

PERKEMBANGAN INDUSTRI *NANO FILLER* UNTUK INDUSTRI KARET DI INDONESIA

The Development of Nano Filler Industry for Rubber Industry in Indonesia

Adi Cifriadi dan Norma A. Kinasih
Pusat Penelitian Karet
Jl. Salak No.1 Bogor – Indonesia 16151
E-mail: cifriadi9748@gmail.com

Diterima tgl 13 Februari 2014/Direvisi tgl 4 Juli 2014/Disetujui tgl 11 Agustus 2014

Abstrak

Aplikasi teknologi nano pada industri karet dilakukan seiring dicanangkannya konsep “Ban Ramah Lingkungan (*Green Tires*)” pada tahun 1990an. Penggunaan teknologi nano pada industri karet dilakukan pada pembuatan bahan pengisi nano *carbon black* (jenis N110, N220, N330) dan silika. Namun, proses pembuatan *carbon black* menimbulkan emisi CO₂, sehingga perlu dikembangkan material baru pensubsitusi *carbon black* seperti bahan pengisi nano dari lempung (*clay*), silika (*fumed and precipitated silica*), pati (*starch*), selulosa, dan CaCO₃. Pengembangan material baru tersebut telah banyak dilakukan dan dikomersialkan. Indonesia memiliki potensi bahan baku yang besar dan peluang pasar yang semakin berkembang sehingga industri nano *filler* berbahan dasar ramah lingkungan berpotensi untuk dikembangkan.

Kata kunci: nano *filler*, karet, *carbon black*

Abstract

Nanotechnology applications in the rubber industry are in line proclaiming the concept of "Green Tires (Green Tires)" in the 1990s. The utilizing of nanotechnology in the rubber industry carried on the manufacture of nano filler carbon black (type N110, N220, N330) and silica. However, the production of carbon black has caused CO₂ emission, so it is necessary to develop new materials as a substitution of it such as nano filler from clay, fumed and precipitated silica, starch, cellulose, and CaCO₃. The development of new material has been

widely applied and commercialized. Indonesia has a huge potential of raw material and a growth of market opportunity, so nano filler based on environmental friendly industry is potential to be developed.

Keywords: nano filler, rubber, carbon black

Pendahuluan

Teknologi nano merupakan teknologi yang banyak dikembangkan saat ini. Teknologi ini merupakan salah satu bidang yang berkembang sangat cepat (Anggraita, 2006) dan telah diaplikasikan pada banyak bidang seperti teknologi informasi dan elektronika, farmasi dan kesehatan, bidang pertanian dan pangan, bidang industri, dll (Abdullah *et al.* 2008). Teknologi nano diproyeksikan memberi dampak pada ekonomi global minimal US\$ 3 triliun dan menyerap setidaknya 6 juta pekerja pada tahun 2020 (Roco *et al.*, 2010).

Aplikasi teknologi nano pada industri karet (Crutchley, 2005) telah lama dipakai sebagai bahan pengisi nano. Bahan nano yang telah beredar di pasar dan digunakan seperti *carbon black* (jenis N110, N220, N330) dan silika yang merupakan golongan bahan pengisi bersifat penguat (*reinforcing filler*). Bahan tersebut memiliki rentang ukuran partikel 10–100 nm dan tersebar dalam matrik polimer (Juwono *et al.* 2011), sehingga memberikan pengaruh peningkatan/perbaikan sifat fisika (kekuatan) barang jadi karet. Selain itu, penggunaan bahan alami tersebut diharapkan pula dapat mengurangi biaya produksi produk karet (Gleiche, 2011).

Setiap tahunnya, bahan pengisi untuk keperluan industri kertas, karet, plastik, perekat, dan cat di dunia telah diproduksi sebanyak 50 juta ton (Gleiche, 2010). Pada tahun 2010, bahan pengisi *carbon black* telah digunakan sebanyak 9 juta ton dengan rincian pemakaian 6,5 juta ton untuk industri ban dan 2,5 juta ton untuk industri karet lainnya. Pada proses pembuatan bahan pengisi *carbon black* yang berasal dari bahan bakar minyak bumi dihasilkan emisi CO₂ sebanyak 2,18 ton per ton *carbon black*, sehingga total emisi CO₂ yang dihasilkan dari produksi *carbon black* di dunia sebanyak 19,62 juta ton (Madhusoodanan *et al.*, 2010).

Pengurangan atau substitusi *carbon black* untuk mengurangi emisi CO₂ mulai dilakukan seiring dicanangkannya konsep “Ban Ramah Lingkungan (*Green Tires*)” pada tahun 1990an. Saat ini “*Green tyres*” memiliki penguasaan pasar sekitar 30% dan memiliki persyaratan ban yang memiliki daya gelinding yang rendah, berat yang ringan dan performa yang unggul (Vasiliadis, 2011). Penelitian dan pengembangan dilakukan untuk mencari material baru, substitusi material karet dan bahan kimia karet sintetis yang berasal dari pengolahan minyak bumi. Salah satu bahan kimia karet yang telah banyak diteliti adalah sintesis material baru substitusi bahan pengisi jenis *carbon black* seperti bahan pengisi nano dari lempung (*clay*), silika (*fumed and precipitated silica*), pati (*starch*), selulosa, CaCO₃, dll.

Nano Filler untuk Industri Karet

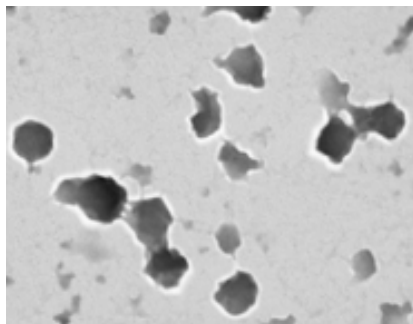
Perkembangan teknologi nano untuk menghasilkan nano *filler* dilakukan untuk mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan pada penggunaan *carbon black* dalam pembuatan barang jadi karet (Madhusoodanan *et al.*, 2010). Berdasarkan potensi sumber daya alam Indonesia, kesiapan SDM, institusi riset pendukung, dan peningkatan pertumbuhan industri barang jadi karet dalam negeri maka pengembangan nano *filler* untuk mendukung industri karet di Indonesia diarahkan pada material berikut :

1. Nano pati

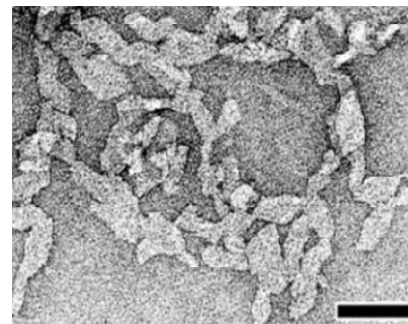
Pati merupakan polimer D-glukosa yang ditemukan sebagai karbohidrat yang tersimpan dalam biji, umbi, akar, dan batang tanaman. Nano pati dapat dibuat dengan tiga cara yaitu hidrolisis asam atau enzim, regenerasi, dan perlakuan mekanik (Le Corre, 2006). Dua produk nanopati yang dikenal yaitu SNP (*starch nanoparticle*) dan SNC (*starch nanocrystals*). SNP dibuat dengan perlakuan kimia atau mekanik, sedangkan SNC dibuat dengan cara hidrolisis (Dufresne *et al.*, 2013). Perbedaan penampang keduanya disajikan pada Gambar 1.

2. Lempung nano (*nanoclay*)

Lempung (*clay*) merupakan suatu material anorganik yang diperoleh dari hasil pelapukan batuan di kerak bumi. Salah satu jenis lempung yang banyak dipelajari sebagai bahan pengisi nano adalah bentonit. Bentonit merupakan

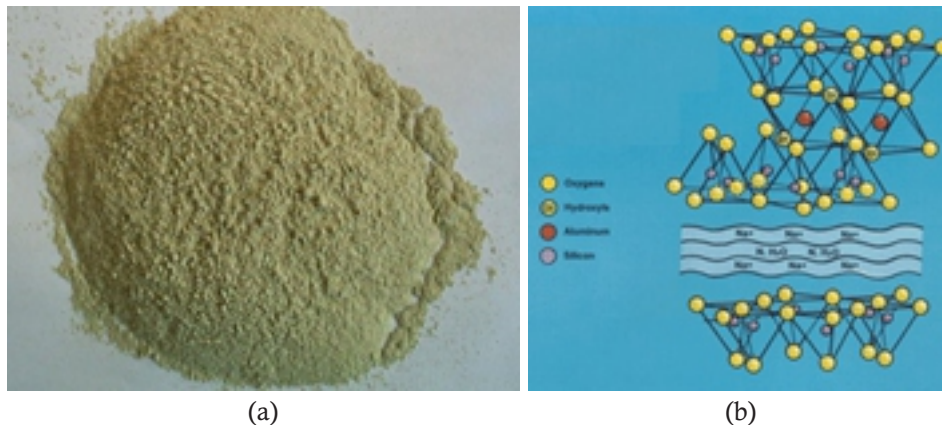


(a)



(b)

Gambar 1. (a) penampang SNP jagung menggunakan SEM (b) penampang SNC jagung menggunakan TEM (Le Corre, 2006).



Gambar 2. (a) serbuk bentonit (Qingdao New Continent Minerals Co. Ltd, 2014)
(b) struktur *sodium montmorillonite* (Allco, 2012).

sejenis mineral lempung aluminosilikat hidrat yang terbentuk dari hasil pelapukan dan reaksi hidrotermal batuan lava (vulkanik). Mineral bentonit yang mempunyai rumus kimia $(\text{Mg,Ca})\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ sebagian besar terdiri atas mineral smektit, terutama *montmorillonite* (Uddin, 2008) sebanyak 60 sampai dengan 85%.

Pembuatan lempung nano dilakukan dengan cara memodifikasi lempung (bentonit) melalui pertukaran kation anorganik (Na^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+}) pada permukaan lempung dengan kation organik, seperti surfaktan, sehingga membentuk *organoclay* yang memiliki jarak antar lapisan (*layer*) dalam struktur *montmorillonite* (*d-spacing*) yang lebih besar dari pada *d-spacing* pada lempung asalnya. Pembuatan *organoclay* telah dilakukan oleh lembaga penelitian dan perguruan tinggi diantaranya Pusat Penelitian Karet, Universitas Indonesia, BPPT, dll.

3. Nano CaCO_3 presipitasi (*Nanoscale Precipitated Calcium Carbonate*)

Kalsium karbonat (CaCO_3) atau yang lebih dikenal sebagai batu kapur adalah batuan sedimen yang sebagian besar kristalnya berbentuk *calcite* dan *aragonite*. Batu kapur diperoleh dari penambangan secara tradisional melalui proses penggilingan yang dinamakan *ground CaCO_3* ataupun melalui proses pengendapan (*precipitated*) yang dapat menghasilkan ukuran partikel yang lebih halus dan distribusi ukuran partikel yang lebih kecil

sampai ukuran nano meter, dengan kisaran ukuran partikel 60 sampai dengan 150 nm.

Pembuatan nano CaCO_3 presipitasi di Indonesia masih jarang dilakukan oleh industri karena berkaitan dengan kebutuhan pasar yang belum banyak terutama untuk industri karet, namun secara teknologi pembuatan bahan ini sudah dapat dilakukan oleh beberapa perusahaan (PT Selodwipo Nuswantoro) dan perguruan tinggi, seperti ITB, UGM dan ITS.

4. Silika nano

Pasir kuarsa merupakan bahan baku untuk pembuatan silika. Bahan ini dihasilkan dari galian yang terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Silika nano merupakan bahan silika yang memiliki ukuran partikel dalam skala nanometer. Dalam industri karet, silika nano dapat berupa silika presipitasi ataupun *fumed silica*. Kedua jenis silika tersebut dibedakan berdasarkan cara pembuatannya (Wianto *et al.* 2010). Silika presipitasi dibuat melalui proses pengendapan larutan *aqueous* sodium silikat dengan asam sulfat (Mujkanović *et al.*, 2010), sedangkan *fumed* atau *pyrogenic silica* dibuat dari proses pirolisis silikon tetraklorida ataupun dari pasir kuarsa pada suhu 3.000°C (Pratsinis, 1997). Silika presipitasi merupakan partikel yang berpori yang memiliki kisaran ukuran partikel dari 5 – 100 nm dan memiliki luas permukaan spesifik paling besar sekitar 200

m²/g, sedangkan *fumed silica* memiliki kisaran ukuran partikel dari 5 – 30 nm dan luas permukaan spesifik berkisar 10–600 m²/g.

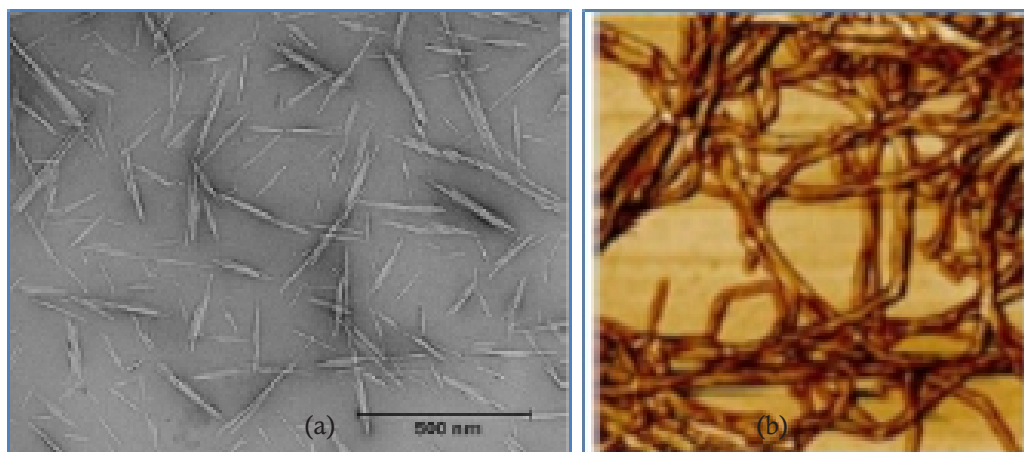
5. Nano selulosa

Selulosa merupakan polimer polisakarida yang tersusun atas β-D Glukopiranos. Selulosa tersedia banyak ditumbuhan, sebagai rangka struktur polisakarida (Subiyakto *et al.* 2006). Melalui ilmu dan teknologi bahan telah dapat disintesis selulosa dari pulp atau sumber selulosa lainnya sampai ukuran nanometer yang berupa *cellulose nanocrystal* (CNC) dan *cellulose nanofibril* (CNF). CNC memiliki bentuk partikel berupa *whisker* dengan ukuran (100 – 200) nm x (5 – 10) nm, sedangkan CNF memiliki bentuk seperti serat halus (fibril)

dengan ukuran diameter berkisar 5 – 20 nm dan panjang lebih besar dari 1000 nm (Österberg, 2014).

Aplikasi Nano *Filler* pada Karet

Material pengisi (*filler*) digolongkan menjadi tiga kelompok berdasarkan fungsinya; penguat (*reinforcing filler*), semi-penguat (*semi-reinforcing*) dan tidak bersifat penguat (*non-reinforcing filler*). Kaolin, CaCO₃ dan lempung merupakan contoh jenis bahan pengisi yang tergolong tidak bersifat penguat. Sedangkan silika dan karbon merupakan jenis material yang berfungsi sebagai bahan pengisi bersifat penguat.



Gambar 3. (a) *whisker* pada NCC (b) *nanofibrill* pada CNF (Österberg, 2014).

Tabel 1. Sifat fisika nanokomposit karet dan nanopati.

Contoh	Kandungan bahan		Modulus ₁₀₀ (MPa)	Kuat tarik (MPa)	Perpanjangan putus (%)
	Pati jagung (%wt)	Karet alam (%wt)			
NR-100	0	100	0,26	0,42	333,78
M27*-NR95	5	95	0,34	0,93	410,93
M1*-NR 95	5	95	-	7,20	1796,00

Keterangan: M= Pati jagung, NR= Karet alam, *% kandungan amilosa pada pati.

Sumber: Le Corre (2011) dan Angellier *et al.* (2005).

Pembuatan bahan pengisi berukuran nano dimaksudkan untuk meningkatkan interaksi bahan pengisi dengan polimer/ karet sehingga dapat meningkatkan sifat teknis produk. Amit Das *et al.* (2011) melaporkan bahwasannya penggunaan lempung nano mampu meningkatkan sifat fisika karet CR (Chloroprene Rubber) dan BR (*Butadiene Rubber*). Pengaplikasian nanopati SNC sebagai material pengisi komposit karet (Angellier *et al.*, 2005 dan Le Corre, 2011) menunjukkan bahwa bahan pengisi bersifat nano meningkatkan sifat fisika karet minimal dua kali dari karet tanpa bahan pengisi nano. Tabel 1 menyajikan perbandingan sifat fisika komposit karet yang ditambah nano pati.

Penggunaan nano selulosa pada industri karet sebgaiian besar digunakan untuk interior kendaraan khususnya *automotive foam*. Penambahan nanoselulosa pada pembuatan busa kendaraan dapat meningkatkan kestabilan bahan pada kondisi ekstrim seperti; suhu dan kelembaban yang tinggi.

Potensi Bahan Baku sebagai Nano Filler

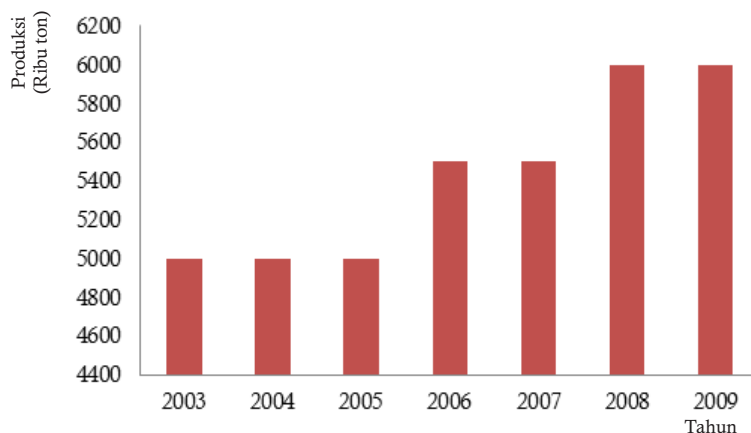
Indonesia berpotensi besar untuk mengembangkan industri *nano filler* mengingat besarnya potensi bahan baku yang dimiliki. Indonesia merupakan salah satu produsen singkong (sebagai salah satu sumber

pati) terbesar di Asia dengan total produksi singkong mencapai 23,8 juta ton pada tahun 2013 (Badan Pusat Statistik, 2014).

Indonesia merupakan salah satu negara pengekspor bahan alam lempung (bentonit) yang cukup besar di dunia. Cadangan bentonit Indonesia berjumlah sekitar 260 juta ton yang tersebar di beberapa pulau terutama Kalimantan dan Sumatra. Gambar 4 disajikan histogram produksi bentonit Indonesia.

Batu kapur merupakan salah satu sumber daya alam yang tersedia hampir merata di seluruh Indonesia. Data yang pasti mengenai jumlah cadangan batu kapur di Indonesia belum ada, namun secara umum diperkirakan mencapai 28,678 milyar ton, dengan perincian 61,376 juta ton sebagai cadangan terunjuk (*probable*) dan 28,616 juta ton sebagai cadangan. Sebagian besar cadangan batu kapur berada di Sumatra Barat yaitu sekitar 23,23 milyar ton atau hampir 81,02% dari cadangan keseluruhan di Indonesia (Fajarani dan Amalia, 2013).

Potensi sumber daya pasir kuarsa di Indonesia juga cukup besar dengan jumlah cadangan yang diperkirakan mencapai 4,48 milyar ton. Cadangan pasir kuarsa tersebar di 16 propinsi seperti Sumatra Barat, Sumatra Utara, Kalimantan Barat, Jawa Barat, Sumatra Selatan, Kalimantan Selatan, dan Pulau Bangka-Belitung (Suhala *et al.*, 1997).



Gambar 4. Produksi bentonit Indonesia 2003-2009
(Sumber: United Stated Geological Survey, 2010).

Perkembangan Industri Nano *Filler*

Industri nano *filler* sangat berkembang, seiring dengan kesadaran pasar (konsumen) akan bahan-bahan yang bersifat ramah lingkungan. Potensi market terhadap produk-produk nano teknologi diperkirakan sebesar US\$ 1 triliun pada tahun 2015 dan mencapai US\$ 3 triliun pada tahun 2020 (Walker, 2012). Perkembangan nano filler pada industri karet (berupa nano komposit) diperkirakan meningkat sebesar € 1,47 juta pada tahun 2015. Penggunaan lempung nano komposit hampir 24% dari total konsumsi nano komposit pada tahun 2005 dan diperkirakan meningkat menjadi 44% pada tahun 2011 (Uddin, 2008).

Sebagian besar nano komposit pada penggunaan otomotif berbahan dasar termoplastik, seperti digunakan untuk pompa bahan bakar, tankki gas, interior, *body panels*, *shock absorbers* dan pendingin (Electronics Industry Market Research and Knowledge Network, 2011). Permintaan pasar yang besar tersebut merupakan peluang berkembangnya industri nano *filler*.

Perkembangan industri nano *filler* dalam negeri tampak dari besarnya jumlah produksi dan ekspor bahan baku nano *filler*. Hingga tahun 2007 Indonesia mampu mengekspor silika nano jenis silika presipitasi sebesar 606,1 ton. Namun, pada tahun 2007 Indonesia mengimpor sebesar 5.963,4 ton (Tabel 2)

(pada Badan Pusat Statistik, 2008). Marjin tersebut menunjukkan adanya peluang pasar untuk dikembangkan industri nano *filler* di Indonesia.

Perkembangan industri nano *filler* secara global tampak dari berkembangnya beberapa produk komersil di pasaran atau perusahaan-perusahaan yang mengaplikasikan nano *filler* pada produk komersilnya. Aplikasi bahan nano filler pada produk komersil dilakukan oleh perusahaan Melodea yang menggunakan nano selulosa pada pembuatan *reinforced foam* untuk kebutuhan otomotif. Jumlah kebutuhan *automotive foam* diperkirakan sebesar 1,7 juta ton/tahun (Lyne, 2013).

Pemanfaatan nano pati secara komersil digunakan dalam bentuk SNP. Dua produk komersil yang memanfaatkan SNP yaitu *Eco-Sphere* dari Ecosyntetix dan Mater-BiTM dari Novotel (Dufresne et al., 2013). *Eco-Sphere* yaitu produk *starch-based biolatexes* yang digunakan sebagai pengganti *oil-based latexes* pada industri perekat pelapis kertas. Mater-BiTM dikembangkan dan dikaji oleh Goodyear Tyre Co. Inc. sebagai pensubstitusi bahan pengisi *carbon black* dan silika dalam pembuatan ban kendaraan GT3. Produk ini kemudian dikenal sebagai BioTRED, yang memiliki keunggulan dapat mengurangi berat ban dan ketahanan gelinding (*rolling resistance*) serta secara berkelanjutan mengurangi konsumsi energi dalam proses produksi ban.

Tabel 2. Jumlah ekspor dan impor silika presipitasi di Indonesia.

Tahun	Nilai ekspor (ton)	Nilai impor (ton)
2003	13,5	3.688,5
2004	84,3	4.975,0
2005	115,1	5.276,4
2006	502,4	4.988,0
2007	606,1	5.963,4

Sumber: Badan Pusat Statistik (2008).

Kesimpulan

Bahan pengisi nano (*nano filler*) digunakan pada industri karet untuk meningkatkan interaksi bahan pengisi dengan polimer/ karet sehingga dapat meningkatkan sifat teknis produk. Perkembangan industri tersebut seiring dengan kesadaran konsumen atas bahan-bahan yang bersifat ramah lingkungan. Pengembangan industri *nano filler* di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar mengingat besarnya potensi bahan baku, peluang pasar dan kemampuan SDM yang dimiliki.

Daftar Pustaka

- Abdullah, M., Y. Virgus, Nirmin, dan Khairurrijal. 2008. Review : Sintesis nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi* 1 (2) : 33 – 57.
- Adhusoodanan, K. N., B. Goerge., R. Alex, and K. T. Thomas. 2010. Reducing CO₂ Emission Through Innovation In Rubber Componding. International Workshop on Climate Change and Rubber Cultivation: R&D Priorities. Kotayam, 28-30 Juli 2010. Rubber Research Institute of India and International Rubber Research Development Board: 105-106. <http://www.irrdp.com/irrdp/irc2010/SEC12/IR RDB%20China%20Madhu.pdf>, diakses 22 April 2014.
- Allco. 2012. What is bentonite?. <http://allco.co.nz/faqitems/what-is-bentonite-2/>, 8 Mei 2014.
- Amit Das, D. Wang, K. W. Stökelhuber, R. Jurk, J. Fritzsche, M. Klüppel and G. Heinrich. 2011. Rubber-Clay Nanocomposites : Some Recent Results. *Advance Polymer Science* 239 : 85 – 166.
- Angellier, H., S. Molina-Boisseau, L. Lebrun, and A. Dufresne. 2005. Processing and structural properties of waxy maize starch nanocrystals reinforced natural rubber. *Macromolecules*, 38 (9), 3783 – 3792.
- Anggraita, P. 2006. Penelitian Bahan Nano (Nanomaterial) di Badan Tenaga Nuklir Nasional. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 8(1) : 6 – 8.
- Badan Pusat Statistik. 2008. Statistik Indonesia Tahun 2009. Badan Pusat Statistik. Jakarta, Indonesia.
- Badan Pusat Statistik. 2014. Produksi tanaman ubi kayu seluruh provinsi. http://www.bps.go.id/tnmn_pgn.php , 30 Juni 2014.
- Crutchley, G. S. 2005. Nanoparticles and Their Possible Use in Rubber. Kumho European Technical Centre, Birmingham, UK, <http://www.kumhotyre.co.uk/eurotech/banary/nanoparticles.pdf>, 17 Juli 2014.
- Dufresne, A., S. Thomas, and L. A. Photan. 2013. Biopolymer Nanocomposites: Processing, Properties, and Applications. John Wiley&Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Electronics Industry Market Research and Knowledge Network. 2011. Global nanocomposite market. <http://www.electronics.ca/presscenter/articles/1404/1/Global-Nanocomposites-Market-to-Reach-13-Billion-Pounds--by-2015/Page1.html>, diakses 30 Juni 2014.
- Fajarani, S. dan N. Amalia. 2013. Penurunan industri pengolahan batu kapur di Kelurahan Urug Kecamatan Kawalu Kota Tasikmalaya. *J. Katulistiwa*, 1(2), 1-9.
- Uddin, F. 2008. Clays, Nanoclays, and Montmorillonite Minerals. *Metallurgical and Materials Transactions A* 39A: 2804 – 2814.
- Gleiche, M. 2010. Construction focus report 2010 adhesive & sealants. [www.bwcv.es/assets/2011/1/13/Construction _- Adhesive ___ Sealants.pdf.](http://www.bwcv.es/assets/2011/1/13/Construction_-_Adhesive___Sealants.pdf), 22 April 2014.
- Gleiche, M. 2011. Nanofillers – Improving Performance and Reducing Cost. *ObservatoryNano, Briefing* 21: 1-4.
- Juwono, A. L., Roseno, S. dan Agnelia, A. T. 2011. The Application of Bentone as Nanofiller in Polypropylene Nanocomposite. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 12(2): 110 – 113.
- Le Corre D. 2011. Starch nanocrystals: preparation and application to bio-based flexible packaging. Desertation. Doktor Degree University of Grenoble.
- Lyne, B. 2013. Market prospect for nanocellulose. [https://albertainnovates.13feb12marketprospectsfornanocellulosebrucelyne.pdf.](https://albertainnovates.13feb12marketprospectsfornanocellulosebrucelyne.pdf), diakses 29 April 2014.

- Mujkanović, A., P. Petrovski, L. Vasiljević, and G. Ostojić. 2010. The influence of precipitation temperature on silica morphology. 14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology". Mediterranean Cruise, 11-18 September 2010. TMT: 685-688.
- Österberg, M. 2014. Nanocellulose. https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/chem-a1610/luennot/CHEM-A1610_prof_osterberg.pdf, 29 April 2014.
- Pratsinis, S. E. 1997. Flame aerosol synthesis of ceramic powder. *Prog. Energy Combust. Sci.* 24, 197-219.
- Roco, M. A., C. A. Mirkin and M. C. Hersam (Eds.). 2010. Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: retrospective and outlook, World Technology Evaluation Center (WTEC) and the National Science Foundation (NSF). http://www.wtec.org/nano2/Nanotechnology_Research_Directions_to_2020/, diakses 29.Juni 2011.
- Suhala, Supriatna, dan M. Arifin. 1997. Bahan Galian Industri. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral. Bandung, Indonesia.
- Subiyanto, B., L. Suryanegara, dan H. Yano 2006. Peranan bio-nano komposit dalam industri di masa depan. Laporan Teknik Akhir Tahun 2006. UPT BPP Biomaterial, LIPI.
- United States Geological Survey (USGS). 2010. Minerals resources program. [indexmundi.com/minerals/?country=id&product=bentonite&graph=production](http://www.indexmundi.com/minerals/?country=id&product=bentonite&graph=production), 24 April 2014.
- Vasiliadis, H. 2011. Transport : nanotechnology in automotive tyre. *Observatory Nano Briefing* 23: 1-4.
- Walker, C. 2012. Thinking small is leading to big challenge: nano technology is the fast game changer for the pulp and paper industry. Paper 360⁰ Januari/Februari 2012.
- Wianto, T., N. Sari, Darminto, dan S. Pratapa. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Nanosilika Sebagai Upaya Pemanfaatan Potensi Sumberdaya Banjarbaru. *Jurnal Fisika FLUX* 7(1): 53–65.
- Qingdao New Continent Minerals (group) Co., Ltd. 2014. Product catalog "bentonite and activated bleaching earth". <http://www.tradeeasy.com/supplier/641515/products/p1116327/bentonite-and-activated-bleaching-earth.html>, 17 November 2014.