

PEMBUATAN KOMPOSIT *CARBON NANOTUBE-POLYVINYL ALCOHOL* (CNT-PVA) SERTA EVALUASI SIFAT MEKANIKNYA

FABRICATION OF CARBON NANOTUBE-POLYVINYL ALCOHOL COMPOSITE AND ITS MECHANICAL PROPERTIES EVALUATION

Tatang Wahyudi¹⁾, Metri Setyaningsih²⁾, Agus Subagio²⁾, Hendri Widiyandari²⁾,
Pardoyo³⁾, Musni Ahyani⁴⁾

¹⁾Balai Besar Tekstil, ²⁾FMIPA-Fisika UNDIP, ³⁾FMIPA-Kimia UNDIP, ⁴⁾Balitbang Hankam

¹⁾ Balai Besar Tekstil Jalan Jendral A. Yani 390 Bandung

Telp. (022) 7206214, Fax. (022) 7271288 E-mail : texirdti@bdg.centrin.net.id

Tanggal diterima : 03 April 2012, direvisi 21 Mei 2012:, disetujui terbit : 07 Juni 2012

ABSTRAK

Perkembangan teknologi nanomaterial mendukung teknologi komposit. Komposit yang menggunakan nanomaterial menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik daripada komposit biasa. Komposit *carbon nanotubes* (CNT) berpotensi memiliki kekuatan tarik yang tinggi oleh adanya struktur tabung nanonya yang baik sebagai matrik. Komposit CNT-PVA telah dibuat dengan metode pelarutan. *Polyvinyl alcohol* (PVA) dilarutkan dalam air bertemperatur 80°C, selanjutnya material CNT ditambahkan ke dalam larutan tersebut dengan variasi fraksi massa CNT terhadap PVA sebesar 10%, 20% dan 30%. Komposit CNT-PVA terbentuk setelah dikeringkan pada temperatur 80°C. Selanjutnya sifat mekanik komposit dikarakterisasi dengan uji kekuatan tarik. Hasil uji menunjukkan bahwa komposit CNT-PVA dengan fraksi massa 20% CNT terhadap PVA menghasilkan modulus Young yang paling besar yaitu 137,71MPa. Ketebalan komposit 0,94 mm yang dibangun oleh tiga lapis tipis komposit CNT-PVA menghasilkan peningkatan modulus Young hingga 107,30%.

Kata kunci: komposit, CNT, PVA, uji kekuatan tarik

ABSTRACT

The developing of nanomaterials support to composite technology. Composite using nanomaterials will improve its mechanical properties compare to regular composite. The composite of carbon nanotubes (CNT) potentially have a high tensile strength due to its nano tube structure as a matrix. CNT-PVA composite has been prepared using solution processing method. Polyvinyl alcohol (PVA) was dissolved with water at 80 °C then the CNT was added into the solution with variation of mass fraction 10%, 20%, and 30% respectively. CNT-PVA composites were formed after its dried at 80 °C. The mechanical property of the composites were characterized by tensile strength testing. The result showed that CNT-PVA composite containing 20% of mass fraction CNT has the highest modulus Young, i.e 137.71 MPa. In addition, the composite has 0.94 mm thickness that was built by three thin layers of CNT-PVA results in increasing of modulus Young up to 107.30%.

Keywords: composite, CNT, PVA, tensile strength testing

PENDAHULUAN

Carbon nanotube (CNT) merupakan salah satu produk nanoteknologi yang penting dikarenakan mempunyai keunikan serta keunggulan sifat fisiknya, sehingga menjadikan CNT banyak dimanfaatkan sebagai *filler* dalam pembuatan serat polimer komposit. Polimer komposit yang dihasilkan mempunyai sifat mekanik, termal dan elektrik yang tinggi. CNT memiliki bentuk struktur silindrik.¹ Secara umum CNT mempunyai dua bentuk struktur yakni *single walled nanotube* (SWNT) dimana lapisan jaringan karbon berbentuk tunggal dan *multi walled nanotube* (MWNT) yang memiliki beberapa lapis jaringan karbon yang berikatan silindrik. Dengan keunggulan sifat-sifat yang dimiliki CNT memungkinkan untuk diaplikasikan di bidang seperti peralatan nanoelektronik, sensor, biologi, tekstil elektronik, elektroda sel bahan bakar, superkapasitor.^{2,3,4,5}

Pembuatan komposit CNT-PVA merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan CNT yang akan diaplikasikan dalam berbagai bidang. PVA merupakan polimer larut dalam air dan telah diproduksi secara komersial dengan harga jual yang relatif murah. Pembuatan komposit CNT-PVA telah dilakukan beberapa peneliti dan menghasilkan peningkatan sifat mekanik yaitu peningkatan modulus Young. Cadek dkk menghasilkan komposit CNT-PVA dengan peningkatan modulus Young PVA sebesar 1,8 kali. Modulus Young PVA sebesar 7 GPa mengalami peningkatan pada komposit CNT-PVA yang ditambahkan 1% MWNT menjadi sebesar 12,5 GPa. Peningkatan modulus Young pada komposit CNT-PVA menunjukkan daya rekat yang baik antara PVA dan MWNT.⁶ Chen dkk juga telah menambahkan CNT pada PVA dan menghasilkan peningkatan modulus Young PVA yang paling tinggi yaitu 4,5 kali. Modulus Young PVA sebesar 5,6 GPa mengalami peningkatan pada komposit CNT-PVA dengan penambahan 9,1% CNT menjadi sebesar 25,3 GPa.⁷ Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bahwa penambahan *carbon nanotube* (CNT) ke dalam polimer *polyvinyl alcohol* (PVA) dapat meningkatkan sifat mekanik komposit yang dihasilkan. Namun peningkatan sifat mekanik tidak selalu terjadi ketika dilakukan penambahan CNT. Terdapat suatu kondisi dimana penambahan CNT pada PVA justru mengurangi sifat mekaniknya. Hal ini dapat terjadi karena dengan semakin banyaknya CNT dalam komposit terdapat kemungkinan terjadi penggumpalan.⁸ Penggumpalan CNT berpotensi membentuk rongga pada PVA.⁷ Dengan demikian, diperlukan penelitian untuk mengetahui jumlah CNT yang mampu dikombinasikan dalam PVA sehingga memberikan peningkatan sifat mekanik pada komposit.

Pada paper ini dilaporkan hasil penelitian terkait pembuatan komposit CNT-PVA dengan memvariasikan komposisi dari fraksi massa CNT terhadap PVA. Evaluasi uji kekuatan tarik dilakukan untuk mengetahui tingkat kekuatan komposit tersebut.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan baku CNT yang digunakan dalam penelitian ini disiapkan menurut metode yang telah dilakukan oleh Subagio dkk.⁹ Produk CNT dibuat dengan menggunakan metode *spray pyrolysis*, dimana sebagai sumber karbon digunakan campuran benzen dan *ferrocene*. Temperature sintesis adalah 900 °C. Karakteristik CNT diketahui mempunyai diameter 20 – 60 nm, sehingga CNT tersebut dapat diklasifikasikan dalam jenis *multi-wall nanotubes* (MWNT).¹⁰ Alat uji kekuatan tarik yang digunakan adalah *Testometric* tipe M 350-10AT

Pembuatan komposit variasi fraksi massa CNT terhadap PVA

Pembuatan komposit CNT-PVA dilakukan dengan cara memvariasikan fraksi massa CNT terhadap PVA. Pertama-tama PVA dilarutkan dalam aquadest, diaduk dan sambil dipanaskan hingga temperatur 80 °C hingga PVA larut. CNT dimasukkan dalam larutan PVA disesuaikan dengan fraksi massa CNT terhadap PVA yang diinginkan yaitu 10%, 20% dan 30%. Campuran larutan PVA dan CNT kemudian diaduk selama 1 jam dengan *hot plate magnetic stirrer* hingga keduanya tercampur. Campuran PVA dan CNT selanjutnya dituangkan dalam cetakan dan dikeringkan di dalam oven pada temperature 80 °C. Produk komposit diuji sifat mekaniknya (kekuatan tarik) untuk mengetahui fraksi massa CNT terhadap PVA yang menghasilkan sifat mekanik terbaik.

Pembuatan komposit variasi ketebalan

Beberapa metode yang digunakan untuk menghasilkan komposit CNT-PVA dengan variasi ketebalan pada penelitian ini yaitu cetak tebal, cetak lapis tebal dan cetak lapis tipis. Metode cetak tebal variasi ketebalan dilakukan dengan memvariasi jumlah PVA. Variasi jumlah PVA yang telah dilakukan yaitu 9 gram dan 12 gram. Pada metode cetak lapis tebal, komposit CNT-PVA dibuat dalam 2 lapis. Kedua lapisan memiliki komposisi yang sama yaitu 6 gram PVA. Pada metode cetak lapis tipis, jumlah PVA yang digunakan untuk tiap lapis sebanyak 2 gram.

Pengujian mekanik komposit dan analisisnya

Pengujian komposit dilakukan dengan uji tarik dengan peralatan *Testometric*. Sampel dijepit kedua ujungnya dengan jarak jepit 75 mm, kemudian ditarik. Perubahan panjang dan gaya tarik yang diberikan terekam pada sistem alat pengujian. Hasil yang didapatkan dari uji tarik setelah diolah dengan software *winTest™ Analysis* menghasilkan grafik hubungan *elongation* (pertambahan panjang) terhadap gaya tarik. Analisis daerah linier pada grafik hubungan *elongation* (pertambahan panjang) terhadap gaya tarik dapat menghasilkan parameter sifat mekanik yaitu modulus Young. Peningkatan modulus Young pada komposit CNT-PVA dapat diperhitungkan dengan membandingkan pertambahan modulus Young komposit CNT-PVA terhadap modulus Young lapisan PVA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh fraksi massa CNT terhadap sifat mekanik komposit CNT-PVA

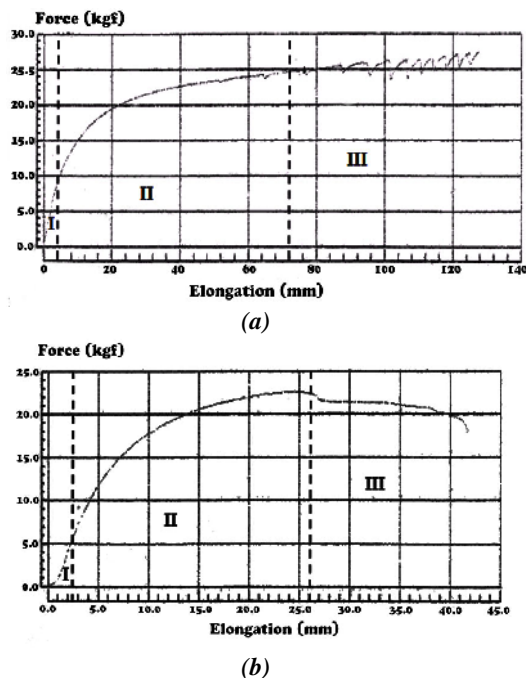
Penambahan CNT pada PVA dilakukan pada komposit dengan fraksi massa 10 %, 20% dan 30 %. Penambahan CNT juga mempengaruhi volume dari komposit. Perubahan volume ditunjukkan oleh perubahan ketebalan komposit. Semakin besar fraksi massa CNT terhadap PVA, komposit yang dihasilkan semakin tebal (Tabel 1).

Tabel 1. Ketebalan komposit dengan variasi fraksi massa CNT terhadap PVA

CNT/PVA (%)	Tebal (mm)
10	0,89
20	0,94
30	1,16

Peningkatan ketebalan menunjukkan penyebaran CNT diantara PVA. Semakin besar fraksi massa CNT terhadap PVA, ketebalan komposit yang dihasilkan semakin besar.

Gambar 2 menunjukkan komposit dengan fraksi massa CNT terhadap PVA 10% memiliki daerah linier (I), daerah non-linier (II) dan daerah plastis (III) yang semakin kecil. Pertambahan panjang yang semakin kecil menunjukkan bahwa CNT yang ditambahkan dalam komposit telah berperan menerima tegangan dan meningkatkan sifat mekanik.

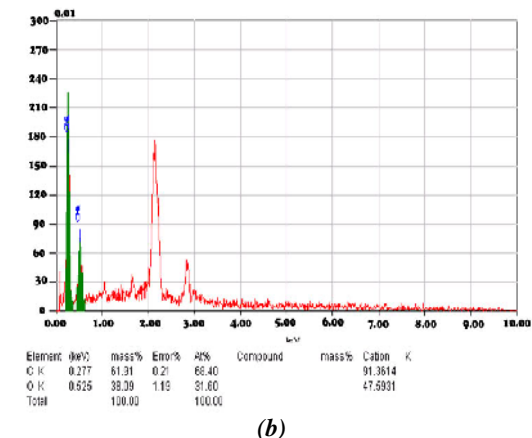
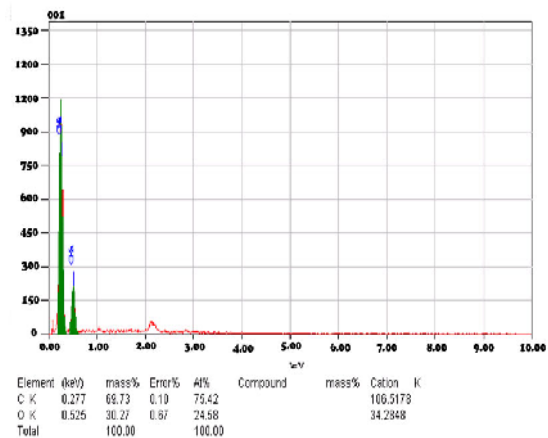


Gambar 2. Grafik hubungan antara perpanjangan (*elongation*) terhadap gaya tarik pada : (a) lapisan PVA (b) komposit CNT-PVA dengan fraksi massa CNT terhadap PVA 10%

Peningkatan nilai modulus Young pada komposit fraksi massa CNT terhadap PVA 30% lebih rendah dibandingkan dengan komposit fraksi massa CNT terhadap PVA 20% (Tabel 2). Hasil karakterisasi EDX menunjukkan kandungan unsur C pada komposit CNT-PVA dengan fraksi massa CNT 20% sebesar 75,42%, sedangkan pada komposit CNT-PVA dengan fraksi massa CNT 30% hanya 68,40% (Gambar 3).

Tabel 2. Modulus Young dengan variasi fraksi massa CNT terhadap PVA

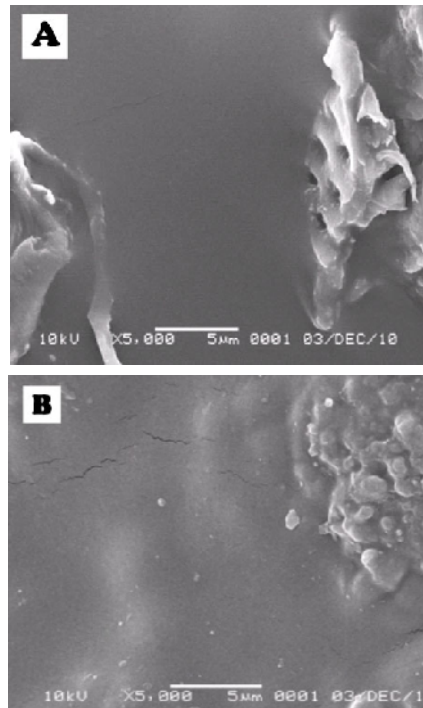
CNT/PVA (%)	E(MPa)
10	132,22
20	137,71
30	131,88



Gambar 3. Hasil karakterisasi EDX komposit CNT- PVA dengan fraksi massa CNT terhadap PVA (a) 20% (b) 30%

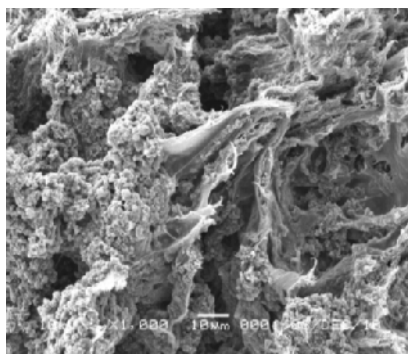
Daerah yang sedikit mengandung CNT akan lebih mudah mengalami deformasi setelah dilakukan pengujian. Hal ini disebabkan tegangan yang diterima PVA semakin besar. Deformasi pada komposit dengan fraksi massa CNT 30% berupa retakan terlihat pada hasil karakterisasi permukaan komposit dengan SEM yang ditunjukkan pada

Gambar 4. Retakan yang ada pada komposit dengan fraksi massa CNT 30% lebih banyak dibandingkan dengan komposit dengan fraksi massa CNT 20%.



Gambar 4. Citra morfologi permukaan komposit CNT-PVA dengan fraksi massa CNT terhadap PVA (a) 20 % (b) 30 %

Sedangkan daerah yang mengandung CNT yang lebih banyak memiliki peluang interaksi antar CNT semakin banyak pula. Interaksi antar CNT yang semakin besar, menyebabkan CNT menggumpal dan menyebabkan permukaan CNT yang berinteraksi dengan PVA semakin kecil. Interaksi yang tidak kuat antara CNT dan PVA menyebabkan mekanisme terlepasnya CNT dari PVA (*debonding*) pada daerah patahan (Gambar 5). Fraksi massa CNT terhadap PVA sebesar 20% yang menghasilkan sifat mekanik terbaik dan selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk membuat komposit dengan variasi ketebalan.



Gambar 5. Citra morfologi tampak lintang daerah patahan komposit dengan fraksi massa CNT terhadap PVA 30 %

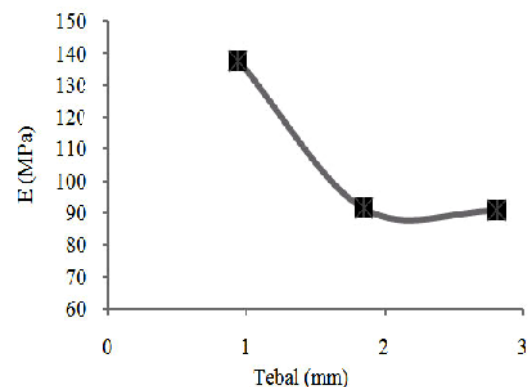
Pengaruh ketebalan komposit CNT-PVA terhadap sifat mekanik yang dihasilkan metode cetak tebal

Pada pembuatan komposit dengan metode cetak tebal, variasi ketebalan dihubungkan dengan jumlah PVA yang digunakan dalam pembuatan komposit dan jumlah CNT disesuaikan dengan fraksi massa acuan yaitu 20%. Jumlah PVA yang digunakan pada metode cetak tebal yaitu 9 gram dan 12 gram. Komposit dengan jumlah PVA lebih banyak menghasilkan komposit yang lebih tebal. Tabel 3 dan Gambar 6 menunjukkan pengaruh ketebalan terhadap sifat mekanik komposit. Komposit yang dihasilkan dibandingkan juga dengan komposit yang dibuat sebelumnya dengan jumlah PVA 6 gram.

Tabel 3. Ketebalan dan modulus Young komposit metode cetak tebal

PVA (gr)	Tebal (mm)	E (MPa)
6	0,94	137,62
9	1,85	91,38
12	2,81	90,74

Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tebal komposit, sifat mekanik komposit justru menurun. Hal ini disebabkan oleh komposit yang dihasilkan memiliki cacat. Cacat yang timbul berupa rongga yang mendominasi bagian tepi komposit. Rongga yang terdapat pada komposit mengakibatkan transfer tegangan yang tidak merata saat pengujian tarik komposit.



Gambar 6. Hubungan ketebalan dengan modulus Young komposit dengan metode cetak tebal.

Rongga terjadi saat penguapan molekul air. Penguapan molekul air pada permukaan atas komposit terjadi lebih cepat dan membentuk lapisan yang memadat. Lapisan yang memadat tersebut menghalangi molekul air meninggalkan larutan. Permukaan tepi komposit yang menempel pada cetakan memiliki energi panas yang lebih tinggi, sehingga molekul air bergerak ke bagian tersebut dan menghasilkan rongga saat pendinginan lebih lanjut.

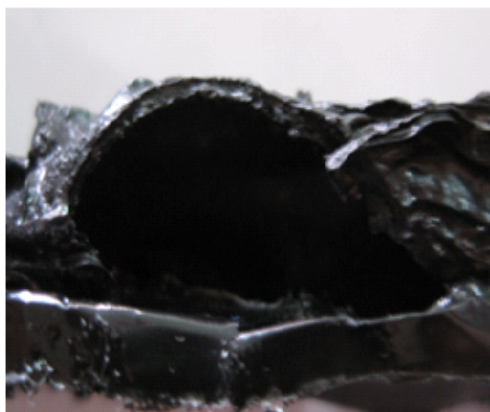
Rongga yang terbentuk pada komposit yang dihasilkan terlihat secara makroskopik (Gambar 7). Nilai modulus Young yang semakin kecil dengan bertambahnya ketebalan komposit pada metode cetak tebal menunjukkan metode tersebut tidak tepat untuk menghasilkan komposit.



Gambar 7. Foto makro rongga pada komposit metode cetak tebal

Metode cetak lapis tebal

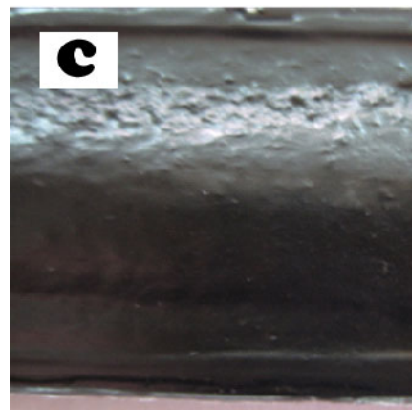
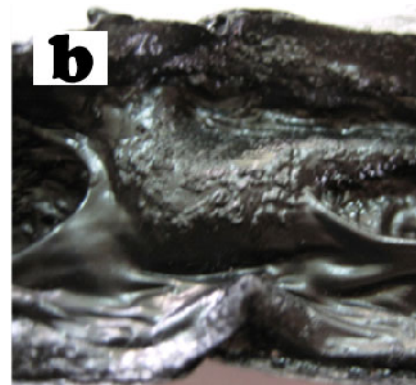
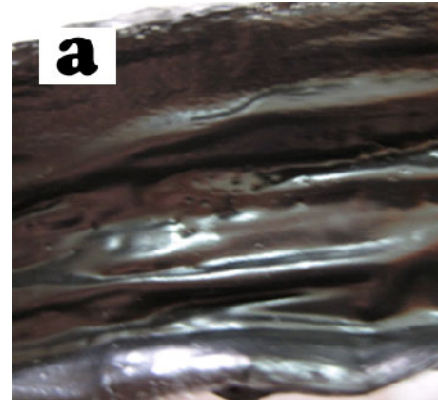
Pada pembuatan komposit dengan metode cetak lapis tebal, digunakan PVA sebanyak 6 gram untuk tiap lapisnya. Komposit yang dibuat terdiri dari 2 lapis. Lapisan kedua dilapiskan di atas lapisan pertama yang telah sedikit mengering. Komposit 2 lapis memiliki ketebalan 3,19 mm. Komposit yang telah diuji tarik menunjukkan kedua lapisan tidak menyatu dan terdapat rongga di antara keduanya (Gambar 8). Cacat tersebut menjadikan nilai modulus Young komposit menjadi lebih kecil. Komposit 2 lapis dengan metode cetak lapis tebal memiliki modulus Young sebesar 78,99 MPa. Cacat yang menjadikan modulus Young komposit lebih kecil menunjukkan metode cetak lapis tebal pun tidak tepat untuk menghasilkan komposit dalam bentuk tebal.



Gambar 8. Foto komposit metode cetak lapis tebal tampak samping

Metode cetak lapis tipis

Pada metode cetak lapis tipis, jumlah PVA yang digunakan untuk tiap lapis sebanyak 2 gram. Komposit yang dibuat dengan metode cetak lapis tipis menghasilkan permukaan yang lebih rata karena proses penguapan molekul air lebih merata. Gambar 9 menunjukkan permukaan komposit yang dibuat dengan metode cetak lapis tipis lebih rata dibandingkan dengan metode cetak tebal dan metode cetak lapis tebal.



Gambar 9. Foto permukaan komposit
a) metode cetak tebal
b) metode cetak lapis tebal
c) metode cetak lapis tipis

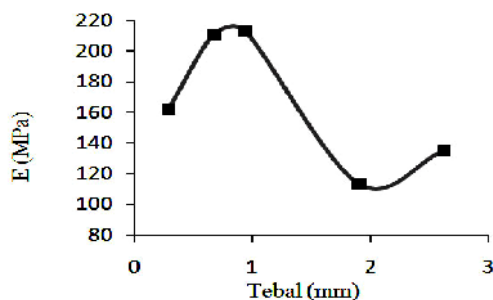
Jumlah lapisan yang dilakukan pada metode cetak lapis tipis adalah 1, 2, 3, 5 dan 7. Semakin banyak jumlah lapisan menghasilkan komposit yang semakin tebal (Tabel 4). Nilai modulus Young dari komposit yang dibuat dengan metode cetak lapis tipis lebih besar dibandingkan dengan modulus Young lapisan PVA ($E_{PVA} = 105,07$ MPa).

Tabel 4. Ketebalan dan modulus Young komposit CNT-PVA metode cetak lapis tipis

Jumlah lapisan	Tebal (mm)	E (MPa)
1	0,29	162,32
2	0,67	210,77
3	0,94	212,83
5	1,90	113,55
7	2,62	134,74

Nilai modulus Young untuk komposit yang dibuat dengan metode cetak tipis cenderung lebih besar daripada komposit yang dibuat dengan metode cetak tebal maupun metode cetak lapis tebal. Komposit 1 lapis tipis menghasilkan modulus Young yang lebih besar dibandingkan komposit 1 lapis tebal dengan fraksi massa CNT terhadap PVA yang sama. Komposit 1 lapis tipis menghasilkan modulus Young sebesar 162,32 MPa, sedangkan komposit 1 lapis tebal hanya menghasilkan modulus Young sebesar 137,62 MPa.

Peningkatan modulus Young komposit berturut-turut dengan jumlah lapisan 1, 2, 3, 5 dan 7 yaitu 58,10%; 105,30%; 107,30%; 10,60% dan 31,25%. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa metode cetak lapis tipis tepat digunakan untuk menghasilkan komposit dalam bentuk tebal. Komposit metode cetak lapis tipis menghasilkan permukaan yang lebih rata sehingga mereduksi adanya cacat pada komposit dan sifat mekanik yang dihasilkan lebih baik. Peningkatan modulus Young paling besar pada komposit 3 lapis sebesar 107,30% dengan ketebalan komposit 0,94 mm.



Gambar 10. Grafik hubungan ketebalan dengan modulus Young metode cetak lapis tipis

Gambar 10 menunjukkan hubungan ketebalan dengan modulus Young metode cetak lapis tipis. Modulus Young dari komposit yang dibuat dengan metode cetak lapis tipis cenderung meningkat sampai pada komposit 3 lapis, namun kemudian cenderung menurun pada komposit 5 lapis dan 7

lapis. Komposit dengan jumlah lapisan 5 memiliki modulus Young lebih kecil dibandingkan yang lain. Hal ini diduga akibat adanya sedikit cacat pada permukaan dasar komposit. Komposit yang terdiri dari lapisan yang banyak juga memiliki peluang dislokasi antar lapisan ketika diuji tarik jika antar lapisan tidak terikat secara sempurna.

KESIMPULAN

Komposit CNT-PVA telah berhasil dibuat dengan metode pelarutan (*solution processing*). Perbandingan massa CNT terhadap PVA dalam komposit CNT-PVA yang memberikan peningkatan sifat mekanik terbaik yaitu 20% dengan modulus Young sebesar 137,71 MPa. Ketebalan komposit CNT-PVA yang memberikan peningkatan sifat mekanik terbaik dihasilkan dengan metode cetak lapis tipis dengan jumlah lapisan sebanyak 3 lapis, ketebalan 0,94 mm, modulus Young sebesar 212,83 MPa. Peningkatan modulus Young komposit CNT-PVA terhadap modulus Young PVA diperoleh sebesar 107,30 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Yeo L.Y., Friend J.R., (2006), *Electrospinning Carbon Nanotube Polymer Composite Nanofiber*, Journal of Experimental Nanoscience , 1, 2, 177-209.
- Laxminarayana K., Jalili N., (2005), *Functional Nanotube-based Textile: Pathway to Next Generation Fabrics with Enhanced Sensing Capabilities*, Textile Reserch Journal,75, 9, 670-680.
- Van Hove M.A., (2006), *From Surface to Nanotechnology*, Catalysis Today, 113, 133-140.
- Qian L. et.al.(2004), *Application of Nanotechnology for High Performance Textiles*, Journal of Textile and Apparel Technlogy and Management, 1, 1-7.
- Laxminarayana K., Jalili N., (2005), *Functional Nanotube-based Textile: Pathway to Next Generation Fabrics with Enhanced Sensing Capabilities*, Textile Reserch Journal, 75, 9, 670-680.
- Cadek, M. J., N. Coleman, and V. Barron., (2002), *Morphological and Mechanical Properties of Carbon-Nanotube-Reinforced Semicrystalline and Amorphous Polymer Composites*. Applied Physics Letters, 81, 27.
- Chen, Wei, Xiaoming Tao, Pu Xue, and Xiaoyin Cheng.(2005), *Enhanced mechanical properties and morphological characterizations of poly(vinyl alcohol)-carbon nanotube composite films*, Applied Surface Science, 252 , 1404-1409.
- Gogotsi, Yury, (2006), *Nanotubes and Nanofibers*, Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania, USA. CRC Press Taylor and Francis Group, LLC.
- Subagio A., Pardoyo, Ngurah Ayu K., V. Gunawan, Sony, dan Rowi. (2009), *Studi Temperatur Penumbuhan Carbon Nanotubes (CNT) yang ditumbuhkan dengan Metode Spray Pyrolysis*, Jurnal Nanosains & Nanoteknologi , 2, 1.
- Rowi, K., (2008), *Pengaruh Temperatur dan Pencucian HNO3 terhadap Sintesis Carbon Nanotubes dengan Metode Spray-Pyrolysis dan Aplikasinya Untuk Adsorpsi Benzena*, Skripsi S-1 Program Studi Kimia, Universitas Diponegoro.