PENGARUH PERLAKUAN ASAM NITRAT PADA PERMUKAAN PARTIKEL CARBON NANOTUBE (CNT) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT HYBRID CARBON FIBER/CNT/EPOXY

(Skripsi)

Oleh AHMAD FARID AKRAM 1515021044



JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG 2021

ABSTRAK

PENGARUH PERLAKUAN ASAM NITRAT PADA PERMUKAAN PARTIKEL CARBON NANOTUBE (CNT) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT HYBRID CARBON FIBER/CNT/EPOXY

Oleh:

AHMAD FARID AKRAM

Komposit ialah suatu material yang terbentuk oleh campuran dari dua atau lebih material pembentuknya. *Carbon nanotube* digunakan sebagai penguat *filler* komposit yang dapat menambah kekuatan tarik komposit tersebut. Namun *carbon nanotube* yang didapat dari produsen terdapat pengotor yang dapat mengurangi adhesi pada matriks yang digunakan. Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan permukaan partikel *carbon nanotube* (CNT) dengan menggunakan asam nitrat terhadap kekuatan tarik komposit *hybrid carbon fiber/CNT/epoxy*.

Komposit terbentuk dari pencampuran *carbon fiber*, serbuk penguat *filler carbon nanotube*, dan matriks polimer *epoxy*. Serbuk penguat *carbon nanotube* dilakukan perlakuan permukaan menggunakan asam nitrat dengan kadar 1 M, 3 M, dan 5 M selama 15 menit diatas *hot plate magnetic stirer*. Setelah itu dicuci menggunakan hidrogen peroksida 30% selama 15 menit, lalu dibersihkan dengan aquades dan dikeringkan. Komposit dilakukan fabrikasi dengan fraksi massa 0.5% CNT, 20% *carbon nanotube*, dan 79.5% *epoxy* dengan metode *vacuum bagging*. Untuk mengetahui sifat mekanik dari komposit *hybrid carbon fiber/CNT/epoxy* dilakukan pengujian tarik dengan menggunakan standar ASTM D638-03. Selain itu dilakukan pengamatan *scanning electron microscope* untuk mengetahui mekanisme kegagalan komposit *hybrid carbon fiber/CNT/epoxy*.

Hasil pengujian tarik dengan menggunakan standar ASTM D638-03 komposit *hybrid carbon fiber/CNT/epox*. Komposit tertinggi yaitu *carbon fiber/CNT* dengan perlakuan asam nitrat 1 M mempunyai nilai tegangan tarik sebesar 42.23 MPa, nilai regangan sebesar 17.84 % dan nilai modulus elastisitas sebesar 0.2368 GPa.

Pada hasil pengamatan menggunakan *scanning electron microscope* campuran *epoxy* dengan CNT yang telah dilakukan perlakuan permukaan menggunakan asam nitrat 1 M memperlihatkan adhesi yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan asam nitrat 3 M dan 5 M.

Kata kunci : komposit, carbon nanotube, asam nitrat, uji tarik, scanning electron microscope.

ABSTRACT

THE EFFECT OF NITRIC ACID TREATMENT ON THE SURFACE OF PARTICLES ON THE CARBON NANOTUBE (CNT) TENSILE STRENGTH OF COMPOSITES HYBRID CARBON FIBER/CNT/EPOXY

By:

AHMAD FARID AKRAM

Composite is a material formed by a mixture of two or more constituent materials. Carbon nanotubes are used as reinforcement for fillers composite which can increase the tensile strength of the composite. However, carbon nanotubes obtained from manufacturers contain impurities that can reduce adhesion to the matrix used. This study aims to determine the effect of surface treatment of particles carbon nanotube (CNT) using nitric acid on the tensile strength of composites hybrid carbon fiber/CNT/epoxy.

Composites are formed by mixing carbon fiber, reinforcing powder carbon nanotube filler, and a polymer matrix epoxy. The Reinforcing powder was carbon nanotube surface treated using nitric acid with levels of 1 M, 3 M, and 5 M for 15 minutes on a hot plate magnetic stirrer. After that, it was washed using 30% hydrogen peroxide for 15 minutes, then cleaned with distilled water and dried. Composites were fabricated with a mass fraction of 0.5% CNT, 20% carbon nanotubes, and 79.5% epoxy using the method vacuum bagging. To determine the mechanical properties of composites hybrid carbon fiber/CNT/epoxy tensile tests were carried out using the ASTM D638-03 standard. In addition, observations were made scanning electron microscope to determine the failure mechanism of the composite carbon fiber/CNT/epoxy hybrid.

Tensile test results using ASTM D638-03 standard composite hybrid carbon fiber/CNT/epoxy. The highest composite, namely carbon fiber/CNT with 1 M nitric acid treatment, had a tensile stress value of 42.23 MPa, a strain value of 17.84 % and a modulus of elasticity of 0.2368 GPa.

In observations using a scanning electron microscope, a mixture of epoxy and CNT that had been surface treated using 1 M nitric acid showed better adhesion than 3 M and 5 M nitric acid treatment.

Key words: composite, carbon nanotube, nitric acid, test pull, scanning electron microscope.

PENGARUH PERLAKUAN ASAM NITRAT PADA PERMUKAAN PARTIKEL CARBON NANOTUBE (CNT) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT HYBRID CARBON FIBER/CNT/EPOXY

Oleh:

Ahmad Farid Akram

Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK

Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR LAMPUNG 2021 Judul Skripsi

: PENGARUH PERLAKUAN ASAM NITRAT PADA PERMUKAAN PARTIKEL CARBON NANOTUBE (CNT) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT HYBRID CARBON FIBER/CNT/EPOXY

Nama Mahasiswa

: Ahmad Farid Akram

Nomor Pokok Mahasiswa : 1515021044

Jurusan

: Teknik Mesin

Fakultas

Teknik

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing

Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.

NIP 19740202 199910 2 001

Prof. Dr. Sugivanto. M.T. NIP 19570411 198610 1 001

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., M.T. NIP 19710331 199903 1 003 Kepala Program Studi S1 **T**eknik Mesin

Novri Tanti. S.T., M.T. NIP 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji

: Dr. Eng. Shirley Savetlana , S.T., M.Met.

flog -

Anggota Penguji : Prof. Dr. Sugiyanto, M.T.

Penguji Utama

: Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D.

Ami

Dekan Rakultas Teknik

Dr. Eng. lp. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 15 Desember 2021

LEMBAR PERNYATAAN

Penulis dengan ini menyatakan bahwa:

- Skripsi dengan judul pengaruh perlakuan asam nitrat pada permukaan partikel carbon nanotube (CNT) terhadap kekuatan tarik komposit hybrid carbon fiber/CNT/epoxy adalah karya pribadi dan tidak melakukan penjiplakan atas karya orang lain sebagaimana diatur dalam pasal 36 peraturan Rektor Universitas Lampung No. 13 Tahun 2019 tentang peraturan akademik Universitas Lampung.
- Hak intelektual atas karya ilmiah yang berkaitan dengan hal ini sepenuhnya diserahkan kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini apabila terjadi suatu hal yang tidak dibenarkan, penulis bersedia menanggung sanksi yang berlaku kepada penulis.

Bandar Lampung, Desember 2021 Pembuat Pernyataan

Ahmad Farid Akram

NPM. 1515021044

RIWAYAT HIDUP



Ahmad Farid Akram, lahir di Bandar Lampung pada tanggal 3 Agustus 1997. Penulis merupakan anak kedua dari 4 bersaudara dari pasangan Bapak Ribhan dan Ibu Ratu Aisyah. Penulis memulai pendidikan sekolah dasar di SD Al – Azhar 1 Way Halim Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2009. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah

pertama di SMPN 4 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2012. Lalu penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2015. Penulis melanjutkan pendidikan di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2015 melalui jalur seleksi Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN).

Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Indo American Seafood Tanjung Bintang dengan mengangkat judul laporan kerja praktek yaitu "Sistem dan Kapasitas pada Proses Produksi Udang Roti (*Breaded Shrimp*) di PT. Indo American Seafood" pada tahun 2018. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Kemiling Permai, Kecamatan Kemiling pada tahun 2020. Pada tahun 2021, penulis melakukan penelitian tugas akhir di bidang konsentrasi Material khususnya Komposit dengan judul "Pengaruh Perlakuan Asam Nitrat pada Permukaan Partikel *Carbon Nanotube* (CNT) terhadap Kekuatan Tarik Komposit *Hybrid Carbon Fiber*/CNT/*Epoxy*" dibawah dosen pembimbing pertama ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met. dan dosen pembimbing kedua bapak Prof. Dr. Sugiyanto, M.T. serta bapak Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T. sebagai dosen pembahas.

MOTTO

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

(QS. Al – Insyirah: 6)

"Menuntut ilmu itu wajib atas setiap muslim" (H.R. Ibnu Majah)

"Barang siapa menelusuri jalan untuk mencari ilmu padanya, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga"

(H.R. Muslim)

"Orang yang keluar untuk mencari ilmu maka ia dijalan Allah SWT hingga ia kembali (ke rumah)"

(H.R.Tarmizi)

"Keberhasilan bukanlah milik orang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha"

B.J. Habibie

"Ketetapan Allah SWT adalah yang terbaik bagimu, maka Bersabar dan Bersyukurlah."

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya. Karena atas petunjuk dan pertolongan Allah SWT, penulis mendapatkan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Serta tak lupa juga sholawat serta salam dipanjatkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW, beserta para keluarga, para sahabat, tabi'in, tabiut tabi'in dan orang – orang sholih para pengikutnya hingga akhir zaman.

Tugas akhir berjudul "Pengaruh Perlakuan Asam Nitrat pada Permukaan *Carbon Nanotube* (CNT) terhadap Kekuatan Tarik Komposit *Hybrid Carbon Fiber/CNT/Epoxy*" ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Mesin di Universitas Lampung. Tugas akhir ini diharapkan dapat membentuk sarjana yang dapat menerapkan pengetahuan serta keterampilan di bidang keteknikan khususnya teknik mesin.

Selama proses tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari semua pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada :

- Ayah (Ribhan) dan ibu (Ratu Aisyah) tercinta, serta kakak (Qurrota A'yun), adik – adik (Qarirah Khansa dan Ahmad Faiqa Ramadhan) yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil dan selalu mendo'akan disetiap langkah penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
- 2. Bapak Prof. Dr. Karomani, M.Si. sebagai Rektor Universitas Lampung.
- 3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- 4. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
- 5. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T. sebagai Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung

- 6. Ibu Dr. Eng Shirley Savetlana, S.T., M.Met. sebagai dosen pembimbing 1 yang telah membimbing, memberikan ilmu dan wawasan mengenai komposit serta dukungan semangat dalam tugas akhir ini.
- 7. Bapak Prof. Dr. Sugiyanto, M.T. sebagai dosen pembimbing 2 yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam tugas akhir ini.
- 8. Bapak Dr, Irza Sukmana, S.T., M.T. sebagai dosen pembahas yang telah memberikan kritik dan dan sarannya yang sangat berguna dalam tugas akhir ini.
- 9. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. sebagai dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan dan bimbingan selama menjalani studi di masa perkuliahan.
- 10. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu terkhusus dibidang teknik mesin yang sangat berguna bagi penulis untuk diterapkan di dunia kerja.
- 11. Staf Akademik yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan serta proses tugas akhir.
- 12. Staf dan Analis di Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi dan Teknologi yang telah membantu dalam proses perlakuan permukaan dan proses pengamatan *Scanning Electron Microscope*.
- 13. Bapak Slamet dan bapak Yusup di LIPI Tanjung Bintang yang telah membantu dan membimbing penulis dalam Proses Pengujian Tarik.
- 14. Rekan rekan yang selalu memberikan saran dan dukungan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir yaitu Alfiza Hisyam, M. Ilham Hambali, dan Ayoga Tri Ismiaji, M. Iqbal Adi, dan M. Irvan Ramadhan.
- 15. Seluruh rekan rekan Teknik Mesin Universitas Lampung terkhusus rekan rekan Teknik Mesin angkatan 2015 telah membantu dan memberikan dukungan selama masa perkuliahan.
- 16. Semua pihak yang telah membantu dalam proses perkuliahan dan juga proses penyelesaian tugas akhir yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Tak lupa juga penulis memohon maaf sedalam – dalamnya kepada semua pihak apabila melakukan kesalahan baik disengaja maupun tidak disengaja dan juga ke khilafan karena manusia adalah tempatnya salah dan khilaf. Penulis menyadari

bahwa masih jauh dari kesempurnaan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Oleh

karena itu, penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat disempurnakan

melalui kritik dan saran yang bersifat membangun. Serta laporan tugas akhir ini

dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan. Akhir kata,

penulis ucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 17 Desember 2021

Penulis

Ahmad Farid Akram

NPM. 1515021044

DAFTAR ISI

Halaman
ABSTRAKi
SANWACANA ii
DAFTAR ISIiii
DAFTAR GAMBARiv
DAFTAR TABELv
BAB I PENDAHULUAN
1.1. Latar Belakang Penelitian1
1.2. Tujuan Penelitian
1.3. Batasan Masalah6
1.4. Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1. Komposit
2.2. Komponen Komposit
2.2.1. Penguat (reinforcement)
2.2.2. Matriks
2.3. Carbon Nanotube
2.3.1. Single-Walled Carbon Nanotube (SWCNT)
2.3.2. Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT)
2.4. Sifat Fisik Carbon Nanotube
2.5. Dispersi Carbon Nanotube
2.6. Carbon Nanotube Sebagai Filler
2.7. Carbon Fiber Sebagai Serat
2.8. Epoxy Sebagai Matriks
2.9. Metode Pembuatan Komposit
2.9.1. Proses cetakan tertutup
2.9.2. Proses cetakan terbuka
2.10. Pengujian Tarik
2.11. Scanning Electron Microscope (SEM)
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Wak	tu dan Tempat Penelitian	30
3.2. Alat	dan Bahan	30
3.2.1. H	Fungsionalisasi Multi Walled Carbon Nanotube	30
3.2.2. F	Pembuatan Spesimen Uji	35
3.2.3. F	Pengujian Tarik	37
3.3. Prose	edur Percobaan	38
3.3.1. I	Dispersi MWCNT	38
3.3.2. F	Pembuatan Spesimen	39
3.4. Diag	ram Alir	42
BAB IV HA	ASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Sp	esimen Hasil Pengujian Tarik	45
4.2. Da	ta Pengujian Tarik	47
4.2.1.	Pengujian Tarik CarbonCNT 1 M	48
4.2.2.	Pengujian Tarik CarbonCNT 3 M	50
4.2.3.	Pengujian Tarik CarbonCNT 5 M	52
4.3. Gr	afik Sifat Tarik Rata - Rata	54
4.4. Ha	sil Pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM)	56
BAB V KE	SIMPULAN DAN SARAN	64
5.1. Sir	npulan	64
5.2. Sa	ran	65
DAFTAR P	PUSTAKA	vi

DAFTAR GAMBAR

Halaman	1
Gambar 1. Komposit (Mazumdar, 2002).	3
Gambar 2. Single Walled Carbon Nanotube (Ijima, 2002)	5
Gambar 3. Multi Walled Carbon Nanotube (Ijima, 2002)	
Gambar 4. Campuran CNT dalam Larutan HNO ₃ (a) Sebelum Sonikasi dan (b)	
Sesudah Sonikasi (Wibisono, 2012).	3
Gambar 5.Struktur <i>Epoxy</i> (Sitorus, 2009)	2
Gambar 6. Continious Pultrusion (AMSC, 2002).	3
Gambar 7. Fillament winding (AMSC, 2002).	1
Gambar 8. Pressure bag (AMSC, 2002)	5
Gambar 9. <i>Hand Lay-Up</i> (AMSC, 2002)	ó
Gambar 10. Vacuum bag (AMSC, 2002)	ó
Gambar 11. Multi Walled Carbon Nanotube	Ĺ
Gambar 12. Hot plate magnetic stiter	2
Gambar 13. Timbangan	2
Gambar 14. Cairan HNO _{3.}	3
Gambar 15. Cairan H ₂ O _{2.}	3
Gambar 16. PH meter	ļ
Gambar 17. <i>Oven</i>	ļ
Gambar 18. Carbon Fiber. 35	5
Gambar 19. Cetakan	
Gambar 20. Resin dan Katalis	5
Gambar 21. Motor Vacuum	7
Gambar 22. Dimensi Spesimen Uji ASTM D638-03	7
Gambar 23. Mesin Uji Tarik Hung Ta HT-2402	
Gambar 24. Diagram Alir Penelitian	2
Gambar 25. Diagram Alir Perlakuan Kimia	3
Gambar 26. Diagram Alir Pembuatan Spesimen	ļ
Gambar 27. Spesimen Hasil Uji Tarik CNT 1 M (a) Sampel Nomor 1, (b) Sampel	
Nomor 2, dan (c) Sampel Nomor 3	5
Gambar 28. Foto Makro Spesimen Hasil Uji Tarik CNT 1 M (a) Sampel Nomor 1,	
(b) Sampel nomor 2, dan (c) Sampel Nomor 3	
Gambar 29. Spesimen Hasil Uji Tarik CNT 3 M (a) Sampel Nomor 1, (b) Sampel	
Nomor 2, dan (c) Sampel Nomor 3	
Gambar 30. Foto Makro Spesimen Hasil Uji Tarik CNT 3 M (a) Sampel Nomor 1,	
Sampel Nomor 2, dan (c) Sampel Nomor 3	5
Gambar 31. Spesimen Hasil Uji Tarik Variasi 5 M (a) Sampel Nomor 1, (b)	
Sampel Nomor 2, dan (c) Sampel Nomor 3	
Gambar 32. Foto Makro Spesimen Hasil Uji Tarik CNT 5 M (a) Sampel Nomor 1,	
(b) Sampel Nomor 2, dan (c) Sampel Nomor 3	
Gambar 33. Grafik Tegangan Regangan CarbonCNT 1 M	3

Gambar 34. Grafik Tegangan Regangan CarbonCNT 3 M Error! Bookmark not
defined.
Gambar 35. Grafik Tegangan Regangan CarbonCNT 5 M. Error! Bookmark not
defined.
Gambar 36. Grafik Tegangan Rata-Rata pada Komposit <i>Carbon</i>
Fiber/CNT/Epoxy54
Gambar 37. Grafik Regangan Rata – Rata pada Komposit <i>Carbon</i>
Fiber/CNT/Epoxy55
Gambar 38. Grafik Modulus Elastisitas pada Komposit Carbon Fiber/CNT/Epoxy.
Gambar 39. Hasil SEM CarbonCNT 1 M perbesaran 50x 57
Gambar 40. Hasil SEM CarbonCNT 5 M perbesaran 50x
Gambar 41. Hasil SEM CarbonCNT 1 M perbesaran 1000x
Gambar 42. Hasil SEM CarbonCNT 5 M perbesaran 1000x
Gambar 43. Hasil SEM CarbonCNT 1 M perbesaran 5000x
Gambar 44. Hasil SEM CarbonCNT 5 M perbesaran 5000x
Gambar 45. Hasil SEM CarbonCNT 1 M perbesaran 10000x
Gambar 46. Hasil SEM CarbonCNT 5 M perbesaran 10000x

DAFTAR TABEL

H	lalaman
Tabel 1. Spesifikasi multi walled carbon nanotube	31
Tabel 2. Spesifikasi hot plate magnetic stiter	32
Tabel 3. Spesifikasi timbangan	33
Tabel 4. Spesifikasi pH meter	34
Tabel 5. Spesifikasi oven	34
Tabel 6. Spesifikasi carbon fiber	35
Tabel 7. Spesifikasi cetakan	36
Tabel 8. Spesifikasi resin dan katalis	36
Tabel 9. Spesifikasi motor vacuum	37
Tabel 10. Spesifikasi Mesin Uji Tarik Hung Ta HT-2402	38
Tabel 11. Komposisi dispersi CNT	39
Tabel 12. Data Hasil Uji Tarik Komposit	41
Tabel 13. Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Epoxy/Carbon Fiber/CN7	Γ 1 M 49
Tabel 14. Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Epoxy/Carbon Fiber/CN7	Γ3 M 51
Tabel 15. Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Epoxy/Carbon Fiber/CN7	Г 5 М 53

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Saat ini perkembangan didunia industri di Indonesia berkembang secara cepat, terutama pada bidang industri penerbangan salah satu teknologi UAV. Teknologi pesawat *unnamed aerial vehicle* (UAV) dapat diaplikasikan di Indonesia yang memiliki luas wilayah yang besar. Oleh karena itu *unnamed aerial vehicle* diperlukan untuk pemetaan bidang tanah secara cepat dengan kondisi topografis dan geografis di Indonesia. Penggunaan *unnamed aerial vehicle* adalah solusi dalam mendapatkan hasil data dengan efektif dan efisien (Utomo, 2017).

Unnamed aerial vehicle atau sering juga dikenal dengan pesawat tanpa awak merupakan sebuah teknologi dengan menggunakan mesin yang dapat terbang yang dapat dikendalikan pilot dari jarak jauh atau mampu terbang secara otomatis yang memerlukan hukum aerodinamika untuk membuat dirinya terangkat, dan dapat membawa muatan senjata, muatan kamera dan muatan lainnya. Dahulu pesawat tanpa awak atau unnamed aerial vehicle biasanya digunakan untuk memata-matai musuh di daerah konflik oleh tentara militer (Suroso, 2016).

Di Indonesia ada beberapa perusahaan yang mengembangkan dan membuat pesawat tanpa awak, PT. Dirgantara Indonesia sedang mengembangkan pesawat pesawat tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang dinamakan Wulung yang dapat dikemudikan dari jarak jauh menggunakan

remote control atau otomatis. Selain PT. Dirgantara Indonesia, Pusat Teknologi Penerbangan – LAPAN mengembangkan teknologi UAV sejak tahun 2011. Bahan utama struktur pesawat tanpa awak terbentuk oleh komposit dan sebagian kecil dari aluminium. Komposit digunakan karena komposit memiliki kekuatan yang baik, lebih ringan jika dibandingkan dengan logam, dan mudah untuk dimanufaktur (Abdurohman dkk, 2014).

Selain itu, pertimbangan menggunakan komposit dalam pembuatan pesawat UAV yaitu berdasarkan pada rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, tahan terhadap *fatigue*, dan dapat dengan mudah mendapatkan sifat mekanik sesuai yang diinginkan (Satish *et al*, 2010).

Komposit ialah pencampuran dari dua bahan material atau lebih yang memiliki fasa yang berbeda menjadi sebuah material yang baru dengan memiliki sifat material yang lebih baik dari material mentah tersebut. Material komposit telah digunakan diberbagai bidang industri otomotif, industri peralatan rumah tangga dan juga industri pesawat terbang (Hendriwan dan Arifin, 2014). Komposit yang sering digunakan sebagai struktur dari badan pesawat, kapal laut, dan juga otomotif merupakan komposit dengan matriks resin *termosetting* dan menggunakan penguat (*reinforcement*) serat kontinyu (Yeung *and* Rao, 2014).

Salah satu jenis matriks polimer *termosetting* sering digunakan pada pembuatan komposit struktur dari badan pesawat ialah resin *epoxy*. *Epoxy* memiliki kelebihan seperti kuat dan daya rekat pada serat, ketahanan terhadap aus, dan ketahanan terhadap beban kejut yang lebih baik daripada jenis resin yang lainnya. Resin *epoxy* juga memiliki modulus tinggi *chemical resistant*, dan ketahanan thermal. Resin *epoxy* dapat digunakan untuk membuat panel sirkuit cetak, *molding* (cetakan) dan tangki (Hartomo, 1996).

Penguat (*reinforcement*) dengan serat kontinyu yang sering digunakan dalam pembuatan pesawat UAV yaitu ada yang terbuat dari matriks polimer

dengan dipadukan *glass fiber* yang dikenal sebagai *glass fiber reinforced* polymer (GFRP) dan *carbon fiber* yang dikenal sebagai *carbon fiber reinforced* polymer (CFRP) (Abdurohman dan Wardono, 2015).

Penggunakan *carbon fiber* pada pesawat UAV digunakan karena *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) memiliki beberapa keunggulan sifat mekanik seperti memiliki kekuatan tarik yang tinggi sebesar 2800 MPa, mempunyai kekakuan yang cukup tinggi karena modulus elastisitasnya sebesar 165.000 MPa, memiliki penampang yang ringan dengan berat 1,5 g/cm³, tidak mudah mengalami korosi dikarenakan CFRP terbuat dari bahan non logam (Budiwirawan, 2010).

Carbon fiber dapat sebagai alternative serat grafit. Carbon fiber merupakan material yang tersusun dari serat - serat yang tipis sekitar 0,005-0,010 mm yang mayoritas tersusun oleh atom karbon. Atom karbon yang terikat bersama kristal mikroskopis yang lebih atau kurang sesuai sejajar dengan sumbu panjang serat. Carbon fiber memiliki beberapa pola menenun yang berbeda dan dapat dikombinasikan dengan resin atau bahan lain untuk membentuk material komposit seperti resin epoksi dikombinasikan dengan carbon fiber (Sutrisno, 2002).

Menurut Gou *et al* (2009) penambahan CNT pada komposit dapat meningkatkan kekuatan mekanik, karena CNT memiliki sifat mekanik, sifat termal dan sifat elektrik yang sangat baik. Pada penelitian yang telah dilakukan penambahan jenis *single walled carbon nanotube* sebanyak 0,1-0,2% dari berat matriks dan penambahan jenis *multi walled carbon nanotube* sebanyak 5-20% dari berat matriks dapat meningkatkan konduktivitas eletrik dari matriks PVC dengan distribusi yang merata dan dapat meningkatkan sifat mekanik dengan cukup signifikan (Broza *et al*, 2007).

Menurut Kanagaraj *et al* (2009) pemanfaatan *carbon nanotube* yang efektif, tergantung dari kemampuan dalam menyebarkan *carbon nanotube* secara homogen pada matriks tanpa merusak integritasnya.

Menurut Esumi *et al* (1995) yaitu sebelum dilakukan pencampuran antara *carbon nanotube* dengan matriks yang digunakan, diperlukan proses perlakuan kimia atau bisa juga disebut dengan dispersi atau juga fungsionalisasi pada *carbon nanotube*, karena akan terjadi ikatan yang lebih baik pada saat pencapuran antara *carbon nanotube* dengan polimer dan juga akan terjadi peningkatan transfer beban.

Pada penelitian Shamsuddin *et al* (2016) tentang perlakuan asam nitrat *multi* walled carbon nanotubes yang dioptimalkan dengan metode Taguchi. Proses dispersi dilakukan pencampuran MWCNT sebanyak 2.5 gr dicampur dengan beberapa variasi konsentrasi asam nitrat yaitu 2.5 M, 5 M dan 8 M dan dengan variasi waktu sebanyak 2 jam, 6 jam dan 24 jam. Kesimpulan pada penelitian ini yaitu konsentrasi asam nitrat dan juga waktu dispersi memiliki pengaruh pada produksi COOH. Dengan perlakuan menggunakan asam nitrat dengan kadar 8 M pada suhu 120 °C selama 2 jam dapat mengoptimalkan jumlah COOH.

Pada penelitian Aviles *et al* (2009) tentang evaluasi *mild acid oxidation* untuk fungsionalisasi, *multi walled carbon nanotubes* dilakukan dengan menggunakan variasi asam nitrat, asam sulfat dan kombinasi asam nitrat dan asam sulfat. Asam Nitrat yang digunakan sebesar 3 M dan 8 M. Proses fungsionalisasi dilakukan dengan mencampurkan MWCNT dengan 70 ml larutan asam dan diaduk dengan menggunakan *hot plate magnetic stirer* selama 15 menit pada temperatur 60 °C. Setelah proses pencampuran dengan larutan asam dilakukan pencucian dengan aquades lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 150 °C selama 4 jam. Kesimpulan yang didapat pada penelitian tersebut yaitu konsentrasi asam yang lebih rendah dan waktu fungsionalisasi yang singkat dapat meminimalkan kerusakan CNT dan dapat memfungsikan CNT

secara efisien. Penggunaan MWCNT juga dapat meminimalkan kerusakan pada tabung nano.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wibisono (2012) tentang Pengaruh Penambahan CNT pada Kekuatan Mekanik Komposit Serat Tanda Kosong Kelapa Sawit dengan resin Epoxy, dilakukan proses perlakuan kimia dengan metode *mild acid oxidation*. Dimana pada proses tersebut cairan yang digunakan yaitu asam nitrat HNO₃ dengan konsentrasi sebesar 3 M. Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian tersebut yaitu proses dispersi *mild acid oxidation* pada permukaan carbon nanotube dapat memberikan gugus OH tanpa merusak ukuran dan struktur CNT.

Berdasarkan uraian diatas, untuk melihat pengaruh kandungan asam nitrat terhadap CNT yang akan dibentuk menjadi komposit pada proses dispersi, maka akan dilakukan penelitian mengenai perlakuan kimia dengan menggunakan asam nitrat (HNO₃) dengan konsentrasi sebesar 1 M, 3 M, dan 5 M. Untuk mengetahui kekuatan dari komposit dan mengetahui pengaruh perlakuan dengan menggunakan asam nitrat maka diperlukan pengujian mekanik yaitu dengan pengujian tarik dengan menggunakan standar ASTM D638-03. Lalu untuk mengetahui mekanisme kegagalan dari komposit dan maka dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM).

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada peneletian kali adalah sebagai berikut:

- Mengetahui dan menganalisis pengaruh perlakuan permukaan partikel carbon nanotube (CNT) dengan menggunakan asam nitrat terhadap kekuatan tarik komposit hybrid carbon fiber/CNT/epoxy.
- 2. Mengetahui dan menganalisis mekanisme kegagalan komposit *hybrid* carbon fiber/CNT/epoxy menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM).

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1. Perlakuan permukaan pada partikel *carbon nanotube* (CNT) menggunakan asam nitrat dengan variasi 1 M, 3 M, dan 5 M.
- 2. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini berupa CNT yaitu jenis Jenis filler MWCNT (*Multi Walled Carbon Nanotube*).
- 3. Penguat (*Reinforcement*) yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *carbon fiber* dengan jenis *Polyacrylonitrile* (PAN) *woven carbon fiber*.

1.4. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab I ini memuat latar belakang penelitian mengenai komposit *carbon fiber*/CNT/*epoxy*, tujuan dari penelitian, batasan - batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab II ini menjelaskan beberapa teori seperti komposit, komponen komposit, *carbon nanotube*, *sifat fisik carbon nanotube carbon nanotube* sebagai *filler*, *carbon fiber* sebagai serat, *epoxy* sebagai matriks, metode pembuatan komposit, pengujian tarik dan *scanning electron microscope*.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada Bab III berisi materi dalam metode penelitian seperti waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan fungsionalisasi, alat dan bahan pembuatan spesimen, alat dan bahan pengujian tarik, prosedur fungsionalisasi, prosedur pembuatan spesimen uji, diagram alir penelitian, diagram alir fungsionalisasi dan diagram alir pembuatan spesimen.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab IV ini terdapat data-data yang didapat dari penelitian, menjelaskan tentang gambar hasil pengujian tarik, data hasil pengujian, dan pengamatan *scanning electron microscope*.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab V ini dijelaskan simpulan dan saran.

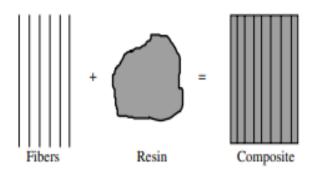
Daftar Pustaka

Lampiran

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Komposit merupakan suatu bahan yang dibentuk oleh campuran dari dua atau lebih bahan pembentuknya dengan sifat mekanik yang berbeda. Pembentukan komposit dilakukan untuk menghasilkan kombinasi sifat mekanik dan sifat yang berbeda dengan bahan pembentuknya. Proses pembentukan dengan pencampuran secara merata dapat merencanakan kekuatan dan sifat mekanik material komposit yang diinginkan sesuai dengan mengatur campuran material pembentuk komposit. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini, komposit dapat diartikan sebagai kombinasi material dari dua atau lebih bahan yang komposisinya berskala makro, dengan dua atau lebih fasa yang berbeda yang mempunyai ikatan antaramuka antara dua atau lebih komponen tersebut (Mazumdar, 2002).



Gambar 1. Komposit (Mazumdar, 2002).

Komposit secara umum dapat dibagi menjadi dua tingkatan berbeda. Pada kelompok pertama berdasarkan pada penguat. Kelompok komposit pertama yaitu penguat sepihan, penguat partikel, penguat laminat dan penguat serat. Kelompok kedua berdasarkan pada matriksnya. Kelompok komposit kedua yaitu komposit dengan matriks metal (*Metal Matrix Composite*), komposit dengan matriks keramik (*Ceramic Matrix Composite*) dan komposit dengan matrix polimer (*Polymer Matrix Composite*). Pada kelompok kedua.

2.2. Komponen Komposit

Komposit tersusun oleh dua komponen antara matriks dengan penguat (*reinforcement*). Adapun pengertian dari komponen penyusun komposit adalah sebagai berikut:

2.2.1. Penguat (*reinforcement*)

Reinforcement merupakan material penguat pada komposit yang berguna untuk meningkatkan kekuatan dan kekokohan dikarenakan pada saat proses pengujian tarik, sifatnya tertarik sebagian saat terjadi deformasi. Namun komposit dapat dicampur dengan penambahan pengisi (filler), setiap penambahan filler dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit. Orientasi dan kandungan penguat (reinforcement) akan menentukan kekuatan mekanik dari komposit. Perbandingan antara penguat (reinforcement) dan matriks juga merupakan faktor yang sangat menentukan dalam memberikan karakteristik sifat mekanik dari material hasil.

Komposit berdasarkan penguat (*reinforcement*) dapat dibedakan menjadi beberapa jenis sesuai dengan unsur penyusun materialnya yaitu sebagai berikut:

1. Komposit Serpihan

Komposit serpihan dibuat dengan cara mencampurkan serpihan tipis ke dalam matriksnya. Komposit serpihan biasanya diletakkan secara acak, tetapi komposit serpihan juga dapat diletakkan secara beraturan. Contoh serpihan yang sering digunakan adalah logam, karbon, mika, dll.

2. Komposit Partikel

Komposit partikel atau sering dikenal dengan serbuk adalah jenis komposit yang mencampurkan partikel menjadi penguatnya lalu secara bersamaan didistribusikan dalam matriks. Komposit partikel dapat terbentuk oleh satu atau lebih material yang digabungkan dalam suatu matriks dengan material serat sehingga komposit tersebut bisa disebut juga dengan komposit *hybrid*. Jenis partikel yang biasa digunakan seperti logam maupun non logam. Adapun keuntungan dalam komposit partikel adalah dapat meningkatkan kekuatan material, kekuatan yang terdistibusi merata disegala arah. Komposit ini contohnya yaitu serbuk karbon hitam distribusikan secara merata pada matriks polimer.

3. Komposit Laminat

Komposit laminat merupakan komposit yang terbentuk dari dua atau lebih lapisan dan material penguat (*reinforcement*) yang digabungkan menjadi satu. Setiap lapisan komposit memiliki sifat tersendiri, salah satu aplikasinya yaitu *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya.

4. Komposit Serat

Komposit serat merupakan komposit yang tersusun dari matriks dan serat. Serat yang digunakan terdapat dua tipe serat yaitu serat sintetis dan alam. Serat sintetis yang banyak digunakan yaitu *carbon*, *fiberglass*, *nylon*. dan masih banyak lagi. Serat alam ialah serat yang didapat dari alam, serat organik biasanya berasal dari tumbuh – tumbuhan. Beberapa serat alam telah banyak digunakan, seperti bagas, ijuk, tandan kosong kelapa sawit, eceng gondok, sabut kelapa dan masih banyak lagi. Berdasarkan ukuran serat komposit serat

dibagi menjadi komposit dengan serat panjang dan dan komposit dengan serat pendek. Komposit berserat panjang sering diorientasikan pada komposit continyu, sedangkan pada komposit berserat pendek ini dapat didistribusikan secara acak. Jika berdasarkan penempatannya komposit memiliki beberapa tipe yaitu:

a. Continuous Fiber Composite

Continuous fiber composite memiliki susunan serat lurus dan panjang, membentuk laminat diantara matriks. Komposit dengan penguat serat jenis ini paling banyak digunakan dalam pembentukan komposit. Kekurangan dari jenis serat continuous fiber composite ini adalah kekuatan pada tiap lapisan sangat lemah. Hal tersebut terjadi akibat antar lapisan kekuatannya dipengaruhi oleh matriksnya.

b. Chopped Fiber Composite

Chopped fiber composite merupakan jenis komposit dengan penguat serat dengan serat pendek.

c. Woven Fiber Composite

Woven fiber composite memiliki susunan serat yang mengikat setiap lapisan, sehingga pemisahan antar lapisan tidak mudah terjadi. Akan tetapi kekuatan dan kekakuannya tidak sebaik tipe continuous fiber, akibat susunan serat memanjangnya tidak begitu lurus.

d. Hybrid Fiber Composite

Hybrid fiber composite adalah komposit yang menggabungan antara tipe serat acak dan serat lurus. Penggunaan komposit jenis ini dikarenakan dapat meminimalisir kekurangan sifat dari kedua tipe dan dapat menggabungkan kelebihannya.

2.2.2. Matriks

Matriks merupakan material penyusun komposit yang berperan untuk menjaga penguat (*reinforcement*) tidak berubah tempat di dalam struktur, untuk membantu mendistibusikan beban, untuk mengontrol sifat kimia dan elektrik dari komposit. Matriks memiliki beberapa jenis yang digunakan dalam pembuatan komposit yaitu matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik. Adapun penjelasan mengenai jenis – jenis matriks adalah sebagai berikut (Callister *and* Rethwisch,2014):

1. Metal Matrix Composite (MMC)

Metal matrix composite (MMC) merupakan komposit dengan matriks atau material pengikatnya dibentuk oleh bahan logam. Komposit ini biasanya diaplikasikan pada suhu yang lebih tinggi daripada logam dasar. Penguat (reinforcement) dapat meningkatkan kekerasan spesifik, ketahanan abrasi, kekuatan spesifik, dan konduktivitas termal. Komposit dengan matriks logam memiliki keungggulan kekuatan dan ketahanan terhadap aus. **Komposit** dengan menggunakan matriks berbahan logam memiliki beberapa dibandingkan dengan keunggulan iika komposit dengan menggunakan matriks berbahan polimer, yaitu tahan dengan temperatur tinggi, sehingga dapat digunakan pada temperatur tinggi, tidak mudah terbakar.

Namun, komposit dengan menggunakan matriks logam mempunyai kekurangan yaitu komposit dengan matriks logam memiliki biaya fabrikasi yang mahal jika dibandingkan dengan komposit dengan matriks polimer. Oleh karena, penggunaan komposit dengan matriks logam sangat terbatas.

2. Ceramic Matrix Composite (CMC)

Ceramic matrix composite (CMC) merupakan komposit dengan matriks atau bahan pengikatnya terbentuk oleh bahan keramik. Komposit dengan matriks keramik melekat terhadap oksidasi dan kerusakan pada suhu tinggi, sehingga menyebabkan fraktur getas. Komposit dengan matriks keramik akan menjadi sangat baik diaplikasikan pada suhu tinggi dan tekanan berat, khususnya untuk komponen dalam komponen mobil dan mesin pesawat turbin gas. Komposit dengan matriks keramik memiliki beberapa keuntungan yaitu material keramik memiliki nilai young modulus yang tinggi, material keramik tahan pada temperatur tinggi, material keramik memiliki karakteristik permukaan yang tahan aus. Namun komposit dengan matriks keramik juga memiliki kekurangan seperti biaya pembuatan komposit keramik relatif mahal, dan pembuatan komposit keramik memerlukan banyak waktu dan alat sehingga kurang efektif untuk digunakan.

3. *Polimer Matrix Composite* (PMC)

Polimer matrix composite (PMC) yaitu jenis komposit dengan matriks atau bahan pengikatnya terdiri dari resin polimer. Jenis komposit ini juga dikenal sebagai komposit yang diperkuat serat atau fibre reinforced polymers of plactics (FRP). Material ini menggunakan polimer yang terbuat dari bahan resin sebagai matriksnya, dan suatu jenis serat seperti carbon fiber atau glass fiber sebagai penguatnya.

Pada komposit dengan matriks polimer paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Contoh matriks polimer yaitu seperti, *propilena, erilena, isobutilena*, dan *butadiena*. Secara umum matriks polimer dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

a. Polimer Termoplastik

Polimer termoplastik ialah jenis polimer yang harus dipanaskan selama proses pembentukan. Plastik tersebut akan mengeras jika didinginkan atau bisa disebut juga proses bersifat *reversible*. Termoplastik memiliki keunggulan yaitu memiliki sifat isolator yang baik, dapat dibentuk tanpa menggunakan katalis, tahan

terhadap cracking yang tinggi, dan memiliki ketahanan pada temperatur hingga 260°C. Namun termoplastik memiliki sulit kekurangan dicampurkan dengan yaitu penguat (reinforcement) dikarenakan termoplastik memiliki viskositas dan kekuatannya yang tinggi. Adapun contoh-contoh dari termoplasik antara lain: polyethylene (PE), polystyrene (PS), polypropylene (PP), polycarbonate (PC), polymethtyl metchacrylate (PPMA), polyvinyl chloride (PVC), polyvinyl acelal, polyvinyl asetat, dan polyamide (Nylon).

b. Polimer Termoset

Polimer termoset merupakan plastik yang banyak diaplikasikan pada pembentukan komposit dengan penguat serat. Polimer termoset adalah jenis plastik yang akan mengeras jika dipanaskan, tetapi jika dipanaskan lebih lanjut tidak akan melunak, yang sering dikenal dengan proses pengerasannya bersifat irreversible. Termoset memiliki rantai molekul yang saling berhubungan bahkan jika mengalami pemanasan dan penekanan, masing-masing molekul tidak akan saling bergerak relatif. Termoset memiliki keunggulan yaitu ikatan serat dengan baik, viskositas yang rendah, adhesi yang baik dengan serat, kekuatan yang lebih tinggi, memiliki harga material yang murah, dan memiliki stabilitas dimensi yang lebih baik tetapi lebih rapuh jika dibandingkan dengan polimer termoplastik. Adapun contoh-contoh dari termoset antara lain: polyester, silikon, melamin, polyamide, resin phenolic, resin epoksi.

2.3. Carbon Nanotube

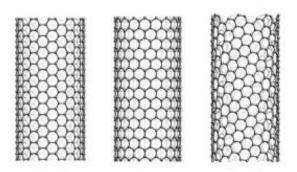
Carbon nanotube pertama kali ditemukan pada tahun 1985 oleh Richard E Smalley, Robert F Curl Jr (Rice Universit y, Houston, Amerika Serikat) dan Sir Harold W Kroto (University of Sussex, Brighton, Inggris) yang telah menemukan bentuk struktur karbon murni yang tersusun dari 60 atom karbon (C_{60}). Sampai saat ini, hanya ada dua bentuk struktur murni yang diketahui yaitu grafit dan intan. Struktur karbon murni (C_{60}) ini disebut *Buckminsterfullerene* atau bisa disebut juga dengan *Bucky ball*.

Molekul C₆₀ umumnya dikenal dengan *fullerene*, dan penemuan *fullerene* ini telah menyebabkan penemuan baru yang disebut *carbon nanotube* (CNT). *Carbon Nanotube* memiliki struktur yang mirip dengan *fullerene*. Perbedaannya terlihat melalui atom karbonnya, pada *fullerene* mempunyai struktur berbentuk bola. Namun, pada *carbon nanotube* mempunyai struktur berbentuk silinder yang setiap ujungnya ditutupi dengan atom yang struktur setengah *fullerene* (Hill *and* Petrucci, 2002).

Carbon nanotube jika dilihat dari jumlah dindingnya, dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu sebagai berikut :

2.3.1. Single-Walled Carbon Nanotube (SWCNT)

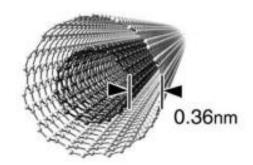
Single-walled carbon nanotube memiliki struktur dengan diameter dari 0,4 nm dan 2.5 nm dengan panjang mulai dari beberapa mikrometer hingga beberapa milimeter seperti yang digambarkan pada gambar 2 dibawah ini. Single-walled carbon nanotube mempunyai bentuk struktur yang berbeda yaitu bentu Zig-zag, armchair, dan helical type. Carbon nanotube ini memiliki sifat unggul dibandingkan dengan multi walled carbon nanotube. Tetapi single-walled carbon nanotube lebih sulit didapat jika dibandingkan dengan multi walled carbon nanotube. Dikarenakan single walled carbon nanotube memiliki diameter yang sangat kecil, carbon nanotube jenis ini sering digunakan sebagai hydrogen storage untuk fuel cell.



Gambar 2. Single Walled Carbon Nanotube (Ijima, 2002).

2.3.2. Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT)

Multi Walled Carbon Nanotube terdiri dari Single Walled Carbon Nanotube yang tersusun secara aksial konsentris dengan jarak antar SWCNT sebesar 0,36 nm seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 dibawah ini. Multi Walled Carbon Nanotube memiliki jumlah lapisan yang bervariasi dari dua hingga beberapa puluh lapisan, memungkinkan diameter eksternalnya mencapai 100 nm. Aplikasi carbon nanotube jenis Multi Walled Carbon Nanotube biasanya digunakan sebagai penguat walaupun penggunaannya tidak sebaik SWCNT.



Gambar 3. Multi Walled Carbon Nanotube (Ijima, 2002).

2.4. Sifat Fisik Carbon Nanotube

Carbon Nanotube memiliki beberapa keunggulan sifat fisik sehingga *carbon nanotube* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi di bidang industri.

Adapun sifat-sifat fisik dan pemanfaaatan *carbon nanotube* antara lain adalah sebagai berikut (Yu *et al*, 2001):

a. Konduksi elektronik besar

Carbon nanotube dapat meningkatkan konduktivitas elektriknya jika carbon nanotube tersebut ditambahkan ke dalam polimer (resin) dengan jumlah kecil. Hal ini dapat memungkinkan pengerjaan eletrostatic painting dalam proses pelapisan suku cadang aftermarket otomotif.

b. Kekuatan mekanik yang besar

Carbon nanotube dengan jenis single-walled carbon nanotube memiliki kekuatan tarik sebesar 50-100 GPa dan bilangan modulus young 1-2 TPa, sedangkan carbon nanotube dengan jenis multi walled carbon nanotube memiliki kekuatan tarik sebesar 11-63 GPa dan bilangan modulus young sebesar 270-950 GPa.

c. Ratio L/d yang tinggi

Perbandingan antara panjang dan ukuran diameter serat yang tinggi sehingga *carbon nanotube* dapat diaplikasikan sebagai bahan komposit.

d. Carbon nanotube dapat digunakan sebagai pelapis anti-statis

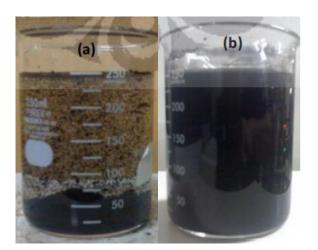
Pelapis anti statis berfungsi sebagai mencegah sensivitas berbahaya dari komponen elektronik ketika sedang dalam penyimpanan dan selama pengangkutan.

2.5. Dispersi Carbon Nanotube

Menurut Kanagraj *et al* (2007) dispersi *carbon nanotube* dalam matriks tanpa merusak integritasnya memiliki pengaruh yang besar terhadap penambahan *carbon nanotube* pada komposit dengan menggunakan matriks polimer. Produk *carbon nanotube* yang didapat umumnya mengandung pengotor, oleh karena itu dapat mengurangi kemampuan *carbon nanotube*

sebagai material yang kompabilitas atau kemampuan suatu material untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan, juga tidak membahayakan tubuh dan sebagai material yang bersifat hidrofil (Smart *et al, 2006*). Maka untuk menghilangkan kandungan pengotor pada *carbon nanotube* dan menjaga kemurnian *carbon nanotube* diperlukan proses perlakuan oksidasi. Proses perlakuan oksidasif akan membentuk gugus karboksilat yang kemudian dapat bereaksi dengan gugus yang lebih reaktif (Bambagione *et al,* 2009).

yang dilakukan oleh Pada penelitian Wibisono (2012) proses fungsionalisasi dilakukan dengan cara mencampurkan carbon nanotube sebanyak 2 gr ke dalam larutan HNO₃ dengan konsentrasi 3 M sebanyak 500 ml. Lalu kemudian dilakukan pengadukan dengan menggunakan hot plate magnetic stirrer pada suhu 60 °C selama 15 menit. Setelah proses pengadukan selesai, proses selanjutnya hasil pengadukan digetarkan dengan menggunakan water bath sonicator selama 2 jam. Campuran carbon nanotube dalam larutan HNO₃ sebelum dilakukan proses sonikasi cenderung mengalami aglomerisasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 (a) dibawah. Namun setelah campuran carbon nanotube dalam larutan HNO3 setelah dilakukan proses sonikasi, aglomerat pada carbon nanotube tersebut terpisah sehingga menghasilkan dispersi yang lebih merata dalam larutan HNO₃ seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 (b) dibawah.



Gambar 4. Campuran CNT dalam Larutan HNO₃ (a) Sebelum Sonikasi dan (b) Sesudah Sonikasi (Wibisono, 2012).

Aglomerisasi dapat menyebabkan sebagian dari permukaan *carbon nanotube* tidak mengalami proses fungsionalisasi dikarenakan sebagian permukaan *carbon nanotube* tidak terpapar oleh larutan HNO₃. Lalu setelah proses sonikasi, proses fungsionalisasi dilanjutkan dengan menggunakan larutan H₂O₂ dengan kadar 30% dengan cara yang sama pada campuran *carbon nanotube* dan larutan HNO₃. Berdasarkan pada penelitian tersebut hasil fungsionalisasi dengan menggunakan metode *mild acid oxidation* berhasil memberikan gugus OH pada permukaan *carbon nanotube* tanpa merusak struktur dan tanpa merusak ukuran *carbon nanotube*.

2.6. Carbon Nanotube Sebagai Filler

Carbon nanotube memiliki sifat mekanik dan sifat elektrik yang dapat memicu pengembangan alat-alat nano-mekanik dan nano-elektrik. Konduktivitas listrik, elastisitas, kekuatan dan ketahanan komposit yang dihasilkan dapat meningkat secara signifikan dengan penambahan carbon nanotube (Bal and Samal, 2007). Penelitian yang telah dilakukan dimana single-walled carbon nanotube sebanyak 0,1 - 0.2% berat matriks dan untuk multi walled carbon nanotube sebanyak 5-20% berat matriks dapat meningkatkan konduktivitas eletrik dari matriks polyvinyl chloride yang terdistribusi secara homogen sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dengan baik (Broza et al, 2007.

Menurut Kanagaraj et al (2007) pengaruh pada panambahan carbon nanotube pada komposit dengan matriks polyethylene tergantung pada proses dispersitas carbon nanotube dalam matriks tanpa menghancurkan stuktur CNT tersebut. Menurut Tang et al (2003) secara umum ada beberapa cara untuk mendispersikan carbon nanotube dalam matriks polimer yaitu direct mixing, in situ polymerization, melt processing, and solution method. Perbedaan dari beberapa cara untuk mendispersikan yaitu pada proses direct blending

melibatkan pencampuran mekanis *carbon nanotube* dalam resin dengan viskositas rendah seperti epoksi, sedangkan pada proses *in situ polymerization* yaitu *carbon nanotube* ditambahkan kedalam matriks yang belum terpolimerisasi dan kemudian matriks di *curing* agar matriks tersebut terpolimerisasi.

Pada proses *melt processing* yaitu memanfaatkan sifat termoplastik yang mudah mencair pada temperatur yang relatif rendah, matriks yang telah mencair dicampurkan dengan *carbon nanotube* dengan sistem *double screw, slurry* yang terbentuk dimasukkan kedalam cetakan komposit. Pada proses *solution method* yaitu *carbon nanotube* dilarutkan dalam pelarut kemudian dicampur dengan matrik. Pelarut akan mempermudah carbon nanotube untuk terdispersi, setelah tercampur lalu dilakukan pengeringan cairan pelarut (solidifikasi). *Direct mixing* dan *in situ polymerization* umumnya digunakan pada matriks polimer termoset karena viskositas sebelum terpolimerisasi cukup rendah, sedangkan *melt mixing* dan *solution method* umumnya digunakan pada matriks polimer termoplastik.

2.7. Carbon Fiber Sebagai Serat

Carbon fiber merupakan material yang tersusun dari serat – serat dengan diameter 5-10 μm dengan sebagian besar susunannya terbentuk oleh atom karbon. Carbon fiber terbuat dari material polyacrylonitrile, pitch dan rayon. Proses pembuatan carbon fiber meliputi pemintalan, stabilisasi, karbonisasi, dan sizing. Setelah melalui proses karbonisasi dilanjutkan proses grafitisasi pada temperatur tinggi, lalu dilakukan proses penggulungan serat-serat karbon menjadi tow yang biasa digunakan atau ditenun mejadi bentuk anyaman. Ukuran tow pada carbon fiber memiliki beberapa macam variasi yaitu terdiri dari 3k, hingga 410k. Setiap 1 tow carbon fiber terdiri dari 3k adalah terdiri dari 3000 serat (Astasari, 2017).

Carbon fiber umumnya sering diaplikasikan pada otomotif, peralatan olahraga, konstruksi dan militer. Carbon fiber sering digunakan menjadi material reinforcement pada komposit, adapun kelebihan dari carbon fiber ini antara lain sebagai berikut:

- a. Memiliki kekuatan tarik, modulus elastisitas dan kekakuan yang tinggi.
- b. Memiliki *chemical resistance* dan toleransi temperatur yang tinggi
- c. Memiliki massa jenis yang kecil, sehingga komposit dengan carbon fiber akan lebih ringan jika dibandingkan dengan komposit dengan serat yang lain.
- d. Memiliki thermal expansion yang rendah.

Komposit dengan menggunakan *carbon fiber* memiliki kekuatan lima kali jika dibandingkan dengan baja untuk komponen struktur, komposit dengan menggunakan *carbon fiber* lebih ringan lima kali dari pada baja. Komposit dengan menggunakan *carbon fiber* juga tujuh kali lebih kuat jika dibandingkan dengan aluminium, komposit *carbon fiber* dua kali lebih kaku dan juga satu setengah lebih ringan daripada alumunium. Komposit *carbon fiber* dengan menggunakan resin sebagai matriksnya maka akan menjadi material yang paling tahan terhadap korosi (ASM, 2001).

2.8. Epoxy Sebagai Matriks

Epoksi atau epoksida merupakan salah satu polimer termoset yang terbentuk antara reaksi epoksi (resin) dan polyamine (pengeras/katalis). Epoksi merupakah *copolymer*, karena terbentuk dari dua komponen kimia yang berbeda. Pada umumnya epoksi diproduksi dari reaksi antara *bisphenol-A* dan *epichlorohydrin*. Seperti terlihat pada gambar 5 dibawah yang menunjukkan struktur resin epoksi yang tidak termodifikasi. Pengeras atau yang umumnya disebut katalis pada dasarnya terdiri dari strukur monomer polyamine seperti *triethylenetetramine* (TETA). Saat kedua bahan dicampurkan grup amine akan bereaksi dengan gugus epoksi, yang akan membuat polimer yang saling terikat

dengan baik. Fenomena ini dapat menyebabkan resin epoksi memiliki sifat fisik rigid dan kuat yang biasanya disebut dengan proses *curing* (Sitorus, 2009).

Gambar 5.Struktur *Epoxy* (Sitorus, 2009).

Proses *curing* dapat dilakukan dengan waktu yang ditentukan sesuai dengan jenis resin, katalis, komposisi resin-katalis dan cara menyesuaikan suhu. Ada beberapa kombinasi resin-katalis yang membutuhkan suhu yang cukup tinggi dan memakan waktu yang cukup lama, sedangkan ada juga beberapa kombinasi resin-katalis yang hanya membutuhkan suhu lingkungan dan waktu yang singkat. Resin epoksi memiliki sifat fisik yaitu kuat, rigid dan tahan terhadap air, selain itu resin epoksi juga memiliki sifat isolasi listrik yang tinggi. Resin epoksi banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti *coating*, cat dan perekat. Komponen pembentuk komposit pada berbagai industri seperti otomotif, perkapalan, penerbangan, dan elektronik.

2.9. Metode Pembuatan Komposit

Metode pembuatan komposit secara garis besar terbagi menjadi dua cara yaitu proses cetakan tertutup dan proses cetakan terbuka (AMSC, 2002).

2.9.1. Proses cetakan tertutup

Adapun beberapa proses pembuatan komposit dengan cetakan tertutup adalah sebagai berikut:

1. Injection Molding

Proses cetakan tertutup *injection molding* merupakan proses reaksi pencetakan cairan atau pelapisan dengan menggunakan tekanan tinggi. Mekanisme proses *injection molding* yaitu serat dan resin dimasukkan kedalam rongga bagian atas cetakan dan kondisi temperatur dijaga resin meleleh. Campuran resin cair dan serat

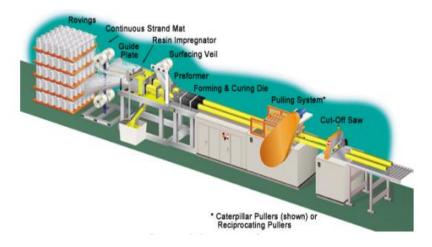
mengalir ke bawah dan diinjeksikan oleh madrel ke dalam cetakan sesuai arah *nozzle*.

2. Compression Molding

Proses cetakan tertutup dengan jenis *compression molding* dilakukan dengan menggunakan *hydraulic* yang berfungsi penekan. Adapun mekanisme dalam pencetakan komposit pada proses *compresion molding* yaitu serat yang telah tercampur resin dimasukkan kedalam rongga cetakan lalu kemudian dilakukan proses pemanasan dan proses penekanan. Setelah itu komposit selesai sesuai dengan bentuk cetakan.

3. Continious Pultrusion

Metode cetakan tertutup dengan jenis continious pultrusion merupakan metode dengan cara melewatkan serat melalui wadah berisi resin, kemudian secara terus menerus dituangkan kedalam cetakan dan dilakukan proses cure (diawetkan), lalu dilakukan proses pengerolan sesuai dengan dimensi yang diinginkan seperti yang terlihat pada gambar 6 dibawah ini. Fungsi dari cetakan yang digunakan untuk mengontrol kandungan resin, mengeraskan bahan menjadi bentuk akhir setelah melewati cetakan, dan melengkapi pengisian serat.



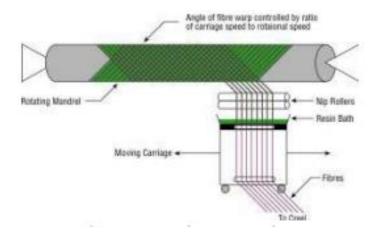
Gambar 6. Continious Pultrusion (AMSC, 2002).

2.9.2. Proses cetakan terbuka

Adapun beberapa proses pembuatan komposit dengan cetakan terbuka adalah sebagai berikut (AMSC, 2002):

1. Fillament winding

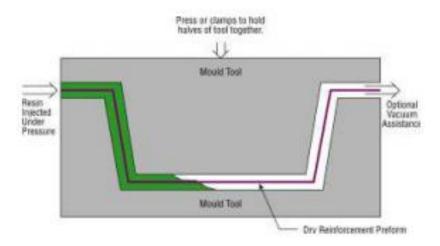
Proses cetakan terbuka *fillament winding*, mekanisme pembuatan kompositnya yaitu dengan cara melewatkan serat dengan tipe *roving* melalui wadah yang telah terisi resin, lalu kemudian serat diputar di sekitar manrel yang bergerak dua arah radial dan arah tangensial seperti terlihat pada gambar 7 dibawah ini. Proses ini dilakukan berulang-ulang hingga ketebalan lapisan yang diinginkan.



Gambar 7. Fillament winding (AMSC, 2002).

2. Pressure bag

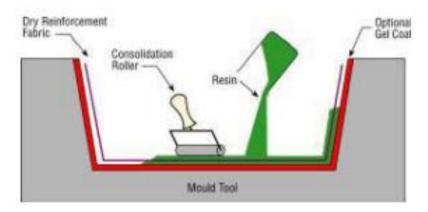
Proses cetakan terbuka *Pressure bag* dilakukan dengan cara memasukkan serat dan resin kedalam cetakan lalu digunakan udara bertekanan yang dimasukkan kedalam wadah elastis seperti yang terlihat pada gambar 8 dibawah ini. Tekanan yang diberikan pada proses *pressure bag* menggunakan tekanan sebesar 30 psi hingga 50 psi.



Gambar 8. Pressure bag (AMSC, 2002).

3. Hand lay-up

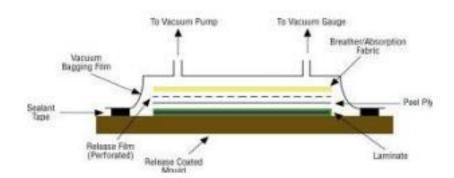
Proses cetakan terbuka hand lay-up merupakan salah satu metode cetakan terbuka yang sering digunakan dalam pembuatan komposit dikarenakan hand lay-up mudah dilakukan dan sederhana. Langkah pertama yaitu melapisi cetakan dengan pelapis (wax atau pva) untuk memudahkan ketika melepas komposit dari cetakan, setelah itu cairan resin diaplikasikan pada pelapis dengan menggunakan kuas. Kemudian lapisan pertama serat diletakkan di atas cairan resin yang telah dilapisi pada cetakan, kemudian melapiskan serat dengan cairan resin menggunakan kuas hingga rata. Langkah ini dilakukan terus menerus sampai diperoleh ketebalan yang diinginkan. Metode hand lay-up biasanya memiliki waktu curing pada suhu ruang dan kering tergantung pada jumlah resin, dan jenis resin serta katalis yang digunakan. Waktu curing dapat dipersingkat dengan injeksi udara panas. Pada saat melapisi resin diatas serat menggunakan kuas, kuas diberikan tekanan agar bertujuan untuk mengurangi void yang terperangkap dalam laminate komposit. Pada penelitian kali ini menggunakan metode hand lay-up seperti yang terlihat pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Hand Lay-Up (AMSC, 2002).

4. Vacuum bag

Proses cetakan terbuka *vacuum bag* merupakan penyempurnaan dari proses *hand lay-up*, karena vacuum bag berfungsi untuk menghilangkan udara (*void*) yang terperangkap di dalam resin dan menyerap kelebihan resin seperti yang ditunjukkan pada gambar 10 dibawah ini. Jika dibandingkan dengan proses cetakan terbuka *hand lay-up* proses ini memberikan penguatan konsentrasi yang tinggi, adhesi antar lapisan lebih baik, dan kontrol atas rasio volume komposit. Oleh karena itu pada penelitian kali ini, digunakan juga metode *vacuum bag* agar memperbaiki komposit.



Gambar 10. Vacuum bag (AMSC, 2002).

2.10. Pengujian Tarik

Pengujian tarik ialah salah satu metode pengujian material yang mendasar. Untuk melengkapi informasi rancangan dasar tentang kekuatan suatu material dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi material, oleh karena itu banyak dilakukan pengujian tarik rekayasa (Dieter, 1987). Salah satu metode pengujian kekuatan kekuatan suatu material dengan cara memberikan beban aksial adalah metode uji tarik (Askeland, 1985). Dalam pengujian tarik, hal ini dilakukan dengan spesimen uji dikenai gaya tarik aksial yang terus meningkat, sementara itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan spesimen uji (Davis *et al*, 1955).

Uji tarik merupakan pengujian suatu material yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material untuk menahan menerima beban tarik. Analisis pada kekuatan komposit biasanya dilakukan dengan asumsi adhesi yang baik dari matriks dan penguatnya. Uji tarik adalah uji mekanik statik dengan cara spesimen uji ditarik dengan pembebanan pada kedua ujung spesimen uji. Jika dilakukan uji tarik secara terus menerus hingga spesimen sampai putus. Setelah spesimen putus maka kita akan mendapatkan data seperti *tensile strength, stress strength, elastic modulus,* dan lain-lain.

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui tegangan, regangan dan modulus elastisitas bahan dengan cara menarik spesimen uji hingga putus. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik. Standar pengujian yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan standar ASTM D638-03.

Untuk mendapatkan nilai tegangan tarik, maka dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sesaui dengan standar ASTM D638-03 sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A}....(1)$$

Dimana $\sigma = \text{Tegangan (MPa)}$

P = Beban(N)

 $A = Luas penampang (mm^2)$

Besarnya regangan adalah perbandingan antara penambahan panjang setelah pembebanan terhadap dengan panjang daerah ukur (*gage length*). Nilai regangan ini merupakan regangan proporsional yang diperoleh dari garis. Sebanding dengan grafik tegangan hasil uji tarik. Seperti pada rumus dibawah ini menurut standar ASTM D638-03 sebagai berikut

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0}...(2)$$

Dimana ε = Regangan (mm/mm)

 ΔL = Penambahan panjang (mm)

 l_0 = Panjang daerah ukur (*gage length*) (mm)

Daerah dimana antara tegangan-regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi masih bersifat elastis dan masih berlaku *Hooke's law* adalah daerah proporsional. Perbandingan antara tegangan dan juga regangan pada daerah proporsional merupakan besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}....(3)$$

Dimana E = Modulus Elastisitas (MPa)

 $\sigma = \text{Regangan (mm/mm)}$

 $\varepsilon = \text{Tegangan (MPa)}$

2.11. Scanning Electron Microscope (SEM)

Electron microscope merupakan salah satu teknik pengujian yang digunakan untuk mengkarakterisasi material komposit. Electron microscope

dapat dibagi menjadi dua teknik utama, yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM). *Scanning electron microscopy* (SEM) merupakan jenis *Electron Microscope* yang paling banyak digunakan untuk mempelajari struktur mikroskopis dengan memindai permukaan bahan. *Scanning electron microscope* (SEM) memiliki perbesaran 10-3 juta kali, kedalaman bidang 4-0,4 mm dengan resolusi sebesar 1-10 nm. *Scanning electron microscope* (SEM) banyak digunakan untuk keperluan penelitian maupun industri dikarenakan kombinasi dari perbesaran yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi.

Prinsip kerja_scanning electron microscope (SEM) yaitu permukaan yang akan diperiksa, dipindai dengan pancaran berkas elektron dan pantulan dari elektron yang ditangkap. Lalu kemudian ditampilkan di atas tabung sinar katoda, dan bayangan muncul di atas lapisan yang menunjukkan gambaran permukaan dari spesimen uji.

Scanning electron microscope (SEM) memiliki keunggulan dan kelemahan. Keunggulan dari scanning electron microscope (SEM) antara lain kemampuannya untuk menggambarkan area yang relatif luas dan dengan resolusi yang tinggi. Sedangkan kelemahan scanning electron microscope (SEM) antara lain yaitu hanya menganalisa permukan, memerlukan kondisi vakum, resolusi lebih rendah dari transmission electron microscope (TEM) serta sampel yang digunakan harus bahan yang konduktif, jika sampel selain konduktor maka harus dilapisi emas. Scanning electron microscope (SEM) menampilkan morfologi bahan bentuk dan ukuran dari partikel penyusun, komposisi khususnya data kuantitatif unsur dan senyawa yang ada dalam bahan dan informasi kristalografi yaitu informasi mengenai tentang susunan dari partikel pada benda tersebut (Handayani, 2016).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat pada penelitian kali ini dilakasanakan pada:

Waktu : Bulan Maret 2021 – November 2021

Tempat : Proses dispersi carbon nanotube dan scanning electron

microscope dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra

Inovasi Teknologi Universitas Lampung.

Proses pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium

Komposit Universitas Lampung.

Proses pengujian tarik dilakukan di LIPI Tanjung Bintang.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini diklasifikasikan kedalam tiga kategori, yakni alat dan bahan untuk fungsionalisasi *Multi Walled Carbon Nanotube*, pembuatan spesimen uji, pengujian tarik. Adapun alat dan bahan yang digunakan tersebut meliputi:

3.2.1. Fungsionalisasi Multi Walled Carbon Nanotube.

Adapun alat dan bahan fungsionalisasi *Multi Walled Carbon*Nanotube pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Carbon nanotube

Carbon nanotube yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan carbon nanotube dengan jenis Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT) didapat dari US Research Nanomaterials, Inc. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 11 dengan tabel 1 yang menunjukkan Spesfikasi multi walled carbon nanotube dibawah ini.



Gambar 11. Multi Walled Carbon Nanotube.

Tabel 1. Spesifikasi multi walled carbon nanotube

Kemurnian	95 wt%
Diameter Luar	< 7 nm
Diameter Dalam	2-5 nm
Massa Jenis	0,27 g/cm ³
Panjang	10-30 μm (TEM)

2. Hot plate magnetic stiter.

Hot plate magnetic stiter digunakan pada proses fungsionalisasi agar campuran carbon nanotube dengan larutan kimia tercampur dengan rata. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 12 dan tabel 2 spesifikasi hot plate magnetic stirer dibawah ini.



Gambar 12. Hot plate magnetic stiter.

Tabel 2. Spesifikasi hot plate magnetic stiter

Kontrol Kecepatan Elektronik	50-1200 rpm
Pengaturan Panas	Suhu ruangan hingga 370 °C
Diameter Pelat Pemanas	155 mm
Daya	630 watt
Berat	2.9 kg

3. Timbangan.

Timbangan digunakan untuk menimbang berat *carbon nanotube* yang akan dilakukan fungsionalisasi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 13 dan tabel 3 spesifikasi timbangan dibawah ini.



Gambar 13. Timbangan.

Tabel 3. Spesifikasi timbangan

Ketelitian	0,001 gr
Dimensi	200 x 327 x 260 mm

4. Cairan HNO_{3.}

Cairan HNO₃ yang didapat dari Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi dan Teknologi digunakan dengan kadar sebesar 65%. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 15 dibawah ini.



Gambar 14. Cairan HNO_{3.}

5. Cairan H₂O₂.

Cairan H₂O₂ yang didapat dari Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi dan Teknologi digunakan dengan kadar sebesar 30%. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 14 dibawah ini.



Gambar 15. Cairan H₂O_{2.}

6. PH meter.

PH meter digunakan untuk mengukur *pH* aquades hasil pencucian *carbon nanotube*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 16 dan tabel 4 spesifikasi *ph meter* dibawah ini.



Gambar 16. PH meter.

Tabel 4. Spesifikasi pH meter

Akurasi	±0.01 pH
Temperatur	±0.4 °C
Dimensi	230 x 160 x 95 mm
Berat	0.9 kg

7. Oven.

Oven untuk mengeringkan *carbon nanotube* yang telah dilakukan fungsionalisasi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 17 dan tabel 5 spesifikasi o*ven* dibawah ini.



Gambar 17. Oven.

Tabel 5. Spesifikasi oven

Model	J-300S
Daya	AC 230V
Pemanas	1200W

3.2.2. Pembuatan Spesimen Uji

Adapun alat dan bahan pembuatan spesimen uji pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Carbon Fiber

Carbon fiber yang digunakan pada penelitian kali ini didapat dari Carbon Composites. Seperti yang digunakan pada gambar 18 dan tabel 6 spesifikasi carbon fiber dibawah ini.



Gambar 18. Carbon Fiber.

Tabel 6. Spesifikasi carbon fiber

Туре	2x2 Twill 3K
Berat	200 gsm
Tensile Strength	3800 MPa
Density	1.8 g/cm ³

2. Cetakan

Cetakan yang digunakan dalam mencetak komposit dengan menggunakan cetakan terbentuk dari kaca yang dilapisi akrilik. Cetakan tersebut digunakan bertujuan untuk mendapatkan permukaan spesimen yang rata, spesimen dibuat sesuai dengan ukuran cetakan lalu spesimen dipotong menggunakan gerinda sesuai dengan ukuran standar yang digunakan yaitu ASTM D638-03. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 19 dan tabel 7 spesifikasi cetakan dibawah ini.



Gambar 19. Cetakan.

Tabel 7. Spesifikasi cetakan

Panjang x Lebar	190 x 100 mm
Tinggi	50 mm

3. Resin *epoxy* dan katalis

Resin *epoxy* dan katalis yang didapat dari *Mitra Composites* digunakan pada penelitian kali ini menggunakan resin dengan merk *Swancor 2503*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 20 dan tabel 8 spesifikasi resin dan katalis dibawah ini.



Gambar 20. Resin dan Katalis.

Tabel 8. Spesifikasi resin dan katalis

Type	Swancor 2503-A	Swancor 2503-B
Viscosity	1100-1500	10-40
Density	1.10-1.20	0.90-1.00
Mixing Ratio	4:1	

4. Motor vacuum.

Motor *vacuum* sebagai alat untuk menghisap udara yang ada dalam komposit. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 21 dan tabel 9 motor *vacuum* dibawah ini.



Gambar 21. Motor Vacuum.

Tabel 9. Spesifikasi motor vacuum

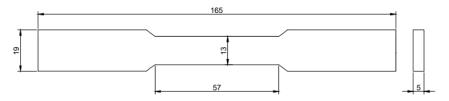
Daya	230 V ~/ 50-60 Hz	
Motor	1⁄4 HP	
Vacuum	150 micron	
Dimensi Ruang Vacuum	24 25 x 17 cm	

3.2.3. Pengujian Tarik

Adapun alat dan bahan pengujian tarik pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Spesimen Uji tarik.

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D638-03 dengan dimensi spesimen seperti gambar 22 dibawah ini.



Gambar 22. Dimensi Spesimen Uji ASTM D638-03.

2. Mesin *Hung Ta* HT-2402.

Alat uji tarik yang digunakan adalah alat uji tarik dengan *merk Hung Ta* HT-2402, seperti pada gambar 23 dan tabel 10 spesifikasi mesin uji tarik Hung Ta *HT-2402* dibawah ini.



Gambar 23. Mesin Uji Tarik Hung Ta HT-2402.

Tabel 10. Spesifikasi Mesin Uji Tarik *Hung Ta* HT-2402

Capacity Selection	100 kN
Testing Speed Range	0.005-500 mm/min
Dimensi (W x D x H)	110 x 76 x 215.5 cm
Temperatur Kerja	Temperatur ruangan

3.3. Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan pada pembuatan spesimen komposit dibagi menjadi 2 bagian yaitu dispersi MWCNT dan pembuatan spesimen.

3.3.1. Dispersi MWCNT

Adapun proses dispersi MWCNT yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1. Menimbang MWCNT yang akan didispersi.
- Melakukan pengenceran HNO₃ 65%(13,41 M) menjadi 1 M, 3 M dan
 M. Untuk melakukan pengenceran nilai tersebut maka HNO₃ dicampur aquades.

- Melakukan pencampuran MWCNT dengan HNO₃ 1 M, 3 M dan 5 M. pada suhu 60 °C menggunakan hot plate magnetic stirer selama 15 menit.
- 4. Menyaring hasil pencampuran MWCNT dengan HNO₃ menggunakan kertas saring.
- 5. MWCNT hasil penyaringan kemudian dicampurkan kedalam H₂O₂ 30% dengan perlakuan yang sama saat proses pencampuran HNO₃.
- 6. Menyaring hasil pelarutan MWCNT dengan H₂O₂ menggunakan kertas saring.
- 7. Mencuci hasil penyaringan MWCNT sebanyak 8 kali dengan aquades untuk menetralisir MWCNT hasil dispersi.
- 8. Melakukan penyaringan untuk mendapatkan hasil akhir dispersi MWCNT.
- 9. Hasil dispersi kemudian dikeringkan dengan oven dengan suhu 80°C selama 8 jam.

Tabel 11 dibawah ini merupakan tabel komposisi larutan kimia yang digunakan saat proses fungsionalisasi sebagai berikut.

Tabel 11. Komposisi dispersi CNT

Nama Sampel	NHO ₃ (Mol)	H ₂ O ₂ (%)	Aquades (ml)
CNT1M	1		
CNT3M	3	30	1000
CNT5M	5		

3.3.2. Pembuatan Spesimen

Adapun langkah-langkah pembuatan spesimen dapat dijelaskan sebagai berikut :

- 1. Mempersiapkan alat dan bahan.
- 2. Melapisi cetakan dengan *paste wax mold release* yang berguna untuk memudahkan saat melepas komposit dari cetakan.
- 3. Memotong lembaran *carbon fiber*, plastik vakum.

- 4. Kemudian mencampurkan *epoxy* dengan MWCNT yang telah dilakukan perlakuan kimia dengan asam nitrat menggunakan *hot* plate magnetic stirrer selama 30 menit.
- 5. Resin yang telah dicampur dengan MWCNT diberi katalis dengan perbandingan 4 : 1.
- 6. Melakukan pelapisan pertama pada permukaan cetakan sampai rata, kemudian memasang *carbon fiber*. Lakukan pelapisan tersebut secara berulang hingga sesuai dengan tebal spesimen yang diinginkan.
- 7. Memasang akrilik diatas campuran *carbon fiber*/CNT/*epoxy* yang berfungsi untuk meratakan permukaan komposit.
- 8. Memasasang *sealant tape* pada plastik vakum yang telah disambungkan dengan mesin vakum menggunakan selang *pneumatic* sebagai tempat untuk dilakukan proses *vacuum bagging*.
- 9. Kemudian masukkan cetakan berisi campuran *carbon fiber/*CNT*/epoxy* kedalam plastik vakum lalu *sealent tape* direkatkan.
- 10. Memastikan tidak ada kebocoran sistem yang telah dibuat untuk kemudian melakukan pemvakuman menggunakan motor *vacuum*. Proses pemvakuman dilakukan selama 2 jam.
- 11. Setelah itu dikeringkan selama 24 jam untuk memastikan bahwa resin telah mengeras.
- 12. Melepaskan komposit carbon fiber/CNT/epoxy dari cetakan,
- 13. Membentuk komposit sesuai dengan standar ASTM D638-03.

Tabel 12 dibawah merupakan tabel fraksi massa komposisi pembuatan komposit sebagai berikut

Tabel 12. Fraksi Massa Komposit

Nama Material	Persentase (%)
Epoxy	79.5
CNT	0.5
Carbon Fiber	20

Tabel 13 dibawah merupakan rancangan tabel data hasil pengujian tarik komposit sebagai berikut.

Tabel 13. Data Hasil Uji Tarik Komposit

No	Nama sampel	Т	W	A_0	L ₀	ΔL	F	$\sigma_{ m maks}$	$arepsilon_{ ext{maks}}$	Е
1	CarbonCNT 1 M.1									
	CarbonCNT 1 M.2									
	CarbonCNT 1 M.3									
Rata-rata										
Standar Deviasi										
2	CarbonCNT 3 M.1									
	CarbonCNT 3 M.2									
	CarbonCNT 3 M.3									
Rata-rata										
Standar Deviasi										
3	CarbonCNT 5 M.1									
	CarbonCNT 5 M.2									
	CarbonCNT 5 M.3									
Rata-rata										
Standar Deviasi										

Keterangan:

T = Tebal Spesimen (mm). W = Lebar Spesimen (mm)

 $A_0 = Luas Permukaan (mm^2).$ $L_0 = Panjang Awal (mm).$

 ΔL = Pertambahan Panjang (mm). F = Gaya (N).

 $\sigma_{\text{maks}} = \text{Kekuatan Maksimum (MPa)}. \ \varepsilon_{\text{maks}} = \text{Regangan Maksimum (\%)}.$

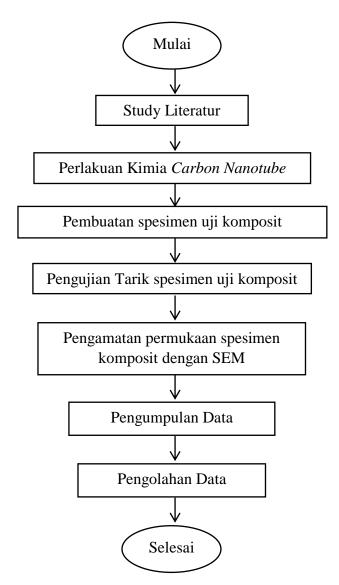
E = Modulus Elastisitas (GPa).

3.4. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu sebagai berikut:

1. Diagram Alir Penelitian.

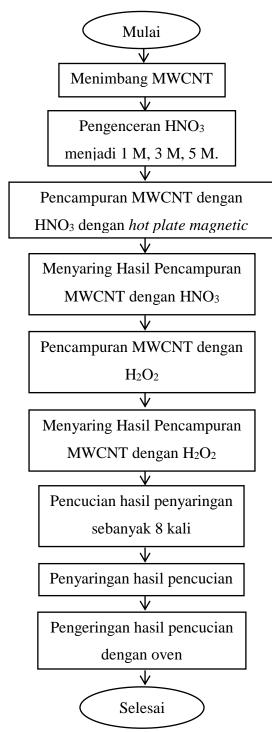
Adapun gambar 24 dibawah ini merupakan diagram alir pada penelitian kali ini.



Gambar 24. Diagram Alir Penelitian.

2. Diagram Alir Perlakuan Kimia.

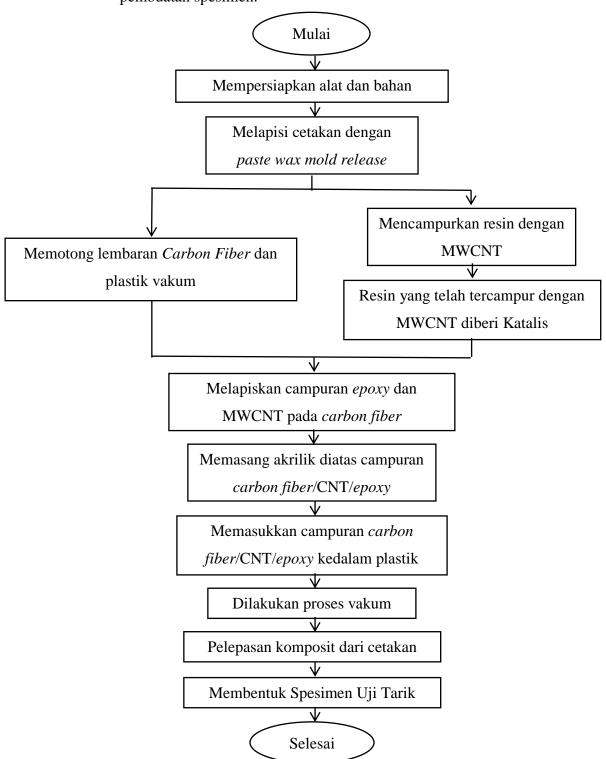
Adapun gambar 25 dibawah ini merupakan diagram alir proses perlakuan kimia.



Gambar 25. Diagram Alir Perlakuan Kimia.

3. Diagram Alir Pembuatan Spesimen

Adapun gambar 26 dibawah ini merupakan diagram alir proses pembuatan spesimen.



Gambar 26. Diagram Alir Pembuatan Spesimen.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan pada data hasil pengujian tarik komposit *carbon fiber*/CNT/*epoxy* menggunakan standar ASTM D638-03 dapat disimpulkan bahwa :

- Perlakuan permukaan CNT menggunakan asam nitrat dengan kadar 1 M memiliki nilai tegangan rata rata sebesar 38.32 MPa yang lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan asam nitrat dengan kadar 3 M sebesar 37.19 MPa dan 5 M sebesar 37.64 MPa. Oleh karena itu semakin tinggi kadar asam nitrat yang digunakan pada perlakuan permukaan CNT maka akan merusak permukaan dari CNT tersebut.
- Perlakuan permukaan CNT menggunakan asam nitrat dengan kadar 3 M memiliki nilai regangan rata – rata sebesar 18.1 % yang lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan asam nitrat dengan kadar 1 M sebesar 16.9 % dan 5 M sebesar 17.3 %.
- Perlakuan permukaan CNT menggunakan asam nitrat dengan kadar 1 M memiliki modulus elastisitas sebesar 0.226 GPa lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan asam nitrat dengan kadar 3 M sebesar 0.205 GPa dan 5 M sebesar 0.218 GPa.
- 4. Hasil pengamatan SEM menunjukkan komposit *carbon fiber*/CNT/*epoxy* dengan CNT yang telah mengalami perlakuan menggunakan asam nitrat 1 M, *epoxy* dan CNT dapat melekat pada *carbon fiber* lebih baik jika dibandingkan dengan CNT yang telah dilakukan perlakuan menggunakan asam nitrat 5 M. Sehingga CNT 1 M mampu menaikkan tegangan pada komposit *carbon fiber*/CNT/*epoxy*.

5.2. Saran

Adapun beberapa saran yang akan diberikan pada penelitian kali ini untuk mendapatkan hasil yang lebih baik yaitu :

- 1. Proses fabrikasi komposit dapat dilakukan dengan menggunakan metode lain seperti *compression molding* untuk mendapatkan permukaan yang lebih rata.
- 2. Dapat menggunakan *carbon fiber* dengan tipe yang berbeda untuk mendapatkan komposit *carbon fiber*/CNT/*epoxy* dengan kekuatan yang lebih tinggi.
- 3. Perlu menambah persentase dari CNT yang lebih tinggi untuk meningkatkan kekuatan komposit *carbon fiber*/CNT/*epoxy*.

.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurohman, K. Ari Wandono, F., Hidayat, D. 2014. *Design and Stress Analysis of LSU 05 Twin Boom Using Finite Element Method*. International Seminar Aerospace and Science Technology 2014/II (p. 9).
- Abdurohman, K., dan Wandono, F.A. 2015. Optimasi Berat Wing LSU-05 Menggunakan *Finite Element Method*. Seminar Iptek Penerbangan dan Antariksa.
- AMSC. 2002. *Composite Materials Handbook*. Departement of Defence. United States of America. pp. (6-74) (7-39).
- Askeland, D. R. 1985. *The Science and Engineering of Materi*al. Alternate Edition. PWS Engineering. Boston. USA.
- ASM. 2001. Composites. ASM Handbook. Volume 21.
- ASTM D638-03. 1941. Standard Test Method Tensile Properties of Plastics.

 Departemen of Defense. USA
- Aviles, F., Cauich-Rodriguez, J.V., Moo-Tah, L., May-Pat, A., Vargas-Coronado, R. 2009. Evaluation of Mild Acid Oxidation Treatments For MWCNT Functionalization. Carbon 47, 2970-2075.

- Bambagione, V., Bianchini, C., Marchionni, A., Filippi, J., Vizza, F., Teddy, J., Serp, P. Mohammad, Zhiani. 2009, *Pd and Pt-Ru anode electrocatalysts supported on multi-walled carbon nanotubes and their use in passive and active direct alcohol fuel cells with an anion-exchage membrane (alcohol=methanol, ethanol, glycerol)*. Journal of Power Source. 190. 241 251.
- Budiwirawan, A. 2010. Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Plate* Sebagai Bahan Komposit Eksternal Pada Struktur Balok Beton Bertulang. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Broza, G., Piszczek, K., Schulte, K., and Sterzynski, T. 2007. *Nanocomposites of poly(vinyl chloride) with carbon nanotubes (CNT)*. Composite Science and Technology.
- Callister, W.D. *and* Rethwisch, D.G. 1985. *Material Science and Engineering*. John Wiley and Sons, Inc.
- Davis, H.E., Troxell, G.E., Wiskocil, C.T., 1955, *The Testing and Inspection of Engineering Materias*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Dieter, G.E. 1987. Metalurgi Mekanik. Erlangga. Jakarta.
- Esumi, K., Ishigami, M., Nakajima, A., Sawada, K., Honda, H. 1995. *Chemical treatment of carbon nanotubes*. Tokyo University of Science. Tokyo, Japan.
- Gou, J., Tang, Y., Liang, F., Zhao, Z., Firsich, D., Fielding, J. 2009. *Carbon nanofiber paper for lightning strike protection of composite materials*. Journal Elsevier. Composites: Part B 41. 192-198.
- Hartomo, A.J. 1996. Polimer Mutakhir. ANDI Yogyakarta. D.I Yogyakarta.

- Hidayanti, E. 2016. Efek Temperatur Terhadap Morfologi Carbon Nanotube Dari Tempurung Kemiri Kelapa Dan Potensi Kegunaannya Bagi Penanganan Limbah Laundry. UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Hill J.W and Petrucci R.H. 2002. *General Chemistry : An Integrated Approach.* 3^{rd} edition. Prentice Hall. New Jersey.
- Hendriwan, F. dan Arifin, N. 2014. Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Resin Epoxy/Serat Glass dan Serat Daun Nanas terhadap Ketangguhan. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Padang.
- Iijima, S. 2002. Carbon Nanotubes: past, present, and future. Physica B.
- Kanagaraj, S., Varanda, F.R., Zhil'tsova, T.V., Oliviera, M.S.A., Simoes, J.A.O.
 2007. Mechanical properties of high density polyethylene/carbon nanotube composites. Composites Science and Technology 67. 3071-3077.
- Mazumdar, S.K. 2002, COMPOSITES MANUFACTURING: Materials, Product, and Process Engineering. CRC Press. USA. 385.
- Satish, K.G., Siddeswarappa, B., Kaleemulla, K.M. 2010. Characterization of In-Plane Mechanical Properties of Laminated Hybrid Composite. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. vol. 9. no. 2. pp. 105-114.
- Setyanto R.H. 2012. Review: Teknik Manufaktur Komposit Hijau dan Aplikasinya. Surakarta. Jurusan Teknik Industri. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Shamsuddin, S.A., Derman, M.N., Hashim, U., Kashif, M., Adam, T., Halim, N.H.A., Tahir, M.F.M., 2016. *Nitric Acid Treated Multi Walled*

- Carbon Nanotubes Optimized by Taguchi Method. The 2nd International Conference on Functional Material and Metallurgy.
- Sitorus, R. 2009. Sifat Fisis dan Kimia dari Campuran Antara Epoksiprena dengan Polipropilena dan Metil Metakrilat. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Smart, S.K., Cassady, A.I., Lu, G.Q., Martiun, D.J. 2006. *The biocompatibility of carbon nanotubes*. Carbon. 44. 1034-1047.
- Suroso, I. 2016. Peran *Drone/Unnamed Aerial Vehicle* (UAV) Buatan STTKD Dalam Dunia Penerbangan. Program Studi Teknik Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan. D.I. Yogyakarta.
- Sutrisno. 2002. Analisa sifat Mekanik dan Kekuatan bakar Nano Komposit Geothermal-Serat Karbon. Universitas Brawijaya. Malang.
- Tang, W., Santare, M. H., and Advani, S. G. 2003. Melt processing and mechanical property charaterization of multi-walled carbon nanotube/high density polyethylene (MWNT/HDPE) composite film. Carbon. 41. 2779-2785.
- Utomo, B. 2017. Drone Untuk Percepatan Pemetaan Bidang Tanah. Fakultas Hukum dan Ilmu Sosial. Universitas Pendidikan Ganesha. Bali.
- Wibisono, H. 2012. Pengaruh Penambahan Cabon Nanotube pada Kekuatan Mekanik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Resin *Epoxy*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. pp.1-74.
- Yeh, M., Tai, N., Lin, Y. 2007. *Mechanical Properties of phenolic-based nanocomposites reinforced by multi-walled carbon nanotubes and carbon fibers*". Journal of Science Direct, Composites: Part A 39. 677-684.

- Yeung, K.K.H. and Rao, K.P. 2014. Mechanical Properties of Boron and Kevlar-49 Reinforced Thermosetting Composites and Economic Implications.

 Journal of Engineering Science. Vol. 10. 19–29.
- Yu, Z. and Brus L. 2001. Rayleigh and Raman Scattering from Individual Carbon Nanotube Bundles. Journal of Physical Chemistry B. Vol.105.1123-1134.