STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT MATRIKS RESIN *EPOXY* YANG DIPERKUAT DENGAN SERBUK *TITANIA* (TiO_2)

SKRIPSI

Diajukan dalam rangka penyelesaian studi Strata 1
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun oleh :

Syahrul Salam

5250402046

PERPUSTAKAAN
UNNES

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2007

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi. Tahun 2007, **"Studi Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Matriks Resin *Epoxy* Yang Diperkuat Dengan Serbuk *Titania* (TiO_2)".**

Telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji :

Hari, Tanggal :

Tim Penguji

Ketua	Sekretaris
Drs. Supraptono, M. Pd. NIP. 131125645	**Basyirun, S.Pd., M.T.** NIP. 132094389
Pembimbing I	Penguji I
Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D. NIP.132096076	**Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D.** NIP.132096076
Pembimbing II	Penguji II
Widi Widayat, S.T., M.T. NIP.132255793	**Widi Widayat, S.T., M.T.** NIP.132255793
	Penguji III
	Basyirun, S.Pd., M.T. NIP. 132094389

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. Soesanto
NIP. 130875753

ABSTRAK

Syahrul Salam. 2007. **Studi Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Matriks Resin *Epoxy* Yang Diperkuat Dengan Serbuk *Titania* (TiO_2).** Skripsi. Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.

Perubahan zaman dan perkembangan teknologi yang sangat maju, menuntut adanya suatu material yang mempunyai kriteria spesifik misalnya seperti ringan, kuat, keras, tahan aus dan harga yang murah. Salah satu usaha pengembangan bahan/material yang dapat menjawab permasalahan tersebut adalah komposit dengan penyusunnya, yaitu resin *epoxy* sebagai matriks dan serbuk *titania* sebagai *reinforcement*-nya.

Resin *epoxy* adalah bahan yang mempunyai sifat-sifat daya tahan kimia dan stabilitas dimensi, sifat-sifat listrik, kuat dan daya lekat pada gelas dan logam yang baik, tetapi bahan ini sangat lunak. Berdasarkan sifat-sifat tersebut timbul suatu permasalahan yang perlu dikaji yaitu bagaimana cara meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus suatu resin *epoxy* dengan cara pencampuran. Di dalam metode pencampuran ini ada beberapa cara untuk meningkatkan kekekerasan dan ketahanan aus dari suatu material salah satunya adalah dengan penambahan unsur lain dalam suatu material menjadikannya sebagai komposit.*Reinforcement* yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk *titania* (TiO_2) karena mempunyai modulus elastisitas (230 Gpa) dan *microhardness* ($HV_{0,5}$) (880) yang tinggi. Penelitian ini ingin mengetahui bagaimana pengaruh variasi penambahan fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2) 0%, 10%, 15% dan 20% terhadap kekuatan tarik, kekerasan *Vickers* ($VHN_{0,015}$) dan ketahanan aus (Ws) pada komposit dengan matriks resin *epoxy*.

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen, yang dibagi menjadi tiga tahap, yaitu persiapan resin *epoxy* dan serbuk *titania* sebagai bahan baku komposit, pembuatan spesimen dengan metode pencetakan (volume cetakan adalah 400 mm^3) dan pembuatan spesimen sesuai standar pengujian. Untuk spesimen uji tarik mengacu pada standar **JIS K 7113** untuk material plastik, sedangkan untuk spesimen uji kekerasan dan ketahanan aus mengacu pada standar *manual book* mesin uji kekerasan dan ketahanan aus. Tahap ketiga, melaksanakan pengujian komposit yang meliputi pengujian tarik, kekerasan *Vickers*, dan ketahanan aus. Untuk mengetahui struktur mikro dari komposit dilakukan pula pengamatan foto mikro dengan pembesaran 100 x.

Penambahan fraksi volume TiO_2 akan menyebabkan densitas komposit *epoxy*/TiO_2 meningkat, disertai dengan meningkatnya porositas yang menyebabkan kekuatan tarik komposit *epoxy*/TiO_2 cenderung menurun. Akan tetapi nilai kekerasan (VHN/*Vickers Hardness Number*) dan nilai ketahanan aus komposit *epoxy*/TiO_2 mengalami kenaikan dengan nilai optimum terjadi pada spesimen dengan fraksi volume 15%, yaitu (79,45 ± 5,39) kgf/mm^2 (nilai kekerasan) dan (13,3 ± 0,64) x 10^{-6} mm^2/kg (nilai ketahanan aus).

Kata Kunci : Sifat Fisis dan Mekanis, Komposit, Resin *Epoxy* dan Serbuk *Titania* (TiO_2).

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap"

(Q.S Al-Insyirah : 6-8)

Skripsi ini :

- ***Kupersembahkan hanya kepada:***
  Allah S.W.T Tuhan Semesta Alam (Rabbil'alamien)
- ***Kuhadiahkan kepada:***
  1. *Bapak dan ibuku (S. Taufik Hidayat dan Siti Munfaridah) tercinta yang senantiasa menuntunku menuju keberhasilan dan do'a*
  2. *Pa'dhe Nuji dan Bu'dhe Umi sebagai orang tuaku kedua yang telah memberikan support, semangat dan do'a*
  3. *Adik-adikku tercinta (Hifdzon Abdul Yazid, Furqon Akromullah dan Faizal Tamim Al-Mundziri)*
  4. *Haryani, "my Soulmate", kekasihku tercinta yang memberikan support, semangat, harapan, cinta dan do'a*
  5. *Teman-teman kost Padepokan Baroe Klinthing*
  6. *Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin '02*

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

KATA PENGANTAR

Bismillähir-Rahmänir-Rahiem

Alhamdulillähi-Rabbil'alamien. Bersyukur penulis kepada Allah S.W.T atas segala Rahmat, Hidayah dan Karunia-Nya. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad S.A.W yang dinantikan *syafa'at*nya kelak. Atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Studi Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Matriks Resin *Epoxy* Yang Diperkuat Dengan Serbuk *Titania* (TiO_2)".

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Mesin di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
4. Bapak Basyirun, S.Pd., M.T., selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang sekaligus Penguji III.
5. Bapak Ir. M. Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D, selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penulisan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Widi Widayat, S.T., M.T., selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penulisan Tugas Akhir ini.
7. Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNNES yang telah memberikan bekal ilmu selama perkuliahan.
8. Bapak dan Ibu serta keluargaku tercinta, yang telah memberikan doa dan dorongan moril maupun materiil.
9. Haryani, kekasihku tercinta, yang telah memberikan motivasi, *support* dan do'a.

PERPUSTAKAAN UNNES

10. Teman seperjuangan anak-anak kompo (*Boss* Heri, Leo, Fandy, Veindra dan Iwan).
11. Teman-teman Teknik Mesin '02, ”*Solidarity Forever!!!”*.
12. Teman-teman kos ”*Padepokan Baroe Klinthing”* yang senantiasa memberi do’a dan dorongan dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Rekan-rekan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini.
14. Almamaterku UNNES.

Menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi menambah wawasan pengetahuan penulis. Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak pada umunya dan pembaca khususnya.

Semarang, April 2007

Penulis,

Syahrul Salam

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
ABSTRAK iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR SIMBOL xii
DAFTAR LAMPIRAN xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Metodologi Penelitian 6
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi 7

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Komposit 9
2.2 Unsur Penyusun Komposit 10
2.2.1 Material Penguat (*Reinforcement*) 11
2.2.2 Material Pengikat 14
2.3 Komposit Matriks Polimer 15
2.4 Perhitungan Campuran Komposit 18
2.5 Pengujian Material 20
2.6 Hipotesis 25

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian 26

3.2 Alur Penelitian 29

3.3 Proses Pembuatan Spesimen 30

3.3.1 Proses Awal Pembuatan Spesimen Pengujian Tarik, Kekerasan Dan Keausan Proses Awal Pembuatan Spesimen Pengujian Tarik, Kekerasan Dan Keausan 30

3.3.2 Proses Perhitungan Variasi Fraksi Volume 30

3.3.3 Proses Pembuatan/Pencampuran Serbuk *Titania* (TiO_2) Dengan Resin *Epoxy* 34

3.3.4 Proses Pembuatan Spesimen 36

3.3.5 Prosedur Pengujian 38

3.4 Variabel Penelitian 43

3.4.1 Variabel Bebas 43

3.4.2 Variabel Terikat 43

3.4.3 Variabel Kontrol 44

3.5 Teknik Analisis Data 44

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Porositas 45

4.2 Hasil Pengamatan Foto Struktur Mikro 48

4.3 Hasil Pengujian 50

4.3.1 Uji Kekuatan Tarik 50

4.3.2 Uji Kekerasan 52

4.3.3 Uji Ketahanan Aus 54

4.4 Pembahasan 57

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 61

5.2 Saran 62

DAFTAR PUSTAKA 63

LAMPIRAN

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Bentuk spesimen uji tarik berdasarkan standar **JIS K 7113** 21
Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan..... 22
Gambar 2.3 Kurva deformasi elastik linier 23
Gambar 2.4 *Vickers indentation* 24
Gambar 2.5 Alat uji ketahanan aus..... 24
Gambar 3.1 Neraca ukur ”Voyager, O’HAUS”, Jerman 27
Gambar 3.2 Gelas ukur 500 ml, gerinda listrik dan gergaji 27
Gambar 3.3 Serbuk *Titania* dan Resin *Epoxy* 28
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian 29
Gambar 3.5 Cetakan komposit 31
Gambar 3.6 Benda hasil proses pengecoran..... 35
Gambar 3.7 Bentuk spesimen uji tarik material plastik berdasarkan standar ***JIS K 7113***..... 36
Gambar 3.8 Spesimen Uji Tarik dengan fraksi volume *titania* 0%, 10%, 15% dan 20% 37
Gambar 3.9 Spesimen Uji Kekerasan dan Keausan dengan fraksi volume *titania* 0%, 10%, 15% dan 20% 38
Gambar 3.10 *Vickers indentation* dan *Vickers and Rockwell indentor* 39
Gambar 3.11 Mesin Uji Kekerasan “*Buehler Microhardness Tester*” 39
Gambar 3.12 Mesin uji ketahanan aus ”*Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine*”. 40
Gambar 3.13 Pemegang/penjepit benda uji..... 41
Gambar 3.14 Pengatur jarak tempuh pemakanan benda uji..... 41
Gambar 3.15 Mikroskop optik :”*Metalurgical Microscope Inverted Type*” merk Olympus, seri PME3-313UN..... 43
Gambar 4.1 Densitas vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2) 47
Gambar 4.2 *Porosity* vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2) 47
Gambar 4.3 Spesimen dengan Fraksi Volume 0% TiO_2 48
Gambar 4.4 Spesimen dengan Fraksi Volume 10% TiO_2 48

Gambar 4.5 Spesimen dengan Fraksi Volume 15% TiO_2 49
Gambar 4.6 Spesimen dengan Fraksi Volume 20% TiO_2 49
Gambar 4.7 Kekuatan Tegangan Tarik vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)..... 51
Gambar 4.8 Kekerasan *Vickers* vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2) 55
Gambar 4.9 Nilai Rata-rata Keausan Komposit vs Fraksi Volume *Titania* 57

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Spesifikasi *titania* 18
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Porositas……...46
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik…….50
Tabel 4.3 Tabel Nilai Tegangan Tarik Maksimum ……...51
Tabel 4.4 Nilai VHN Pada Fraksi Volume Serbuk TiO_2 Sebesar 0%.....53
Tabel 4.5 Nilai VHN Pada Fraksi Volume Serbuk TiO_2 Sebesar 10%.....53
Tabel 4.6 Nilai VHN Pada Fraksi Volume Serbuk TiO_2 Sebesar 15%.....54
Tabel 4.7 Nilai VHN Pada Fraksi Volume Serbuk TiO_2 Sebesar 20%.....54
Tabel 4.8 Nilai Goresan Pada Varisasi Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)….56
Tabel 4.9 Nilai Ws Rata-Rata Dari Tiap Variasi Fraksi Volume Serbuk TiO_2….57

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR SIMBOL

A_0	=	luas penampang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m^2)
δ_l	=	pertambahan panjang (mm)
E_c	=	modulus elastisitas *composite* (MPa)
E_f	=	modulus elastisitas *filler* (MPa)
ε	=	*Engineering Strain* (%)
F	=	beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap penampang spesimen (N)
l_o	=	panjang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (mm)
ρ_c	=	densitas bahan pembentuk *composite* (gr/cm^3)
ρ_f	=	densitas *filler* (gr/cm^3)
ρ_m	=	densitas *matrix* (gr/cm^3)
σ	=	kekuatan tarik *composite* (N/m^2)
σ_f	=	kekuatan tarik *filler* (N/m^2)
v_c	=	fraksi volume *composite* (%)
v_f	=	fraksi volume *filler* (%)
v_m	=	fraksi volume *matrix* (%)
w_c	=	fraksi berat *composite* (%)
w_f	=	fraksi berat *filler* (%)
w_m	=	fraksi berat *matrix* (%)

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Perhitungan Hasil Pengujian Porositas 64
Lampiran 2. Perhitungan Hasil Pengujian Tarik 67
Lampiran 3. Perhitungan Hasil Pengujian Kekerasan 73
Lampiran 4. Perhitungan Hasil Pengujian Ketahanan Aus 77
Lampiran 5. Standar Pengujian Tarik ***JIS K 7113*** 80

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring perubahan zaman dan perkembangan teknologi yang sudah sangat maju, maka akan diperlukan suatu material yang mempunyai kriteria spesifik seperti ringan, kuat, keras, tahan aus dan harga yang murah. Dalam usaha pencarian peningkatan performa material tersebut maka para ilmuwan terutama berkaitan dengan ilmu bahan, insinyur, dan peneliti selalu melakukan usaha untuk menghasilkan suatu material yang baru yang berbasis material yang sudah ada. Salah satu contoh dari pengembangan atau penelitian tersebut adalah bahan komposit.

Pada umumnya bahan komposit adalah kombinasi antara dua atau lebih dari tiga bahan yang memiliki sejumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya (Surdia dan Saito, 1999 : 280), yang akan menghasilkan sifat material yang mempunyai sifat lebih baik dari material-material sebelumnya. Komposit merupakan gabungan atau kombinasi dari dua atau lebih material yang berbeda menjadi bentuk struktur unit makroskopik yang akan menghasilkan sifat material yang mempunyai sifat lebih baik dari material-material penyusunnya. Kombinasi biasanya didapat dengan bahan polimer, logam dan keramik.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

Penggunaan material sampai saat ini masih didominasi oleh material logam dan keramik, karena untuk material logam mempunyai kekuatan dan ketangguhannya besar dan untuk material dari keramik mempunyai kekuatan yang besar tetapi ketangguhannya kecil. Untuk mengatasi masalah keuletan yang kecil tersebut maka dalam beberapa tahun terakhir ini, perkembangan komposit yang sangat cepat adalah dalam produksi komposit yaitu dalam berbagai macam variasi plastik (polimer) yang kemudian akan memiliki kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus yang besar serta diprediksikan bahwa permintaan komposit tersebut akan terus meningkat dan akan menjadi material yang banyak diminati daripada material logam dan keramik karena pembuatan dan harganya lebih murah khususnya material komposit dalam penelitian ini dibandingkan dengan material yang terbuat dari logam dan keramik. Keunggulan komposit adalah beratnya yang ringan dan dapat divariasi dengan bahan lain untuk mendapatkan kekuatan yang diinginkan. Komposit banyak dikembangkan karena mempunyai sifat sesuai keinginan yang tidak didapat dari material lain apabila berdiri sendiri. Komposit umumnya tersusun dari material pengikat (*matriks*) dan material penguat (*reinforcement*). Logam, keramik, dan *polymer,* dapat digunakan sebagai material matriks pada pembuatan komposit, tergantung dari sifat yang diinginkan, namun *polymer* merupakan material yang paling luas digunakan sebagai matriks dalam komposit modern yang lebih dikenal dengan *reinforced plastic.* Komposit banyak dikembangkan karena mempunyai sifat sesuai keinginan yang tidak didapat dari material lain apabila berdiri sendiri.

Salah satu faktor yang membuat plastik menarik untuk aplikasi permesinan adalah memungkinkannya peningkatan kekuatan plastik dengan penguat serat maupun dengan serbuk sesuai dengan tujuan yang diinginkan, disamping itu pula plastik juga memiliki sifat ketahanan kimia (*chemical resistant*) yang baik (Hartomo, 1996 : 119). Pada penelitian ini digunakan serbuk *titania* (TiO_2) sebagai *reinforcement* atau penguat untuk bahan komposit. Serbuk *titania* mempunyai beberapa kelebihan yaitu bahwa serbuk atau partikel *titania* ini mempunyai kekerasan yang tinggi sehingga mempunyai efek mengeraskan serta mempunyai modulus elastisitas sebesar 230 GPa, *microhardness* ($HV_{0,5}$) sebesar 880 dan modulus geser (*shear modulus*) sebesar 90 GPa (http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1179, dari *CERAM Research Ltd*, diakses pada Oktober 2006). Selain memiliki kelebihan, *titania* juga mempunyai kekurangan yaitu serbuk ini mempunyai keuletan yang rendah.

Sedangkan sebagai matriks digunakan resin *epoxy*. Dalam penelitian ini menggunakan matrik dari resin *epoxy* karena resin ini mempunyai kelebihan daya tahan kimia dan stabilitas dimensi yang baik, sifat-sifat listrik yang baik, kuat dan daya lekat pada gelas dan logam yang baik, bahan ini dapat juga digunakan untuk membuat panel sirkuit cetak, tangki dan cetakan, resin ini juga memiliki ketahanan aus dan ketahanan kejut yang lebih baik bila dibandingkan dengan resin yang lain, selain itu resin *epoxy* juga mempunyai modulus tinggi, ketahanan thermal dan *chemical resistant* (Hartomo, 1996 : 119). Adapun kelemahan atau kekurangan dari resin *epoxy* adalah bahan ini agak getas patahan, mudah tumbuh retakannya, tidak liat, tidak ulet dan getas (Hartomo, 1996 : 119), dan juga dari segi harganya yang

lebih mahal apabila dibandingkan dengan resin yang lain. Berdasarkan beberapa kelebihan dan kekurangan ini peneliti ingin menggabungkan matrik resin *epoxy* dengan penguat serbuk *titanium dioxide* (*titania*) untuk mendapatkan bahan komposit yang mempunyai kelebihan mempunyai tingkat kekerasan, kekuatan tarik dan ketahanan aus yang tinggi. Pada penelitian ini akan menganalisis uji tarik, uji kekerasan, uji ketahanan aus dan struktur mikro dari material komposit serbuk *titania* pada matriks resin *epoxy* dengan variasi % volume penambahan serbuk *titania* sebanyak 0%, 10%, 15%, dan 20%.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada dan latar belakang masalah di atas, maka dapat diambil permasalahan sebagai berikut :

"Bagaimanakah pengaruh penambahan variasi % fraksi volume serbuk *titania* sebanyak 0%, 10%, 15%, dan 20% terhadap kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan aus dan pengamatan struktur mikro material komposit matriks resin *epoxy* yang diperkuat dengan serbuk *titania* ?"

PERPUSTAKAAN
UNNES

1.3 Batasan Masalah

Agar mencapai sasaran yang diinginkan dan permasalahan tidak melebar maka ruang lingkup pembahasannya adalah sebagai berikut :

a. Bahan penguat (*reinforcement*) yang digunakan adalah *titania* (TiO_2) dan bahan pengikat (*matriks*) yang digunakan adalah resin *epoxy* dengan penambahan katalis *polyaminoamide*.

b. Variasi komposisi pada penelitian komposit matriks resin *epoxy* dengan penambahan serbuk *titania* (TiO_2) ini adalah sebagai berikut :

1. *Titania* (TiO_2) dengan fraksi volume = 0%.
2. *Titania* (TiO_2) dengan fraksi volume = 10%.
3. *Titania* (TiO_2) dengan fraksi volume = 15%.
4. *Titania* (TiO_2) dengan fraksi volume = 20%.

c. Bentuk spesimen uji tarik berdasarkan standar pengujian **JIS K 7113**.

d. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekuatan tarik, pengujian kekerasan, pengujian ketahanan aus (keausan) dan pengamatan struktur mikro.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

a. Mengetahui struktur mikro material komposit dengan matrik resin *epoxy* setelah diperkuat dengan penambahan serbuk *titania* (TiO_2).

b. Mengetahui pengaruh variasi penambahan penguat serbuk *titania* (TiO_2) terhadap kekuatan tarik material komposit *epoxy*/TiO_2.

c. Mengetahui tingkat kekerasan material komposit dengan matrik resin *epoxy* setelah diperkuat dengan penambahan serbuk *titania* (TiO_2).

d. Mengetahui pengaruh variasi penambahan penguat serbuk *titania* (TiO_2) terhadap ketahanan aus material komposit *epoxy*/TiO_2.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini antara lain :

a. Diperoleh suatu material komposit baru yang dapat digunakan sebagai material yang mengutamakan tingkat kekerasan dan ketahanan aus dalam aplikasinya pada tingkatan komposit *polymer*.
b. Dapat memberikan tambahan pengetahuan pada dunia industri tentang bahan yang mempunyai kekuatan tarik, kekerasan dan ketahanan aus yang baik dengan harga yang murah dan cara mendapatkan yang sederhana.
c. Hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam penelitian selanjutnya dalam upaya pengembangan dan pemanfaatan material komposit.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penulisan ini adalah :

1. Studi Pustaka

   Langkah ini dilakukan untuk memahami teori-teori yang berhubungan dengan topik permasalahan dan mencari informasi maupun literatur-literatur melalui buku-buku referensi, *paper*, makalah, internet dan laporan yang berhubungan dengan topik permasalahan tugas akhir.

2. Studi Lapangan

   Langkah ini diawali dengan mendapatkan bahan-bahan untuk melakukan penelitian, penentuan *reinforcement* (serbuk *titania*) dan penentuan *matrix* resin yang digunakan sekaligus wawancara dengan pihak yang lebih berpengalaman.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

3. Melaksanakan Penelitian

   Menentukan *reinforcement* (serbuk *titania*) sesuai dengan variasi fraksi volume yang dipilih serta pembuatan spesimen uji untuk kemudian dilakukan pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian ketahanan aus guna mendapatkan data sifat mekanik yang dimiliki setiap spesimen.

4. Analisis Data Hasil Penelitian

   Membuat analisa setelah dilakukan pengujian spesimen, berupa analisa pengaruh variasi volume penambahan penguat serbuk *titania* (TiO_2) pada pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian ketahanan aus.

5. Penulisan Laporan

   Membuat laporan penulisan Tugas Akhir yang berkaitan dengan analisis hasil pengujian yang didapatkan dengan bantuan literatur-literatur.

6. Bimbingan

   Binbingan bertujuan untuk mendapatkan tambahan pengetahuan, arahan dan masukan dari Dosen Pembimbing serta untuk mengoreksi kesalahan-kesalahan selama pembuatan Tugas Akhir dan penulisan laporan.

PERPUSTAKAAN
UNNES

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang : Latar Belakang, Perumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Metodologi Penelitian dan Sistematika Penulisan Skripsi.

BAB II : LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS

Bab ini berisi tentang : Pengertian Komposit, Unsur Penyusun Komposit, Material Penguat, Material Pengikat, Komposit Matriks Polimer, Pengujian Material dan Hipotesis.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang : Alat dan Bahan Penelitian, Alur Penelitian, Proses Pembuatan Spesimen, Variabel Penelitian dan Teknik Analisis Data.

BAB IV : HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang : Porositas, Hasil Pengamatan Foto Struktur Mikro, Hasil Pengujian dan Pembahasan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang : Kesimpulan dan Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

BAB II

LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS

2.1 Komposit

Komposit adalah kombinasi antara dua atau lebih dari tiga bahan yang memiliki sejumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya (Surdia dan Saito,1999 : 280).

Pada definisi yang lebih mendalam khususnya dalam istilah *engineering* komposit didefinisikan berdasarkan tingkat dari definisinya. Pada *elemental* atau tingkat dasar, dimana molekul dan sel kristal masih tunggal, semua material tercampur dari dua atau lebih atom yang berbeda dapat dianggap sebagai komposit. Pada definisi ini komposit terdiri dari campuran, baik itu logam campuran, polimer ataupun campuran keduanya (Schwartz, 1984: 1.2).

Pada tingkat struktur mikro, komposit didefinisikan sebagai material yang terdiri dari gabungan dua atau lebih kristal, dengan struktur molekul atau fase yang berbeda. Sebagai contoh semua material logam yang hanya mempunyai fase tunggal seperti perunggu dan kuningan akan diklasifikasikan sebagai *monolithic*, sedangkan baja mempunyai *multiphase* logam, yaitu dari *carbon* dan besi yang juga dapat didefinisikan sebagai bahan komposit (Schwartz, 1984: 1.2).

Pada tingkat struktur makro hanya berhubungan dengan bentuk atau unsur pokok dari struktur yang besar, seperti matriks dan partikel/serbuk sehingga pemikiran mengenai komposit adalah sebagai sistem material yang berasal dari

campuran unsur pokok makro yang berbeda (Schwartz, 1984: 1.2). Bahan komposit biasanya dibangun dari dua fase, yaitu fase matriks dan fase dispersi (penambah)/*reinforcement*. Geometri penyusunan pada fase dispersi sangat berpengaruh. Geometri tersebut dapat meliputi konsentrasi dispersi, ukuran, tebal lapisan dispersi, jarak penyusunan dan orientasinya. Polimer, logam, dan keramik biasanya sebagai fase matriks dan serat gelas, serat karbon, whisker, asbes dan serat alam sebagai fase dispersinya.

2.2 Unsur Penyusun Komposit

Komposit berbeda dengan paduan, untuk menghindari kesalahan pengertian antara masing-masing dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Paduan adalah kombinasi antara dua bahan atau lebih dimana antara bahan tersebut terjadi peleburan pada umumnya paduan terdiri antara campuran logam dengan logam.
2. Komposit adalah kombinasi terekayasa dari dua bahan atau lebih dengan perwujudan aneka sifat yang dikehendaki dilakukan secara kombinasi sistematik dalam kandungan kandungannya yang mungkin amat berbeda tersebut (Hartomo, 1992).
3. Definisi lain yaitu komposisi merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara mikroskopis dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan kerja diantaranya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan.

Dengan mengkombinasikan bahan tertentu maka akan diperoleh suatu bahan lain dengan sifat yang lebih baik dari bahan aslinya, karena yang diambil dari masing-masing bahan hanya sifat baiknya saja. Sistem kombinasi tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga saling menghilangkan sifat buruk dari bahan aslinya.

Dalam sistem komposit diperlukan dua macam material yang digunakan sebagai penyusun. Material tersebut adalah :

a. Material Penguat (*Reinforcement*)

Material ini disebut juga *reinforcement*. Bentuk dari material penguat yang digunakan berupa partikel atau serat, sedangkan jenis *reinforcement* yang digunakan dalam sistem komposit berupa karbida, nitrida, oksida.

b. Material Pengikat (*Matriks*)

Material disebut juga matriks. Jenis matriks yang banyak digunakan adalah polimer, keramik atau logam (metalik). Jenis matriks yang digunakan dalam sistem tersebut menunjukkan nama dari komposit tersebut. Sebagai contoh : Komposit Matriks Polimer (KMP), Komposit Matriks Keramik (KMK), Komposit Matriks Logam (KML).

Dua hal perlu diperhatikan dalam pembentukan sistem komposit agar diperoleh produk yang efektif yaitu : (1) Komponen penguat harus memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dari komponen matriksnya dan (2) Harus ada

ikatan permukaan yang kuat antara komponen penguat dengan matriks (Van Vlack, 1992 : 589).

2.2.1 Material Penguat (*Reinforcement*)

Material penguat disebut juga *reinforcement*, material penguat ini pada sistem komposit berfungsi sebagai penahan bahan jika pada sistem komposit dikenai bahan kerja. Oleh karena itu material penguat harus memiliki kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi. Berdasarkan bentuk material penguatnya maka secara umum dikenal tiga kelompok komposit yaitu :

a. Kelompok Berpenguat Partikel

Pada komposit ini jenis material penguat yang dipergunakan adalah bentuk partikel. Partikel mempunyai bermacam-macam pengaruh pada KML (Komposit Matriks Logam). Tergantung pada sifat kedua komponen. Partikel bersifat ulet ditambahkan pada matriks yang rapuh sehingga ketangguhannya meningkat, serta keretakan yang terjadi dapat dihilangkan dengan adanya partikel tersebut. Partikel yang memiliki modulus elastisitas tinggi ditambahkan pada matriks yang bersifat ulet untuk meningkatkan kekakuan dan ketangguhan.

Sebagaimana yang diharapkan partikel yang bersifat keras umumnya mengurangi keretakan pada matriks yang lunak sehingga keterbatasan penggunaannya dapat ditingkatkan. Jika partikel yang bersifat keras dalam sebuah matriks, sangat kecil serta jumlahnya terbatas maka reduksi kekuatannya rendah. Dalam komposit matriks resin peningkatan kekuatan dapat dilakukan dengan proses *sintering* (jika bentuk matriksnya juga partikel). Sebagai contoh : SiC (*silicon carbide*), Al_2O_3 (*alumina*), TiC (*titanium carbide*), TiO_2 (*titania*) dan lain-lain.

b. Komposit Berpenguat *Whisker*

Pada komposit ini jenis material penguat yang dipergunakan adalah bentuk *whisker* atau *discontinuous fiber* (serat-serat pendek). *Whisker* serabut-serabut pendek terbuat dari bahan semisal oksida logam karbida, dan nitrida. *Whisker* yang bersifat kuat dan kaku bila ditambahkan pada matriks yang ulet akan dapat menghasilkan material komposit yang kuat, kaku dan kenyal. Terjadinya adhesi antar *whisker* dengan material pengikat (matriks). Sebagai contoh : SiC (*silicon carbide*), Al_2O_3 (*alumina*), dan lain-lain.

c. Komposit Berpenguat Serat *Continuous*

Pada komposit jenis ini material pengikat yang dipergunakan adalah berbentuk filamen serat panjang. Komposit yang diperkuat *continuous* berada dalam keadaan ideal mengikuti kaidah campuran berdasarkan kesesuaian pada teknik fabrikasinya antara perkiraan kaidah campuran dan sifat-sifatnya. Sebagai contoh : SiC (*silicon carbide*), ZrO_2 (*zirkonia*), Al_2O_3 (*alumina*), dan lain-lain.

Dari ketiga kelompok komposit di atas yang dipergunakan pada penelitian ini adalah komposit dengan material penguat partikel atau serbuk. Kelebihan dan kekurangan komposit dengan penguat partikel, yang dalam penelitian ini menggunakan serbuk *titania* adalah :

1. Kelebihan
   a. Dalam keadaan normal mengikuti kaidah campuran berdasarkan kesesuaian pada teknik fabrikasinya, akan menghasilkan material yang mempunyai tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi.

b. Komposit jenis partikel adalah yang paling baik, jika arah penguat diperhitungkan.

c. Komposit dengan diperkuat partikel memiliki keunggulan dalam pengujian kekerasan dan ketahanan aus, bila dibandingkan dengan penguat serat.

2. Kekurangan

a. Proses pembuatan yang tidak sempurna terutama dalam hal pengadukannya akan menyebabkan tidak merata pada penyebaran partikelnya.

b. Komposit yang diperkuat dengan partikel mempunyai kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan dengan *raw material*-nya, yaitu spesimen dengan fraksi volume 0%.

2.2.2 Material Pengikat

Matriks adalah unsur pokok dari tubuh komposit yang menjadi bagian penutup dan pengikat struktur komposit.. Berdasarkan jenis partikel pengikatnya, pada sistem komposit dapat dibagi tiga yaitu :

a. Komposit Matriks Logam (KML)

Pada KML jenis ini material pengikat yang digunakan adalah logam. Contoh : Al (aluminium), Mg (magnesium), Cu (cupper), Ni (nikel), dan lain-lain.

b. Komposit Matriks Keramik (KMK)

Pada KMK jenis ini material pengikat (matriks) yang digunakan adalah keramik. Contoh : SiO_2 (kuarsa), MgO (periklas), Mg Al_2O_4 (spinel), dan lain-lain.

c. Komposit Matriks Polimer (KMP)

Pada material pengikat yang digunakan adalah polimer. Contoh : resin fenol, resin urea, resin melamin, resin epoksi, resin thermosat, dan lain-lain.

2.3 Komposit Matriks Polimer

Sifat seberapa tahan terhadap panas biasanya menjadi pertimbangan dalam pemilihan material matriks, sehingga kemampuan bertahan dalam peningkatan temperatur dianggap sebagai prioritas dalam pemilihan material matriks. Berikut beberapa material matriks :

1. **Matriks Polimer**

   Polimer adalah material yang paling banyak digunakan sebagai material matriks pada komposit, yaitu termoplastik dan termosetting. Sekali dibentuk, termosetting akan berikatan selang-seling *(cross link)*, membentuk jaringan molekul tiga dimensi yang tahan temperatur tinggi, melebihi termoplastik. Termoplastik, karena ber-*basic* rantai polimer yang tidak berikatan selang-seling akan menjadi lunak dan mencair apabila dipanaskan dan mengeras kembali setelah mengalami pendinginan.

2. **Matriks Logam**

   Pada penggunaan logam sebagai matriks seperti titanium, magnesium, dan paduannya, temperatur operasi mencapai 1250^0 C (2280^0 F). Keunggulan lain dari logam sebagai material matriks adalah kekuatan yang tinggi, kekakuan, dan keuletan daripada polimer, tetapi

mempunyai densitas lebih besar sehingga lebih berat, sedangkan pertimbangan utama pembuatan komposit biasanya untuk mereduksi berat komponen.

3. Matriks Keramik

Keramik sebagai matriks, seperti *silicon carbide* dan *silicon nitride* dapat digunakan pada temperatur sampai 1650^0 C (3000^0 F). Keramik memiliki *tensile strength* yang rendah dan getas. Jenis material lain karbon *fiber*/karbon *matrix* komposit dapat digunakan pada temperatur 2760^0C (5000^0 F), tetapi faktor harga mengakibatkan material ini hanya dipakai pada beberapa keperluan yang sangat penting dalam dunia kedirgantaraan.

Pada analisa komposit matriks polimer ini bahan yang digunakan sebagai penyusunnya (matriks dan material penguat/*reinforcement*) adalah :

a. Bahan Matriks yang Digunakan Adalah Matriks Resin *Epoxy*

Resin *epoxy* memperlihatkan tipe khusus polieter yang dipreparasi melalui reaksi polimerisasi tahap antara *epoksida* dan senyawa *dihidroksida*, biasanya *bisfenol*. Tampak bahwa suatu *diepoksida* mungkin diperlukan untuk membentuk polimer, tetapi pada prakteknya *epiklorohidrin* paling umum dipakai karena bereaksi dengan cara suatu *diepoksida*. Rangkaian polimerisasinya melibatkan pembentukan ion *alkoksida*, *adisi nukleofilik alkoksida* ke karbon yang kurang terintangi dari cincin *epoksida*, kemudian penutupan cincin melalui substitusi internal ion *klorida*. Hal ini menghasilkan kembali cincin tersebut, yang memungkinkan reaksi lanjutan dengan senyawa *hidroksida* untuk akhirnya

memberikan suatu produk yang memiliki gugus-gugus *hidroksida* pendan. Dengan memakai *epikloro-hidrin* yang berlebih, akan terbentuk suatu polieter yang memiliki gugus-gugus *glisidil eter*. Meskipun *glisidil eter* mewakili tipe prapolimer *epoxy* yang paling umum, struktur-struktur *epoksida* yang lainnya digunakan secara komersil, diantaranya yaitu *glisidil amin*, senyawa *siklaolifatik* seperti *vinilsiloheksena dioksida* dan *disiklopentadiena dioksida*, polimer-polimer *diena* yang terepoksidasi, dan minyak yang terepoksidasi. Karena reaktifnya gugus-gugus ujung, damar *epoxy* dapat dicangkokkan ke polimer-polimer lain. Misalnya polimer-polimer *akrilat* termoset telah dipreparasi lewat reaksi damar *epoxy* dengan *akrilat* untuk membentuk kopolimer cangkok yang dapat diikat-silangkan.

Untuk beberapa aplikasi bahan pelapis, *epoxy-epoxy* juga direaksikan dengan cara yang serupa dengan asam-asam lemak minyak kering *(drying oil)* untuk memanfaatkan kelebihan adanya kecenderungan ikat silang radikal bebas dari asam lemak tersebut. Resin *epoxy* banyak dipakai untuk pengecoran, pelapisan, dan perlindungan bagian-bagian listrik, campuran cat dan perekat. Resin yang telah diawetkan mempunyai sifat-sifat daya tahan kimia dan stabilitas dimensi yang baik, sifat-sifat listrik yang baik, kuat dan daya lekat pada gelas dan logam yang baik bahan ini dapat juga digunakan untuk membuat panel sirkuit cetak, tangki, dan cetakan. Karena resin *epoxy* tahan aus dan tahan kejut, bahan ini kini banyak digunakan untuk membuat cetakan tekan untuk pembentukan logam.

b. Bahan Penguat (*Reinforcement*) Adalah Serbuk Atau Partikel Titania (TiO_2)

Bahan penguat yang digunakan adalah *titania* (TiO_2) berbentuk partikel. *Titania* terdiri dari dua jenis, yaitu *Anatase* dan *Rutile,* pada penelitian kali ini digunakan *titania* jenis pertama, yaitu *Anatase.* Mempunyai ukuran partikel 0,3 ± 0,05 µm, densitas 4,25 g.cm^{-3}, modulus elastisitas, *microhardness*, dan properti lainnya yang terdapat dalam dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Spesifikasi *Titania*.

Property	*Per Unit*
Density	4,25 gcm^{-3}
Porosity	0%
Modulus of Rupture	140 MPa
Compressive Strength	680 MPa
Poisson's Ratio	0.27
Fracture Toughness	3.2 Mpa.m$^{-1/2}$
Shear Modulus	90 GPa
Modulus of Elasticity	230 GPa
Microhardness (HV0.5)	880
Resistivity (25°C)	10^{12} ohm.cm
Resistivity (700°C)	2.5x10^{4} ohm.cm
Dielectric Constant (1MHz)	85
Dissipation factor (1MHz)	5x10^{-4}
Dielectric strength	4 kVmm^{-1}
Thermal expansion (RT-1000°C)	9 x 10^{-6}
Thermal Conductivity (25°C)	11.7 WmK^{-1}

(Sumber : http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1179, dari *CERAM Research Ltd*, diakses pada Oktober 2006)

2.4 Perhitungan Campuran Komposit

Untuk menentukan jumlah serbuk di dalam komposit dapat menggunakan fraksi volume (v), yang merupakan perbandingan fraksi volume serbuk (*filler*) (v_f), dengan fraksi volume komposit (v_c), atau dengan fraksi massa (w), yang juga berhubungan dengan fraksi volume, seperti persamaan berikut (*Encarta Microsoft*, 2000 : 83) :

$$w = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f \cdot v_f}{\rho_c \cdot v_c} \quad \text{dan } v = \frac{v_f}{v_c}$$

Sehingga, $w = \frac{\rho_f}{\rho_c} v$ …… ……..……..(2.1)

Dari "*rule of mixtures*" dapat dirumuskan bahwa campuran yang terjadi akan menghasilkan perhitungan sebagai berikut:

$$\rho_c = \rho_f v_f + \rho_m v_m \text{ ……..……..……(2.2)}$$

Fraksi volume dari masing-masing bahan penyusun (*filler/matrix*) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$v_f = \frac{\frac{w_f}{\rho_f}}{\frac{w_f}{\rho_f} + \frac{w_m}{\rho_m}} \text{ atau } v_m = \frac{\frac{w_m}{\rho_m}}{\frac{w_f}{\rho_f} + \frac{w_m}{\rho_m}} \text{ ……(2.3)}$$

$$w_f = \frac{\rho_f v_f}{\rho_f v_f + \rho_m v_m} \text{ atau } w_m = \frac{\rho_m v_m}{\rho_f v_f + \rho_m v_m} \text{ ……...(2.4)}$$

Kekuatan tarik komposit pada tegangan maksimal dapat dirumuskan:

$$\frac{\sigma_f \max}{E_f} = \frac{\sigma_c}{E_c} \text{ ……..……..(2.5)}$$

E_c didapat dari $E_c = E_f \cdot v_f + E_m \cdot v_m$……..……...(2.6)

Dimana:

v_c = fraksi volume *composite* (%)

v_f = fraksi volume *filler* (%)

v_m = fraksi volume *matrix* (%)

w_c = fraksi berat *composite* (%)

w_f = fraksi berat *filler* (%)

w_m = fraksi berat *matrix* (%)

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

ρ_c = densitas bahan pembentuk *composite* (gr/cm^3)

ρ_f = densitas *filler* (gr/cm^3)

ρ_m = densitas *matrix* (gr/cm^3)

σ_c = kekuatan tarik *composite* (N/m^2)

σ_f = kekuatan tarik *filler* (N/m^2)

E_c = modulus elastisitas *composite* (MPa)

E_f = modulus elastisitas *filler* (MPa)

2.5 Pengujian Material

a. Pengujian Tarik

Salah satu bentuk *stress-strain test* yang paling umum adalah *tension test*. Pengujian tegangan dapat digunakan untuk mengetahui sifat mekanik material yang sangat diperlukan dalam dunia teknik. Dalam pengujian tarik, spesimen uji ter*deformasi*, biasanya sampai patah dengan peningkatan secara bertingkat gaya tarikan *(tensile load)* yang dibebankan secara *uniaxial* pada kedua sumbu spesimen (Callister, 1997 : 111).

1). *Engineering Stress*

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \text{.....(2.7)}$$

Dimana :

F = Beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap penampang spesimen (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m^2)

σ = *Engineering Stress* (N/m^2)

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

2). *Engineering Strain*

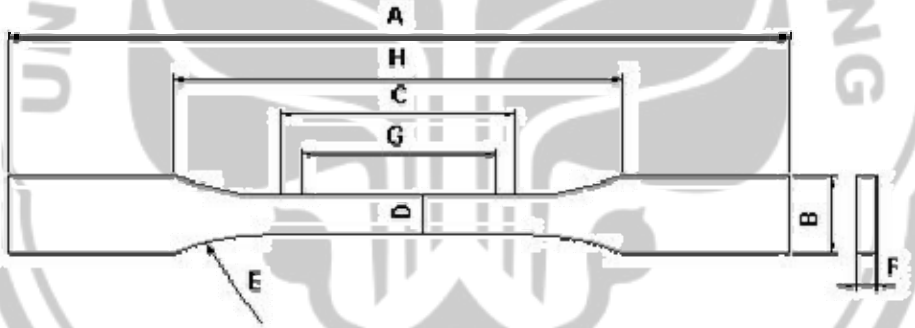
$$\varepsilon = \frac{\delta_l}{l_o} \quad \text{.....(2.8)}$$

Dimana :

ε	=	*Engineering Strain* (%)
l_o	=	Panjang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (mm)
δ_l	=	Pertambahan panjang (mm)

(Surdia dan Saito, 1999 : 8)

Standar pengujian yang digunakan Standard ***JIS K 7113*** untuk pengujian material plastik. Pada gambar 2.1 berikut bentuk spesimen pengujian tarik berdasarkan standar pengujian seperti di atas.



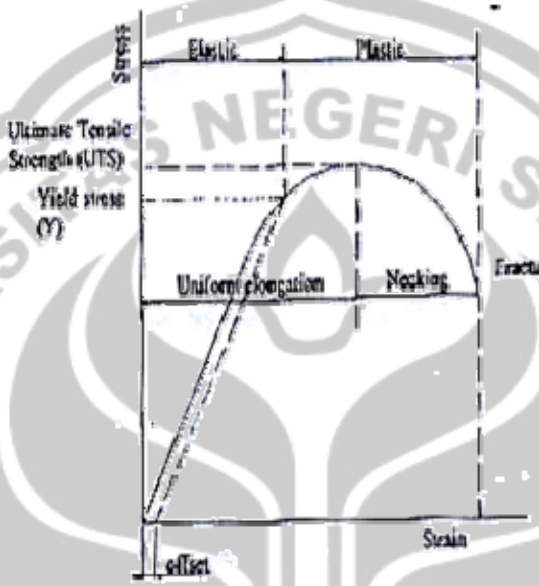
Gambar 2.1 Bentuk spesimen uji tarik material plastik berdasarkan standar ***JIS K 7113*** *(1981).*(*Annual Book of JIS Standards, K 7113* : 399)

Keterangan :

A	: *Overall length*	200 mm
B	: *Width at ends*	20 ± 0,5 mm
C	: *Length of narrow parallel portion*	60 ± 0,5 mm
D	: *Width of narrow parallel portion*	10 ± 0,5 mm
E	: *Radius of fillets*	60^0
F	: *Thickness*	1-10 mm
G	: *Gauge length*	50 ± 0,5 mm

H : *Distance between grips* 115 ± 5 mm

Output dari pengujian tarik dituangkan dalam kurva sebagai beban atau gaya versus perpanjangan. Kurva tegangan-regangan atau *engineering stress and strain* digunakan untuk menggambarkan karakteristik dan sifat mekanik dari material uji tarik.

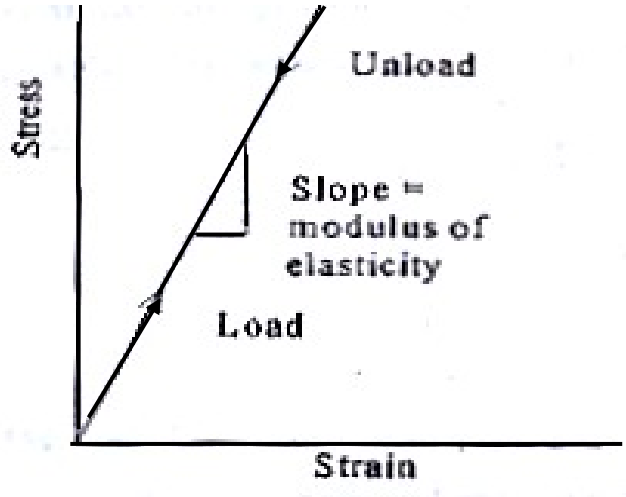


Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan (*Strain-Stress Curve*)
(Kalpakjian, 1995)

3). <u>Deformasi Elastik</u>

Deformasi elastik terjadi apabila sepotong logam atau bahan padat diberi beban. Regangan awal berbanding lurus dengan besarnya tegangan, disamping itu ia pun mampu balik (*reversible*) dan bila hanya ada deformasi elastik, regangan akan sebanding dengan tegangan. Setelah tegangan dihilangkan, maka regangan pun akan hilang. Regangan yang mampu linier disebut regangan elastik. Modulus elastisitas (modulus *Young*) adalah perbandingan antara tegangan dan regangan yang *reversible* (Van Vlack, 1992 : 8). Semakin tinggi atau besar gaya tarik-

menarik antar atom, makin tinggi pula modulus elastisitasnya. Gambar 2.3 berikut menunjukkan kurva deformasi elastik linier



Gambar 2.3 Kurva deformasi elastik linier
(Callister, 1997 : 113)

b. Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan *Vickers*. Pengujian *Vickers* memiliki banyak keuntungan, karena dapat dilakukan tidak hanya pada benda yang lunak akan tetapi juga dapat dilakukan pada bahan yang keras. Bekas penekanan yang kecil pada pengujian *Vickers* mengakibatkan kerusakan bahan percobaan relatif sedikit. Pada benda kerja yang tipis atau lapisan permukaan yang tipis dapat diukur dengan gaya yang relatif kecil.

Dikarenakan atas kelebihan pengujian kekerasan *Vickers* jika dibandingkan dengan metode pengujian kekerasan yang lain, maka dalam penelitian ini akan digunakan pengujian *Vickers* dalam menentukan kekerasan spesimen uji. Skema uji kekerasan *Vickers* diperlihatkan pada gambar 2.4.

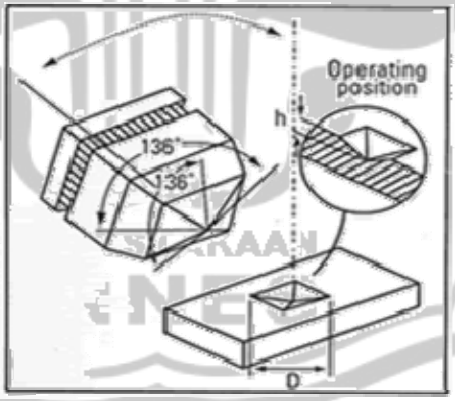
PERPUSTAKAAN
UNNES

c. Pengujian Ketahahan Aus

Pada pergerakan relatif dengan tekanan, selalu terjadi friksi pada bidang kontak. Fenomena tersebut menyebabkan abrasi akan terus berlanjut,dan merusak ketelitian suatu komponen selanjutnya berkembang terus menjadi lebih parah sampai pada suatu saat suatu komponen kehilangan fungsinya dan patah.

Goresan karena bahan yang lebih keras menyebabkan permukaan kasar. Pemolesan dengan bahan abrasi, kertas ampelas atau campuran debu memberikan fenomena abrasi disebut keausan goresan atau keausan permukaan licin (Surdia dan Saito, 1999 : 39).

Dalam penelitian ini untuk mengetahui tingkat keausan spesimen digunakan mesin uji keausan. Benda uji dimasukkan dalam mesin dengan laju dan tekanan tertentu. Dengan menghitung data yang diperoleh dari proses pengujian, maka akan diperoleh tingkat keausan tiap-tiap spesimen.



Gambar 2.4 *Vickers indentation*.
(http://encarta.msn.com/, US, diakses 29 Maret 2006)

Gambar 2.5 Alat uji ketahanan aus

2.6 Hipotesis

Berdasarkan teori-teori di atas, hipotesis yang diajukan dan yang akan diuji kebenarannya adalah sebagai berikut :

"Dengan penambahan fraksi volume serbuk *titania* sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20% pada matriks *epoxy*, maka densitas komposit meningkat karena densitas *titania* lebih tinggi daripada densitas *epoxy*, kekerasan (VHN/*Vickers Hardness Number*) dan ketahanan aus komposit meningkat karena kekerasan *titania* lebih tinggi daripada *epoxy*, tetapi kekuatan tarik komposit menurun".

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Mesin uji tarik : "*Servopulser*, merk Shimadzu", model EHF-Eb20, di Lab. Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta ;

b. Mesin uji kekerasan : "*Buehler Microhardness Tester*", di Lab. Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta ;

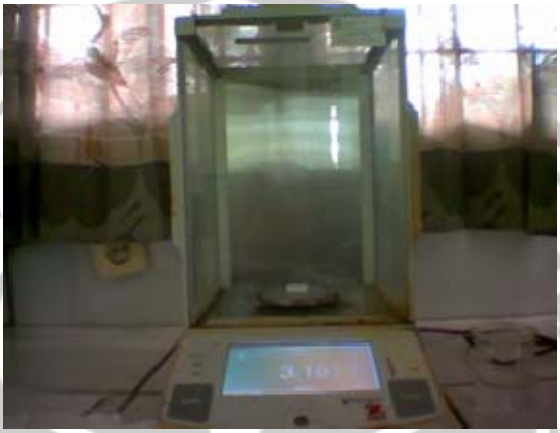
c. Mesin uji keausan : "*Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine*", tipe OAT-U di Lab. Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta ;

d. Alat Foto Mikro : "*Metalurgical Microscope Inverted Type*", merk Olympus, seri PME3-313UN, di Lab. Bahan Program Diploma Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta ;

e. Kaca bening dengan ukuran (300 x 300 x 5) mm^3, 1 buah, sebagai dasar cetakan. Kaca bening dengan ukuran (300 x 50 x 8) mm^3, 2 buah, dan ukuran (200 x 50 x 8) mm^3, 2 buah, sebagai cetakan. Plastik mika, sebagai alas pada kaca cetakan ;

f. Neraca ukur, dengan ketelitian 0,1 gram, untuk mengukur berat bahan matriks (resin *epoxy*) selama proses pembuatan komposit ;

g. Neraca ukur ”Voyager, O’HAUS”, Jerman, di Lab. Kimia Analitik, Jurusan Kimia, Universitas Negeri Semarang, dengan ketelitian 0,0001 gram, untuk mengukur berat bahan *reinforcement*/penguat (serbuk *titania*) sebelum dicampur dengan matrik (resin epoksi) serta mengukur densitas ;



Gambar 3.1 Neraca ukur ”Voyager, O’HAUS”, Jerman.

h. Gelas ukur 500 ml, sebagai tempat pencampuran dan pengadukan bahan. Bilah besi d = 10 mm, p = 300 mm, sebagai pengaduk adonan ;

i. Perkakas pelengkap, seperti gunting, gergaji, gerinda listrik, ampelas, isolasi dan *double tape*.

Gambar 3.2 Gelas ukur 500 ml, gerinda listrik dan gergaji.

2. Bahan Penelitian

Untuk pembuatan spesimen uji tarik material komposit matriks resin *epoxy* dengan penguat serbuk *titania* dalam penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan antara lain :

a. Resin *epoxy*

Resin *epoxy* (sebagai matriks), dapat diperoleh di toko-toko kimia yang ada di Semarang dan Yogyakarta.

b. Serbuk *titania*

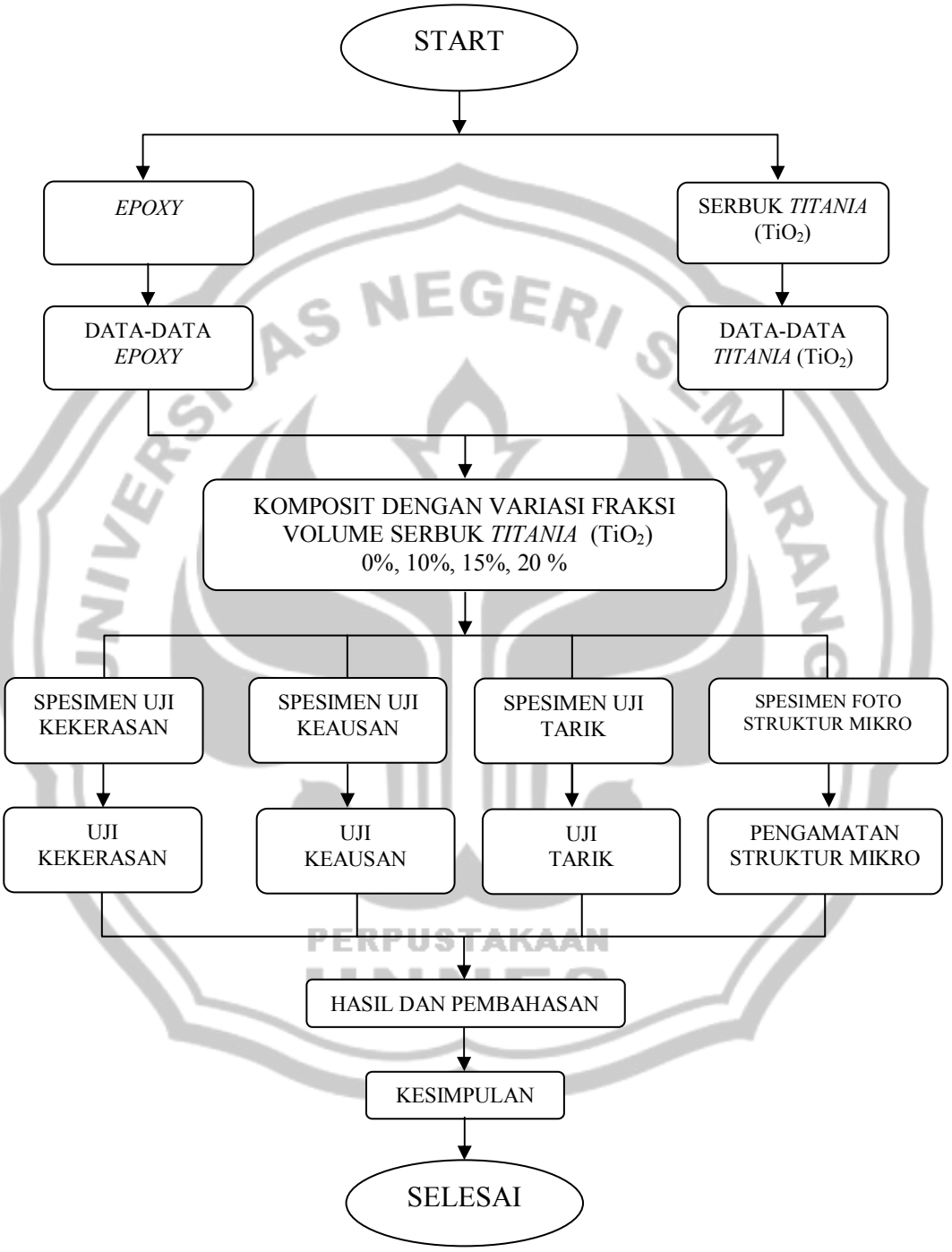
Serbuk *titania* (*reinforcement*), termasuk jenis *anatese*, dengan ukuran partikel 0,3 ± 0,05 μm dan densitas 4,25 g.cm^{-3}. Bahan ini juga diperoleh dari toko – toko kimia.

c. Katalis *Polyaminoamide*

Polyaminoamide digunakan sebagai *hardener* dari resin *epoxy*.

Gambar 3.3 Serbuk *Titania* dan Resin *Epoxy*.

3.2 Alur Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian.

3.3 Proses Pembuatan Spesimen

Proses pembuatan spesimen uji tarik, kekerasan *Vickers* dan keausan pada proses penambahan serbuk *titania* (TiO_2) terhadap resin *epoxy* ini melalui beberapa tahapan antara lain :

3.3.1 Proses Awal Pembuatan Spesimen Pengujian Tarik, Kekerasan Dan Keausan

Proses awal yang perlu dilakukan sebelum melakukan proses penuangan atau pencampuran adalah proses penimbangan resin *epoxy* dan serbuk *titania* (TiO_2), dimana dalam pembuatan spesimen uji ini adalah menggunakan variasi volume serbuk *titania* terhadap resin *epoxy*.

3.3.2 Proses Perhitungan Variasi Fraksi Volume

Volume komposit adalah perpaduan antara volume serbuk dan volume matriks (Berthelot, 1999 : 11). Variasi yang dilakukan pada proses pembuatan bahan komposit ini adalah proses penambahan volume serbuk *titania* terhadap resin *epoxy*. Adapun proses perhitungan dari volume serbuk *titania* (TiO_2) adalah sebagai berikut :

$$V_c = V_f + V_m = \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m} \quad \text{.....(3.1)}$$

Keterangan :

V_c = Volume komposit (cm^3)

V_f = Volume serbuk (cm^3)

V_m = Volume matrik (cm^3)

m_f = Massa serbuk (gr)

ρf = Berat jenis serbuk (gr/cm^3)

m_m = Massa matrik (gr)

ρm = Berat jenis matrik (gr/cm^3)

Tetapi dalam perhitungan ini fraksi volume terlebih dahulu kita ubah menjadi fraksi berat untuk mempermudah perhitungan campuran antara serbuk *titania* (TiO_2) dengan resin *epoxy* berdasarkan volume dari cetakan.

Gambar 3.5 Cetakan komposit.

Pada pengecoran bahan komposit yang berasal dari resin *epoxy* yang diperkuat dengan serbuk *titania* (TiO_2) diperoleh data sebagai berikut :

Volume cetakan = p x l x t

= 200 mm x 200 mm x 10 mm

= 400.000 mm^3 = 400 cm^3

Massa jenis *Titania* (TiO_2) (ρ) = 4,25 gram/cm^3

Massa jenis resin *epoxy* (ρ) = 1,17 gram/cm^3

a. Perhitungan variasi fraksi volume serbuk *titania* 0%

Diketahui :

Variasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2) = 0 %

Variasi fraksi volume resin *epoxy* = 100 %

Massa jenis serbuk *titania* (TiO_2) = 4,25 gram/cm^3

Massa jenis resin *epoxy* = 1,17 gram/cm^3

PERPUSTAKAAN UNNES

Volume (TiO_2) $= V_f = \frac{V_c \, x \, FraksiVolume}{100\%}$

$= \frac{400 \, cm^3 \, x \, 0\%}{100\%}$

= 0 cm^3

Massa (TiO_2) $= m_f = V_f . \rho_f$

$= 0 \, cm^3 \, x \, 4{,}25 \, gram / cm^3$

= 0 gram

Volume *epoxy* $= V_f = \frac{V_c \, x \, FraksiVolume}{100\%}$

$= \frac{400 \, cm^3 \, x \, 100\%}{100\%}$

= 400 cm^3

Massa *epoxy* $= m_f = V_f . \rho_f$

$= 400 \, cm^3 \, x \, 1{,}17 \, gram / cm^3$

= 468 gram

b. Perhitungan variasi fraksi volume serbuk *titania* 10%

Diketahui :

Variasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2) = 10 %

Variasi fraksi volume resin *epoxy* = 90 %

Massa jenis serbuk *titania* (TiO_2) = 4,25 gram/cm^3

Massa jenis resin *epoxy* = 1,17 gram/cm^3

Volume (TiO_2) $= V_f = \frac{V_c \, x \, FraksiVolume}{100\%}$

$= \frac{400 \, cm^3 \, x \, 10\%}{100\%}$

= 40 cm^3

Massa (TiO_2) $= m_f = V_f . \rho_f$

$= 40 \, cm^3 \, x \, 4{,}25 \, gram / cm^3$

= 170 gram

Volume *epoxy* $= V_f = \frac{V_c \, x \, FraksiVolume}{100\%}$

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

$$= \frac{400\,cm^3\ x\,90\%}{100\%}$$

= 360 cm^3

Massa *epoxy* $= m_f = V_f . \rho_f$

$$= 360\,cm^3\ x\,1{,}17\,gram/cm^3$$

= 421,2 gram

c. Perhitungan variasi fraksi volume serbuk *titania* 15%

Diketahui :

Variasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2) = 15 %

Variasi fraksi volume resin *epoxy* = 85 %

Massa jenis serbuk *titania* (TiO_2) = 4,25 gram/cm^3

Massa jenis resin *epoxy* = 1,17 gram/cm^3

Volume (TiO_2) $= V_f = \frac{V_c\ x\ FraksiVolume}{100\%}$

$$= \frac{400\,cm^3\ x\,15\%}{100\%}$$

= 60 cm^3

Massa (TiO_2) $= m_f = V_f . \rho_f$

$$= 60\,cm^3\ x\,4{,}25\,gram/cm^3$$

= 255 gram

Volume *epoxy* $= V_f = \frac{V_c\ x\ FraksiVolume}{100\%}$

$$= \frac{400\,cm^3\ x\,85\%}{100\%}$$

= 340 cm^3

Massa *epoxy* $= m_f = V_f . \rho_f$

$$= 340\,cm^3\ x\,1{,}17\,gram/cm^3$$

= 397,8 gram

d. Perhitungan variasi fraksi volume serbuk *titania* 20%

Diketahui :

Variasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2) = 20 %

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

Variasi fraksi volume resin *epoxy* = 80 %

Massa jenis serbuk *titania* (TiO_2) = 4,25 gram/cm^3

Massa jenis resin *epoxy* = 1,17 gram/cm^3

Volume (TiO_2) $= V_f = \dfrac{V_c \; x \; FraksiVolume}{100\%}$

$= \dfrac{400\,cm^3 \; x \; 20\%}{100\%}$

= 80 cm^3

Massa (TiO_2) $= m_f = V_f . \rho_f$

$= 80\,cm^3 \; x \; 4{,}25\,gram/cm^3$

= 340 gram

Volume *epoxy* $= V_f = \dfrac{V_c \; x \; FraksiVolume}{100\%}$

$= \dfrac{400\,cm^3 \; x \; 80\%}{100\%}$

= 320 cm^3

Massa *epoxy* $= m_f = V_f . \rho_f$

$= 320\,cm^3 \; x \; 1{,}17\,gram/cm^3$

= 374,4 gram

3.3.3 Proses Pembuatan/Pencampuran Serbuk *Titania* (TiO_2) Dengan Resin *Epoxy*

Proses pembuatan komposit menggunakan cetakan dari kaca dengan ukuran volume = (200 x 200 x 10) mm^3. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan komposit, yaitu :

1. Siapkan alat dan bahan yang akan dibutuhkan dalam pembuatan komposit. Lapisi kaca/cetakan dasar dan penutup dengan plastik mika agar mudah dalam pembongkaran.

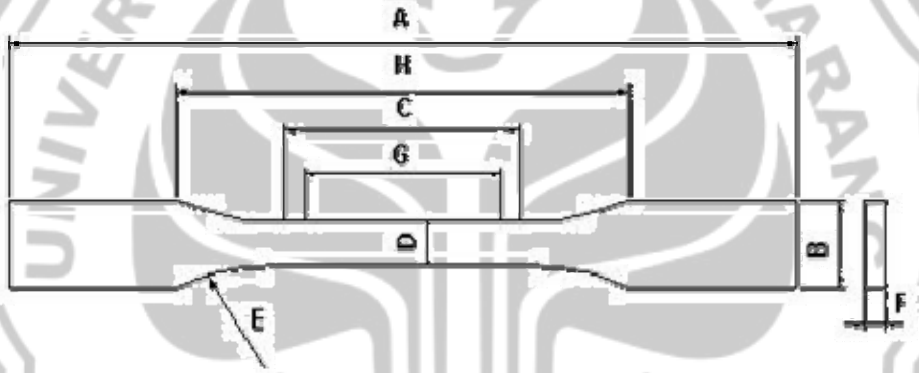
2. Tuangkan resin ke dalam gelas ukur di atas neraca (dengan ketelitian 0,1 gram) sesuai dengan perhitungan massa yang disesuaikan dengan variasi volume serbuk *titania* (TiO_2).
3. Masukkan serbuk *titania* (TiO_2) sesuai dengan perhitungan massa yang disesuaikan dengan variasi fraksi volumenya. Serbuk *titania* (TiO_2) kita tuangkan sebelum *hardener* resin *epoxy* kita masukkan ke dalam gelas ukur agar resin tidak mengeras dahulu.
4. Tuangkan *hardener* ke dalam gelas ukur sesuai dengan perhitungan massa yang disesuaikan dengan variasi fraksi volumenya. Perbandingan antara resin *epoxy* dengan *hardener*-nya adalah 1 : 1 setelah hasil perhitungan massa resin dibagi menjadi dua bagian, yaitu setengah bagian massa resin *epoxy* dan setengah bagian massa *hardener*-nya.
5. Aduk dengan pengaduk secara merata dan pelan-pelan. Pengadukan secara pelan-pelan bertujuan untuk mengurangi porositas (gelembung udara) pada bahan komposit.
6. Tuangkan campuran resin *epoxy*, *hardener* dan serbuk *titania* (TiO_2) ke dalam cetakan dan ratakan. Bila perlu tiuplah bagian permukaan setelah penuangan untuk mengurangi udara yang terjebak di dalam campuran yang dapat menimbulkan porositas pada bahan komposit.
7. Tunggu kurang lebih 4 sampai 7 jam sampai campuran bahan mengering dan mengeras.
8. Bongkar cetakan untuk mengeluarkan bahan komposit.

Gambar 3.6 Benda hasil proses pengecoran.

3.3.4 Proses Pembuatan Spesimen

1. Spesimen Uji Tarik

Proses pembuatan spesimen dilakukan dengan mesin yang mengacu pada standard uji **JIS K 7113** untuk pengujian material plastik.



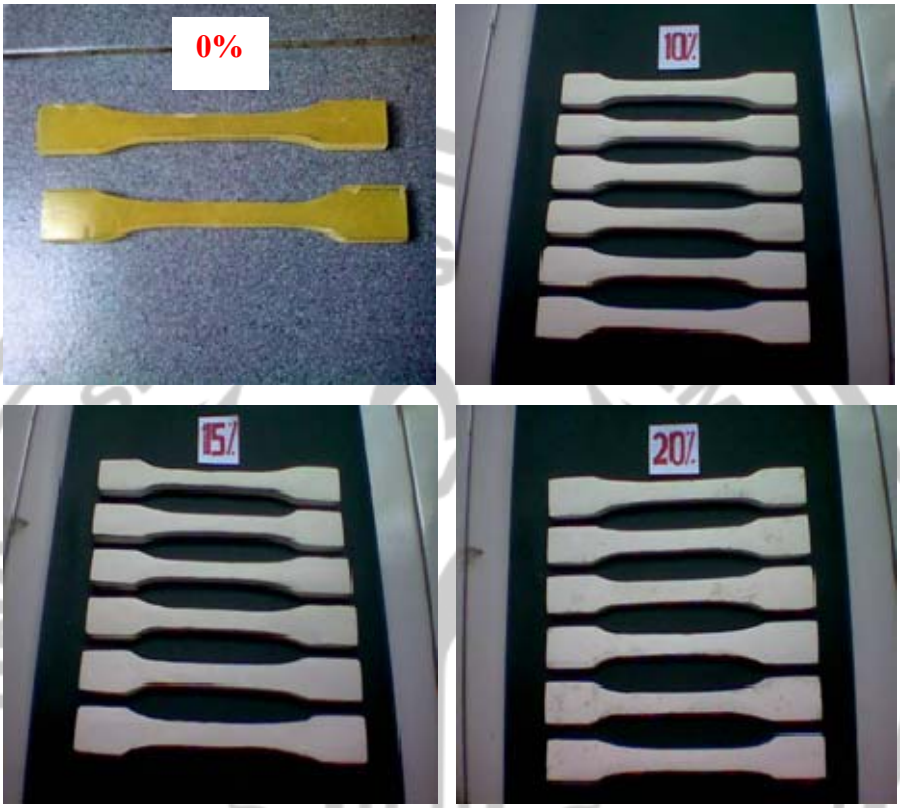
Gambar 3.7 Bentuk spesimen uji tarik material plastik berdasarkan standar ***JIS K 7113*** (*Annual Book of JIS Standards, K 7113*, 1981 : 399)

Keterangan :

A	: *Overall length*	200 mm
B	: *Width at ends*	20 ± 0,5 mm
C	: *Length of narrow parallel portion*	60 ± 0,5 mm
D	: *Width of narrow parallel portion*	10 ± 0,5 mm
E	: *Radius of fillets*	60^0
F	: *Thickness*	1-10 mm
G	: *Gauge length*	50 ± 0,5 mm
H	: *Distance between grips*	115 ± 5 mm

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

Gambar 3.8 berikut menunjukkan spesimen uji tarik yang mengacu pada standar ***JIS K 7113*** (dengan ukuran fraksi volume *titania* sebesar 0%, 10%, 15% dan 20%) :



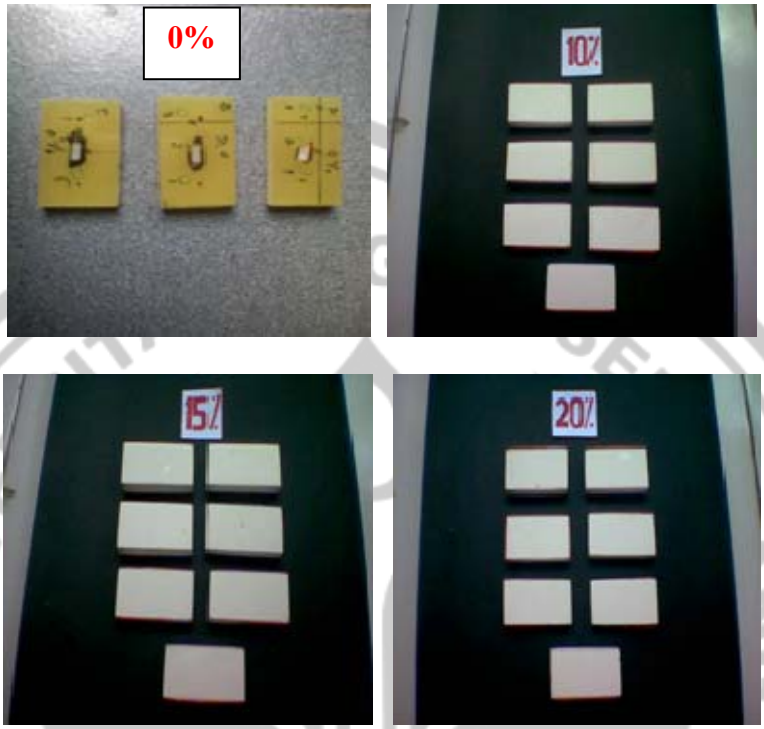
Gambar 3.8 Spesimen Uji Tarik dengan fraksi volume *titania* 0%, 10%, 15% dan 20%.

2. Spesimen Uji Kekerasan

Pembuatan spesimen untuk pengujian kekerasan dapat dilakukan tanpa menggunakan mesin, tetapi cukup dengan menggunakan gergaji tangan. Bentuk benda untuk pengujian kekerasan berbentuk balok berukuran {(50 ± 10) x 25 x (8 ± 1)} mm^3 dengan catatan bahwa permukaan benda uji harus halus yaitu dengan dilakukan pengampelasan mesin dengan ukuran ampelas mulai dari 150 Cw, 400 Cw, 800 Cw dan 1500 Cw dan diakhiri pemolesan menggunakan autosol.

3. Spesimen Uji Keausan

Spesimen untuk pengujian keausan dapat menggunakan spesimen dalam pengujian kekerasan, karena bentuk dan ukurannya sama.



Gambar 3.9 Spesimen Uji Kekerasan dan Keausan dengan fraksi volume *titania* 0%, 10%, 15% dan 20%.

3.3.5 Prosedur Pengujian

1. Uji Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Bahan, Jurusan Teknik Mesin. Universitas Gadjah Mada Yogjakarta, dengan mesin uji tarik jenis Servopulser merk Shimadzu, model EHF-Eb, kapasitas maksimum 20.000 kgf. Output hasil pengujian tarik berupa beban maksimum (saat patah) dalam kilogram (kg) yang langsung tertera pada mesin dan perpanjangan (*elongation*) spesimen patah dalam

PERPUSTAKAAN UNNES

millimeter yang dapat kita baca secara manual pada ekstensiometer (dengan ketelitian 0,1 mm).

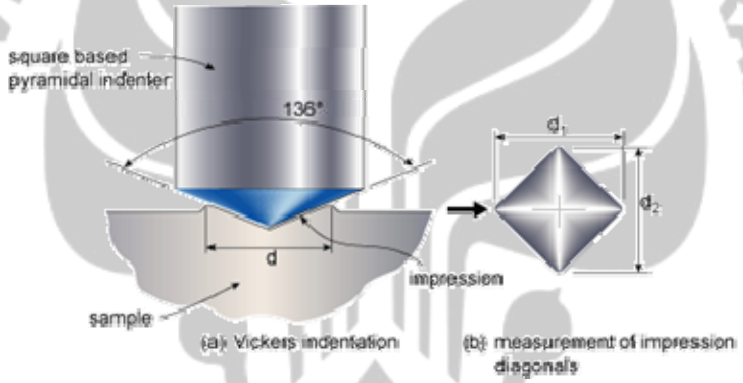
2. Uji Kekerasan *Vickers*

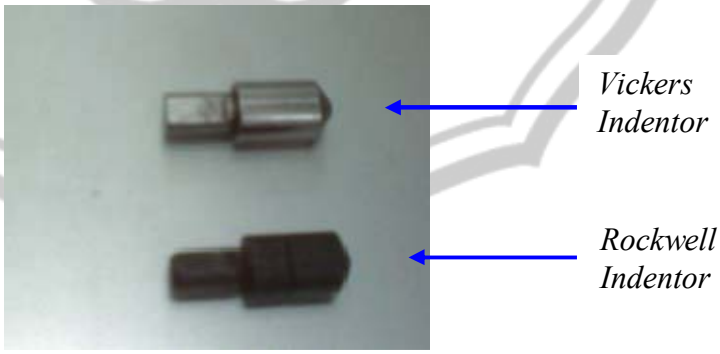
Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan di Laboratorium Bahan Universitas Gajah Mada Program Diploma Teknik Mesin.

Langkah-langkah pengujian kekerasan *Vickers*, antara lain:

a. Siapkan spesimen yang akan diuji, dengan ukuran panjang 50 ± 10 mm, lebar 25 mm dan tebal 8 mm.

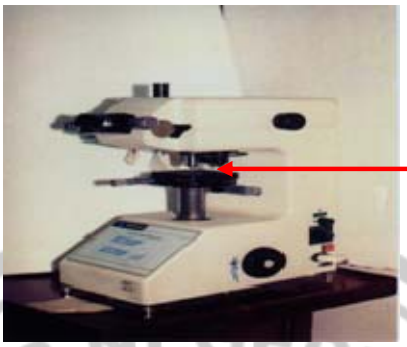
b. Pasang *Vickers indentor* yang berbentuk *diamond* pada dudukannya, kemudian kencangkan baut pengunci *Vickers indentor*.





Gambar 3.10 *Vickers indentation* (Sumber : http://encarta.msn.com) dan *Vickers and Rockwell indentor*.

c. Tempatkan benda uji pada landasan tempat benda pada mesin uji kekerasan.



Gambar 3.11 Mesin Uji Kekerasan
"*Buehler Microhardness Tester*"

d. Putar *handwheel* hingga jarum tepat pada titik merah atau angka 3 pada skala kecil dan *vickers indentor* akan bekerja menekan, tetapi sebelumnya kita putar *dial* indikator pada posisi 0.

e. Setelah 10 detik *test lever* di kembalikan pada posisi semula dan besar gaya tekanan *vickers indentor* akan terlihat pada angka skala besar.

f. Harga dari nilai tekanan dapat dilihat pada tabel atau dicari dengan mengukur bekas lekukan *vickers indentor* menggunakan mikroskop.

g. Catat hasilnya kemudian hitung besar harga kekerasan dari benda uji berdasarkan rumus :

PERPUSTAKAAN
UNNES

$$\text{VHN} : \frac{2\sin(\frac{\theta}{2})P}{d^2} = \frac{2\sin(\frac{136^o}{2})P}{d^2} = \frac{1{,}854P}{d^2}$$

Dimana :

P = Beban tekan yang diberikan, sebesar 0,015 (kgf)

d = Panjang diagonal bekas injakan (mm)

θ = Sudut puncak penetrator (136°)

3. Uji Ketahanan Aus

Pengujian keausan/ketahanan aus dilakukan di Laboratorium Bahan Universitas Gajah Mada dengan menggunakan alat pengujian ketahanan aus.

Gambar 3.12 Mesin uji ketahanan aus "*Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine*".

Adapun langkah-langkah pengujian ketahanan aus, antara lain:

a. Siapkan alat dan bahan untuk pengujian ketahanan aus.

b. Masukkan spesimen pada mesin uji.

Gambar 3.13 Pemegang/penjepit benda uji.

c. Atur jarak tempuh pemakanan pada spesimen.

d. Hidupkan mesin sehingga roda pemakan akan berputar dan memakan permukaan spesimen.

Gambar 3.14 Pengatur jarak tempuh pemakanan benda uji.

e. Setelah roda pemakan mencapai jarak tempuh yang telah diset, maka mesin akan berhenti dengan sendirinya.

f. Buka tempat spesimen dan keluarkan spesimen dari mesin.

g. Ukur berapa panjang jarak goresan pada spesimen menggunakan jangka sorong.

4. Pengamatan Foto Mikro

a. Menyiapkan spesimen uji yang akan digunakan dalam pengamatan foto mikro. Material untuk pengamatan foto mikro harus mempunyai permukaan datar, bebas dari goresan dan mengkilap, untuk itu diperlukan perlakuan terhadap spesimen dengan proses *grinding* menggunakan ampelas mulai dari 150 Cw, 400 Cw, 800 Cw dan 1500 Cw dengan diakhiri proses *polishing* dan proses finishing dengan menggosok spesimen uji menggunakan autosol.

b. Hidupkan mikroskop dengan menekan tombol On pada *power swicth.* Foto mikro yang dipakai bermerk Olympus dengan seri PME3-313UN yang disebut dengan *Metalurgical Microscope Inverted Type*.

c. Pasang spesimen uji pada landasan/*stage*.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

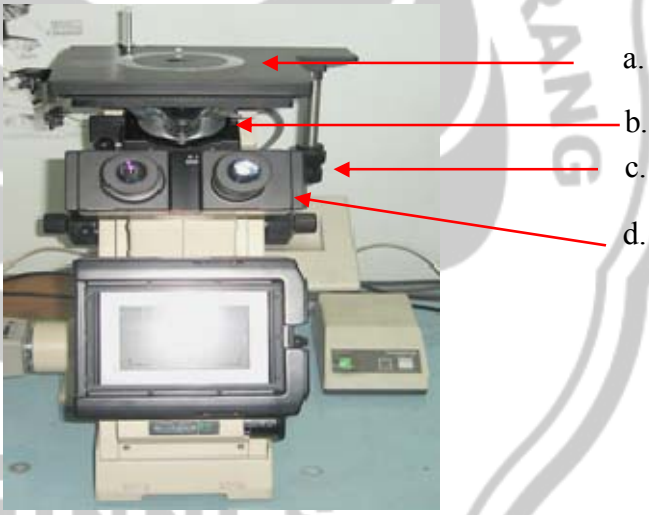
d. Pilih cahaya yang sesuai dengan memutar *light intensity control knop.*

e. Pilih pembesaran lensa objektif dengan memutar *revolving nosepiece.*

f. Langkah selanjutnya lihat gambar pada *eyepiece* yaitu pada lensa okuler dan fokuskan gambar.

g. Pilih lokasi yang akan diinginkan dengan memutar *stage drive control knop*.

h. Proses pemotretan : masukan film pada kamera, pilih dengan spesifik gambar yang akan diambil dengan *photo unit adjuster dial*, dan tekan *expose* untuk melakukan pemotretan.



Gambar 3.15 Mikroskop optik :"*Metalurgical Microscope Inverted Type*" merk Olympus, seri PME3-313UN.

Keterangan gambar:

a. = Meja spesimen

b. = Lensa pengatur perbesaran

c. = Lengan pengatur kedudukan meja

d. = Lensa untuk melihat

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel bebas

Variabel bebas adalah suatu variabel yang dapat mempengaruhi terjadinya suatu gejala di dalam suatu hasil penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas adalah variasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2) yaitu dengan variasi sebesar 0%, 10%, 15% dan 20%.

3.4.2 Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah sifat fisis dan mekanis yang meliputi pengamatan struktur mikro, sifat kekuatan tarik, kekerasan dan ketahanan aus dari bahan komposit yang dibuat.

3.4.3 Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah faktor-faktor yang mempengaruhi hasil dari penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah volume komposit, prosedur pengecoran, dan material dasar yang berupa resin *epoxy*.

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dipergunakan pada penelitian ini adalah statistik deskriptif yang dilakukan dengan cara melukiskan dan merangkum pengamatan dari penelitian yang dilakukan. Berdasarkan pada hasil pengujian tarik, kekerasan dan ketahanan aus maka dapat diambil suatu kesimpulan yang dapat berupa suatu grafik, tabel dan analisa tentang pengaruh penambahan serbuk *titania* (TiO_2) pada matrik resin *epoxy* dengan variasi fraksi volume serbuk. Data yang diperoleh dari penelitian ini selanjutnya dibahas dalam bentuk grafik sebagai berikut :

1. Hubungan antara kekuatan tarik dengan variasi fraksi volume penambahan serbuk *titania* (TiO_2) pada matrik resin *epoxy*.
2. Hubungan antara kekerasan dengan variasi fraksi volume penambahan serbuk *titania* (TiO_2) pada matrik resin *epoxy*.
3. Hubungan antara ketahanan aus dengan variasi fraksi volume penambahan serbuk *titania* (TiO_2) pada matrik resin *epoxy*.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Porositas

Porositas didefinisikan sebagai persentase dari pori (ruang kosong) terhadap volume secara keseluruhan. Porositas mempunyai pengaruh yang besar terhadap densitas dan kekuatan dari suatu material. Beberapa tahap fabrikasi, diantaranya : tahap pencampuran, pengadukan dan penuangan dalam cetakan, akan sangat rentan sekali terhadap terjadinya gelembung-gelembung udara yang akan menyebabkan terjadinya porositas. Tingginya tingkat porositas ditentukan oleh beberapa tahap di atas, dan juga oleh waktu lamanya pengerasan material.

Untuk memperoleh nilai porositas, dilakukan pengukuran berat spesimen di udara dan di dalam air. Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menghitung porositas adalah sebagai berikut :

$$Porosity = 1 - \frac{\rho_{actual}}{\rho_{teoritis}} x100\% \quad \text{.....(4.1)}$$

Dimana :

$$\rho_{teoritis} = \rho_1 \,.\, \upsilon_1 + \rho_2 \,.\, \upsilon_2 \quad \text{.....(4.2)}$$

$$\rho_{actual} = \frac{Berat\ di\ udara}{Berat\ di\ udara - Berat\ dalam\ air} x\rho_{air} \quad \text{.....(4.3)}$$

Contoh perhitungan porositas pada komposit dengan variasi 0% TiO_2 :

$$\rho_{teoritis} = (\rho_m . v_m) + (\rho_f + v_f)$$
$$= (1{,}17\, x 1) + (4{,}25\, x 0)$$
$$= 1{,}17 \frac{gram}{cm^3}$$

$$\rho_{actual} = \frac{berat\ di\ udara}{berat\ di\ udara - berat\ dalam\ air}\, x\, \rho_{air}$$
$$= \frac{0{,}2366}{0{,}2366 - 0{,}0126}\, x 1 \frac{gram}{cm^3}$$
$$= 1{,}0562 \frac{gram}{cm^3}$$

$$Porosity = \left(1 - \frac{\rho_{actual}}{\rho_{teoritis}}\right) x 100\%$$
$$= \left(1 - \frac{1{,}0562}{1{,}17}\right) x 100\%$$
$$= 9{,}73\%$$

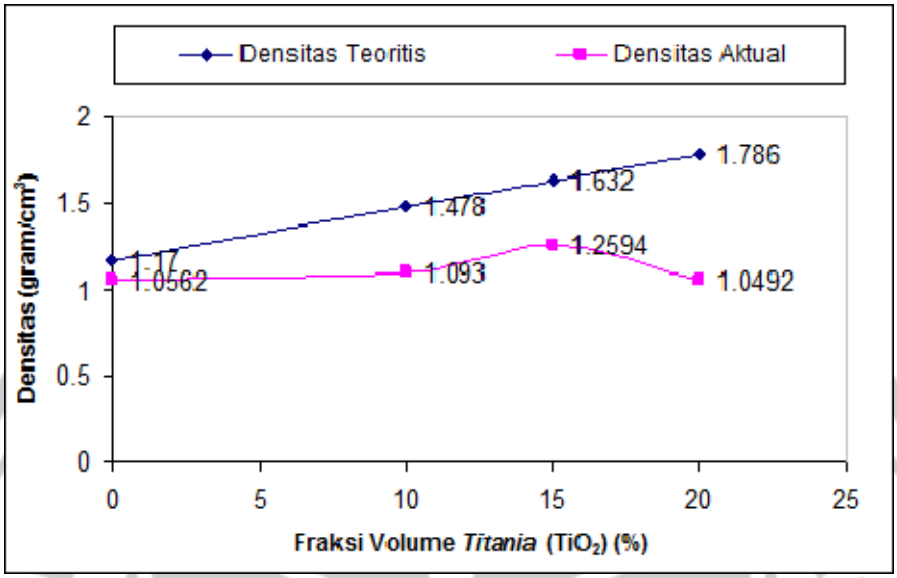
Sedangkan pada komposit dengan variasi 10%, 15% dan 20% dapat dilihat pada tabel dan gafik berikut (yang menunjukkan hasil pengukuran berat spesimen di udara dan di dalam air, perhitungan densitas dan porositas).

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Porositas

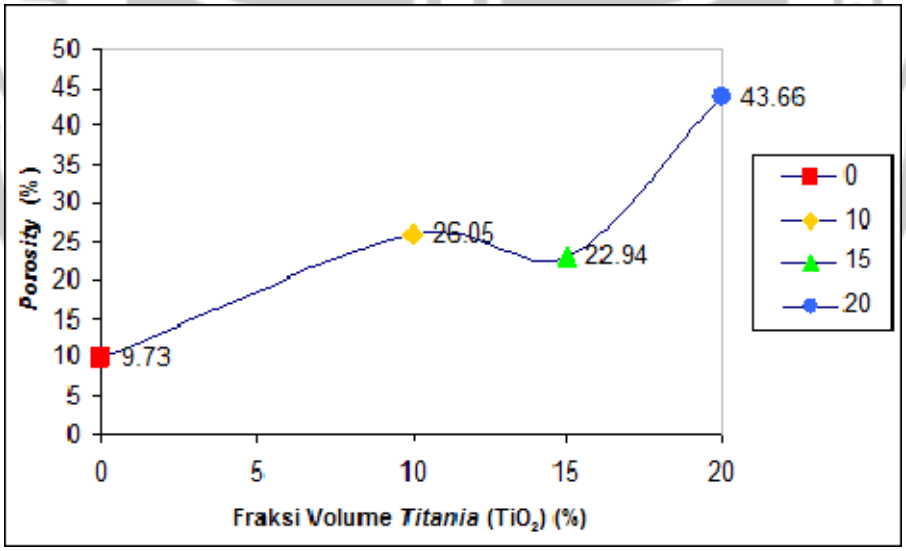
No.	Spesimen per Fraksi Volume	Berat di udara (gram)	Berat dalam air (gram)	*ρ teoritis* (gram/cm^3)	*ρ actual* (gram/cm^3)	*Porosity* (%)
1.	0%	0,2366	0,0126	1,17	1,0562	9,73%
2.	10%	0,2091	0,0178	1,478	1,0930	26,05%
3.	15%	0,2791	0,0575	1,632	1,2594	22,94%
4.	20%	0,4582	0,0215	1,786	1,0492	43,66%

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

Hasil pengukuran berat di udara dengan berat dalam air akan berbeda, hal ini sesuai dengan bunyi hukum *Archimedes*, yaitu besar massa yang dimasukkan dalam fluida akan sama dengan jumlah fluida yang dipindahkan.



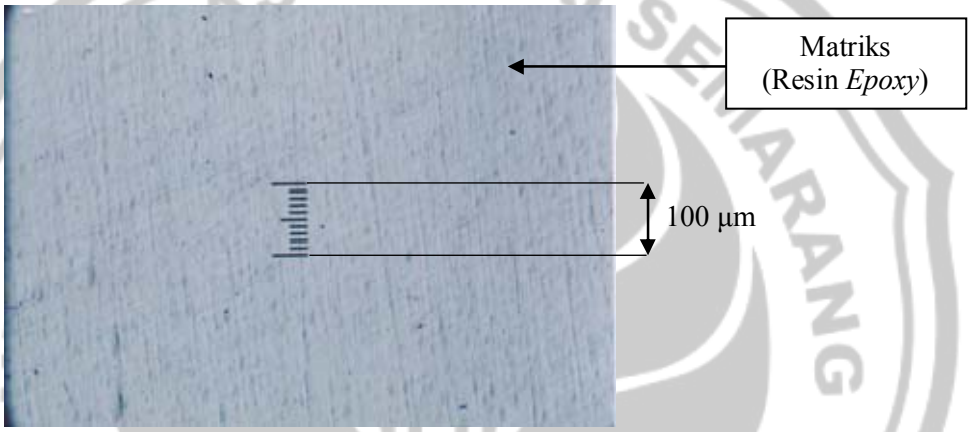
Gambar 4.1 Densitas vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)



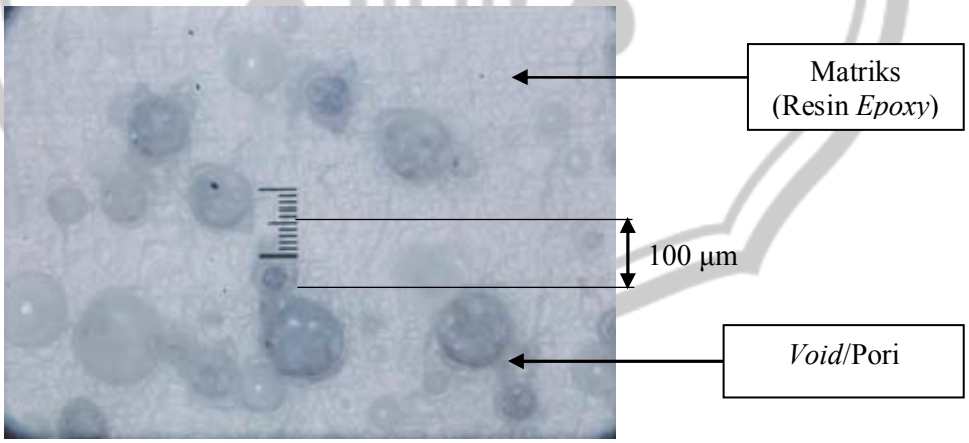
Gambar 4.2 *Porosity* vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)

4.2 Hasil Pengamatan Foto Struktur Mikro

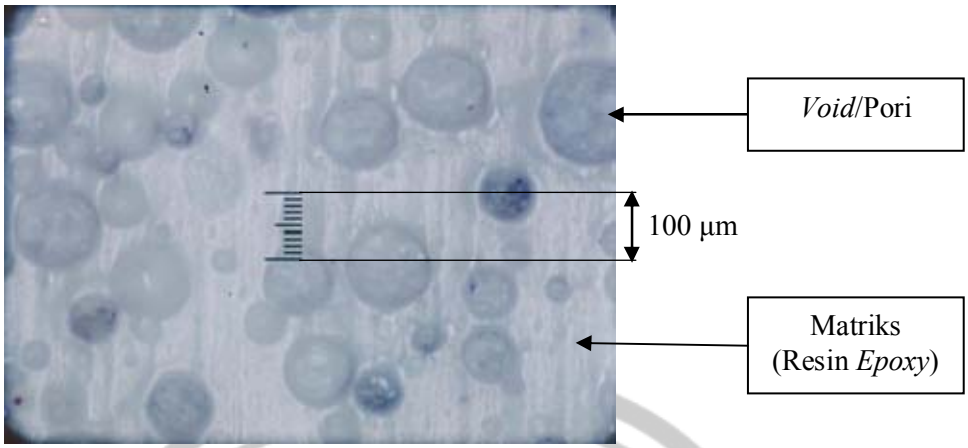
Pengamatan foto struktur mikro bertujuan untuk menganalisa struktur yang terdapat pada benda uji atau spesimen, di mana pada penelitian ini yang menjadi objeknya adalah resin *epoxy* dan serbuk *titania* (TiO_2) sehingga dari hasil pengamatan foto struktur mikro ini dapat diketahui perbedaan dari masing-masing karakteristik benda uji. Berikut hasil pengamatan foto mikro dengan pembesaran 100 x :



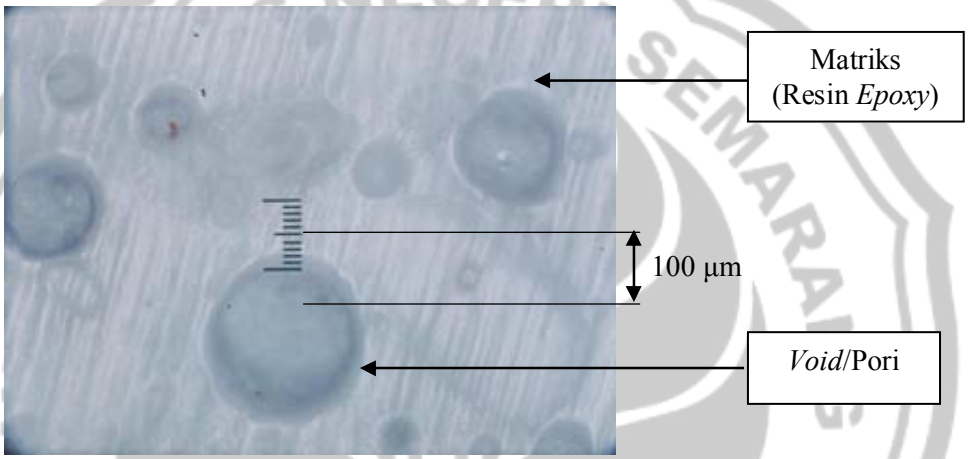
Gambar 4.3 Spesimen dengan Fraksi Volume 0% TiO_2



Gambar 4.4 Spesimen dengan Fraksi Volume 10% TiO_2



Gambar 4.5 Spesimen dengan Fraksi Volume 15% TiO_2



Gambar 4.6 Spesimen dengan Fraksi Volume 20% TiO_2

Berikut ini dijelaskan analisis dari gambar di atas :

a. *Reinforcement* (TiO_2) tidak dapat terlihat, dikarenakan karena ukuran partikelnya sangat kecil (0,3 ± 0,05 µm).

b. Berdasarkan beberapa gambar foto mikro di atas, dapat dilihat bahwa porositas yang tinggi terjadi pada setiap spesimen variasi *reinforcement* TiO_2. Pada spesimen dengan variasi fraksi volume serbuk 0% TiO_2 menunjukkan lebih sedikit pori-pori (lihat gambar 4.4).

c. Porositas yang paling banyak terdapat pada spesimen dengan variasi fraksi volume 20% TiO_2 yaitu sebesar 43,66% (lihat tabel 4.1).

PERPUSTAKAAN UNNES

d. Terjadinya pori-pori diakibatkan oleh terjebaknya gelembung udara selama proses pengadukan dan penuangan komposit, dimana kecepatan gelembung udara tersebut untuk keluar lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan pengerasan/pembekuan komposit (± 7 jam).

e. Skala yang digunakan adalah 100 μm per 10 strip, sehingga 1 strip sama dengan 10 μm.

4.3 Hasil Pengujian

4.3.1 Uji Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik (*Tensile strength*) dapat dihitung dari gaya maksimum dibagi luas penampang awal (Van Vlack, 1992 : 10). Hasil pengujian tarik ini berupa suatu grafik hubungan antara % beban (dari setting beban maksimum) dan pertambahan panjang (ΔL). Pengujian tarik dilakukan pada spesimen dari setiap komposisi komposit. Dari nilai maksimum kurva tersebut dapat dihitung kekuatan tariknya, sehingga menghasilkan tabel sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tarik

No.	Spesimen	% Dari Setting Beban Maksimum Untuk Spesimen :			
		0% TiO_2	10% TiO_2	15% TiO_2	20% TiO_2
1.	I	16,9	5,4	5,7	2,1
2.	II	17,0	5,9	6,1	2,6
3.	III	19,7	7,1	6,4	2,6

Contoh perhitungan tegangan tarik pada spesimen 0% TiO_2 :

$$F = \frac{16,9}{100} x\, 2000\, kg = 16,9\, x\, 20\, kg = 338\, kg$$

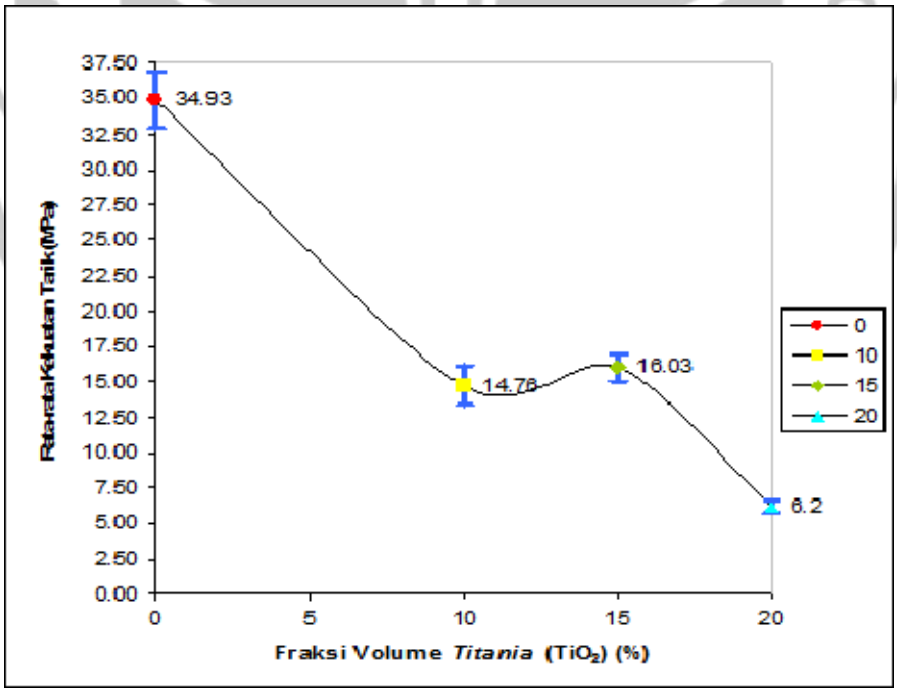
$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{338\, kg}{(10,9\, mm\, x\, 9,2\, mm)}$$

$$=3{,}37\ {}^{kg}\!/_{mm^2}$$
$$=33{,}065x10^6\ {}^{N}\!/_{m^2}$$
$$=33{,}07\,MPa$$

Tabel dan grafik berikut menunjukkan nilai tegangan tarik bahan komposit dan hubungan antara nilai tegangan tarik vs variasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2).

Tabel 4.3 Tabel Nilai Tegangan Tarik Maksimum

No.	Spesimen	Tegangan Tarik Maksimum (MPa)			
		0% TiO_2	10% TiO_2	15% TiO_2	20% TiO_2
1.	I	33,07	13,17	14,93	5,67
2.	II	34,64	15,25	16,72	6,43
3.	III	37,10	15,88	16,36	6,50
Rata-rata (MPa)		34,93	14,76	16,03	6,20
Standar Deviasi (MPa)		2,04	1,42	0,94	0,46



Gambar 4.7 Kekuatan Tarik vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2).

4.3.2 Uji Kekerasan

Kekerasan adalah "kriteria" untuk menyatakan intensitas tahanan suatu bahan terhadap deformasi yang disebabkan objek lain (Surdia dan Saito, 1999: 186). Ada tiga macam cara pengujian kekerasan, yaitu:

a. Pengujian penekanan.

b. Pengujian goresan.

c. Pengujian *resilience* yang pada umumnya ditentukan dengan cara tidak merusak.

Bahan polimer menunjukkan sifat kekerasan yang berbeda dibandingkan dengan logam karena sifatnya yang viskoelastik. Karena besarnya deformasi elastik dan pemulihan yang cepat, pada pengujian penekanan kekerasan didapat lebih besar dari kekerasan seharusnya (Surdia dan Saito, 1999 : 186).

Pengujian dilakukan pada tiap material dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada bagian potongan untuk tiap titik dan mengetahui perbedaan nilai kekerasan dari bagian permukaan.

Contoh perhitungan kekerasan pada spesimen 0% TiO_2 :

a. **Spesimen A**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(23{,}6 + 23{,}8 + 24)\,\mu m}{3} = 23{,}8\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(23{,}8)^2} = 49{,}10\ \frac{kgf}{mm^2}$$

b. **Spesimen B**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(23{,}3 + 23{,}3 + 23{,}4)\,\mu m}{3} = 23{,}33\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(23{,}33)^2} = 51{,}10\ \frac{kgf}{mm^2}$$

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

c. **Spesimen C**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(23{,}4 + 23{,}3 + 23{,}4)\,\mu m}{3} = 23{,}67\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\,x\,0{,}015}{(23{,}67)^2} = 50{,}93\,\frac{kgf}{mm^2}$$

d. **Rata-rata $VHN_{0,015}$ dari Spesimen A, B dan C**

$$\frac{(49{,}10 + 51{,}10 + 50{,}93)}{3}\,\frac{kgf}{mm^2} = 50{,}37\,\frac{kgf}{mm^2}$$

Data berupa harga nilai kekerasan dari spesimen terlihat dari beberapa tabel berikut ini :

Tabel 4.4 Nilai VHN Pada Fraksi Volume Serbuk TiO_2 Sebesar 0%

Spesimen	Panjang Diagonal Rata-rata (d) Tiap Titik (µm)			$VHN_{0,015}$ (kgf/mm^2)
	1	2	3	
A	23,6	23,8	24,0	49,10
B	23,3	23,3	23,4	51,10
C	23,4	23,3	23,4	50,93
Rata-rata VHN				50,37
Standar Deviasi				1,10

Tabel 4.5 Nilai VHN Pada Fraksi Volume Serbuk TiO_2 Sebesar 10%

Spesimen	Panjang Diagonal Rata-rata (d) Tiap Titik (µm)			$VHN_{0,015}$ (kgf/mm^2)
	1	2	3	
A	19,5	20,0	20,5	69,52
B	19,8	21,0	20,0	67,75
C	20,0	22,0	19,0	67,29
Rata-rata VHN				68,19
Standar Deviasi				1,17

Tabel 4.6 Nilai VHN Pada Fraksi Volume Serbuk TiO_2 Sebesar 15%

Spesimen	Panjang Diagonal Rata-rata (d) Tiap Titik (μm)			$VHN_{0,015}$ (kgf/mm^2)
	1	2	3	
A	18,0	17,5	19,0	84,32
B	20,0	18,0	17,8	80,38
C	21,0	18,3	19,0	73,66
Rata-rata VHN				79,45
Standar Deviasi				5,39

Tabel 4.7 Nilai VHN Pada Fraksi Volume Serbuk TiO_2 Sebesar 20%

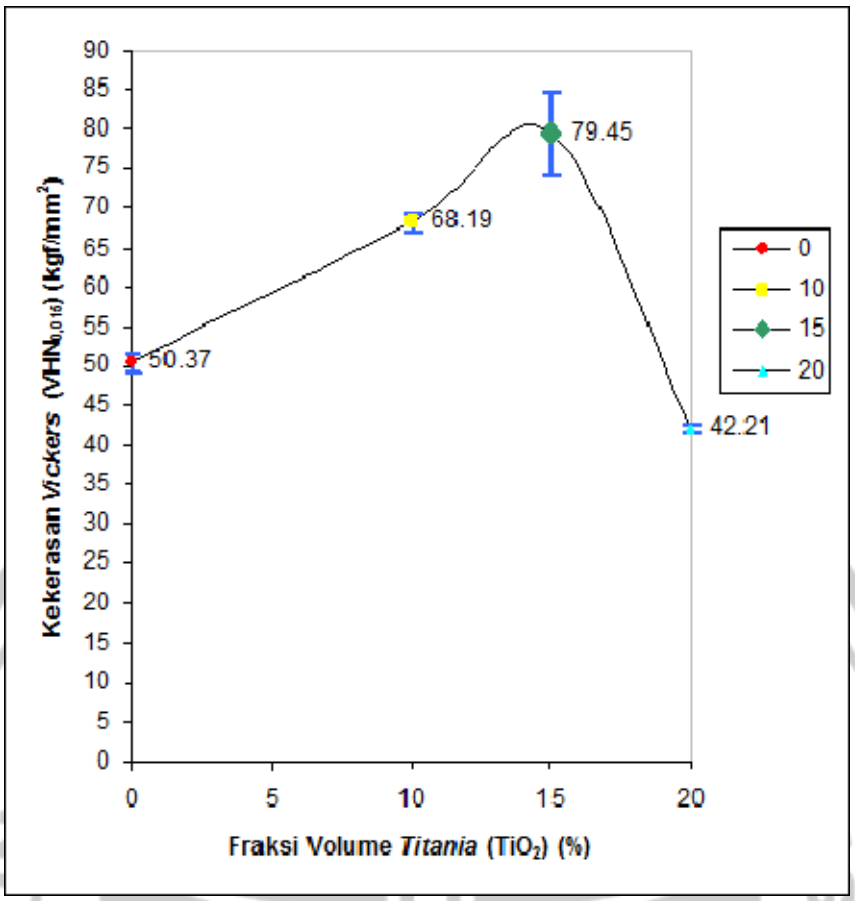
Spesimen	Panjang Diagonal Rata-rata (d) Tiap Titik (μm)			$VHN_{0,015}$ (kgf/mm^2)
	1	2	3	
A	25,5	26,0	25,5	42,20
B	25,5	25,0	26,0	42,77
C	25,0	27,0	25,5	41,68
Rata-rata VHN				42,21
Standar Deviasi				0,54

Dari beberapa tabel di atas dapat kita ketahui nilai $VHN_{0,015}$ rata-rata pada setiap variasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2), standar deviasi pada beberapa tabel di atas menunjukkan ketelitian dari hasil pengujian dan pada gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian kekerasan *Vickers*.

4.3.3 Uji Ketahanan aus

Abrasi antar bidang merupakan hal yang penting untuk diuji, bila bahan komposit ini akan diaplikasikan sebagai benda yang bergesekan. Mengingat hantaran termal yang jelek, temperaturnya naik karena panas gesekan, sehingga pengujian ini perlu dilakukan pada bahan termoplastik (Surdia dan Saito, 1999 : 188).

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES



Gambar 4.8 Kekerasan *Vickers* vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2).

Pengujian ini menggunakan persamaan (berdasarkan pada *manual book* dari alat uji keausan, "*Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine*" :

$$Ws = \frac{B\,x\,b_o^{\,3}}{8\,x\,r\,x\,P_o\,x\,l_o}\,(mm^2/kg)$$

Dimana : Ws = *Specific abrassion* (mm^2/kg)

B = Tebal piringan pemakan (3 mm)

b_o = Panjang goresan pada spesimen (mm)

r = Jari-jari piringan pemakan (mm)

P_o = Gaya penekan (2,12 kg)

l_o = Jarak tempuh piringan pemakan (10^5 mm)

Pengujian ketahanan aus/keausan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar ketahahan material komposit terhadap gesekan dari benda lain. Adapun data yang diperoleh dari pengujian ini, yaitu:

Tabel 4.8 Nilai Goresan Pada Variasi Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)

Variasi Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)	Spesimen (mm)			Rata-rata b_o (mm)
	A	B	C	
0%	8,30	8,25	8,10	8,22
10%	5,10	5,20	5,25	5,18
15%	4,85	4,70	4,75	4,76
20%	6,00	5,90	5,80	5,90

Dari data di atas maka kita dapat menghitung besarnya nilai keausan pada tiap varisasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2). Contoh perhitungan nilai keausan pada spesimen dengan fraksi volume 0% TiO_2 :

$$Ws\,A = \frac{3\,x\,(8{,}3)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{1715{,}361}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 7{,}023\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,B = \frac{3\,x\,(8{,}25)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{1684{,}546}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 6{,}897\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

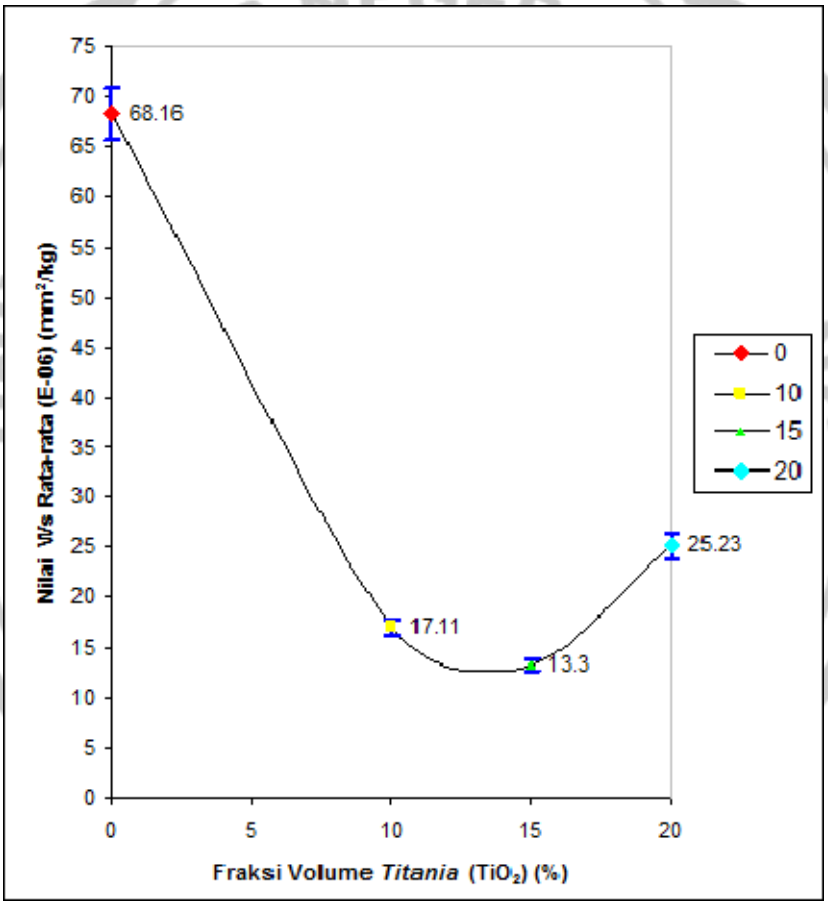
$$Ws\,C = \frac{3\,x\,(8{,}1)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{1594{,}323}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 6{,}528\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Rata-rata\ Nilai\,Ws = \frac{(7{,}023 + 6{,}897 + 6{,}528)\,x\,10^{-5}}{3}\,\frac{mm^2}{kg} = 6{,}816\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

Tabel dan gambar berikut menunjukkan hasil perhitungan nilai keausan pada semua spesimen (dengan fraksi volume 0%, 10%, 15% dan 20% TiO_2) :

Tabel 4.9 Nilai Ws Rata-Rata Dari Tiap Variasi Fraksi Volume Serbuk TiO_2

Variasi Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)	Rata-rata Ws (mm^2/kg)
0%	$(68,16 \pm 2,57) \times 10^{-6}$
10%	$(17,11 \pm 0,75) \times 10^{-6}$
15%	$(13,30 \pm 0,64) \times 10^{-6}$
20%	$(25,23 \pm 1,28) \times 10^{-6}$



Gambar 4.9 Nilai Rata-rata Keausan Komposit vs Fraksi Volume Serbuk *Titania*.

4.4 Pembahasan

Pembahasan ini berisi tentang perbandingan dari pengujian kekuatan tarik, kekerasan dan ketahanan aus terhadap variasi fraksi volume serbuk *titania* (TiO_2).

Berdasarkan dari data pengamatan hasil foto mikro, pengujian tarik, kekerasan dan ketahanan aus bahan komposit matrik resin *epoxy* yang diperkuat serbuk *titania* (TiO_2) dengan variasi fraksi serbuk dapat kita analisa bahwa:

a. Hubungan penambahan fraksi volume TiO_2 (%) dengan densitas.

   Semakin besar penambahan fraksi volume TiO_2, maka densitas komposit pun akan semakin meningkat (lihat Tabel 4.1 dan Gambar 4.1), karena densitas TiO_2 lebih tinggi daripada densitas *epoxy* yaitu 4,25 gram/cm^3 (lihat Tabel 2.1). Tetapi pada spesimen dengan fraksi volume 20% TiO_2, densitas aktualnya menurun dan bahkan lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan fraksi volume 0% TiO_2, yaitu 1,0492 gram/cm^3 (lihat Tabel 2.1 dan Gambar 4.1). Hal ini disebabkan banyaknya porositas yang terjadi yaitu sebesar 43,66% (lihat Tabel 4.1). Ada dua faktor penting yang menentukan densitas aktual komposit yaitu densitas material penyusun komposit dan porositas. Densitas teoritis yang dihitung dengan "*rule of mixture*" adalah dengan asumsi porositasnya nol.

b. Hubungan penambahan fraksi volume TiO_2 (%) dengan kekuatan tarik, kekerasan (VHN) dan ketahanan aus (Ws).

   Semakin besar penambahan fraksi volume TiO_2 akan mengakibatkan kekuatan tarik menurun. Hal ini disebabkan porositas yang terjadi juga meningkat. Porositas terbanyak terjadi pada spesimen dengan fraksi volume 20% TiO_2, yaitu 43,66% (lihat Tabel 4.1). Padahal porositas akan menyebabkan pori-pori yang menjadi sumber cacat pada bahan, karena luas penampang spesimen akan berkurang oleh adanya pori-pori tersebut.

Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen dengan fraksi volume 0% TiO_2, yaitu (34,93 ± 2,04) MPa (lihat Tabel 4.3). Pada Gambar 4.3 (hasil pengamatan foto struktur mikro) juga terlihat bahwa porositas yang terjadi sedikit atau bahkan tidak tampak, yaitu 9,71% (lihat Tabel 4.1). Penambahan fraksi volume TiO_2 (%) menyebabkan kenaikan nilai kekerasan pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 10% dan 15%, karena kekerasan TiO_2 lebih tinggi dibandingkan kekerasan *epoxy*. Sedangkan pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 20%, kekerasannya mengalami penurunan yang diakibatkan oleh banyaknya pori-pori yang terjadi pada spesimen tersebut. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa ada dua faktor yang berpengaruh terhadap kekerasan komposit yaitu kandungan TiO_2 dan porositas. Kekerasan komposit *epoxy*/TiO_2 seharusnya meningkat dengan bertambahnya kandungan TiO_2. Tetapi karena komposit mengandung porositas, sehingga kenaikan kekerasan akibat bertambahnya kandungan TiO_2 tidak seperti yang diharapkan. Hal ini nampak jelas pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 20%, dimana kekerasannya rendah meskipun kandungan TiO_2-nya paling tinggi. Kekerasan yang rendah pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 20% ini disebabkan oleh porositasnya yang sangat tinggi, yaitu 43,66% (lihat Tabel 4.1). Harga kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 15%, yaitu (79,45 ± 5,39) kgf/mm^2 (lihat Tabel 4.6). Penambahan fraksi volume TiO_2 (%) juga membuat laju keausan pada spesimen menurun, bahkan pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2

20% yang mempunyai banyak porositas. Pada umumnya bahan dengan kekerasan yang tinggi mempunyai ketahanan aus yang tinggi pula. Oleh karena itu ketahanan aus komposit *epoxy*/TiO_2 akan meningkat dengan meningkatnya kandungan TiO_2. Nilai ketahanan aus tertinggi terdapat pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 15%, yaitu $(13,3 \pm 0,64) \times 10^{-6}$ mm^2/kg (lihat Tabel 4.9).

Dari pembahasan di atas, dapat diambil rangkuman pembahasan yaitu : penambahan fraksi volume TiO_2 (%) atau dengan kata lain TiO_2 sebagai penguat/*reinforcement* akan menyebabkan peningkatan densitas komposit, porositas, nilai kekerasan (VHN/*Vickers Hardness Number*) (nilai optimum terjadi pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 15%) dan nilai ketahanan aus (Ws) (nilai optimum terjadi pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 15%), namun nilai kekuatan tarik cenderung menurun (nilai terendah terjadi pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 20%) seperti pada pembahasan di atas.

PERPUSTAKAAN
UNNES

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada tujuan penelitian, analisis dan perhitungan dari data-data yang diperoleh dari hasil pengujian tentang pengaruh penambahan variasi fraksi volume serbuk *Titania* (TiO_2) terhadap sifat fisis dan mekanis pada matrik resin *epoxy*, maka dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut :

a. Penambahan fraksi volume TiO_2 akan menyebabkan densitas komposit *epoxy*/TiO_2 meningkat, disertai dengan peningkatan porositas.

b. Penambahan fraksi volume TiO_2 menyebabkan nilai kekuatan tarik komposit *epoxy*/TiO_2 cenderung menurun, hal ini disebabkan porositas yang terjadi pada spesimen ikut bertambah. Nilai tertinggi kekuatan tarik adalah (34,93 ± 2,04) MPa pada spesimen dengan fraksi volume 0%. Sedangkan nilai terendah terdapat pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 20%, yaitu (6,20 ± 0,46) MPa.

c. Nilai kekerasan (VHN/*Vickers Hardness Number*) komposit *epoxy*/TiO_2 mengalami kenaikan dengan meningkatnya kandungan TiO_2 sampai dengan fraksi volume 15%, dengan nilai optimum terjadi pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 15%, yaitu (79,45 ± 5,39) kgf/mm^2. Hal ini disebabkan nilai kekerasan *reinforcement* lebih tinggi dibandingkan dengan matriksnya.

d. Nilai ketahanan aus (Ws) komposit *epoxy*/TiO_2 mengalami kenaikan dengan meningkatnya kandungan TiO_2 sampai dengan fraksi volume 15%, dengan nilai optimum terjadi pada spesimen dengan fraksi volume TiO_2 15%, yaitu (13,3 ± 0,64) x 10^{-6} mm^2/kg. Hal ini disebabkan karena serbuk *titania* yang ditambahkan mempunyai nilai kekerasan lebih tinggi dibanding resin *epoxy*.

Dari keterangan-keterangan di atas maka dapat disimpulkan secara keseluruhan bahwa dengan penambahan serbuk *titania* (TiO_2) dengan variasi 15% fraksi volume terhadap matrik resin epoxy memberikan hasil yang optimal, yaitu : densitas aktual sebesar 1,2594 (gram/cm^3) dengan porositas sebesar 22,94%, nilai kekuatan tarik sebesar (16,03 ± 0,94) MPa, nilai kekerasan sebesar (79,45 ± 5,39) kgf/mm^2 dan nilai ketahanan aus sebesar (13,3 ± 0,64) x 10^{-6} mm^2/kg.

5.2 Saran

1. Bila ingin mendapatkan nilai tegangan tarik yang tinggi, sebaiknya menggunakan penguat pada bahan komposit yang bukan berupa serbuk (partikel), karena cenderung akan menurunkan kekuatan tarik.
2. Bila ingin mendapatkan nilai kekerasan (VHN) dan nilai ketahanan aus (Ws) yang rendah, sebaiknya menggunakan penguat pada bahan kompsoit yang berupa serbuk (partikel).
3. Penguat baik yang berupa serbuk maupun partikel sebaiknya dipilh yang seragam, baik dimensi maupun karakteristiknya.

4. Aplikasi bahan komposit resin *epoxy* dengan penambahan penguat serbuk *titania* (TiO_2) sebaiknya digunakan pada benda-benda yang membutuhkan kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

Lampiran 1. Perhitungan Hasil Pengujian Porositas

Persamaan yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

$$Porosity = 1 - \frac{\rho_{actual}}{\rho_{teoritis}} \quad \text{.....(1)}$$

Dimana :

$$\rho_{teoritis} = \rho_1 \,.\, \upsilon_1 + \rho_2 \,.\, \upsilon_2 \text{.....(2)}$$

$$\rho_{actual} = \frac{Berat\ di\ udara}{Berat\ di\ udara - Berat\ dalam\ air} x \rho_{air} \text{.....(3)}$$

1. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 0% TiO_2

$$\rho_{teoritis} = (\rho_m \,.\, v_m) + (\rho_f + v_f)$$
$$= (1{,}17\, x\, 1) + (4{,}25\, x\, 0)$$
$$= 1{,}17 \frac{gram}{cm^3}$$

$$\rho_{actual} = \frac{berat\ di\ udara}{berat\ di\ udara - berat\ dalam\ air} x\, \rho_{air}$$
$$= \frac{0{,}2366}{0{,}2366 - 0{,}0126} x 1 \frac{gram}{cm^3}$$
$$= 1{,}0562 \frac{gram}{cm^3}$$

$$Porosity = \left(1 - \frac{\rho_{actual}}{\rho_{teoritis}}\right) x 100\%$$
$$= \left(1 - \frac{1{,}0562}{1{,}17}\right) x 100\%$$
$$= 9{,}73\%$$

2. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 10% TiO_2

$$\rho_{teoritis} = (\rho_m \,.\, v_m) + (\rho_f + v_f)$$
$$= (1{,}17\, x\, 0{,}9) + (4{,}25\, x\, 0{,}1)$$
$$= 1{,}478 \frac{gram}{cm^3}$$

$$\rho_{actual} = \frac{berat\ di\ udara}{berat\ di\ udara - berat\ dalam\ air} x\ \rho_{air}$$

$$= \frac{0{,}2091}{0{,}2091 - 0{,}0178} x 1 \frac{gram}{cm^3}$$

$$= 1{,}093 \frac{gram}{cm^3}$$

$$Porosity = \left(1 - \frac{\rho_{actual}}{\rho_{teoritis}} \right) x 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{1{,}0933}{1{,}478} \right) x 100\%$$

$$= 26{,}05\%$$

3. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 15% TiO_2

$$\rho_{teoritis} = (\rho_m . v_m) + (\rho_f + v_f)$$

$$= (1{,}17\ x\ 0{,}85) + (4{,}25\ x\ 0{,}15)$$

$$= 1{,}632 \frac{gram}{cm^3}$$

$$\rho_{actual} = \frac{berat\ di\ udara}{berat\ di\ udara - berat\ dalam\ air} x\ \rho_{air}$$

$$= \frac{0{,}2791}{0{,}2791 - 0{,}0575} x 1 \frac{gram}{cm^3}$$

$$= 1{,}2594 \frac{gram}{cm^3}$$

$$Porosity = \left(1 - \frac{\rho_{actual}}{\rho_{teoritis}} \right) x 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{1{,}2594}{1{,}632} \right) x 100\%$$

$$= 22{,}94\%$$

4. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 20% TiO_2

$$\rho_{teoritis} = (\rho_m . v_m) + (\rho_f + v_f)$$

$$= (1{,}17\ x\ 0{,}8) + (4{,}25\ x\ 0{,}2)$$

$$= 1{,}786 \frac{gram}{cm^3}$$

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

$$\rho_{actual} = \frac{berat\ di\ udara}{berat\ di\ udara - berat\ dalam\ air} x\ \rho_{air}$$

$$= \frac{0{,}4582}{0{,}4582 - 0{,}0215} x 1 \frac{gram}{cm^3}$$

$$= 1{,}0492 \frac{gram}{cm^3}$$

$$Porosity = \left(1 - \frac{\rho_{actual}}{\rho_{teoritis}} \right) x 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{1{,}0492}{1{,}768} \right) x 100\%$$

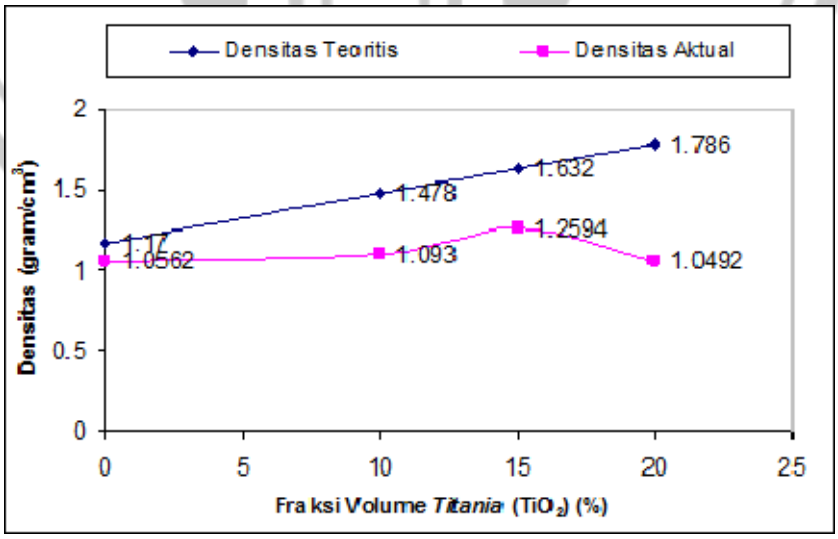
$$= 43{,}66\%$$

Sehingga hasil pengujian porositas dapat dilihat pada tabel berikut :

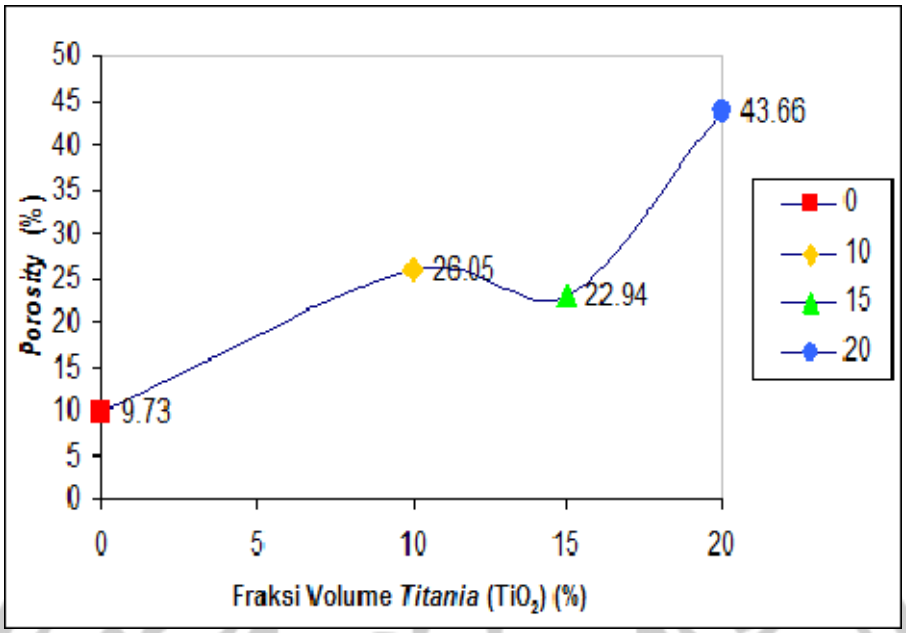
Tabel 1. Hasil Pengukuran Porositas

No.	Spesimen per Fraksi Volume	Berat di udara (gram)	Berat dalam air (gram)	*ρ teoritis* (gram/cm^3)	*ρ actual* (gram/cm^3)	*Porosity* (%)
1.	0%	0,2366	0,0126	1,17	1,0562	9,73%
2.	10%	0,2091	0,0178	1,478	1,093	26,05%
3.	15%	0,2791	0,0575	1,632	1,2594	22,94%
4.	20%	0,4582	0,0215	1,786	1,0492	43,66%

Sedangkan grafik pengujian densitas dan pengujian porositas dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 1. Densitas vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)



Gambar 2. *Porosity* vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)

PERPUSTAKAAN
UNNES

Lampiran 2. Perhitungan Hasil Pengujian Tarik

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pengujian tarik adalah :

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \text{ (MPa)} \qquad (4)$$

Dimana : F = Beban yang diberikan tegak lurus terhadap penampang spesimen (kg)

A_o = Luas penampang mula-mula spesimen sebelum beban diberikan (m^2)

σ = Tegangan tarik (MPa)

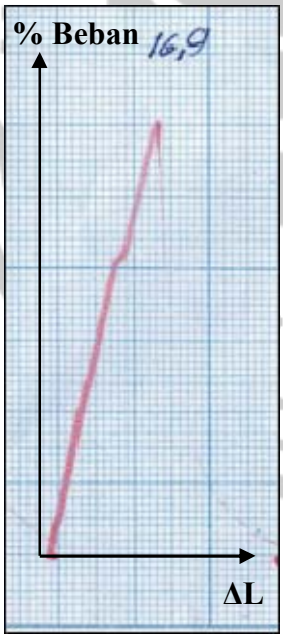
Setting beban pada mesin uji tarik = 2000 kg.

1. **Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 0% TiO_2**

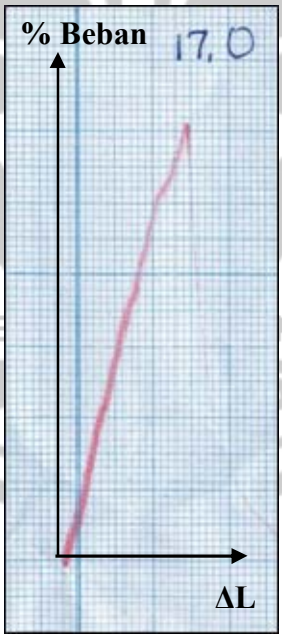
   a. Spesimen I :

$$F = \frac{16,9}{100} x\, 2000\, kg = 16,9\, x\, 20\, kg = 338\, kg$$

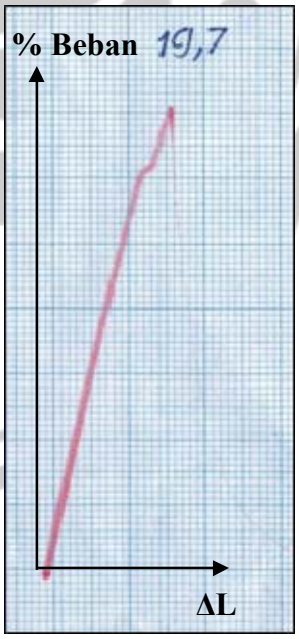
$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{338\, kg}{(10,9\, mm\, x\, 9,2\, mm)} = 3,37\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 33,065\ x10^6\ {}^{N}\!/_{m^2}$$



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen I



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen II



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen III

b. Spesimen II :

$$F = \frac{17}{100} x\, 2000\, kg = 17\, x\, 20\, kg = 340\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{340\, kg}{(10{,}7\, mm\, x\, 9\, mm)} = 3{,}53\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 34{,}635\, x 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

c. Spesimen III :

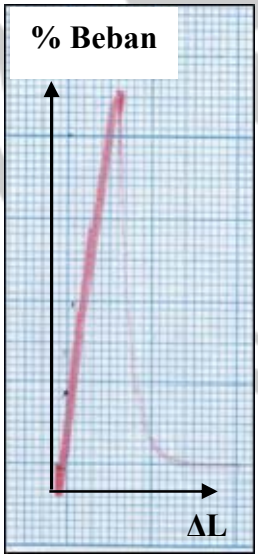
$$F = \frac{19{,}7}{100} x\, 2000\, kg = 19{,}7\, x\, 20\, kg = 394\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{394\, kg}{(11{,}2\, mm\, x\, 9{,}3\, mm)} = 3{,}782\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 37{,}107\, x 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

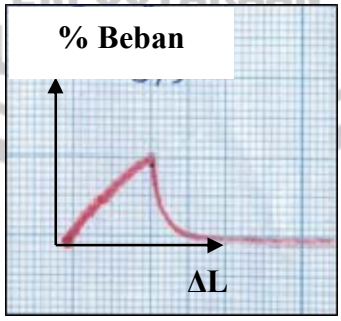
d. Rata-rata Hasil Pengujian Tarik :

$$\frac{(33{,}065 + 34{,}635 + 37{,}107) x 10^6}{3}\, {}^{N}\!/_{m^2} = 34{,}935\, x 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

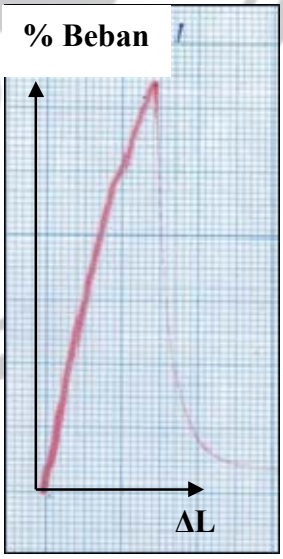
2. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 10% TiO_2



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen I



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen II



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen III

a. Spesimen I :

$$F = \frac{5,4}{100} x\, 2000\, kg = 5,4\, x\, 20\, kg = 108\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{108\, kg}{(11,5\, mm\, x\, 7\, mm)} = 1,342\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 13,165\, x\, 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

b. Spesimen II :

$$F = \frac{5,9}{100} x\, 2000\, kg = 5,9\, x\, 20\, kg = 118\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{118\, kg}{(10,25\, mm\, x\, 7,4\, mm)} = 1,555\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 15,254\, x\, 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

c. Spesimen III :

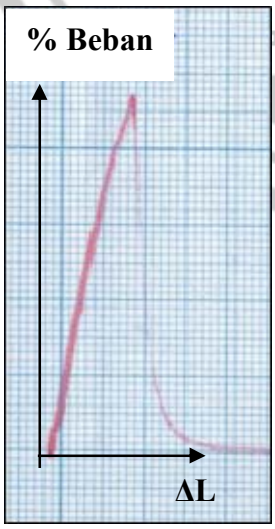
$$F = \frac{7,1}{100} x\, 2000\, kg = 7,1\, x\, 20\, kg = 142\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{142\, kg}{(12,1\, mm\, x\, 7,25\, mm)} = 1,619\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 15,882\, x\, 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

d. Rata-rata Hasil Pengujian Tarik :

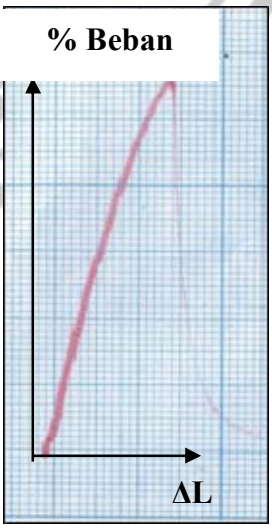
$$\frac{(13,165 + 15,254 + 15,882)\, x\, 10^6}{3}\, {}^{N}\!/_{m^2} = 14,767\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

3. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 15% TiO_2



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen I

Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen II



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen III

a. Spesimen I :

$$F = \frac{5,7}{100} x\, 2000\, kg = 5,7\, x\, 20\, kg = 114\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{114\, kg}{(10,7\, mm\, x\, 7\, mm)} = 1,522\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 14,93\, x\, 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

b. Spesimen II :

$$F = \frac{6,1}{100} x\, 2000\, kg = 6,1\, x\, 20\, kg = 122\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{122\, kg}{(10,45\, mm\, x\, 6,85\, mm)} = 1,704\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 16,716\, x\, 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

c. Spesimen III :

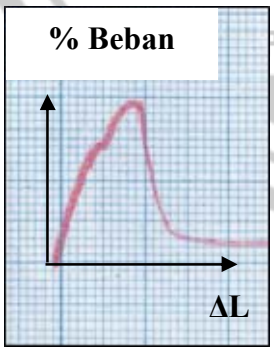
$$F = \frac{6,4}{100} x\, 2000\, kg = 6,4\, x\, 20\, kg = 128\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{128\, kg}{(11,2\, mm\, x\, 6,85\, mm)} = 1,668\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 16,363\, x\, 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

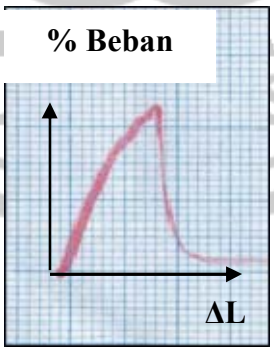
d. Rata-rata Hasil Pengujian Tarik :

$$\frac{(14,93 + 16,363 + 16,716)\, x\, 10^6}{3}\, {}^{N}\!/_{m^2} = 16,003\, x\, 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

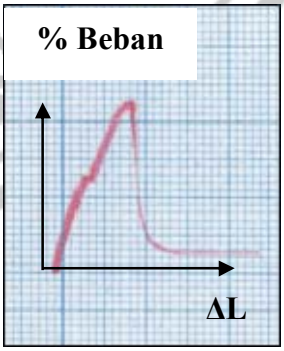
4. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 20% TiO_2



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen I



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen II



Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen III

a. Spesimen I :

$$F = \frac{2,1}{100} x\, 2000\, kg = 2,1\, x\, 20\, kg = 42\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{42\, kg}{(11,25\, mm\, x\, 6,45\, mm)} = 0,578\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 5,67\, x 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

b. Spesimen II :

$$F = \frac{2,6}{100} x\, 2000\, kg = 2,6\, x\, 20\, kg = 52\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{52\, kg}{(11\, mm\, x\, 7,2\, mm)} = 0,656\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 6,435\, x 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

c. Spesimen III :

$$F = \frac{2,6}{100} x\, 2000\, kg = 2,6\, x\, 20\, kg = 52\, kg$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{52\, kg}{(10,75\, mm\, x\, 7,3\, mm)} = 0,663\, {}^{kg}\!/_{mm^2} = 6,504\, x 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

d. Rata-rata Hasil Pengujian Tarik :

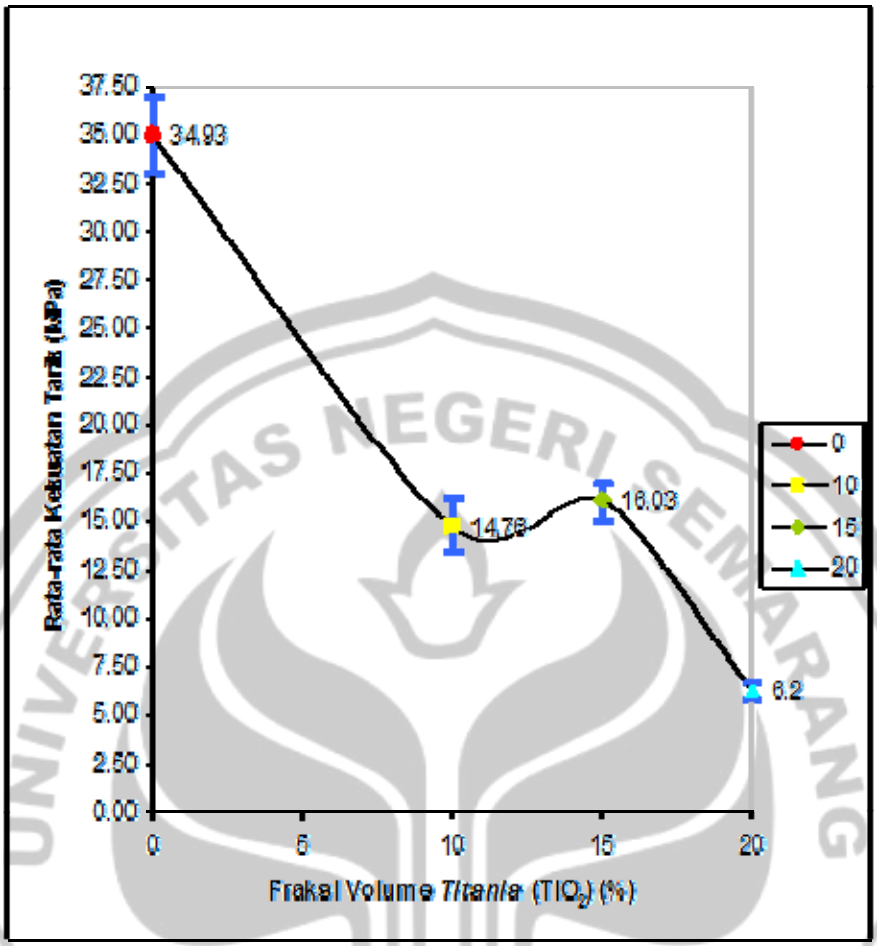
$$\frac{(5,67 + 6,435 + 6,504)\, x 10^6}{3}\, {}^{N}\!/_{m^2} = 6,203\, x 10^6\, {}^{N}\!/_{m^2}$$

Sehingga hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Tarik Maksimum

No.	Spesimen	Tegangan Tarik Maksimum (MPa)			
		0% TiO_2	10% TiO_2	15% TiO_2	20% TiO_2
1.	I	33,07	13,17	14,93	5,67
2.	II	34,64	15,25	16,72	6,43
3.	III	37,10	15,88	16,36	6,50
Rata-rata (MPa)		34,93	14,76	16,03	6,20
Standar Deviasi (MPa)		2,04	1,42	0,94	0,46

Sedangkan grafik pengujian tarik dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 3. Kekuatan Tarik vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)

Lampiran 3. Perhitungan Hasil Pengujian Kekerasan

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pengujian ini adalah :

$$\text{VHN} : \frac{2\sin(\frac{\theta}{2})P}{d^2} = \frac{2\sin(\frac{136^o}{2})P}{d^2} = \frac{1{,}854P}{d^2} \quad \text{.....(5)}$$

Dimana :

P = Beban tekan yang diberikan (0,015 kgf)

d = Panjang diagonal bekas injakan (mm)

θ = Sudut puncak *penetrator* (136°)

1. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 0% TiO_2

e. **Spesimen A**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(23{,}6+23{,}8+24)\,\mu m}{3} = 23{,}8\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(23{,}8)^2} = 49{,}10\ \frac{kgf}{mm^2}$$

f. **Spesimen B**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(23{,}3+23{,}3+23{,}4)\,\mu m}{3} = 23{,}33\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(23{,}33)^2} = 51{,}10\ \frac{kgf}{mm^2}$$

g. **Spesimen C**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(23{,}4+23{,}3+23{,}4)\,\mu m}{3} = 23{,}67\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(23{,}67)^2} = 50{,}93\ \frac{kgf}{mm^2}$$

h. **Rata-rata $VHN_{0,015}$ dari Spesimen A, B dan C**

$$\frac{(49{,}10+51{,}10+50{,}93)}{3}\ \frac{kgf}{mm^2} = 50{,}37\ \frac{kgf}{mm^2}$$

2. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 10% TiO_2

a. **Spesimen A**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(19{,}5+20+20{,}5)\,\mu m}{3} = 20\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(20)^2} = 69{,}52\ \frac{kgf}{mm^2}$$

b. **Spesimen B**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(19{,}8+21+20)\,\mu m}{3} = 20{,}26\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(20{,}26)^2} = 67{,}75\ \frac{kgf}{mm^2}$$

c. **Spesimen C**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(20+22+19)\mu m}{3} = 20{,}33\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(20{,}33)^2} = 67{,}29\ \frac{kgf}{mm^2}$$

d. **Rata-rata $VHN_{0,015}$ dari Spesimen A, B dan C**

$$\frac{(69{,}52+67{,}75+67{,}29)}{3}\ \frac{kgf}{mm^2} = 68{,}19\ \frac{kgf}{mm^2}$$

3. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 15% TiO_2

a. **Spesimen A**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(18+17{,}5+19)\mu m}{3} = 18{,}16\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(18{,}16)^2} = 84{,}32\ \frac{kgf}{mm^2}$$

b. **Spesimen B**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(20+18+17{,}8)\mu m}{3} = 18{,}6\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(18{,}6)^2} = 80{,}38\ \frac{kgf}{mm^2}$$

c. **Spesimen C**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(21+18{,}3+19)\mu m}{3} = 19{,}43\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\ x\ 0{,}015}{(19{,}43)^2} = 73{,}66\ \frac{kgf}{mm^2}$$

d. **Rata-rata $VHN_{0,015}$ dari Spesimen A, B dan C**

$$\frac{(84{,}32+80{,}38+73{,}66)x10^{-6}}{3}\ \frac{kgf}{mm^2} = 79{,}45\ \frac{kgf}{mm^2}$$

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

4. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 20% TiO_2

a. **Spesimen A**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(25{,}5+26+25{,}5)\,\mu m}{3} = 25{,}67\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\,x\,0{,}015}{(25{,}67)^2} = 42{,}20\,\frac{kgf}{mm^2}$$

b. **Spesimen B**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(25{,}5+25+26)\,\mu m}{3} = 25{,}5\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\,x\,0{,}015}{(25{,}5)^2} = 42{,}77\,\frac{kgf}{mm^2}$$

c. **Spesimen C**

$$Rata-rata\ diagonal\ dari\ 3\ titik\ uji = \frac{(25+27+25{,}5)\,\mu m}{3} = 25{,}83\ \mu m$$

$$VHN_{0,015} = \frac{1{,}854\,x\,0{,}015}{(25{,}83)^2} = 41{,}68\,\frac{kgf}{mm^2}$$

d. **Rata-rata $VHN_{0,015}$ dari Spesimen A, B dan C**

$$\frac{(42{,}20+42{,}77+41{,}68)}{3}\,\frac{kgf}{mm^2} = 42{,}21\,\frac{kgf}{mm^2}$$

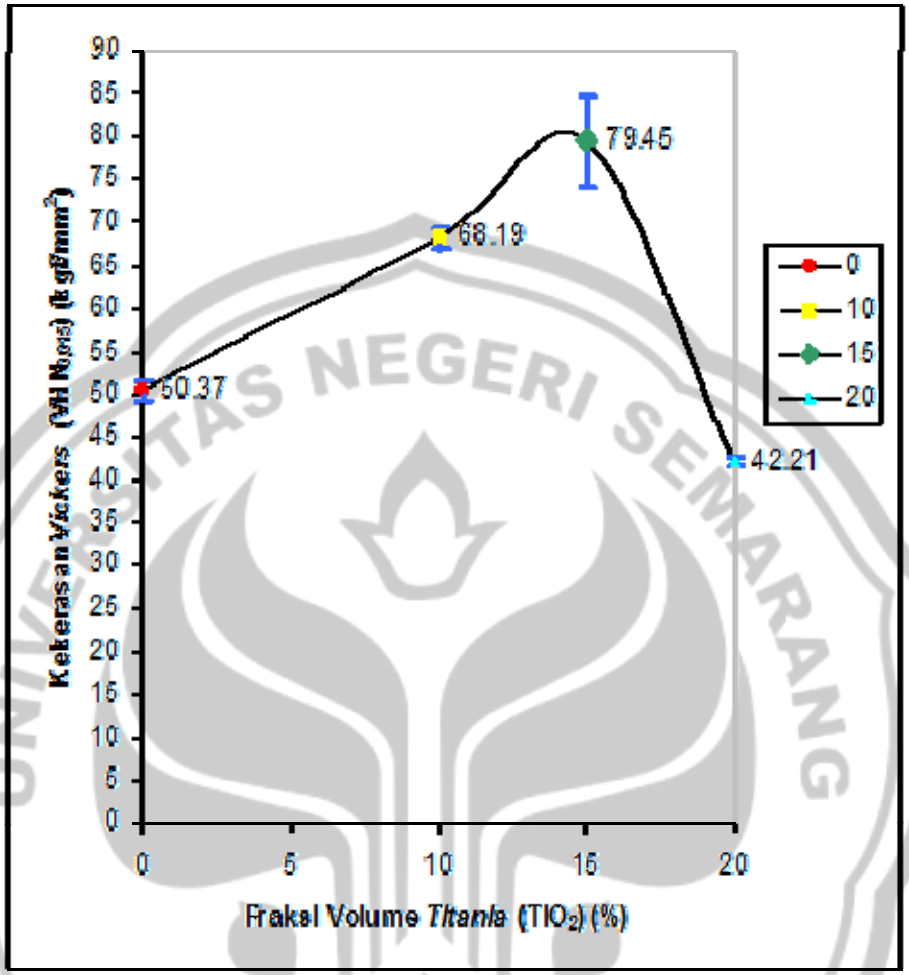
Sehingga hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Nilai VHN Rata-Rata Dari Tiap Variasi Fraksi Volume Serbuk TiO_2

Variasi Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)	Rata-rata $VHN_{0,015}$ (kgf/mm^2)
0%	(50,37 ± 1,10)
10%	(68,19 ± 1,20)
15%	(79,45 ± 5,37)
20%	(42,21 ± 0,55)

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES

Sedangkan grafik dari pengujian kekerasan dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4. Kekerasan *Vickers* vs Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN
UNNES

Lampiran 4. Perhitungan Hasil Pengujian Ketahanan aus

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pengujian ini adalah :

$$Ws = \frac{B\,x\,b_o^{\,3}}{8\,x\,r\,x\,P_o\,x\,l_o}(mm^2/kg) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

Dimana :

Ws = *Specific abrassion* (mm^2/kg)

B = Tebal piringan pemakan (3 mm)

b_o = Panjang goresan pada spesimen (mm)

r = Jari-jari piringan pemakan (14,4 mm)

P_o = Gaya penekan (2,12 kg)

l_o = Jarak tempuh piringan pemakan (10^5 mm)

1. **Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 0% TiO_2**

$$Ws\,A = \frac{3\,x\,(8{,}3)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{1715{,}361}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 7{,}023\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,B = \frac{3\,x\,(8{,}25)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{1684{,}546}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 6{,}897\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,C = \frac{3\,x\,(8{,}1)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{1594{,}323}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 6{,}528\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Rata-rata\ Nilai\,Ws = \frac{(7{,}023 + 6{,}897 + 6{,}528)\,x\,10^{-5}}{3}\,\frac{mm^2}{kg} = 6{,}816\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

2. **Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 10% TiO_2**

$$Ws\,A = \frac{3\,x\,(5{,}1)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{397{,}953}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 1{,}629\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,B = \frac{3\,x\,(5{,}2)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{421{,}824}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 1{,}727\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,C = \frac{3\,x\,(5{,}25)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{434{,}109}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 1{,}777\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Rata-rata\ Nilai\,Ws = \frac{(1{,}629 + 1{,}727 + 1{,}777)\,x\,10^{-5}}{3}\,\frac{mm^2}{kg} = 1{,}711\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

3. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 15% TiO_2

$$Ws\,A = \frac{3\,x\,(4{,}85)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{342{,}252}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 1{,}401\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,B = \frac{3\,x\,(4{,}7)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{311{,}469}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 1{,}275\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,C = \frac{3\,x\,(4{,}75)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{321{,}515}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 1{,}316\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Rata-rata\ Nilai\,Ws = \frac{(1{,}401 + 1{,}275 + 1{,}316)\,x\,10^{-5}}{3}\,\frac{mm^2}{kg} = 1{,}33\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

4. Spesimen dengan variasi Fraksi Volume 20% TiO_2

$$Ws\,A = \frac{3\,x\,(6)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{648}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 2{,}653\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,B = \frac{3\,x\,(5{,}9)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{616{,}137}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 2{,}522\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

$$Ws\,C = \frac{3\,x\,(5{,}8)^3}{8\,x\,14{,}4\,x\,2{,}12\,x\,10^5} = \frac{585{,}336}{244{,}224}\,x\,10^{-5} = 2{,}396\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

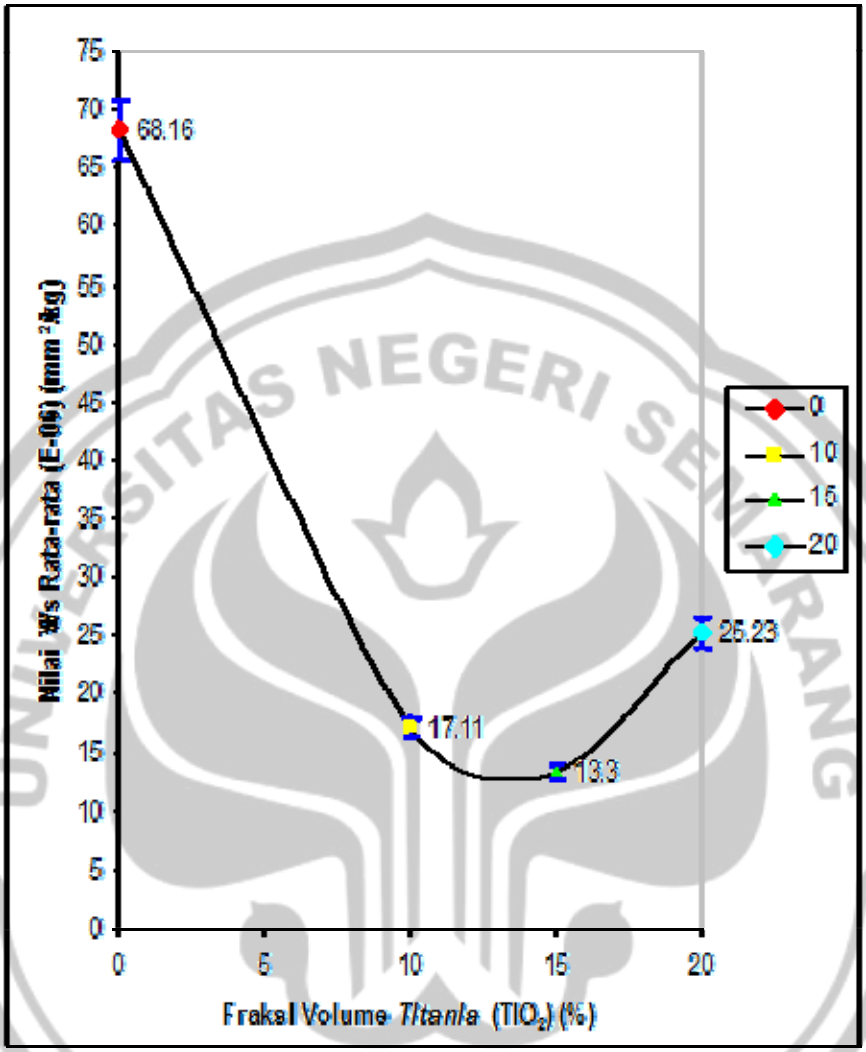
$$Rata-rata\ Nilai\,Ws = \frac{(2{,}653 + 2{,}522 + 2{,}396)\,x\,10^{-5}}{3}\,\frac{mm^2}{kg} = 2{,}523\,x\,10^{-5}\,\frac{mm^2}{kg}$$

Sehingga hasil pengujian keausan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Nilai Ws Rata-Rata Dari Tiap Variasi Fraksi Volum Serbuk TiO_2

Variasi Fraksi Volume Serbuk *Titania* (TiO_2)	Rata-rata Ws (mm^2/kg)
0%	$(68{,}16 \pm 2{,}57) \times 10^{-6}$
10%	$(17{,}11 \pm 0{,}75) \times 10^{-6}$
15%	$(13{,}30 \pm 0{,}64) \times 10^{-6}$
20%	$(25{,}23 \pm 1{,}28) \times 10^{-6}$

Sedangkan grafik hasil pengujian ketahanan aus dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 5. Nilai Rata-rata Keausan Komposit vs Fraksi Volume Serbuk *Titania*

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
PERPUSTAKAAN UNNES