

## Pengaruh Variasi Dimensi dan Rasio Agregat Serbuk Grabit Berpenguat *CNTS* Tipe *MWNT* terhadap Sifat Mekanis dan Absorpsi

Khanif Setiyawan <sup>1,a</sup>, Nuruddin Wahyu Eko Saputro <sup>2,b</sup>, Sabaruddin Syach <sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Jl.Ir. H. Juanda No.15, Sidodadi, Kec. Samarinda Ulu, Samarinda

<sup>2</sup>Jl.Perniagaan Gang Rahmat, Kec. Samarinda Ulu, Samarinda

<sup>3</sup>Jl. Dayak Batu Rt.16, Kec. Samarinda Utara, Samarinda lengkap penulis pertama,

<sup>a</sup>ks366@umkt.ac.id, <sup>b</sup>nuruddinw7@gmail.com, <sup>c</sup>sabaruddinsyach@gmail.com

### Abstrak

Pengembangan material difokuskan pada komposit, karena dengan sumber daya yang terbatas diharapkan material komposit dapat memperbaiki sifat material. Untuk mengetahui pengaruh variasi dimensi dan rasio agregat serbuk granit diperkuat CNT tipe MWNT menggunakan desain penelitian dengan dimensi serbuk granit, resin, fly ash, dan Carbon Nanotubes sebagai bahan pembentuk komposit melalui proses pengecoran mineral dengan kadar CNT 0,2 gr 0,4 gr, 0,6 gr, rasio agregat (50:25:25), (60:20:20), (60:25:15), rasio agregat: epoksi 80:20, 75: 25: 70: 30 dan terbang abu 5%, 7,5%, 10% dengan pengujian kekerasan mendapatkan hasil kekerasan terendah pada CNT 0,4 gr, Rasio Agregat 50:25:25, rasio agregat: epoksi 70:30 dan abu terbang 7,5%. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi dihasilkan pada CNTs 0.2 gr, Aggregate Ratio 60:20:20, aggregate: epoxy ratio 75:25 dan fly ash 5%. Dengan parameter pengaruh spesimen yang berpengaruh nyata terhadap variasi dimensi dan rasio CNT diperkuat serbuk granit tipe MWNT terhadap serapan meliputi fraksi abu terbang 26,8%, CNT 3,67%, rasio agregat: epoksi 48,4% dan rasio agregat 21%. Sedangkan uji serapan menunjukkan bahwa, nilai kondisi material yang menghasilkan serapan CNT paling rendah adalah 0,4 gr, Rasio Agregat 50:25:25, rasio agregat: epoksi 80:20 dan abu layang 10% dan nilai serapan tertinggi dihasilkan. pada CNT 0,6 gr, Rasio Agregat 50:25:25, rasio agregat: epoksi 75:25 dan abu layang 5% dengan parameter fraksi abu terbang 26,8%, CNT 3,67%, rasio agregat: epoksi 48,4% dan rasio agregat 21%. Dari berbagai spesimen yang diperoleh spesimen terbaik pada pengujian kekerasan adalah eksperimen 8 spesimen 2 dengan kriteria CNT (0,6), rasio agregat (20:60:20), agregat: epoksi (80:20), dan abu terbang 10%. dengan kekerasan sebesar 290 HV, sedangkan yang terbaik pada pengujian absorpsi dengan percobaan 8 spesimen 1 dengan kriteria CNTs (0,6), rasio agregat (60:20:20), agregat: epoksi (80:20), dan abu layang 10% terserap 0,0005.

**Kata kunci** : CNTs, Epoxy, Fly Ash, Granit, Mineral Casting

### Latar belakang

Ketersediaan sumber energi alam serta meningkatnya populasi manusia, kembali manusia dituntut untuk mencari dan menemukan energi alternative yang lebih efisien pula. Semakin meningkatnya kemajuan teknologi modern ini mengakibatkan kebutuhan akan penelitian dan

pengembangan dalam bidang material. Hal yang mendasarkan kemajuan teknologi ini adalah semakin dibutuhkannya material baru guna menunjang bidang industri yang lain.

Pengembangan material terfokus dalam komposit, karena dengan terbatasnya sumber daya (resources),

material komposit diharapkan dapat meningkatkan sifat material. Oleh sebab itu, tugas sarjana ini merupakan bentuk kesadaran masyarakat akademik untuk lebih serius mengembangkan material baru dengan komposit serbuk granit yang diperkuat dengan CNTs (*carbon nano tubes*). Mineral *matrix composites* (MMC) telah mendapat perhatian yang cukup besar karena reputasi mereka sebagai bahan kuat, kaku dan ringan. Umumnya material matriks mineral diperkuat dengan *high modulus continuous fibres*, serat pendek, serat irisan, whiskers atau partikel. Keausan terjadi ketika partikel keras atau asperities menembus permukaan lembut dan menggantikan materi dalam bentuk chip dan irisan memanjang. Keausan abrasif bahan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti sifat bahan, kondisi operasi, geometri dari bentuk dan kondisi lingkungan. Selain itu, beberapa sifat mekanis seperti modulus elastisitas, kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro, pengerasan regangan dan regangan patah juga mempengaruhi keausan bahan. Telah diamati bahwa karakteristik geser atau abrasif bahan adalah sangat penting dalam sistem tribological seperti piston. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah dilakukan pada perilaku keausan SiCp diperkuat MMC didasarkan pada karya eksperimental dan teoritis terhadap aus abrasif dari MMC. Penelitian ini menggunakan bahan baku granit, *fly ash* dan *Carbon Nanotubes* untuk menghasilkan material seperti logam dan secara umum mudah didapatkan dengan indeks ke-ekonomian rendah.

## Tinjauan Pustaka

### *Material Komposit*

Material komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat

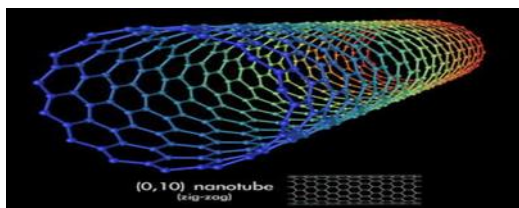
mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada logam, memiliki kekuatan bisa diatur yang tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kekakuan jenis (*modulus Young/density*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara, serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi.

### **Resin Epoksi**

Resin epoksi atau secara umum dikenal dengan bahan epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok *thermoset*, yang dibentuk melalui proses polimerisasi kondensasi, bahan plastik yang tidak dapat dilunakan kembali atau dibentuk kembali keadaan sebelum mengalami pengeringan. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan hasil yang optimum. Epoksi termasuk kelompok polimer yang digunakan sebagai pelapis, perekat, dan sebagai matriks pada material komposit di beberapa bagian struktural, resin ini juga dipakai sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan, dan perekat.

### *Carbon Nanotubes (CNT)*

Carbon nanotubes memiliki kekuatan mekanik, 15- 20 kali lebih tinggi dari baja tetapi lebih ringan (hanya 20% dari baja). Struktur *Multi Walled Carbon Nanotubes (MWCNT)*, mempunyai keunggulan mampu membentuk ikatan tertinggi pada dimensi dibawah 100 nanometer, kekuatan tarik mencapai lebih dari 200 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 1. Carbon Nanotubes

Penggunaan carbon nanotubes pada concrete mampu memperbaiki sifat mekanis, penambahan 1% CNTs dapat meningkatkan kekuatan tarik, A.K. Mukhopadhyay et.al[2011], meningkatkan stiffness sebesar 40%, kekuatan tarik 25%, Dong Qian, et.al [2002], meningkatkan sifat cementious, B.K. Kaushik and M.K. Majumder,[2015], Junkai Wang, et.al [2016]. Dimensi CNTs dibawah 100 nm membentuk struktur tertutup.

### Granit

Granit adalah jenis batuan intrusif, felsik, igneus yang umum dan banyak ditemukan. Granit kebanyakan besar, keras dan kuat, dan oleh karena itu banyak digunakan sebagai batuan untuk konstruksi. Kepadatan rata-rata granit adalah  $2,75 \text{ gr/cm}^3$  dengan jangkauan antara 1,74 dan 2,80. Kata granit berasal dari bahasa Latin granum.

Dalam bidang industri dan rekayasa, granit banyak dipakai sebagai bidang acuan dalam berbagai pengukuran dan alat pengukur. Hal ini dikarenakan granit bersifat kedap air, kaku (rigid), non-higroskopis dan memiliki koefisien ekspansi termal yang sangat rendah. Salah satu penerapannya adalah pada mesin pengukur koordinat (Coordinate Measuring Machine).

Granit memiliki ketahanan korosi yang kuat, sehingga banyak digunakan dalam korosi kimia cadangan sampai keuletan. Kisaran koefisien diperpanjang granit  $4,7 \times 10^{-6}$ - $9,0 \times 10^{-6}$  (inci x inci). Warna grant dan material adalah kekerasan yang sangat konstan. Granit memiliki ketahanan panas tahan pasnas tinggi, maka akan tidak berubah karena

perubahan suhu eksternal, karena granit memiliki kerapatan yang tinggi dan bukan karena perubahan suhu dan komposisi udara.

### Fly Ash Batubara

*Fly ash* batubara adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara [1]. Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat limbah padat yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*. Di Indonesia, produksi limbah abu dasar dan abu layang dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan baku pada industri PLTU (Harijono D, 2006, dalam Irwanto, 2010). Menurut Acosta, 2009, Abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisasisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatis precipitator. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatis. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas gas buangan, maka partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat.

### Metode Penelitian

#### Desain Penelitian

Tabel1. Faktor Dan Level Eksperimental

| Parameter | Faktor | Level |   |   |
|-----------|--------|-------|---|---|
|           |        | 1     | 2 | 3 |
|           |        |       |   |   |

|                       |   |           |           |           |
|-----------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| CNTs                  | A | 0,2       | 0,4       | 0,6       |
| Rasio Agregat         | B | C : M : F | C : M : F | C : M : F |
|                       |   | 50:25:25  | 60:20:20  | 60:25:15  |
| Rasio Agregat : Epoxy | C | 80 : 20   | 75 : 25   | 70 : 30   |
| Fly Ash               | D | 5%        | 7,5%      | 10%       |

Tabel 2. Desain Ekperimen *Orthogonal array* L9 dan data pencampuran bahan

| No Eksperimen | A   | B        | C     | D    |
|---------------|-----|----------|-------|------|
| Eksperimen 1  | 1   | 1        | 1     | 1    |
|               | 0,2 | 50:25:25 | 80:20 | 5%   |
| Eksperimen 2  | 1   | 2        | 2     | 2    |
|               | 0,2 | 60:20:20 | 75:25 | 7,5% |
| Eksperimen 3  | 1   | 3        | 3     | 3    |
|               | 0,2 | 60:25:15 | 70:30 | 10%  |
| Eksperimen 4  | 2   | 1        | 2     | 3    |
|               | 0,4 | 50:25:25 | 75:25 | 10%  |
| Eksperimen 5  | 2   | 2        | 3     | 1    |
|               | 0,4 | 60:20:20 | 70:30 | 5%   |
| Eksperimen 6  | 2   | 3        | 1     | 2    |
|               | 0,4 | 60:25:15 | 80:20 | 7,5% |
| Eksperimen 7  | 3   | 1        | 3     | 2    |
|               | 0,6 | 50:25:25 | 70:30 | 7,5% |
| Eksperimen 8  | 3   | 2        | 1     | 3    |
|               | 0,6 | 60:20:20 | 80:20 | 10%  |
| Eksperimen 9  | 3   | 3        | 2     | 1    |
|               | 0,6 | 60:25:15 | 75:25 | 5%   |

### Prosedur Penelitian

#### Pembuatan Cetakan

Cetakan untuk menghasilkan spesimen menggunakan bahan kaca dan alluminium yang di lem dengan panjang 200 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 20 mm. Sebelum digunakan untuk mencetak terlebih dahulu di lumuri oli supaya mudah dalam pengambilan spesimen.

#### Pengayakan Granit dan fly ash

Pengayakan granit dan *fly ash* dilakukan untuk membedakan rasio serbuk granit menjadi 3 varian yaitu *coarse*, *medium*, dan *fine*, sementara *fly ash* menggunakan rasio dengan varian *fine*.

#### Penakaran dan Pencampuran bahan

Bahan yang ditakar adalah granit, CNTs, *fly ash*, dan resin sesuai dengan spesifikasi penakaran yang digunakan setiap eksperimen. Pencampuran bahan dilakukan untuk meratakan semua bahan dengan cara diaduk sampai merata, pertama yang diaduk adalah agregat kemudian di tuangkan resin yang di campur hardener dan cobalt guna mempersingkat pengerasan komposit.

#### Pencetakan dan finishing spesimen

Setelah agregat dan epoksi diaduk sampai merata kemudian dituangkan pada cetakan dan ratakan sampai bagian permukaan cetakan, kemudian diberi perlakuan penekanan dengan tekanan 100 kg/cm<sup>2</sup>. Penekanan dilakukan untuk meminimalisir adanya gelembung udara atau void yang dapat menyebabkan cacat pada spesimen tersebut dengan kurun waktu penekanan 3 jam. Finishing dilakukan untuk merapikan hasil spesimen dengan di gerenda menggunakan gerenda duduk. Diratakan bagian-bagian yang masih berlebihan.

#### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat Portabel Hardness Vickers. Sebelum alat digunakan pastikan batrei dalam kondisi isi kemudian pilih satuan HV. Perlakuan penekanan dibagi menjadi 3 yaitu bagian depan tengah dan belakang. Pastikan indenter diletakan di bidang permukaan rata kemudian tekan ujung alat untuk menghasilkan data.

#### Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur Mikro sama kerjanya dengan struktur mikro. Pengamatan dilakukan dengan mikroskop dengan lensa pembesaran 20 kali ditambah kamera obtilab dengan pembesaran 10 kali sehingga total pembesaran 200 kali yang dibubungkan pada monitor sehingga pada monitor akan terlihat butiran-butiran struktur

mikro dari spesimen uji. Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan pada ujung spesimen. Gambar struktur mikro yang diperoleh kemudian dianalisis.

bahan uji. Dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Absorpsi} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (1)$$

### Pengujian Absorpsi

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui banyak air yang diserap oleh

### Hasil dan Pembahasan

#### *Pengolahan data hasil pengujian kekerasan*

Tabel 3. Pengolahan Data Hasil Eksperimen

| Percobaan | Spesimen  | Depan | Tengah | Belakang | Kekerasan Rata-Rata | Kekerasan | S/N    |
|-----------|-----------|-------|--------|----------|---------------------|-----------|--------|
| 1         | 1         | 258   | 244    | 232      | 244,67              | 256,56    | 44,60  |
|           | 2         | 279   | 253    | 232      | 254,67              |           |        |
|           | 3         | 316   | 229    | 266      | 270,33              |           |        |
| 2         | 1         | 294   | 270    | 292      | 285,33              | 259,11    | 44,28  |
|           | 2         | 230   | 215    | 262      | 235,67              |           |        |
|           | 3         | 253   | 235    | 281      | 256,33              |           |        |
| 3         | 1         | 239   | 253    | 236      | 242,67              | 250,00    | 44,33  |
|           | 2         | 286   | 259    | 246      | 263,67              |           |        |
|           | 3         | 227   | 244    | 260      | 243,67              |           |        |
| 4         | 1         | 191   | 230    | 251      | 224,00              | 247,22    | 44,19  |
|           | 2         | 256   | 338    | 286      | 293,33              |           |        |
|           | 3         | 229   | 203    | 241      | 224,33              |           |        |
| 5         | 1         | 277   | 310    | 276      | 287,67              | 256,78    | 44,16  |
|           | 2         | 195   | 244    | 283      | 240,67              |           |        |
|           | 3         | 245   | 228    | 253      | 242,00              |           |        |
| 6         | 1         | 245   | 310    | 239      | 264,67              | 231,78    | 43,11  |
|           | 2         | 239   | 255    | 209      | 234,33              |           |        |
|           | 3         | 199   | 240    | 150      | 196,33              |           |        |
| 7         | 1         | 213   | 275    | 206      | 231,33              | 227,67    | 43,42  |
|           | 2         | 162   | 285    | 220      | 222,33              |           |        |
|           | 3         | 251   | 217    | 220      | 229,33              |           |        |
| 8         | 1         | 187   | 176    | 239      | 200,67              | 251,44    | 44,58  |
|           | 2         | 327   | 277    | 290      | 298,00              |           |        |
|           | 3         | 232   | 258    | 277      | 255,67              |           |        |
| 9         | 1         | 300   | 236    | 249      | 261,67              | 268,44    | 44,95  |
|           | 2         | 274   | 305    | 220      | 266,33              |           |        |
|           | 3         | 262   | 279    | 291      | 277,33              |           |        |
|           | y         |       |        |          | 2249,00             |           | 397,62 |
|           | $\bar{y}$ |       |        |          | 249,89              |           | 44,18  |

#### *Pengolahan data hasil pengujian Absorpsi*

Tabel 4. Pengolahan Data Hasil Eksperimen

| Percobaan | Spesimen | Sebelum Direndam | Sesudah Direndam | % Absorpsi | Absorpsi Rata-Rata | S/N   |
|-----------|----------|------------------|------------------|------------|--------------------|-------|
| 1         | 1        | 215,00           | 216,10           | 0,0051     | 0,0064             | 39,74 |
|           | 2        | 206,00           | 207,50           | 0,0073     |                    |       |
|           | 3        | 210,00           | 211,40           | 0,0067     |                    |       |
| 2         | 1        | 230,00           | 230,57           | 0,0025     | 0,0019             | 51,37 |
|           | 2        | 217,00           | 217,44           | 0,0020     |                    |       |
|           | 3        | 197,00           | 197,21           | 0,0011     |                    |       |
| 3         | 1        | 212,00           | 213,60           | 0,0075     | 0,0050             | 41,61 |
|           | 2        | 202,00           | 202,10           | 0,0005     |                    |       |
|           | 3        | 228,00           | 229,61           | 0,0071     |                    |       |

|   |   |        |        |           |        |          |
|---|---|--------|--------|-----------|--------|----------|
| 4 | 1 | 219,00 | 219,46 | 0,0021    | 0,0051 | 40,25    |
|   | 2 | 245,00 | 246,20 | 0,0049    |        |          |
|   | 3 | 229,00 | 230,90 | 0,0083    |        |          |
| 5 | 1 | 210,00 | 210,44 | 0,0021    | 0,0028 | 44,39    |
|   | 2 | 215,00 | 215,10 | 0,0005    |        |          |
|   | 3 | 224,00 | 225,32 | 0,0059    |        |          |
| 6 | 1 | 212,00 | 214,70 | 0,0127    | 0,0051 | 42,39    |
|   | 2 | 197,00 | 197,25 | 0,0013    |        |          |
|   | 3 | 212,00 | 212,30 | 0,0014    |        |          |
| 7 | 1 | 206,00 | 207,20 | 0,0058    | 0,0050 | 41,30    |
|   | 2 | 212,00 | 213,65 | 0,0078    |        |          |
|   | 3 | 199,00 | 199,30 | 0,0015    |        |          |
| 8 | 1 | 216,00 | 216,10 | 0,0005    | 0,0050 | 37,78    |
|   | 2 | 210,00 | 212,68 | 0,0128    |        |          |
|   | 3 | 213,00 | 213,41 | 0,0019    |        |          |
| 9 | 1 | 203,00 | 203,40 | 0,0020    | 0,0013 | 55,28    |
|   | 2 | 210,00 | 210,23 | 0,0011    |        |          |
|   | 3 | 218,00 | 218,15 | 0,0007    |        |          |
|   |   |        |        | y         | 0,0376 | 394,1044 |
|   |   |        |        | $\bar{y}$ | 0,0042 | 43,7894  |

### Pengaruh Level Dari Faktor Terhadap Kekerasan

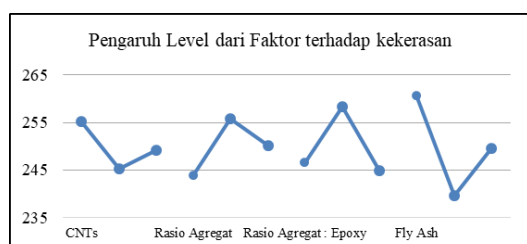
Respon Tabel dan Grafik Terhadap Kekerasan

Tabel 5. Menghitung Rangking Pada Rata-Rata Kekerasan

| Faktor                   | Level  |        |        | Selisih<br>(maks - min) | Ranking |
|--------------------------|--------|--------|--------|-------------------------|---------|
|                          | 1      | 2      | 3      |                         |         |
| <i>CNTs</i>              | 255,22 | 245,26 | 249,19 | 9,96                    | 4       |
| Rasio Agregat            | 243,81 | 255,78 | 250,07 | 11,96                   | 3       |
| Rasio Agregat :<br>Epoxy | 246,59 | 258,26 | 244,81 | 13,44                   | 2       |
| <i>Fly Ash</i>           | 260,59 | 239,52 | 249,56 | 21,07                   | 1       |

Respon rata-rata kekerasan yang terbaik adalah yang menempati rangking 1 dengan selisih 21,07 (HV) sedangkan yang mempunyai selisih 9,96 (HV) menempati rangking 4. Dapat disimpulkan bahwa *Fly Ash* menempati peringkat pertama untuk respon kekerasan, ini berarti bahwa *Fly Ash* memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil kekerasan hasil proses *Mineral Casting*.

Pada gambar 2 grafik kekerasan menunjukkan bahwa, nilai kondisi material yang menghasilkan kekerasan paling rendah pada *CNTs 0,4 gr*, Rasio Agregat 50:25:25, rasio agregat:epoksi 70:30 dan *fly ash 7,5%*. Sedangkan nilai kekerasan paling tinggi dihasilkan pada *CNTs 0,2 gr*, Rasio Agregat 60:20:20, rasio agregat:epoksi 75:25 dan *fly ash 5%*.



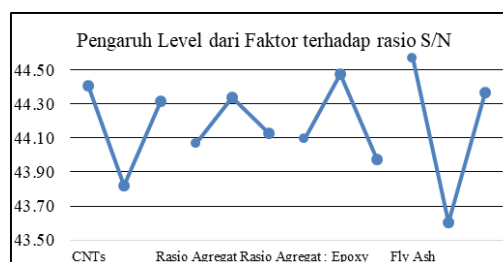
Gambar 2. Grafik Pengaruh Level Dari Faktor Kekerasan

### Respon Tabel pada Rasio S/N

Tabel 6. Menghitung Rangking Pada Rata-Rata Kekerasan Rasio S/N

| Faktor                | Level |       |       | Selisih<br>(maks-min) | Rangking |
|-----------------------|-------|-------|-------|-----------------------|----------|
|                       | 1     | 2     | 3     |                       |          |
| CNTs                  | 44,40 | 43,82 | 44,32 | 0,59                  | 2        |
| Rasio Agregat         | 44,07 | 44,34 | 44,13 | 0,27                  | 4        |
| Rasio Agregat : Epoxy | 44,10 | 44,47 | 43,97 | 0,50                  | 3        |
| Fly Ash               | 44,57 | 43,60 | 44,37 | 0,97                  | 1        |

Respon rata-rata kekerasan yang terbaik adalah yang menempati rangking 1 dengan selisih 0,97 (HV) sedangkan yang mempunyai selisih 0,27 (HV) menempati rangking 4. Dapat disimpulkan bahwa Fly Ash menempati peringkat pertama untuk respon kekerasan, ini berarti bahwa Fly Ash memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil kekerasan hasil proses Mineral Casting. Untuk respon grafik pengaruh level dari faktor kekerasan rasio S/N dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Level Dari Faktor Terhadap Rasio S/N

Pada gambar 3 grafik kekerasan rasio S/N menunjukkan bahwa, nilai kondisi material yang menghasilkan kekerasan paling rendah pada CNTs 0,4 gr, Rasio Agregat 50:25:25, rasio agregat : epoksi 70:30 dan fly ash 7,5%. Sedangkan nilai kekerasan paling tinggi dihasilkan pada CNTs 0,2 gr, Rasio Agregat 60:20:20, rasio agregat:epoksi 75:25 dan fly ash 5%.

### Pengaruh Level dari Faktor Terhadap Absorpsi Respon Tabel dan Grafik Terhadap Absorpsi

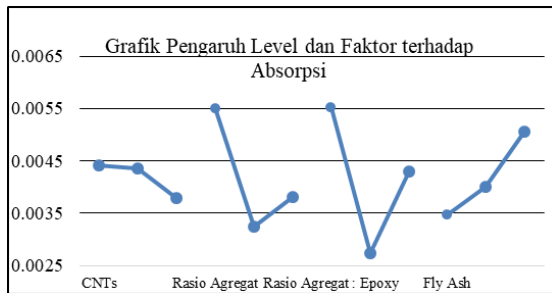
Tabel 7. Menghitung Rangking Pada Rata-Rata Absorpsi

| Faktor                | Level  |        |        | Selisih<br>(maks-min) | Rangking |
|-----------------------|--------|--------|--------|-----------------------|----------|
|                       | 1      | 2      | 3      |                       |          |
| CNTs                  | 0,0044 | 0,0044 | 0,0038 | 0,0006                | 1        |
| Rasio Agregat         | 0,0055 | 0,0032 | 0,0038 | 0,0023                | 3        |
| Rasio Agregat : Epoxy | 0,0055 | 0,0027 | 0,0043 | 0,0028                | 4        |
| Fly Ash               | 0,0035 | 0,0040 | 0,0051 | 0,0016                | 2        |

Respon rata-rata absorpsi yang terbaik adalah yang menempati rangking 1 dengan selisih 0,00006 (gr) sedangkan yang mempunyai selisih 0,0028 (gr) menempati rangking 4. Dapat disimpulkan bahwa CNTs menempati

peringkat pertama untuk respon absorpsi, ini berarti bahwa CNTs memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil absorpsi hasil proses Mineral Casting.

Untuk respon grafik pengaruh level dari faktor absorpsi dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Level Dari Faktor Terhadap Absorpsi

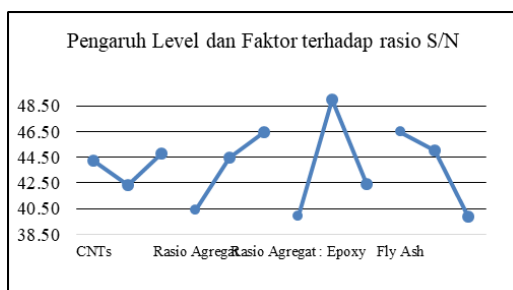
Pada gambar 4 grafik absorpsi menunjukkan bahwa, nilai kondisi material yang menghasilkan absorpsi paling rendah pada CNTs 0,6 gr, Rasio Agregat 60:20:20, rasio agregat : epoksi 75:25 dan fly ash 5%. Sedangkan nilai absorpsi paling tinggi dihasilkan pada CNTs 0,2 gr, Rasio Agregat 50:25:25, rasio agregat:epoksi 80:20 dan fly ash 10%.

### Respon Tabel Terhadap Rasio S/N

Tabel 8. Menghitung Rangkings Pada Rata-Rata Absorpsi Rasio S/N

| Faktor                | Level |       |       | Selisih (maks-min) | Rangking |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------------------|----------|
|                       | 1     | 2     | 3     |                    |          |
| CNTs                  | 44,24 | 42,34 | 44,79 | 2,44               | 1        |
| Rasio Agregat         | 40,43 | 44,51 | 46,42 | 5,99               | 2        |
| Rasio Agregat : Epoxy | 39,97 | 48,97 | 42,43 | 9,00               | 4        |
| Fly Ash               | 46,47 | 45,02 | 39,88 | 6,59               | 3        |

Respon rata-rata absorpsi yang terbaik adalah yang menempati rangking 1 dengan selisih 2,44 (gr) sedangkan yang mempunyai selisih 6,59 (gr) menempati rangking 4. Dapat disimpulkan bahwa CNTs menempati peringkat pertama untuk respon absorpsi, ini berarti bahwa CNTs memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil absorpsi hasil proses Mineral Casting. Untuk respon grafik pengaruh level dari faktor absorpsi rasio S/N dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Level dari faktor terhadap Absorpsi rasio S/N

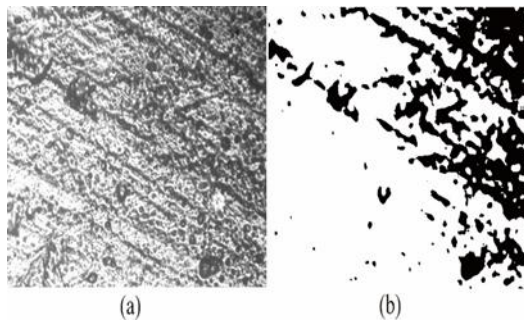
Pada gambar 5 grafik absorpsi menunjukkan bahwa, nilai kondisi material yang menghasilkan absorpsi

paling rendah pada CNTs 0,4 gr, Rasio Agregat 50:25:25, rasio agregat : epoksi 80:20 dan fly ash 10%. Sedangkan nilai absorpsi paling tinggi dihasilkan pada CNTs 0,6 gr, Rasio Agregat 50:25:25, rasio agregat : epoksi 75:25 dan fly ash 5%.

### Pengujian Kekerasan

Hasil penelitian dari mineral casting untuk semua proses dalam tabel diatas mengkasikan kekerasan yang sangat baik dengan nilai terbesar 298,00 HV dan yang terkecil 196,33 HV. Faktor yang paling berpengaruh terhadap rata-rata kekerasan adalah fly ash dengan selisih pengaruh level dari faktor yaitu 21,07 HV sementara selisih pengaruh level dari faktor terhadap rasio SN sejumlah 0,97 HV. Berikut hasil gambar struktur Mikro dengan nilai HV tertinggi dengan percobaan 8 spesimen 2 seperti pada gambar 6.

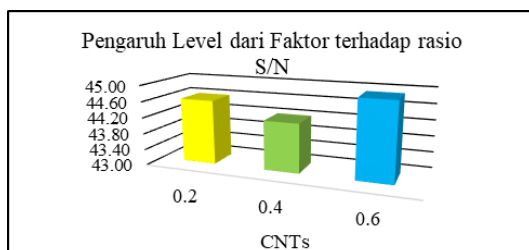




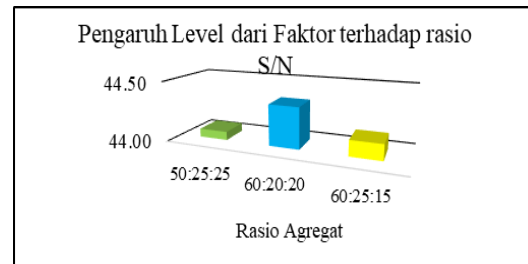
Gambar 6. Percobaan 8, spesimen 2. (a) Tampilan mikrografi Mikro sampel, (b) Tampilan mikrografi Mikro sampel hasil proses *threshold* gambar.

Dari pengamatan struktur Mikro spesimen dengan CNTs 0,6 gr, rasio granit 20:60:20, rasio agregat : epoksi 80:20 dengan fly ash 10% seperti pada gambar 4.10, struktur komposit tampak jelas kerapatan rasio agregat dikarenakan rasio granit dengan jenis medium memadatkan diseluruh bagian spesimen, tidak lupa dengan fly ash 10% jenis fine bisa memasuki ke rongga-rongga spesimen sehingga merata dalam persebaran agregat.

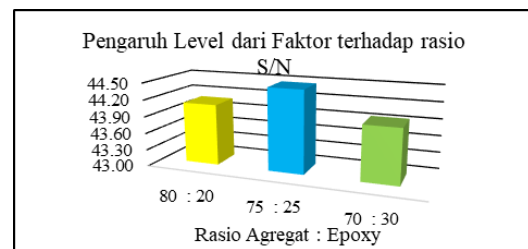
Dari kondisi diatas maka faktor yang paling dominan pada *Mineral casting* Granit adalah *fly ash* menempati peringkat pertama untuk respon kekerasan, ini berarti bahwa *fly ash* memiliki pengaruh paling besar terhadap hasil kekerasan. Dari hasil diatas dapat dianalisa lebih dalam dengan perbandingan tiap-tiap faktor dari CNTs, rasio agregat, rasio agregat : epoxy dan *fly ash* seperti pada gambar grafik dibawah ini.



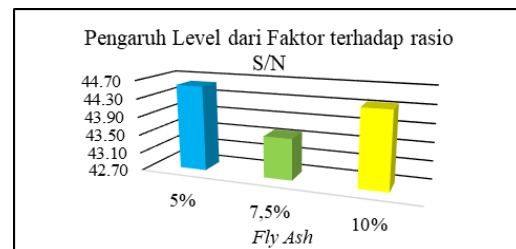
Gambar 7. Grafik Kekerasan Pengaruh Level Dari Faktor CNTs



Gambar 8. Grafik Kekerasan Pengaruh Level Dari Faktor Rasio Agregat



Gambar 9. Grafik Kekerasan Pengaruh Level Dari Faktor Rasio Agregat : Epoxy



Gambar 10. Grafik Kekerasan Pengaruh Level Dari Faktor Fly Ash

Dari gambar grafik diatas selanjutnya menentukan Seting Level Optimum. Optimasi karakteristik kualitas menggunakan dua tahap proses optimasi, yaitu mengurangi variansi dan mengatur target sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Berikut adalah tabel perbandingan pengaruh faktor.

Tabel 9. Seting Level Optimum Kekerasan

| Faktor | ANOVA      | ANOVA S/N  | Pengaruh              | Gunakan |
|--------|------------|------------|-----------------------|---------|
| A      | $\sqrt{4}$ | $\sqrt{2}$ | Rata-rata dan variasi | A3      |
| B      | $\sqrt{3}$ | $\sqrt{4}$ | Rata-rata dan variasi | B2      |
| C      | $\sqrt{2}$ | $\sqrt{3}$ | Rata-rata dan variasi | C2      |

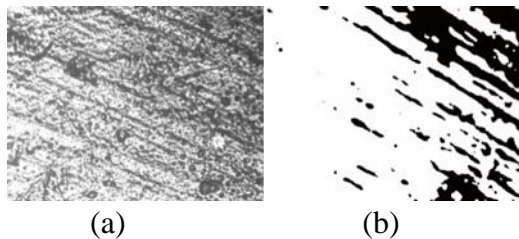
| D | $\sqrt{1}$ | $\sqrt{1}$ | Rata-rata dan variasi | D1 |
|---|------------|------------|-----------------------|----|
|---|------------|------------|-----------------------|----|

Keterangan :  $\sqrt{1}$  menunjukkan faktor tersebut penting. Angka disebelah  $\sqrt{1}$  menunjukkan ranking (berdasarkan tabel respon).

Pada tabel perbandingan pengaruh faktor di atas dihasilkan kombinasi level faktor yang optimal yaitu: A3, B2, C2, dan D1.

### Pengujian Absorpsi

Hasil rata-rata absorpsi terbaik paling rendah dihasilkan pada CNTs dengan selisih 0,0006 gr sementara rata-rata pada pengaruh level dari faktor terhadap rasio SN yaitu pada faktor CNTs dengan selisih 2,44 gr dengan hasil uji absorpsi terendah 0,0005 dan tertinggi 0,0128. Sementara hasil gambar struktur Mikro dengan nilai Absorpsi tertinggi dengan percobaan 8 spesimen 1 seperti pada gambar 11.

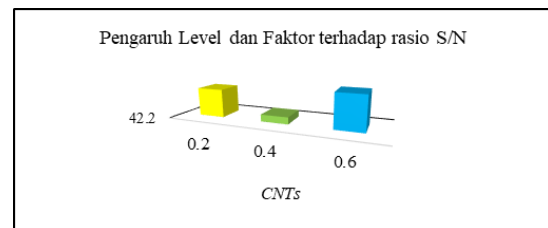


Gambar 11. Percobaan 8, spesimen 1. (a) Tampilan mikrografi Mikro sampel, (b) Tampilan mikrografi Mikro sampel hasil proses threshold gambar

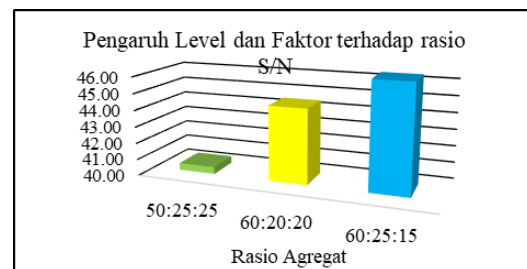
Dari pengamatan struktur Mikro spesimen dengan CNTs 0,6 gr, rasio granit 60:20:20, rasio agregat : epoksi 80:20 dengan fly ash 10% seperti pada gambar 4.15, terlihat bahwa rasio agregat memadati diseluruh bagian. Namun terlihat juga adanya void (lubang udara) yang terjadi pada komposit tersebut, sehingga menyebabkan adanya bubuk resin yang terjebak pada void tersebut.

Dari kondisi diatas maka faktor yang paling dominan pada Mineral casting

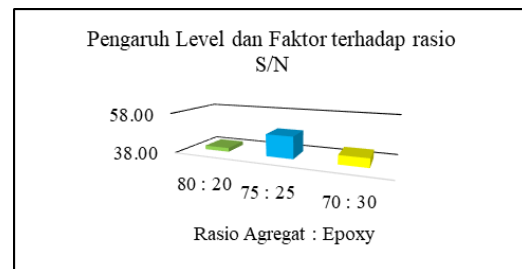
Granit pada pengujian absorpsi adalah CNTs peringkat pertama untuk respon absorpsi dan rasio S/N, ini berarti CNTs sangat berpengaruh dalam hasil absorpsi. Dari hasil diatas dapat dianalisa lebih dalam dengan perbandingan tiap-tiap faktor dari CNTs, rasio agregat, rasio agregat : epoxy dan fly ash seperti pada gambar grafik dibawah ini.



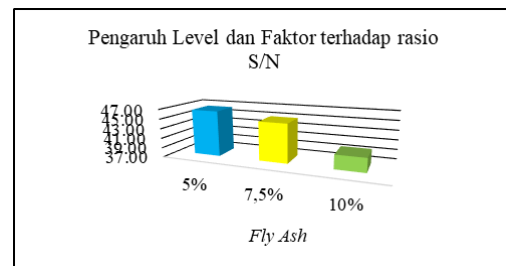
Gambar 12. Grafik Absorpsi Pengaruh Level Dari Faktor CNTs



Gambar 13. Grafik Absorpsi Pengaruh Level Dari Faktor Rasio Agregat



Gambar 14. Grafik Absorpsi Pengaruh Level Dari Faktor Rasio Agregat : Epoxy



Gambar 15. Grafik Absorpsi Pengaruh Level Dari Faktor Fly Ash

Dari gambar grafik diatas selanjutnya menentukan Seting Level Optimum. pengujian absorpsi. Optimasi karakteristik kualitas menggunakan dua tahap proses optimasi, yaitu mengurangi variansi dan mengatur target sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Berikut adalah tabel perbandingan pengaruh faktor.

Tabel 4.8 Seting Level Optimum Absorpsi

| Faktor | ANOVA      | ANOVA S/N  | Pengaruh              | Gunakan |
|--------|------------|------------|-----------------------|---------|
| A      | $\sqrt{1}$ | $\sqrt{1}$ | Rata-rata dan variasi | A3      |
| B      | $\sqrt{3}$ | $\sqrt{2}$ | Rata-rata dan variasi | B3      |
| C      | $\sqrt{4}$ | $\sqrt{4}$ | Rata-rata dan variasi | C2      |
| D      | $\sqrt{2}$ | $\sqrt{3}$ | Rata-rata dan variasi | D1      |

Keterangan :  $\sqrt{\quad}$  menunjukkan faktor tersebut penting. Angka disebelah  $\sqrt{\quad}$  menunjukkan ranking (berdasarkan tabel respon).

Pada tabel perbandingan pengaruh faktor di atas dihasilkan kombinasi level faktor yang optimal yaitu: A3, B3, C2, dan D1.

### Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Parameter pengaruh spesimen yang berpengaruh signifikan terhadap variasi dimensi dan rasio serbuk granit berpenguat CNTs tipe MWNT terhadap kekerasan meliputi fraksi fly ash 57,9 %, CNTs 22,3 %, rasio agregat : epoxy 15,2 % dan rasio agregat 4,5 %.
2. Parameter pengaruh spesimen yang berpengaruh signifikan terhadap variasi dimensi dan rasio serbuk granit berpenguat CNTs tipe MWNT terhadap absorpsi meliputi fraksi fly ash 26,8 %, CNTs 3,67 %, rasio agregat : epoxy 48,4 % dan rasio agregat 21 %.

3. Dari berbagai spesimen didapatkan dengan spesimen terbaik pada pengujian kekerasan adalah percobaan 8 spesimen 2 dengan kriteria CNTs (0,6), rasio agregat (20:60:20), agregat : epoksi (80:20), dan fly ash 10% dengan kekerasan sebesar 298 HV, sedangkan terbaik pada pengujian absorpsi dengan percobaan 8 spesimen 1 dengan kriteria CNTs (0,6), rasio agregat (60:20:20), agregat : epoksi (80:20), dan fly ash 10% terabsorpsi 0,0005.
4. Kombinasi faktor optimal yang didapat pada pengujian kekerasan yaitu CNTs (0,6), rasio agregat (60:20:20), rasio agregat : epoxy (75:25) dan fly ash (5%).
5. Kombinasi faktor optimal yang didapat pada pengujian absorpsi yaitu CNTs (0,6), rasio agregat (60:25:15), rasio agregat : epoxy (75:25) dan fly ash (5%).

Saran yang disampaikan untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pengujian bending sehingga mengetahui pengaruh variasi dimensi dan rasio agregat serbuk granit pada proses mineral casting dengan epoksi resin berpenguat CNTs tipe MWNT terhadap kekuatan bending.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas mineral casting dengan rasio agregat granit.
3. Pada saat pengambilan spesimen dalam cetakan perlu hati-hati, diusahakan hasil spesimen mengeras terlebih dahulu sebelum pelepasan cetakan.
4. Pada saat penuangan resin, alangkah baiknya dilihat terlebih dahulu apakah ada gelembung udaranya karena dapat mempengaruhi hasil spesimen.

### Referensi

- Aidy Ali, A, B. dkk. 2010. *The Effect of Aging on Arenga Pinnata Fiber Reinforced Epoxy Composites*. Journal Material & Desing. Universitas Putra Malaysia

- Anonimous, *Annual book of American Society for Testing and Materials Standards (ASTM)*, 1998
- Bachtiar Saeful, Emmy Dyah Sulistyowati, Agus Dwi Catur. *Analisis sifat Penyerapan Air Dan Indeks Nyala Api Pada Papan Komposit Yang Di Perkuat Serat Daun Pandan Duri Dan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Sengon Dengan Resin Polyester*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram
- Budiarto, Parikin, dan Dani, M., 2004, *Optimasi Ukuran Partikel dan Komposisi dalam Pembuatan Tegel Komposit Partikulat Granit*, Jurnal Sains Materi Indonesia, 6:1, 53-58
- Gueguen, Y. dan Palciauskas, 1994, *Introduction to the Physics of Rocks*, Princeton University Press, Princeton New York.
- Hadi, B.K., 2000. *Mekanika Struktur Komposit*. P3M Dirjendikti Depnas, Jakarta
- Hu, B.H., et al, "Squeeze Casting of Al-Si-Cu-Fe-Mn-Mg Alloy", *Journal of Processing and Fabrication of Advanced Materials VI*, Vol. 1, 1998.
- I Putu Krishna Artha Sastra, Nasmi Herlina Sari, Sujita. *Analisis Uji Penyerapan Air Dan Struktur Mikro Komposit Laminat Hybrid Serat Sisal Dan Batang Pisang Dengan Matrik epoxy*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram
- Jaksan Arif, Hasti Riakara Husni, Surya Sebarang, "Pengaruh Resin Epoksi Terhadap Mortar Polimer Ditinjau dari Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Daya Serap Air dan Scanning Electron Microscope," *JRSDD*, iii (September 2015), hal. 361
- Lu, Shu-Zu, "The Mechanism of Silicon Modification in Al-Si Alloy", *Journal of Metallurgical Transaction*, Vol. 18 A No. 10, p. 1721 – 1733, 1987.
- Manoj Singla, Vika Chawla, 2010, *Mechanical Properties of Epoxy Resin – Fly Ash Composite*, *Journal of Minerals and Materials Characterization & Engineering*, Vol. 9, No.3, pp.199-210, 2010
- Matthews., F.L. & Rawling, R.D. (1994). *Composite Material Engineering Science Technology and Medicine*. London
- Pedoman-TA\_Skripsi 2015 STT WIWOROTOMO
- Soejanto Irwan, *Desain Eksperimen Metode Taguchi*. Graha Ilmu
- Soejono Tjitro dan Firdaus, 2001, *Pengecoran Squeeze*, *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 2, No. 2, Oktober 2000: 109 – 113
- Triyono, NIM : I0302058. *Penentuan Setting Level Optimal Bending Strength Gypsum Interior Berpenguat Serat Cantula Menggunakan Desain Eksperimen Taguchi*. Skripsi. Surakarta : Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Januari 2007
- Van Rijswijk, M.Sc, dkk, 2001, dalam bukunya *Natural Fibre Composites*
- Widodo, (2008) *Material Teknik*. Hal 169.
- Yue, T.M. and G.A. Chadwick, "Squeeze Casting of Light Alloys and Their Composites", *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 58 No. 2 – 3 . 1996.