

Sintesis Komposit *Carbon Nanotubes*–*Polyvinyl Alcohol* sebagai Bahan *Prototype* Rompi Tahan Peluru

Andi Nur Yuwono^a, Pardoyo^{a*}, Agus Subagio^b

^a Inorganic Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

^b Physics Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: pardoyoku@live.undip.ac.id

Article Info	Abstract
<p>Keywords: Composite, carbon nanotubes, purification</p>	<p>Composite with nano structure has been developed because it is stronger than general composite hence this composite can be used as a material to produce kevlar. Tis research aims were to produce carbon nanotubes as a primary material of CNT-PVA composite, to determine correlation of purification time with carbon nanotubes purity and to determine correlation of purified carbon nanotubes with composite's strength. The best result of this research can be use as a material to produce kevar. The SEM result showed the carbon nanotubes produced was MWNT with diameter of 55.5 nm–97.3 nm. The purified carbon nanotubes morphology showed most of Fe atom was lost. The EDS showed a reduction of Fe atom percentage along with increasing purification time. Percentage of Fe atom on unpurified and purified carbon nanotubes at 1 and 3 hours were 3.50%, 2.43% and 1.68% respectively. Functional group of unpurified and purified carbon nanotubes was analyzed using FT-IR spectroscopy. A carboxylate group was found at purified carbon nanotubes that was not found at unpurified carbon nanotubes. The tensile test to the composite from unpurified carbon nanotubes showed that Young modulus was 11,511 Mpa,% elongation was 13,67%, maximum force was 29.365 kgf or 287.972 N. While at composite from purified carbon nanotubes had Young modulus of 4.491 Mpa,% elongation of 39.95%, and maximum force 28.5 kgf or 279.49 N.</p>
<p>Kata kunci: Komposit, carbon nanotubes, pemurnian</p>	<p>Abstrak</p> <p>Komposit dengan struktur nano telah dikembangkan karena kekuatannya lebih baik dibandingkan dengan komposit biasa, sehingga dapat diaplikasikan sebagai bahan dalam pembuatan rompi tahan peluru. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis carbon nanotubes sebagai bahan dasar komposit CNT-PVA,menentukan pengaruh waktu purifikasi terhadap kemurnian carbon nanotubes dan menentukan pengaruh purifikasi terhadap kekuatan komposit yang akan digunakan sebagai bahan rompi tahan peluru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan analisis SEM, carbon nanotubes yang diperoleh adalah jenis MWNT dengan diameter tabung antara 55,5 nm – 97,3 nm. Analisis dengan menggunakan EDS menunjukkan persentase atom Fe sebelum purifikasi dan setelah purifikasi pada waktu 1 dan 3 jam adalah 3,50%, 2,43% dan 1,68%. Gugus fungsional carbon nanotubes sebelum dan sesudah purifikasi dianalisis dengan menggunakan speltroskopi FT-IR. Setelah purifikasi ditemukan adanya gugus karboksilat, yang tidak ditemui pada saat sebelum purifikasi. Hasil uji tarik pada komposit dari CNT tanpa purifikasi menunjukkan modulus Youngnya sebesar 11,151 MPa,% mulurnya 13,67%, gaya tarik maksimumnya 29,365 kgf atau 287,972 N sedangkan pada komposit dari CNT purifikasi modulus Youngnya sebesar 4,491 MPa,% mulurnya 39,95%, gaya tarik maksimumnya 28,5 kgf atau 279,490 N.</p>

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi material saat ini semakin ramai dengan telah ditemukannya fungsionalisasi dari material-material berukuran nanometer atau yang disebut nano material [1]. Aplikasi teknologi nano telah mampu merambah ke berbagai aspek, seperti bidang mekanika, elektronika [2], material, biologi, kimia, kedokteran maupun pertahanan keamanan, sehingga membuat teknologi tersebut semakin populer dan menjadi tren teknologi saat ini.

Di bidang pertahanan dan keamanan, kebutuhan akan peralatan dan sistem pertahanan dalam menghadapi era globalisasi akan semakin meningkat dan semakin kompleks jenisnya. Salah satu fasilitas untuk memenuhi kebutuhan pertahanan adalah rompi tahan peluru, yang digunakan sebagai penunjang perlengkapan TNI maupun POLRI dalam melaksanakan tugasnya. Kebutuhan rompi tahan peluru saat ini masih sangat tergantung dari luar negeri, terutama berkaitan dengan bahan-bahan dasarnya seperti kevlar.

Penelitian untuk membuat rompi tahan peluru telah dilakukan di Indonesia dengan bahan komposit. Komposit dengan struktur nano akhir-akhir ini banyak dipakai karena kekuatannya lebih baik dibandingkan komposit biasa. Material *carbon nanotubes* (CNT) sudah mulai diteliti dan dikembangkan sebagai bahan dasar pembuatan komposit untuk kepentingan alat pertahanan karena mempunyai keunggulan lebih baik dari serat alam yang lain. Disamping itu *polyvinyl alcohol* merupakan polimer yang ringan, stabil dalam ikatan, serta memiliki modulus Young yang tinggi.

Rompi tahan peluru yang sudah diproduksi masih mempunyai kekurangan, yaitu munculnya pengaruh memar pada tubuh pemakai bila terkena tembakan peluru dari senjata api tertentu [3]. Material rompi tahan peluru berbahan dasar *carbon nanotubes* (CNT), diharapkan memiliki kekuatan yang dapat melebihi bahan serat alam lainnya, lebih ringan, dapat mengantisipasi energi kinetik yang ditimbulkan oleh beban tekan peluru dan dapat menghambat propagasi retakan *stress* yang terjadi.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap, yaitu sintesis *carbon nanotubes* dengan metode *spray pyrolysis*, purifikasi *carbon nanotubes* dengan metode *refluks*, dan sintesis komposit *carbon nanotubes-polyvinyl alcohol*.

Proses sintesis *carbon nanotubes* dimulai dengan pemanasan *furnace* secara bertahap sampai 900°C. Pengaliran gas argon ke dalam *furnace*. Penginjeksian campuran 50 mL benzene dan 3 gram *ferrocene*. Pendinginan *furnace* sampai suhu kamar. Pengambilan *carbon nanotubes* dari tabung *furnace*.

Tahap kedua adalah purifikasi *carbon nanotubes*. Sebanyak 3 gram *carbon nanotubes* dan 20 mL asam nitrat dicampurkan dalam labu alas bulat lalu dirangkaikan pada set alat *refluks*. *Refluks* dilakukan

pada suhu 80°C dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam dan 3 jam. *Carbon nanotubes* hasil purifikasi dinetralkan dengan menggunakan akuades sampai mendekati netral. *Carbon nanotubes* hasil purifikasi maupun tanpa dipurifikasi dikarakterisasi dengan FT-IR dan SEM-EDX.

Tahap terakhir adalah sintesis komposit *carbon nanotubes-polyvinyl alcohol*. Sebanyak 120 mL akuades dipanaskan sampai suhu 40°C, kemudian dicampurkan *polyvinyl alcohol* 6 gram hingga homogen, larutan dicampurkan dengan 2 gram *carbon nanotubes* hasil purifikasi maupun non purifikasi. Campuran kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* sampai homogen. Campuran tersebut dicetak dalam cetakan kaca *acrylic* dan dikeringkan dalam oven 70°C. Untuk mengetahui kekuatan komposit, dilakukan uji tarik menggunakan mesin uji tarik *Testometric*.

3. Hasil Dan Pembahasan

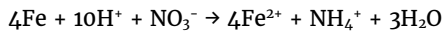
Sintesis *carbon nanotubes* menggunakan benzen sebagai sumber hidrokarbon yang akan membentuk *carbon nanotubes*. *Ferrocene* sebagai katalis yang berfungsi sebagai cetakan dalam pembentukan tabung-tabung dari *carbon nanotubes* dengan ujung-ujungnya tertutup berbentuk setengah bola. Gas argon merupakan gas yang bersifat inert, sehingga dapat berfungsi sebagai media dalam proses *pyrolysis* supaya campuran benzen dan *ferrocene* tidak bereaksi dengan gas-gas reaktif yang ada di lingkungannya. Prinsip dari penggunaan gas argon ini adalah dengan mengisi seluruh tabung *furnace* dengan gas argon, sehingga gas oksigen namun gas-gas lain yang reaktif terdorong keluar tabung *quartz* tidak mengganggu selama proses sintesis.

Pemanasan *furnace* dilakukan secara bertahap dengan peningkatan suhu *furnace* setiap 50°C. Hal ini dilakukan supaya tidak terjadi perubahan panas secara mendadak dalam waktu singkat pada tabung *quartz* sehingga tabung tidak pecah karena perbedaan suhu yang ekstrim tersebut. Penginjeksian campuran benzen dan *ferrocene* dilakukan pada kisaran suhu 900°C. karena pada suhu tersebut ikatan kovalen C-C, C-H dan C=C pada benzen dan *ferrocene* akan terputus menghasilkan unsur-unsur penyusunnya berupa karbida-karbida, H₂ dan logam Fe. Karena pada suhu 465°C *ferrocene* akan terdekomposisi menjadi unsur-unsur penyusunnya.

Selesai penginjeksian campuran tersebut ditunggu selama 30 menit, dengan maksud supaya pertumbuhan *carbon nanotubes* dapat terjadi selama periode waktu tersebut. Pendinginan *furnace* juga dilakukan secara bertahap. Ketika suhu *furnace* sudah sama dengan suhu ruangan barulah *carbon nanotubes* dapat diambil dengan alat pengerok. Sintesis *carbon nanotubes* dengan bahan dasar 3 gram *ferrocene* dan 50 mL benzen menghasilkan 3-5 gram CNT.

Pemurnian dengan menggunakan asam dapat mengurangi Fe yang menempel pada ujung-ujung *carbon nanotubes* dan karbon-karbon yang tidak berbentuk *nanotubes*. Dalam penelitian ini digunakan asam nitrat adalah karena bersifat asam kuat, mudah

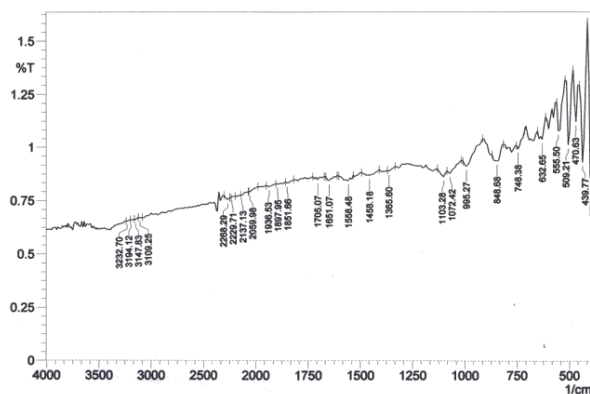
menguap, dan merupakan pengoksidasi kuat yang mudah terionisasi menjadi H⁺ dan NO₃⁻. Asam nitrat akan mengoksidasi logam Fe menjadi Fe²⁺, sehingga logam Fe akan mudah larut dalam larutan asam dan dapat dipisahkan dari *carbon nanotubes*. Reaksi pemisahan logam Fe [4]:



Proses refluks dilakukan pada suhu tetap 80°C selama variasi waktu 1, 2 dan 3 jam. *Carbon nanotubes* hasil purifikasi dicuci dengan menggunakan akuades sampai mendekati netral (pH 7). Penentuan derajat keasaman (pH) dilakukan dengan menggunakan kertas pH.

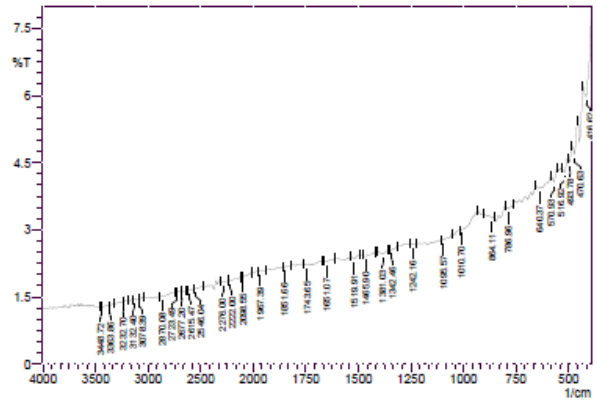
Pencucian dengan akuades dimaksudkan untuk memisahkan sisa HNO₃ dari proses refluks serta menetralkan kembali suasana dari *carbon nanotubes* yang bersifat asam akibat proses refluks. *Carbon nanotubes* yang sudah mendekati netral dikeringkan dalam oven 100°C sampai kering. Dilakukan pengeringan pada suhu tersebut karena titik didih akuades adalah 100°C sehingga diharapkan tidak ada lagi kandungan akuades dalam serbuk *carbon nanotubes*.

Analisis serapan infra merah dilakukan untuk mengetahui gugus-gugus fungsional yang ada dalam *carbon nanotubes* hasil purifikasi maupun tanpa purifikasi. *Carbon nanotubes* yang dihasilkan biasanya mengandung gugus C-H, C=C dan C-C.

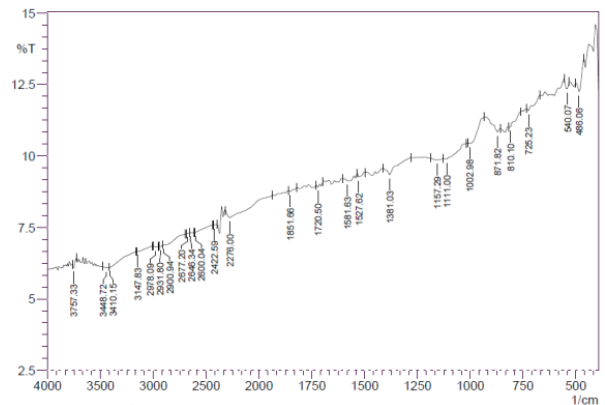


Gambar 1. FT-IR CNT tanpa purifikasi

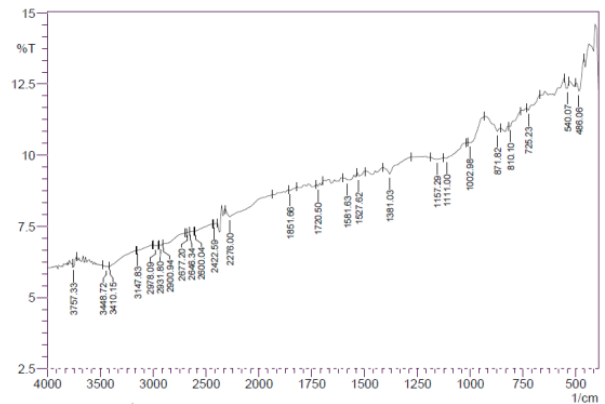
Dari spektra pada gambar 1 dapat kita ketahui bahwa pada bilangan gelombang daerah 3019,25 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C-H tak jenuh, hal ini diperkuat dengan adanya bilangan gelombang pada daerah 1651,07 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya gugus C=C. Kemudian pada bilangan gelombang 1458,18 cm⁻¹ dan 1558,48 cm⁻¹ adalah karakteristik dari gugus C-C. Spektra-spektra tersebut menunjukkan karakteristik dari gugus-gugus fungsional yang terdapat pada *carbon nanotubes*.



Gambar 2. FT-IR CNT purifikasi 1 jam



Gambar 3. FT-IR CNT purifikasi 2 jam



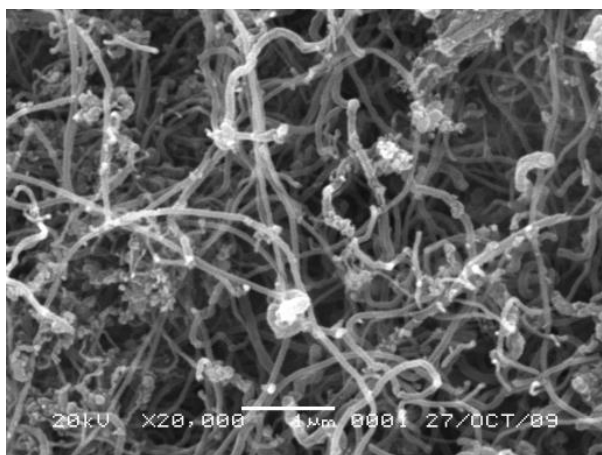
Gambar 4. FT-IR CNT purifikasi 3 jam

Gambar 2, 3 dan 4 merupakan spektra infra merah dari *carbon nanotubes* hasil purifikasi dengan variasi waktu 1, 2 dan 3 jam. *Carbon nanotubes* yang dipurifikasi dengan menggunakan asam akan terjadi suatu reaksi oksidasi yang menghasilkan gugus karboksilat pada *carbon nanotubes* tersebut [5]. Pita serapan daerah 1242,16 cm⁻¹, gambar 2 merupakan serapan dari gugus C-O, seperti halnya bilangan gelombang 1157,29 cm⁻¹ pada gambar 3 dan 4. Sedangkan pada daerah 1743,65 cm⁻¹ pada gambar 2 dan 3 serta daerah 1720,5 cm⁻¹ pada gambar 4 merupakan puncak dari gugus C=O. Daerah bilangan gelombang 2870,08 cm⁻¹ pada gambar 2, bilangan gelombang 2900,94 cm⁻¹ pada gambar 3 dan 4 merupakan gugus O-H yang karakteristik dari senyawa karboksilat. Serapan pada daerah ini sering kali mengaburkan resapan CH maupun OH lain yang ada

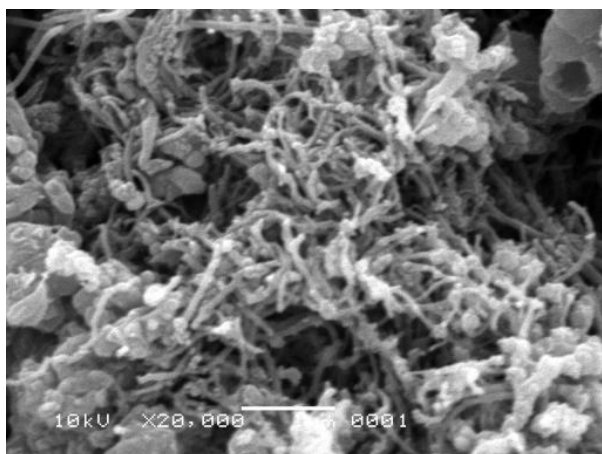
pada spektrum tersebut [6]. Serapan pada daerah bilangan gelombang $1095,57\text{ cm}^{-1}$ gambar 2, bilangan gelombang 1111 gambar 3 dan bilangan gelombang $1118,71\text{ cm}^{-1}$ gambar 4 merupakan puncak dari gugus C-OH.

Dari data spektra IR gambar 1, hasil yang disintesis merupakan *carbon nanotubes*, dapat dilihat dari adanya gugus pendukung, yaitu gugus C-H, C=C dan C-C. *Carbon nanotubes* setelah dipurifikasi menghasilkan gugus karboksilat, namun tidak ada perubahan gugus fungsi pada variasi waktu purifikasi. Hal itu dapat diketahui dari adanya gugus-gugus C-O, C=O, C-C, C=C, C-H dan O-H.

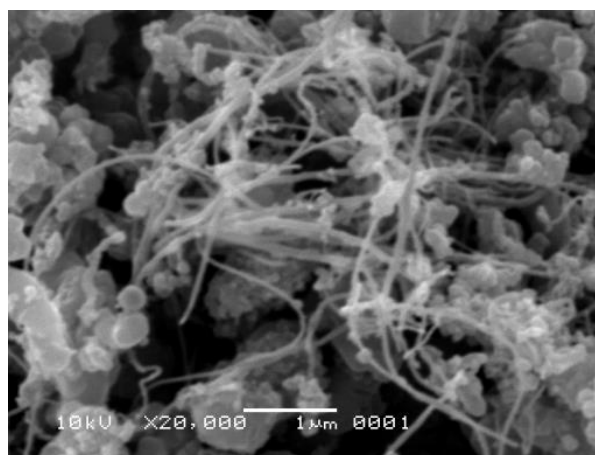
Analisis *Scanning Electron Microscopy* dilakukan untuk menentukan struktur morfologi dari *carbon nanotubes* hasil purifikasi maupun tanpa purifikasi. Gambar 5, 6 dan 7 menunjukkan morfologi *carbon nanotubes* dengan perbesaran 20000x. *Carbon nanotubes* hasil sintesis tanpa purifikasi pada gambar 5 mempunyai diameter antara $55,5\text{ nm}$ sampai $93,7\text{ nm}$. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa jenis *carbon nanotubes* yang dihasilkan berjenis MWNT. Karena *carbon nanotubes* jenis SWNT biasanya mempunyai diameter yang bervariasi antara $0,4\text{ nm}$ sampai 3 nm , sedangkan *carbon nanotubes* jenis MWNT biasanya mempunyai diameter antara $1,4\text{ nm}$ sampai 100 nm .



Gambar 5. SEM CNT tanpa purifikasi



Gambar 6. SEM CNT purifikasi 1 jam



Gambar 7. SEM CNT purifikasi 3 jam

Carbon nanotubes yang dihasilkan setelah proses purifikasi pada gambar 6 dan 7 mempunyai diameter bervariasi antara 71 nm sampai $242,8\text{ nm}$. Dari kedua jenis morfologi *carbon nanotubes* tersebut dapat diperkirakan bahwa *carbon nanotubes* tanpa purifikasi masih terdapat banyak logam Fe yang berada pada ujung-ujung tabung, sedangkan pada *carbon nanotubes* hasil purifikasi 1 jam diperkirakan masih adanya logam Fe yang menempel pada ujung-ujung tabung. Pada *carbon nanotubes* purifikasi 3 jam diperkirakan sebagian besar logam Fe pada ujung-ujung tabung hilang. Namun analisis tersebut masih bersifat kualitatif. Secara umum diameter tabung *carbon nanotubes* hasil purifikasi lebih besar dibandingkan dengan diameter tabung *carbon nanotubes* tanpa purifikasi. Hal itu disebabkan oleh hilangnya logam Fe yang menjadi *template* dari *carbon nanotubes*, sehingga ujung-ujung tabung *carbon nanotubes* akan lebih tidak stabil yang menjadikan diameter *carbon nanotubes* lebih besar.

Analisis *carbon nanotubes* dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur yang ada dalam *carbon nanotubes*. Dari hasil analisis EDS dapat diketahui bahwa persentase unsur-unsur yang ada berbeda-beda, semakin lama proses purifikasi maka persentase logam Fe pada *carbon nanotubes* akan semakin berkurang. Pada CNT tanpa purifikasi persentase atom Fe adalah $3,50\%$, setelah purifikasi 1 jam $2,43\%$ dan setelah purifikasi 3 jam $1,68\%$. Namun persentase atom C semakin bertambah seiring dengan bertambahnya waktu purifikasi. Pada CNT tanpa purifikasi sebanyak $96,5\%$, setelah purifikasi 1 jam sebanyak $97,57\%$ dan setelah purifikasi 3 jam sebanyak $98,32\%$. Semakin kecil persentase atom Fe maka semakin besar persentase atom C. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1: Hasil karakterisasi EDS sampel *carbon nanotubes*

Jenis carbon nanotubes	Persentase atom (%)	
	C	Fe
Tanpa purifikasi	96,50	3,50
Purifikasi 1 jam	97,57	2,43
Purifikasi 3 jam	98,32	1,68

Sintesis komposit yang dilakukan berbahan dasar *carbon nanotubes* dan *polyvinyl alcohol*. *Carbon nanotubes* berfungsi sebagai serat yang memperkuat komposit. Sedangkan *polyvinyl alcohol* berfungsi sebagai matriks yang melindungi komposit supaya tetap utuh atau memiliki bentuk yang tidak berubah-ubah apabila menerima tekanan maupun gaya dari luar.

Carbon nanotubes mempunyai modulus Young sebesar 1Tpa [7]. Sedangkan *polyvinyl alcohol* mempunyai modulus Young mencapai 1MPa. Dengan memadukan antara *carbon nanotubes* dengan *polyvinyl alcohol* menjadi komposit akan meningkatkan kekuatan dibandingkan kekuatan bahan-bahan tersebut apabila berdiri sendiri¹¹.

Sintesis komposit dilakukan dengan melarutkan *polyvinyl alcohol* ke dalam gelas *beaker* berisi akuades dengan bantuan *magnetic stirrer* dan pemanasan selama pelarutan. Selama proses pelarutan, panas yang diberikan tidak boleh membuat suhu larutan terlalu tinggi dan juga tidak boleh terlalu rendah. Apabila suhu larutan terlalu tinggi maka *polyvinyl alcohol* akan menjadi kerak pada dasar gelas *beaker*. Sedangkan apabila suhu larutan terlalu rendah maka proses pelarutan kurang efektif karena membutuhkan waktu yang lebih lama.

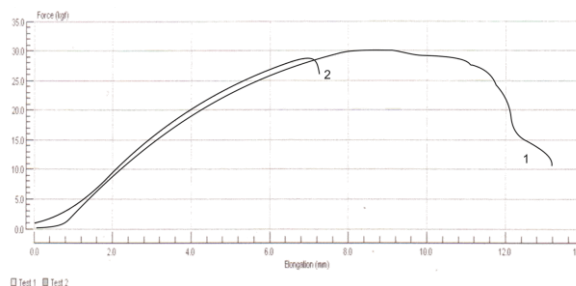
Ketika suhu akuades pada gelas *beaker* sudah mencapai 40°C mulai ditambahkan *polyvinyl alcohol* sedikit demi sedikit. Apabila penambahannya telalu banyak akan membuat larutan menjadi cepat kental dan *magnetic stirrer* berhenti berputar. Setelah *polyvinyl alcohol* larut semua dalam akuades, ditambahkan *carbon nanotubes* sedikit demi sedikit hingga homogen. *Carbon nanotubes* yang digunakan dalam pembuatan komposit adalah yang tanpa dipurifikasi dan yang telah dipurifikasi selama 3 jam. Karena hasil purifikasi selama 3 jam menunjukkan persentase atom Fe paling sedikit. Kemudian campuran tersebut dituangkan dalam cetakan. Untuk mempercepat pengeringan campuran tersebut dikeringkan dengan menggunakan oven 90°C sampai kering dan mengeras. Pengeringan dilakukan pada suhu tersebut karena apabila melebihi akan menjadikan komposit yang dihasilkan terlalu keras dan sangat rapuh. Ketika pengeringan maksimal pada suhu 90°C komposit yang dihasilkan relatif lebih elastis namun sangat kuat.



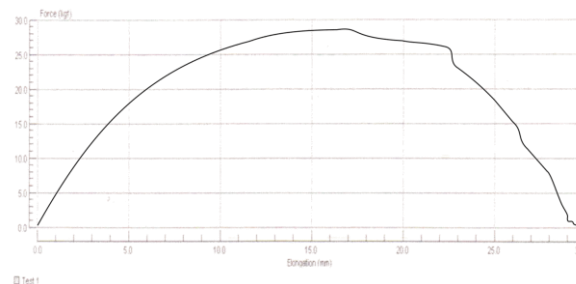
Gambar 8. Komposit CNT-PVA

Analisis komposit dengan menggunakan Mesin Uji Tarik Testometric bertujuan untuk mengetahui

kekuatan komposit dari bahan dasar *carbon nanotubes* yang berbeda. Bahan yang digunakan adalah dari *carbon nanotubes* tanpa purifikasi dan yang telah dipurifikasi. Hasil dari uji tarik terhadap masing-masing komposit ditunjukkan oleh gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Spektra uji tarik komposit CNT tanpa purifikasi



Gambar 10. Spektra uji tarik komposit CNT hasil purifikasi

Gambar 9 merupakan spektra dari uji tarik terhadap komposit dari *carbon nanotubes* tanpa purifikasi, sedangkan gambar 10 adalah spektra dari komposit dari *carbon nanotubes* yang telah dipurifikasi. Pada gambar 9 terdapat dua garis spektra yang berbeda. Hal itu merupakan pengukuran sebanyak dua kali dari jenis komposit yang sama. Data yang didapat dari kedua spektra tersebut dicari nilai tengahnya. Gaya tarik maksimum dari uji 1 pada gambar 9 adalah 30,120 kgf atau 295,376 N, sedangkan% mulur pada gaya tarik maksimum adalah 10,4% dan% mulur pada saat putus adalah 13,67%. Dari data tersebut dapat dicari tegangan, regangan dan modulus elastisitasnya. Tegangannya sebesar 1.573.617,486 N/m², regangannya sebesar 0,1367 dan modulus Young sebesar 11,511 MPa.

Gambar 10 merupakan spektra dari uji tarik terhadap komposit dari *carbon nanotubes* yang telah dipurifikasi. Data yang dapat diambil dari spektra gambar 10 adalah gaya tarik maksimum 28,500 kgf atau 279,490 N,% mulur pada gaya tarik maksimum sebesar 20,03% dan% mulur pada saat putus adalah 39,95%. Dari hasil perhitungan tegangannya adalah 1.527.267,76 N/m², regangannya sebesar 0,34 dan modulus Youngnya 4,491 MPa.

Dengan melihat hasil-hasil perhitungan dapat dinyatakan bahwa komposit tanpa purifikasi memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan komposit hasil purifikasi. Namun komposit hasil purifikasi memiliki keelastisan yang lebih besar dibandingkan dengan komposit tanpa purifikasi. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya gugus

karboksilat yang ada pada *carbon nanotubes* setelah dipurifikasi. Hal ini terjadi diduga adanya gugus karboksilat pada *carbon nanotubes*, maka akan terjadi ikatan secara kimia antara *polyvinyl alcohol* dengan *carbon nanotubes*. Sedangkan pada komposit dari *carbon nanotubes* tanpa purifikasi hanya terjadi ikatan secara fisika. Karena tidak ada interaksi secara kimia pada komposit antara *carbon nanotubes* dan *polyvinyl alcohol*. *Polyvinyl alcohol* hanya menempel di sekeliling tabung *carbon nanotubes*.

4. Kesimpulan

Sintesis dengan bahan dasar 3 gram *ferrocene* dan 5 mL benzen menghasilkan 3-5 gram *carbon nanotubes*. Jenis *carbon nanotubes* yang dihasilkan adalah MWNT. Diameter tabung antara 55,5 nm-97,3 nm. Semakin lama waktu purifikasi, semakin kecil persentase atom Fe. Persentase atom Fe tanpa purifikasi sebanyak 3,50%, purifikasi 1 jam sebanyak 2,43% dan purifikasi 3 jam sebanyak 1,68%. Kekuatan komposit CNT tanpa purifikasi lebih besar dibandingkan dengan CNT purifikasi, namun elastisitasnya lebih besar CNT purifikasi dibandingkan dengan CNT tanpa purifikasi. Modulus Young komposit dari CNT tanpa purifikasi sebesar 11,511 MPa, % mulurnya 13,67. Modulus Young komposit dari CNT purifikasi sebesar 4,491 MPa, % mulurnya 39,95%. Sehingga komposit CNT-PVA yang disintesis masih belum memenuhi syarat sebagai bahan *prototype* rompi tahan peluru.

5. Daftar Pustaka

- [1] Hadiyawardan, Agus Rijal, Bebeh Wahid Nuryadin, Mikrajuddin Abdullah, Khairurrijal, A., Nuryadin BW, Abdullah M. dan Khairurrijal.(2008). Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1, 1, (2008) 14-21
- [2] Alan B Dalton, Steve Collins, Joselito Razal, Edgar Munoz, Von Howard Ebron, Bog G Kim, Jonathan N Coleman, John P Ferraris, Ray H Baughman, Continuous carbon nanotube composite fibers: properties, potential applications, and problems, *Journal of Materials Chemistry*, 14, 1, (2004) 1-3 <http://dx.doi.org/10.1039/B312092A>
- [3] J Henderson, Ballistic Body Armor Protecting The Protectors, *Strategic Standardization*, 0-18p, (2008)
- [4] Arthur Israel Vogel, G. Svehla, Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis, Longman Scientific & Technical, 1987.
- [5] Fushen Lu, Xin Wang, Mohammed J Meziani, Li Cao, Leilei Tian, Matthew A Bloodgood, Jackie Robinson, Ya-Ping Sun, Effective purification of single-walled carbon nanotubes with reversible noncovalent functionalization, *Langmuir*, 26, 10, (2010) 7561-7564 <http://dx.doi.org/10.1021/la904361e>
- [6] RJ Fessenden, JS Fessenden, Kimia Organik, diterjemahkan oleh Pudjaatmaka, AH, jilid, 1, (1994) 209-210
- [7] Kausala Mylvaganam, Liangchi C Zhang, Fabrication and application of polymer composites comprising carbon nanotubes, *Recent patents on nanotechnology*, 1, 1, (2007) 59-65 <http://dx.doi.org/10.2174/187221007779814826>