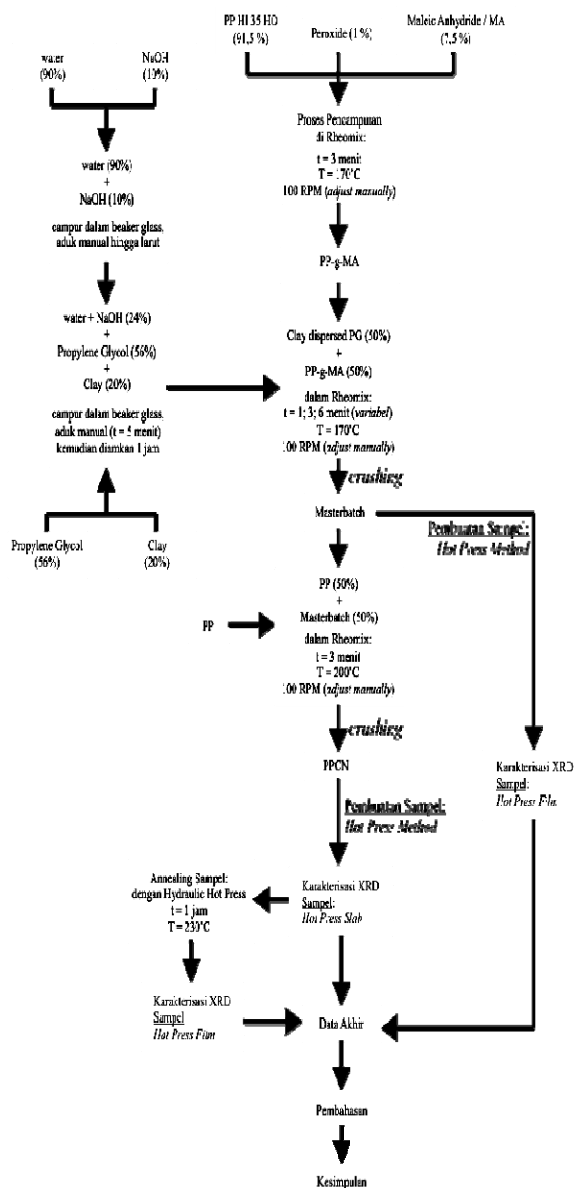
Dengan tingginya biaya proses pembuatan komposit pada umumnya, pembuatan PPCN yang telah di komersial sampai saat ini juga menghabiskan biaya yang mahal, oleh karenanya kurang ekonomis untuk diaplikasikan pada aplikasi-aplikasi komersial biasa seperti kemasan makanan komersial dan aplikasi-aplikasi otomotif. Dengan penggunaan PP-g-MA dan proses *cascade engineering* [8] yang efisien, diharapkan dapat diperoleh produk PPCN dengan biaya yang rendah yang merupakan tujuan akhir dari riset yang dilakukan. Secara khusus, hasil penelitian yang disajikan pada tulisan ini merupakan pengamatan dengan teknik *small angle XRD* terhadap morfologi dan kestabilan termal dari MMT murni (*belum menjadi OLS – Organo Layered Silicate*) yang langsung diproses dalam *shear mix/rheomix* dengan PP-g-MA yang diharapkan berfungsi sebagai pengkompatibel dan pilar.

2. Metode Penelitian

Bahan baku yang digunakan ialah MMT murni (*belum menjadi OLS (Organo Layered Silicate)*) sedangkan polimer yang digunakan ialah PP dengan *compatibilizer* PP-g-MA. Karena yang digunakan dalam penelitian ini ialah MMT yang belum diberi perlakuan permukaan (*surface treatment*), maka MMT murni perlu dilakukan perlakuan larutan dengan NaOH, untuk melakukan proses pertukaran kation pada galeri MMT sebagai persiapan awal *melt mixing*, pada metode *melt* interkelasi ini.

Proses pembuatan PPCN yang dilakukan dalam penelitian ini, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dititik-beratkan pada proses pembuatan singkat yang diimplementasikan melalui pembuatan PP-g-MA, *masterbatch*, dan PPCN secara keseluruhan dilakukan didalam 1 alat (*one pot process*) dan dalam 1 rangkaian (tahapan) proses.

Variabel yang diamati pada penelitian ini ialah pengaruh lama proses (durasi) pembuatan *masterbatch* PPCN terhadap proses masuknya PP-g-MA dan “penggembungan” (*swelling*) lapisan MMT. Dengan mengamati pengaruh waktu tersebut terhadap ketinggian galeri MMT (morfologi PPCN), kita dapat mengetahui waktu efektif untuk menghasilkan suatu morfologi



Gambar 1. Metodologi Penelitian

tertentu (interkelasi atau eksfoliasi) dari hasil uji XRD. Selanjutnya dengan terlebih dahulu melalui proses *annealing*, pada sampel uji kemudian dilakukan karakterisasi XRD kembali untuk mengamati kestabilan morfologi MMT pada PPCN. Secara skematis, tata alir penelitian direpresentasikan seperti pada Gambar 1.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengamatan visual

Pencampuran Clay + NaOH + Air + PG. Pada tahap awal pembuatan PPCN, hasil pencampuran *clay*, NaOH, air, dan PG diperoleh hasil campuran yang

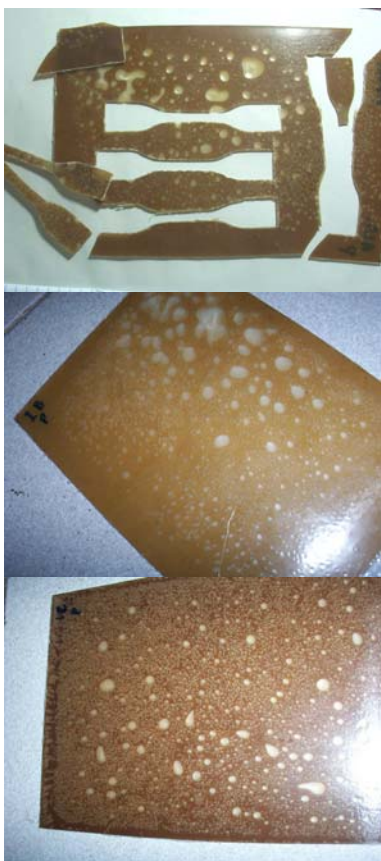
homogen, namun setelah didiamkan selama 1 jam, campuran tersebut mulai mengalami pemisahan. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan kelarutan dari bahan-bahan yang dicampur. Perbedaan *solubility parameter* ini dapat diatasi dengan pengadukan yang baik.

Hasil Rheomix Masterbatch. Setelah melalui tahap pendispersian dalam PG, selanjutnya campuran tersebut dicampur dengan PP-g-MA yang telah dibuat sebelumnya dalam Rheomix (*Melt Mixer*). Warna *masterbatch* hasil pencampuran untuk semua variabel ialah cokelat. Seiring dengan meningkatnya waktu pembuatan *masterbatch*, maka warna cokelat yang didapat akan semakin gelap. Diperkirakan hal ini menunjukkan bahwa ada sebagian PP yang mengalami degradasi pada proses pembuatan ini, sebab salah satu ciri degradasi polimer ialah adanya perubahan warna [9]. Seiring dengan meningkatnya waktu pembuatan diperkiraan akan semakin banyak PP yang mengalami degradasi (ditandai dengan perubahan warna semakin jelas). Diperkirakan degradasi tersebut terjadi akibat adanya beberapa faktor yaitu panas, *shear stress*, zat kimia (contoh: peroxide yang tersisa), dan air hasil proses polikondensasi.

Hasil Rheomix PPCN. Tahap selanjutnya setelah pembuatan *masterbatch* ialah menurunkan kadar *clay* dalam matriks PP hingga kadar yang tersedia dipasaran (~5 wt%). Warna PPCN yang didapat ialah cokelat, namun jika dibandingkan dengan warna *masterbatch* dapat dilihat bahwa warna PPCN terlihat lebih gelap. Diperkirakan akibat proses ini juga ada sebagian PP yang mengalami degradasi.

Hasil Film Masterbatch dan Slab PPCN. Sampel PPCN yang sudah dihancurkan (*crushing*) dipreparasi lebih lanjut dengan membentuknya kedalam bentuk slab (untuk pengujian mekanis) dan *melting film* (untuk pengujian XRD). Gambar 2 merupakan foto hasil slab yang didapat dengan menggunakan penamaan pada Tabel 1.

Dari Gambar 2, dapat dilihat bahwa slab yang dihasilkan banyak sekali memiliki gelembung. Diperkirakan gelembung ini merupakan gelembung uap air yang keluar sebagian dari galeri MMT akibat adanya panas proses *hot press* (230°C) yang lebih tinggi dibanding temperatur proses sebelumnya. Uap air ini diperkirakan masih tetap berada didalam campuran PPCN (walaupun sudah mengalami 2 tahap pemanasan diatas temperatur penguapan air ~100°C) oleh karena adanya mekanisme *hydrogen bonding* antara molekul air dengan senyawa-senyawa polar [23] (yaitu gugus maleik anhidrida dan MMT murni yang masih bersifat hidrofilik) yang ada dalam sistem PPCN berbasis MMT ini. Dengan banyaknya gelembung uap air yang terdapat pada slab yang dihasilkan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada



Gambar 2. Foto slab 1AP, 1BP, dan 1CP (berurutan dari atas ke bawah)

Tabel 1. Nomenclature PPCN

Variabel Waktu Pembuatan Masterbatch	Penamaan	
	Sebelum anil	Sesudah anil
1 menit	1AP	1AP-A
3 menit	1BP	1BP-A
6 menit	1CP	1CP-A

campuran PPCN ini MMT yang digunakan masih bersifat hidrofilik (sehingga MMT banyak menyerap air). PP-g-MA dalam hal ini belum berfungsi sebagai penstabil (membuat *clay* menjadi organofilik).

Air yang ada dalam sistem ini selain berasal dari kelembaban udara, diperkirakan juga berasal dari air yang ditambahkan pada saat pendispersian *clay* dan NaOH dalam PG. Sebenarnya permasalahan ini dapat diatasi dengan cara memanaskan campuran PPCN hasil *crushing* sambil menghisap uap air yang keluar dari sistem dengan menggunakan *microwave* atau oven vakum.

Microwave dapat digunakan sebab pada *microwave*, pemanasan dilakukan dengan menggunakan gelombang

mikro tertentu yang berenergi tinggi. Sehingga tanpa menggunakan panas yang terlalu banyak (mengingat batasan degradasi PP), dengan gelombang mikro berenergi tinggi diharapkan molekul air yang tersembunyi tersebut dapat keluar. Kemudian untuk hasil yang lebih baik, molekul air yang keluar tersebut dihisap oleh pompa vakum, agar tidak masuk kembali dalam sistem.

Penelitian ini hanya difokuskan pada pengamatan morfologi dan kestabilan termal morfologi yang dihasilkan dengan teknik *small angle XRD*. Hasil pengujian sifat mekanis sengaja tidak ditampilkan karena gelembung uap air yang terdapat pada sampel dapat membiaskan hasil pengujian [10]. Walaupun demikian, dalam penelitian ini juga akan disampaikan prediksi sifat mekanis yang terjadi pada sistem PPCN ini ditinjau dari pengujian morfologi XRD yang dilakukan. Pengujian XRD dapat tetap dilakukan sebab pengujian XRD hanya membutuhkan sampel berukuran kecil (hanya dipersyaratkan dapat disinari X-ray). Sehingga bagian diantara gelembung uap air dapat dijadikan sampel uji. Dengan asumsi bahwa bagian yang ditinjau pada penelitian ini hanya pada bagian galeri MMT secara mikroskopis, dengan tidak memperhatikan keadaan sekitarnya diluar galeri dari lapisan silika, termasuk gelembung uap air makro pada sampel.

Hasil Anil Film Masterbatch dan PPCN. Pengamatan XRD sesudah anil dilakukan untuk melihat pengaruh penstabil PP-g-MA terhadap stabilitas termal. Anil yang dimaksud ialah memanaskan sampel (yang sebelumnya telah dilakukan pengujian XRD) pada temperatur proses PP (230°C) selama 1 jam dalam keadaan menerima tekanan (melalui mesin *hot press*). Setelah anil, gelembung uap air yang terbentuk pada slab masih tinggal. Dan jika diperhatikan lebih teliti, terjadi degradasi dimana bagian tepi *melt film* (bagian paling tipis diantara bagian lainnya) terlihat hangus atau hitam.

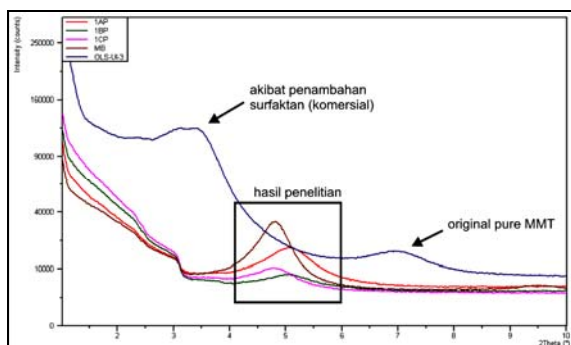
Pengamatan Morfologi XRD

Sebelum Anil. Pada pengujian XRD sebelum anil ini, akan dibandingkan morfologi OLS murni tanpa OH⁻ (*clay* yang telah dimodifikasi menjadi organofilik dan telah mengalami pra-eksfoliasi oleh surfaktan) produksi Nanocor dengan *masterbatch* (MB) dan PPCN (1AP, 1BP, 1CP) yang dibuat pada penelitian ini.

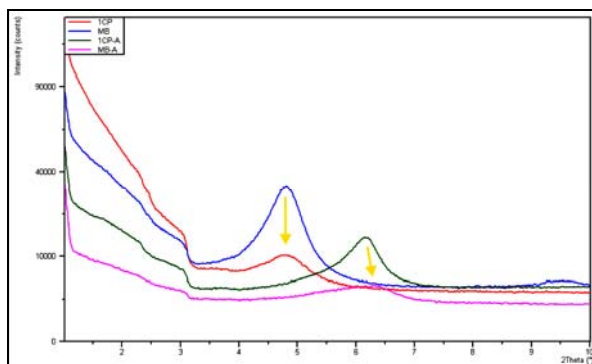
Pada kurva *pure OLS* tanpa OH⁻ dapat dilihat adanya 2 *peak* besar yaitu pada sudut $2\theta = 3.5^\circ$ dan 7° . Sehingga dapat disimpulkan dari kurva tersebut, bahwa pada *pure OLS* tanpa OH⁻ tersebut terdapat 2 morfologi yaitu sebagian kecil (ditunjukkan dengan intensitas yang relatif kecil) morfologi pada *peak* 7° yaitu morfologi *pure MMT* yang belum dimodifikasi (*d-spacing* ~ 1.2 nm), dan sebagian besar morfologi pada *peak* 3.5° yaitu *peak MMT* yang telah termodifikasi akibat adanya surfaktan [11].

Dari Gambar 3, dengan menggunakan penamaan pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa secara keseluruhan baik *masterbatch* maupun PPCN yang dibuat pada penelitian ini memiliki kuantitas kristalin yang jauh lebih kecil dibanding OLS tanpa OH⁻. Selain itu terlihat juga bahwa tidak adanya *peak* $2\theta = 7^\circ$ pada *masterbatch* maupun PPCN menunjukkan bahwa PP-g-MA berhasil masuk dan meningkatkan galeri MMT. Sebagai ganti dari *peak* 7° tersebut, pada *masterbatch* maupun PPCN semua variabel, muncul *peak* $\sim 5^\circ$ yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa efektifitas rantai PP-g-MA dan PP untuk memperbesar galeri MMT hanya sampai *d-spacing* $\sim 17\text{\AA}$.

Bila dibandingkan antara *masterbatch* dengan PPCN semua variabel, dapat dilihat bahwa tidak ada perubahan morfologi yang signifikan. Perbedaan yang cukup terlihat hanyalah intensitas pada masing-masing kurva, yang dapat dianalogikan sebagai kuantitas (jumlah) struktur yang dimaksud. Turunnya intensitas itu berkaitan dengan turunnya kadar MMT yang ada dalam sampel sehingga MMT akan lebih tersebar dalam matriks PP. Namun demikian hal ini tidak mengubah *d-spacing*.



Gambar 3. Grafik perbandingan hasil XRD *pure* OLS tanpa OH⁻ dengan 1AP, 1BP, 1CP, dan MB



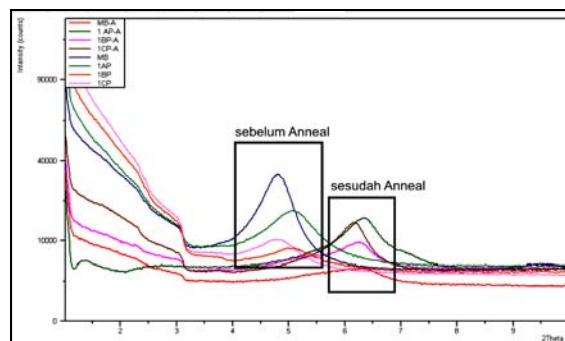
Gambar 4. Pola difraksi sinar-X sebelum dan sesudah *annealing* PPCN dan *masterbatch* dengan waktu proses 6 menit

Setelah Anil. Gambar 4 membandingkan hasil XRD dari PPCN dan *masterbatch* untuk variabel waktu pembuatan *masterbatch* 6 menit. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tidak ada perubahan morfologi (*d-spacing*) yang signifikan dari *masterbatch* menjadi PPCN (ditandai dengan tanda panah kuning).

Gambar 5 menampilkan perbandingan hasil XRD sebelum dan sesudah anil. Dari grafik tersebut, dapat terlihat bahwa struktur morfologi sesudah anil relatif mengalami penurunan *d-spacing* hingga mencapai $2\theta \sim 6.5^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian pilar-pilar *compatibilizer* PP-g-MA mengalami kegagalan akibat pengaruh panas dan tekanan, sehingga galeri MMT kembali merapat. Hal ini diperkirakan karena PP-g-MA hanya berada dalam galeri MMT dengan berikatan *secondary bonding* saja dan tidak terbentuk *ester linkage* (*primary bonding*). Hal ini menunjukkan bahwa *pure* MMT yang didapat belum menjadi organofilik karena belum berfungsi PP-g-MA sebagaimana diharapkan.

Selain itu terdapat pula kemungkinan bahwa PP-g-MA yang digunakan kurang cocok untuk menghubungkan sistem MMT dan PP ini. Pada penelitian sebelumnya [12], diketahui bahwa PP-g-MA yang cocok untuk menghubungkan *clay* dengan PP ialah PP-g-MA dengan berat molekul (atau viskositas) yang rendah dengan kandungan gugus maleik anhidrida yang sedang^[12]. Berat molekul (atau viskositas) yang tinggi menyebabkan sulitnya rantai PP-g-MA masuk kedalam galeri MMT, sedangkan bila gugus maleik anhidrida yang tercangkok pada PP terlalu banyak maka PP-g-MA akan menjadi terlalu polar untuk membentuk sistem yang baik dengan rantai PP (yang bersifat non polar).

Pada sistem PPCN ini, telah digunakan PP dengan berat molekul yang rendah, sehingga diharapkan ketika membentuk PP-g-MA, berat molekul PP-g-MA yang didapat akan cukup rendah. Hal tersebut tidak terjadi karena kurang optimalnya jumlah gugus maleik anhidrida yang tercangkok di rantai PP. Terlalu banyak gugus MA yang tercangkok akan mengakibatkan PP-g-MA menjadi terlalu polar untuk membentuk sistem yang



Gambar 5. Perbandingan hasil XRD sebelum dan sesudah anil

baik dengan PP. Sebaliknya jika terlalu sedikit, rantai PP-g-MA yang terbentuk hanya dapat masuk dalam galeri MMT (akibat berat molekul yang rendah dan juga galeri yang telah mengalami pra-eksfoliasi) tanpa dapat membentuk interaksi yang kuat dengan lapisan MMT. Ketika menerima pembebanan *hot press*, rantai polimer ini mudah terdesak keluar. Studi lebih lanjut tentang kepolaran PP-g-MA ini dapat dilakukan dengan mengukur *acid number* melalui metode titrasi dengan KOH^[12]. Pemecahan masalah kepolaran PP-g-MA salah satunya ialah dengan menggunakan gugus maleic anhidride terangkakan pada rantai PP pada jumlah yang optimal sehingga diharapkan terjadi peningkatan sifat mekanis pada PPCN.

4. Kesimpulan

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan: 1) Baik secara visual maupun dari hasil XRD, dapat diketahui bahwa PPCN yang dihasilkan memiliki stabilitas termal yang kurang baik; 2) Secara umum, tidak terlihat adanya pengaruh yang signifikan dari variabel lama proses (durasi) pembuatan terhadap morfologi PPCN; 3) Morfologi PPCN yang terjadi sebagian besar berupa interkelasi; 4) Morfologi masterbatch pra-anil selain berupa komposit mikro terdapat pula struktur eksfoliasi, dan interkelasi; 5) Studi XRD pra-anil menunjukkan PP-g-MA masuk dalam galeri MMT, namun dari pengamatan hasil XRD pasca anil diketahui bahwa PP-g-MA hanya terikat dengan mekanisme *secondary bonding* sehingga memiliki stabilitas termal yang kurang baik; 6) Kurang baiknya kompatibilitas PP-g-MA juga diperkirakan disebabkan jumlah gugus MA yang tidak optimum; 7) PP-g-MA yang dihasilkan dalam penelitian ini hanya dapat menjadi pilar sementara (dengan mekanisme *secondary bonding*). Tujuan untuk menjadi pengkompatibel (dengan membentuk MMT menjadi organofilik) belum tercapai.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Indonesia Toray Science Foundation.

Daftar Acuan

- [1] Arief Cahyo & Heru S, "Pengemasan Teknologi Nano (Pembungkus Makanan) Lebih Awet", *Majalah Sentra Teknologi Polimer*, Vol 4, No. 17, Januari – April 2005.
- [2] J. Lange, Y Wyser, *Pack. Technol Sci.*, 2003, 16, 149.
- [3] Gusev AA, Lusti HR, "Rational design of nanocomposites for barrier applications", *Adv. Mater*, 2001: hal. 13 dan 21.
- [4] Fredrickson GH, Bicerano J, *Barrier properties of oriented disc composites*. J. Chem. Phys, 1999: hal. 110 dan 2181.
- [5] A Sudradjat, M Arifin, "The prospect of bentonite business in Indonesia", PPTM, Bandung, 1996.
- [6] Yeh Wang et al, *J Appl. Polym. Sci.*, 2004, 93, 100.
- [7] Linjie Zhu et al, *J Appl. Polym. Sci.*, 2004, 93, 1891.
- [8] Arief C. Wibowo, "Nanoclay Filled Polypropylene: A Shortcut, Novel Processing", *13th Science and Technology Research Grant-Indonesia Toray Science Foundation*, 2007.
- [9] Harutun G. Karian. *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites 2nd eds.* (New York: MARCEL DEKKER, Inc, 2003). hal. 719 - 740.
- [10] Laboratorium Metalurgi Fisik, *Diktat Teori Dasar Praktikum Metalurgi Fisik –Uji Tarik– dan Buku Panduan Kerja Mahasiswa Praktikum Metalurgi Fisik*. 2006.
- [11] Gungor, N. "Effect of The Adsorption of Surfactant on The Rheology of Na-Bentonite Slurries". *Journal of Applied Polymer Science*, 2000, Vol 75, hal 107 – 110.
- [12] Andri Yuda Aribowo. "Studi Afinitas PP-g-MA pada Polipropilen Clay Nanokomposit Dilihat dari Sifat Stabilitas Termal dari Struktur Interkelasi/Eksfoliasi yang Terbentuk" Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal. 23 - 41.