

STUDI *FRACTURE TOUGHNESS* KERAMIK LUMPUR LAPINDO YANG DIBUAT DENGAN PROSES *PRESSURELESS* SINTERING

Muh Amin^{*)}

Abstrak

Bekas pengeboran minyak yang dilakukan oleh PT. Lapindo Beratantas Sidoarjo Jawa Timur telah menimbulkan efek pencemaran lingkungan berupa lumpur panas yang selalu keluar menyembur ke permukaan bumi yang mengakibatkan terendahnya beberapa daerah disekitarnya. Sehingga semakin lama keberadaan lumpur semakin melimpah dan menjadikan masyarakat daerah setempat merasa terganggu dengan kehadirannya. Maka dari itu perlu diupayakan dalam pemanfaatan Lumpur Lapindo tersebut. Melihat dari beberapa penelitian terdahulu, Lumpur Lapindo sangat tepat apabila dipergunakan sebagai bahan baku pembuat keramik. Namun sebelum dipergunakan sepenuhnya sebagai bahan keramik tentunya harus diketahui terlebih dahulu sifat fisis dan mekanis dari lumpur tersebut ketika berbentuk keramik. Salah satu sifat mekanis yang penting dari bahan keramik adalah harga *fracture toughness* atau K_{IC} dari bahan keramik yang diuji. Dengan mengetahui besar harga *fracture toughness* dari suatu bahan maka akan diketahui seberapa ketangguhan bahan tersebut dalam menerima pembebanan. Maka dari itu pada penelitian kali ini akan difokuskan dalam pencarian harga *fracture toughness* keramik Lumpur Lapindo sehingga dapat dipergunakan sebagai keramik dengan kondisi aplikasi yang tepat. Dalam pembuatan keramik Lumpur Lapindo dilakukan dengan proses *pressureless sintering* dengan tekanan kompaksi dan suhu sintering yang divariasi.

Kata Kunci: *Fractur Toughness*, Lumpur Lapindo, Keramik, *Pessureless Sintering*, Sintering.

PENDAHULUAN

Limbah yang ditimbulkan akibat semburan lumpur panas di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo yang selanjutnya disebut sebagai Lumpur Lapindo berlangsung sejak 29 Mei 2006 lalu sangat melimpah sehingga sangat meresahkan masyarakat sekitar jika limbah tersebut tidak dikelola dengan baik. Menurut hasil penelitian awal yang sudah dilakukan oleh beberapa peneliti bahwa Lumpur Lapindo dapat dimanfaatkan sebagai bahan keramik dan bahan pengganti semen untuk pembuatan paving dan beton (Diah N, 2007).

Keramik merupakan salah satu jenis material teknik yang terus menerus dikembangkan, yang merupakan prospek cerah dalam pengembangan dibidang teknik. Produk keramik telah

^{*)} Dosen S1 Teknik Mesin UNIMUS

banyak diaplikasikan dibidang teknik terutama dipermesinan seperti: alat potong, nosel, katup, turbin, *ball bearing* (Barsoum, 1997). Keunggulan keramik secara umum adalah titik cair tinggi, tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap gesekan, tahan korosi, daya hantar panas rendah, densitas relatif rendah dan koefisien muai panas rendah (Barsoum, 1997). Namun demikian, keramik juga mempunyai kelemahan yaitu bersifat getas (*brittle*) (Green, 1998) dan ketangguhan retak (*fracture toughness*) yang rendah (Chawla, 1993).

Pemanfaatan Lumpur Lapindo sebagai material keramik masih belum dioptimalkan penggunaannya dibidang teknik. Hal ini dapat dilihat masih sedikitnya penelitian yang dilakukan dibidang keramik teknik yang berbahan dasar Lumpur Lapindo. Sehingga perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang Lumpur Lapindo sebagai material keramik teknik agar dapat dioptimalkan penggunaannya.

Tujuan dari penelitian ini adalah meneliti pengaruh tekanan kompaksi dan suhu sintering terhadap *fracture toughness* dari Keramik Lumpur Lapindo dan meneliti pengaruh patahan terhadap struktur mikro dari Keramik Lumpur Lapindo akibat pengujian *fracture toughness* (K_{IC}).

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh TIM Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya menyimpulkan bahwa material Lumpur Lapindo yang berasal dari Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo ini mengandung senyawa-senyawa ($SiO_2= 57,14\%$; $NaCl= 11,68\%$; $FeSi= 9,15\%$; $Al_2O_3= 9,09\%$; $CaAlF_5= 4,5\%$ dan $Mg_3SiO_3(OH)_4= 8,44\%$) (Aristianto, 2006) yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan keramik (Diah N, 2007). Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Aristianto, 2006) menunjukkan bahwa Kekuatan Bending dari material keramik dari Lumpur Lapindo adalah sebesar 3,81 MPa.

Lumpur Lapindo memiliki kandungan senyawa yang sama dengan *fly ash* (limbah dari hasil pembakaran batu bara) (Januarti J. E, 2007). Cheng, dkk (2002) melakukan penelitian tentang *glass ceramics* dari *fly ash* dengan menggunakan tekanan kompaksi sebesar 150 MPa pada spesimen dengan ukuran (4x1,5x0,7) cm. Sintering dilakukan dengan variasi suhu (850, 900, 950, 1000 dan 1050) $^{\circ}C$ dengan *holding time* selama 2 jam, setelah itu didinginkan pada temperatur ruang. Hasil dari pengujian menunjukkan kekuatan bending maksimum dicapai pada suhu (850-900) $^{\circ}C$.

Cheng dan Chen (2004) meneliti karakterisasi *glass-ceramics* dari *fly ash* dengan ukuran partikel (0,2-500) μm yang dicetak dengan ukuran (4x1,5x0,7) cm dengan tekanan kompaksi sebesar 118 MPa. Sintering dilakukan dengan divariasi suhu (850, 900, 950, 1000 dan 1050) $^{\circ}\text{C}$ dengan *holding time* selama 2 jam. Pada suhu 850 $^{\circ}\text{C}$ dan 900 $^{\circ}\text{C}$ terjadi peningkatan laju pengintian dan pertumbuhan kristal. Sedangkan suhu diatas 1000 $^{\circ}\text{C}$, porositas dan laju penyerapan air terjadi penurunan yang signifikan sehingga *density* dan *compressive strength* terjadi peningkatan.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Lumpur Lapindo yaitu bahan lumpur dari semburan lumpur panas di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo dengan ukuran partikel rata-rata 325 mesh (45 μm).
2. Resin untuk *mounting* spesimen.
3. Kertas ampelas (ukuran 120, 220, 400, 600, 800 dan 1000) untuk menghaluskan permukaan spesimen.

Alat Penelitian

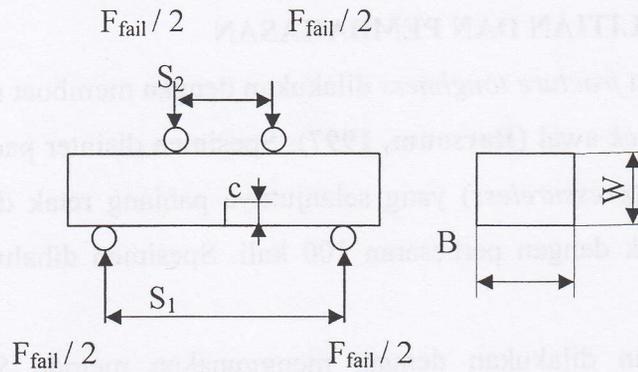
Perlitan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Timbangan *digital* (Sartorius Type LC 1201 S) digunakan untuk menimbang serbuk Lumpur Lapindo dan untuk pengujian densitas keramik Lumpur Lapindo.
2. Cetakan (bentuk balok) digunakan untuk pembuatan spesimen uji *fracture toughness*.
3. Mesin tekan (*Tarno Grocki type UPHG20 Japan*) digunakan untuk penekan (*press*) dalam pembuatan *green body*.
4. Dapur pemanas digunakan untuk proses *sintering*.
5. Mesin Uji "Tokyo Testing Machine, MFG CO., LTD" digunakan untuk pengujian *fracture toughness*.
6. Mikroskop optik (*Olympus Japan*) digunakan untuk pengamatan struktur mikro dan jenis permukaan patahan.

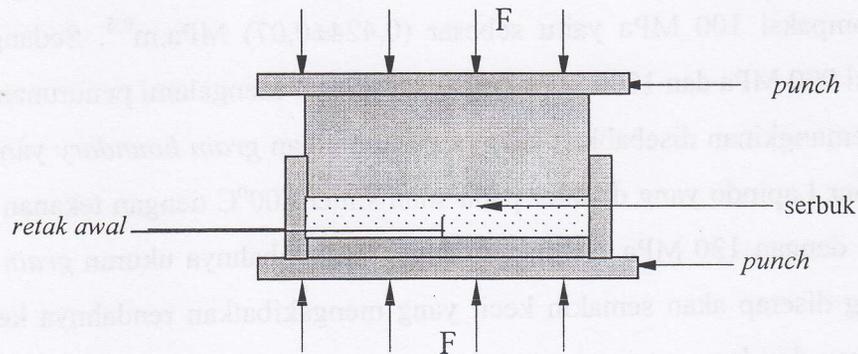
Cara Penelitian

Pada persiapan penelitian dilakukan:

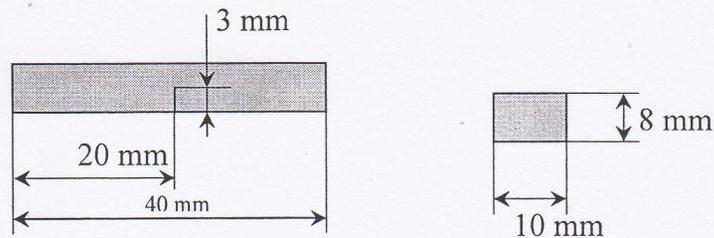
1. Mempersiapkan bahan uji berupa Lumpur Lapindo.
2. Pembuatan cetakan Spesimen Uji *Fracture toughness* dengan Metode yang dipergunakan adalah *Single-Edge Notched Beam* (SENB) seperti pada Gambar 1. sedangkan specimen dibuat dengan menggunakan cetakan balok seperti pada Gambar 2 serta bentuk/hasil cetakan seperti pada Gambar 3.



Gambar 1. Skema Pengujian *Fracture Toughness* Dengan Metode *Single-Edge Notched Beam* (SENB).



Gambar 2. Cetakan Spesimen Balok



Gambar 3. Bentuk Spesimen Untuk Pengujian *Fracture Toughness* Dengan Metode SENB

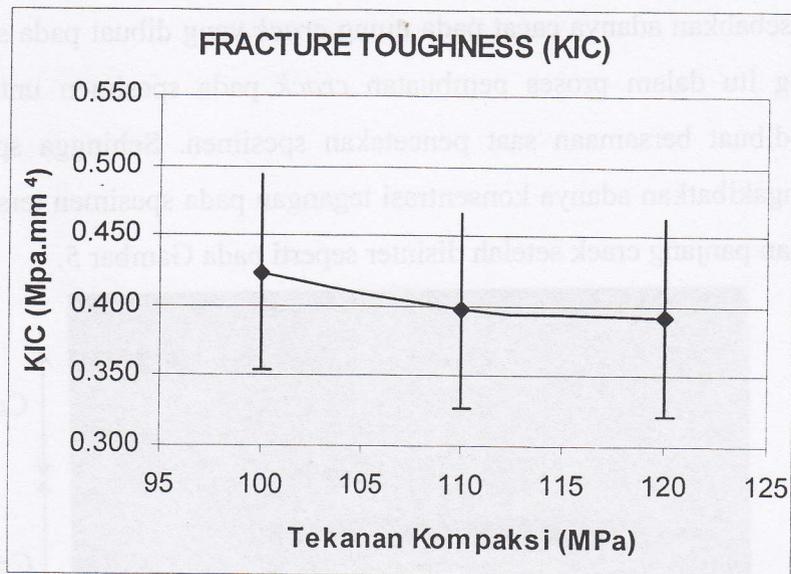
3. Mempersiapkan kertas ampelas (ukuran 120, 220, 400, 600, 800 dan 1000).
4. Pembuatan spesimen pertama kali dilakukan dengan pembuatan *green body* dengan *uniaxial pressing* pada sebuah cetakan dan selanjutnya dilakukan proses *pressureless sintering*.
5. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Single-Edge Notched Beam* (SENB) dengan mesin "Tokyo Testing Machine, MFG CO., LTD".

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian *fracture toughness* dilakukan dengan membuat spesimen uji berbentuk balok yang diberi *crack* awal (Barsoum, 1997). Spesimen disinter pada suhu sinter 800°C dengan tanpa tekanan (*pressureless*) yang selanjutnya panjang retak diukur dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100 kali. Spesimen dihaluskan permukaannya dengan mesin amplas.

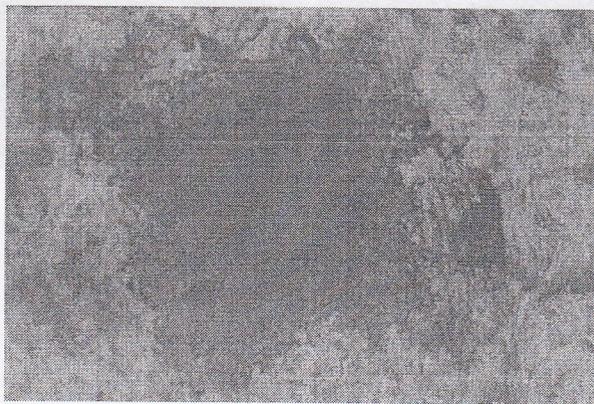
Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Single-Edge Notched Beam* (SENB) dengan mesin Tokyo Testing Machine, MFG CO., LTD. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 4. Dari grafik pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa Keramik Lumpur Lapindo yang disinter pada suhu sinter 800°C harga *fracture toughness* tertinggi diperoleh pada tekanan kompaksi 100 MPa yaitu sebesar $(0,424 \pm 0,07) \text{ MPa.m}^{0.5}$. Sedangkan pada tekanan kompaksi 900 MPa dan 1000 MPa berangsur-angsur mengalami penurunan.

Hal ini kemungkinan disebabkan adanya pertumbuhan *grain boundary* yang semakin besar pada Lumpur Lapindo yang disinter pada suhu sinter 800°C dengan tekanan kompaksi 100 MPa sampai dengan 120 MPa. Sehingga dengan bertambahnya ukuran *grain boundary* maka energi yang diserap akan semakin kecil yang mengakibatkan rendahnya kemampuan untuk menahan gaya dari luar.



Gambar 4. Hasil pengujian K_{IC} dengan metode SENB

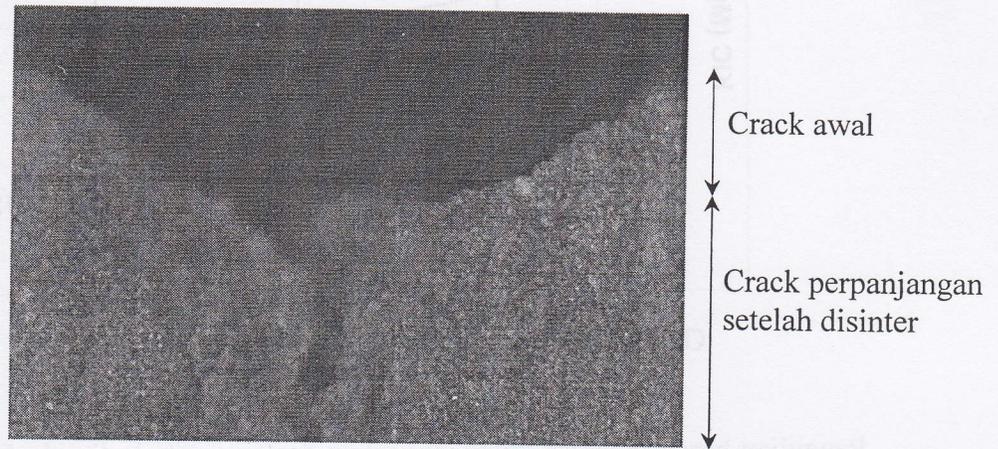
Pengujian harga *fracture toughness* selain dengan metode *Single-Edge Notched Beam* (SENB) sebenarnya juga dapat dilakukan apabila retak bekas injakan hardness vickers dapat diamati yaitu dengan Metode Indentasi Kekerasan Vickers. Akan tetapi pada pengujian dengan material Lumpur Lapindo dalam bentuk keramik yang diamati dengan menggunakan microscope optic dengan pembesaran 200 x tidak ditemukan retak tersebut (Gambar 5), sehingga pencarian harga *fracture toughness* dengan Metode Indentasi Kekerasan Vickers tidak dapat dilakukan.



Gambar 4. Bekas Injakan *Vickers Hardness*

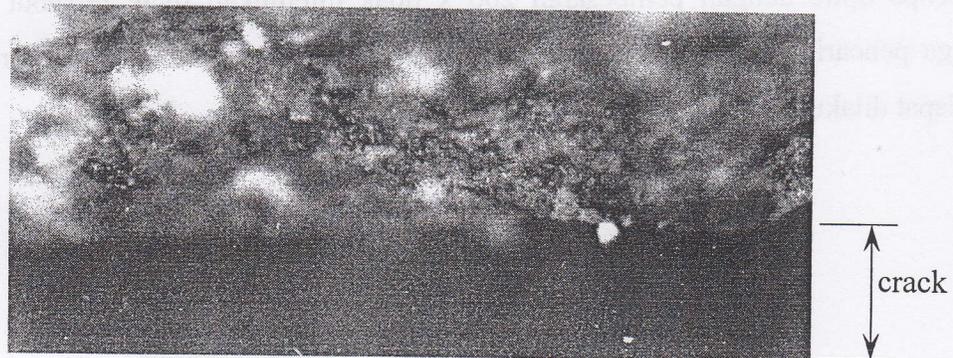
Rendahnya harga *fracture toughness* dalam penelitian ini kemungkinan disebabkan adanya awal *crack* yang terjadi pada spesimen yang belum dilakukan pengujian. Terjadinya

awal *crack* ini disebabkan adanya cacat pada ujung *crack* yang dibuat pada spesimen (*green body*). Disamping itu dalam proses pembuatan *crack* pada spesimen untuk uji *fracture toughness* yang dibuat bersamaan saat pencetakan spesimen. Sehingga spesimen setelah disinter akan mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan pada spesimen tersebut disamping terjadi pertambahan panjang *crack* setelah disinter seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Perpanjangan Crack

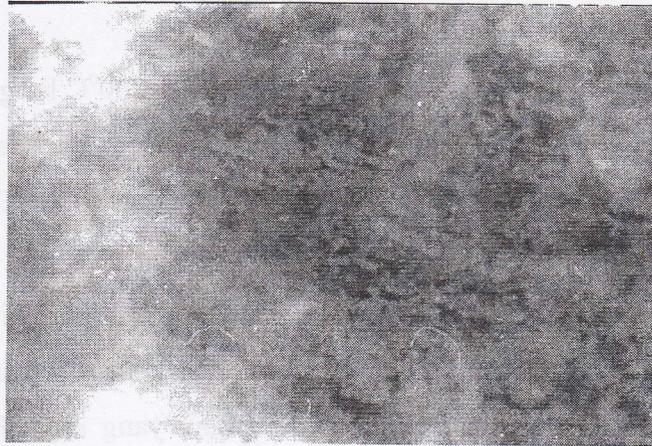
Sedangkan bentuk permukaan patah dari spesimen yang telah dilakukan uji *fracture toughness* dapat dilihat pada Gambar 6 yaitu jenis patahan getas.



Gambar 6. Foto permukaan patah dari spesimen

Pengamatan Struktur Mikro

Pada Gambar 7, 8 dan 9 merupakan hasil dari foto mikro pada Keramik Lumpur Lapindo yang telah mengalami *compacting*. Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optic terlihat bahwa dengan bertambahnya tekanan kompaksi akan terjadi pertumbuhan *grain* yang lebih besar sehingga inilah yang menyebabkan densitas Keramik Lumpur Lapindo terjadi penurunan karena porositasnya semakin besar.



Gambar 7. Foto Struktur Mikro Keramik Lumpur Lapindo (Tekanan Kompaksi 100 MPa)



Gambar 8. Foto Struktur Mikro Keramik Lumpur Lapindo (Tekanan Kompaksi 110 MPa)



Gambar 9. Foto Struktur Mikro Keramik Lumpur Lapindo (Tekanan Kompaksi 120 MPa)

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Keramik Lumpur Lapindo yang disinter pada suhu sinter 800°C harga *fracture toughness* tertinggi diperoleh pada tekanan kompaksi 100 MPa yaitu sebesar $(0,424 \pm 0,07)$ MPa.m^{0.5}. Sedangkan pada tekanan kompaksi 900 MPa dan 1000 MPa berangsur-angsur mengalami penurunan.
2. Rendahnya harga *fracture toughness* dalam penelitian kali ini dimungkinkan karena dalam pembentukan specimen uji dilakukan saat pencetakan (press) *green body* yang menyebabkan adanya konsentrasi tegangan dan retak yang menjalar ketika dilakukan sintering.
3. Jenis patahan yang terjadi ketika dilakukan pengujian *fracture toughness* dengan Metode SENB dari keramik yang dibuat dengan bahan baku Lumpur Lapindo dengan proses pressureless sintering adalah jenis patahan getas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aristianto, 2006, *Pemeriksaan Pendahuluan Lumpur Panas Lapindo Sidoarjo untuk Produk Keramik*, Handouts.
- Barsoum, M. W., 1997, *Fundamental of Ceramics*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Chawla, K.K., 1993, *Ceramic Matrix Composites*, University Press, Cambridge, Great Britain.
- Cheng, T. W, Ueng, T. H., Chen. Y. S. and Chiu, J. P., 2002, *Production of Glass-Ceramics from Incinerators Fly Ash*, Journal Ceramics international 28, 779-783.
- Cheng, T. W. and Chen, Y. S., 2004, *Characterization of Glass-Ceramics Made From Incinerators Flay Ash*, Journal Ceramics international 30, 343-349.
- Diah N., 2007, *Penelitian Awal Pemanfaatan Lumpur Porong Kab. Sidoarjo untuk Komponen Bangunan*, Balai Teknologi Pemukiman.
- Djaprie S, 1987, *Ilmu dan Teknilogi Bahan*, Erlangga, Jakarta.
- Green, D. J., 1998, *An Introduction to the Mechanical Properties of Ceramic*, University Press, Cambridge, Great Britain.
- German R.M., 1994, *Powder Melallurgy Science*, The Penylvania State University, USA.

- German R.M., 1991**, *Fundamentals of Sintering*, Engineered Materials Handbook Ceramics and Glasses, ASM International, USA.
- Gordan L, 1991**, *Application for Traditional Ceramic*, Engineered Materials Handbook Ceramics and Glasses, ASM International, USA.
- Januarti, J.E., 2007**, *Lumpur Lapindo Untuk Semen*, ITS, Surabaya.
- Lily P, 2006**, *Karakteristik Fisik Kimia Lumpur Panas Porong Sidoarjo*, ITS Surabaya, Handouts.
- Lee, W.E., Rainforth, W.M., 1994**, *Ceramic Microstructures Property Control by Processing*, Chapman and Hall, London UK.
- McEntire B. J. dan Norton, 1991**, Powder Compaction Processes-Dry Pressing, Engineered Materials Handbook Ceramics and Glasses, ASM International, USA.
- Roger, L. K. M., 1987**, *Evaluation of Fracture toughness Determination Methods as Applied to Ceria-Stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal*, Journal American Ceramic Society 70(12) C-366-C-368.
- Somiya S., 1989**, *Advanced Technical Ceramics*, Academic Press inc, Tokyo.
- Surdia T, 1985**, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Vlack V, 1980**, *Elements of Materials Science and Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company, USA.

PENULIS;

MUH AMIN, ST, MT

Dosen S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

Jl. Kedungmundu Raya 10 Semarang

E-Mail: amin.unimus@gmail.com