

666
BAY
a c.



LAPORAN AKHIR
KEGIATAN PENELITIAN PERGURUAN TINGGI

JUDUL :
ANALISA REGANGAN MIKRO SPODUMENE -ALUMINA KERAMIK
KOMPOSIT

Oleh :

1. Ir. A.P. Bayuseno, MSc	NIP. 131 832 228
2. Ir. Sugiyanto, DEA	NIP. 131 668 484
3. Ir. Yurianto	NIP. 131 602 693

Dibiayai oleh Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan sesuai
dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dosen Muda;
Nomor : 054/P2IPT/DPPM/98/LITMUD/V/1998,
Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO

BULAN, TAHUN: JANUARI 1999

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN DOSEN MUDA

1. a. Judul Penelitian : Analisa Regangan Mikro Spodumene-Alumina Keramik Komposit
b. Macam Penelitian : Berbagai Bidang Ilmu
[] Dasar [☒] Terapan [] Pengembangan
c. Kategori : I/II/III
2. Ketua Peneliti
a. Nama Lengkap dan Gelar : Ir. A.P. Bayuseno, MSc
b. Jenis Kelamin : Laki-laki
c. Pangkat/Golongan/NIP : Penata Muda TK I/ IIIB/ 131 832 228
d. Jabatan Fungsional : Assisten Ahli
e. Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Mesin
f. Universitas : Diponegoro
g. Bidang Ilmu yang diteliti : Material Teknik
3. Jumlah Tim Peneliti : 3 orang
4. Jangka Waktu Penelitian : 6 bulan
5. Biaya yang diperlukan : Rp.4.500.000,-
(Empat Juta Lima Ratus Ribu Rupiah)



Mengetahui
Dekan FT UNDIP
(Diponegoro Setioko, MEng)
NIP: 130 516 595

Semarang, Januari 1999
Ketua Peneliti

(Ir. A.P. Bayuseno, MSc)
NIP : 131 832 228



Menyetujui
Ketua Lembaga Penelitian UNDIP
(Prof. Dr. dr. Satoto)
NIP: 130 368 071

RINGKASAN

Penelitian ini secara khusus membahas pemakaian alumina dan spodumene serbuk keramik dalam mengembangkan bahan monolitik dan komposit sebagai keramik yang tahan panas. Studi ini meliputi kaji eksperimen tahapan proses penyiapan serbuk, karakterisasi material, pengukuran sifat-sifat mekanis tertentu dan analisa regangan mikro dengan metoda difraksi sinar-X (XRD). Fokus utama penelitian ini adalah meningkatkan sifat tahan panas spodumene-alumina keramik dengan metoda pencelupan dari berbagai temperatur pemanasan.

Kontrol ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel dicapai dengan proses *attrition milling*. Ukuran partikel dilakukan pengujian dengan alat laser scattering sebelum dan sesudah mengalami milling. Sifat-sifat mekanis dari komposit telah dilakukan dengan memfokuskan pada pengaruh struktur mikro. Kekerasan dan ketangguhan diuji dengan alat *microhardness tester* sedangkan kekuatan (*strength*) diperoleh dengan uji three-point bending. Hasilnya menunjukkan bahwa kekerasan spodumene-alumina keramik menunjukkan penurunan kekerasan dengan pertambahan besar butir. Ketangguhan dan kekuatan untuk semua bahan tidak terpengaruh oleh stuktur mikronya.

Analisa XRD digunakan untuk mengamati keefektivitas dalam perlakuan paska sinter (*pencelupan*) dalam meningkatkan tegangan tekan didekat permukaan sebagai upaya meningkatkan tahanan termal-shocknya. Hasilnya menunjukkan bahwa memungkinkan sekali metoda penguatan dengan tegangan/regangan sisa tekan menjadi sangat penting dalam merancang spodumene-alumina komposit dengan peningkatan sifat tahanan *thermal-shocknya*. Namun demikian penelitian lanjut dengan teknik synchrotron radiation dalam melihat pola regangan terhadap kedalaman material sangat perlu dilakukan.

SUMMARY

This research has explored the utility of alumina and spodumene powder for the development of monolithic alumina and spodumene-alumina composites in thermal shock resistance applications. The study involved processing experiments, characterization measurements, and determination of selected mechanical properties and XRD analysis. The principal focus of the research was to improve thermal shock resistance of spodumene-alumina ceramics by quenching technique from the different temperature of the process.

Control of particle size and particle size distribution was achieved by attrition milling. The particle sizes before and after milling was obtained by a laser scattering technique. Mechanical property evaluation of the composites was conducted with particular reference to the effect of microstructures. Microhardness tester measured hardness and toughness, whereas strength examination was conducted by three-point bending testing. The results showed that the hardness of the composites exhibits reduction with increasing grain size. Toughness and strength for all materials were insensitive to the microstructure.

XRD strain analysis was used to investigate the effectiveness of employing post-sintering heat treatment to enhance near-surface compressive stresses in order to further improve thermal shock resistance. It is possible that strengthening surface compression may be value in designing spodumene-alumina composites for improved thermal shock. However further work is required by shyncrotron radiation in examining the variation of strain with depth of the materials.

KATA PENGANTAR

Berkat rahmat Tuhan Yang Mahaesa penulis merasa bersyukur memperoleh kesempatan dalam melakukan penelitian yang berjudul *Analisa Regangan Mikro Spodumene-Alumina Keramik Komposit* yang memperoleh dana dari DIKTI. Penelitian ini secara khusus ingin melihat dan mengamati karakteristik tegangan/regangan sisa tekan didalam dekat permukaan material keramik dengan metoda difraksi sinar-x. Dari hasil tersebut selanjutnya dikaitkan dengan peningkatan terhadap tahanan termal-shocknya. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengalaman tentang pengetahuan dasar dalam karakterisasi material.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada :

- 1) Direktorat Pembinaan Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat DIRJEN DIKTI
- 2) Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro
- 3) Curtin University of Technology, Perth, Australia yang telah banyak membantu dalam diskusi dan supply bahan baku
- 4) Laboratorium Metalurgi Fisik FT-UNDIP
- 5) Semua rekan-rekan di Program Studi Teknik Mesin UNDIP yang tidak saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan dalam laporan ini maka saran dan kritik yang membangun sangat kami harapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Semarang, Januari 1999

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	i
RINGKASAN	ii
SUMMARY	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	9
BAB 3. METODE PENELITIAN	18
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	42
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Analisis Kimia Alumina A12 dan Spodumene	25
Tabel 4.2 Data ukuran partikel untuk bahan baku serbuk	29
Tabel 4.3 Massa jenis, ukuran butir, kekuatan dan ketangguhan spodumene-alumina komposit	30
Tabel 4.4 Parameter struktur mikro untuk fasa α -Al ₂ O ₃ didalam spodumene-alumina komposit	34

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Variasi tegangan sisa dalam spodumene-alumina keramik komposit (a) uniform mikro dan makro dan (b) regangan mikro non-uniform	10
Gambar 2.2 (a) Komponen tegangan makro (ϵ) dari shot-peened kuningan α/β dan tegangan mikro $\alpha(+)$ dan $\beta(-)$ untuk $\theta = 0^\circ$ dan peak breadth pada half maksimum intensity (PBHMI) untuk 211 refleksi (Noyan dan Cohen, 1985)	11
Gambar 3.1 Geometri dari Bragg-Brentano Diffraktometer (Siemens, 1986)	23
Gambar 3.2 Diagram sampel dan sistem koordinasi yang dilakukan dalam pengukuran regangan	24
Gambar 4.1 XRD powder diffraction pattern untuk (a) A12 Alumina dan (b) β -spodumene untuk $\text{CuK}\alpha$ x-radiation. Label A (Alumina), S (spodumene) atau C (kotoran).	27
Gambar 4.2 Distribusi ukuran partikel untuk (a) A12 alumina dan (b) β -spodumene	28
Gambar 4.3 William-Hall plot untuk (a) as-sintered spodumene-alumina keramik Al-15SP menggunakan semua refleksi dan (b) keempat sampel Al-15SP menggunakan dua refleksi yang dikaitkan dengan $\langle 104 \rangle$ refleksi	33
Gambar 4.4 Harga rata-rata tegangan root-mean-square (rms) untuk arah $\langle 104 \rangle$ fasa alumina didalam sampel Al-15SP sebagai fungsi suhu celup. Standard deviasi yang diestimasikan disajikan dalam kurung.	35
Gambar 4.5 Kurva koreksi d-spacing untuk pengaturan d-spacing untuk pergeseran instrumen dalam memperkirakan regangan uniform untuk fasa alumina didalam benda uji as-sintered Al-15SP.	

Kurva koreksi diperoleh dari data difraksi yang diukur dari besaran serbuk silikon pada permukaan benda uji. Refleksi silikon [hkl] diberikan dalam kurung.

37

Gambar 4.6 Parameter kisi untuk fasa α -Al₂O₃ didalam sampel Al-15SP sebagai fungsi suhu celup. Data termasuk dari titik untuk α -Al₂O₃ untuk serbuk (Alcoa A12). Estimasi standard deviasi dari harga rata-rata dimensi kisi ditunjukkan sebagai error bar.

39

Gambar 4.7 Regangan uniform (garis tebal) dan tegangan (garis putus) dari fasa α -Al₂O₃ didalam sampel Al-15SP sebagai fungsi suhu celup. Estimasi standard deviasi dari regangan rata-rata ditunjukkan sebagai error bar.

40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Studi pengembangan material pada spodumene ($\text{Li}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) telah difokuskan pada produksi gelas dan gelas keramik yang memiliki sifat kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan panas, ketahanan kimia dan panas ekspansi yang rendah (Shyu dan Lee, 1995). Material ini secara khusus telah mendapat perhatian para ahli justru karena keberadaan di alam yang sangat melimpah dengan kadar lithium sampai 7,6 % (berat) dan kadar besi (Fe_2O_3) yang lebih kecil dari 0,1 % (berat).

Secara alami spodumene terjadi dalam bentuk α -polimorpi yang bertransformasi menjadi β -spodumene pada suhu 1080 °C (Kusnik dan Terry, 1988). Transformasi yang tidak mampu balik ini disertai dengan peningkatan volume 33 % dengan penurunan massa jenis (*density*) dari 3,2 menjadi 2,4 g/cm³. Sifat-sifat dari material spodumene telah didokumentasikan secara luas oleh Hummel (1951) dan Knickerbocker dkk (1989). Fasa kristalin didalam β -spodumene pada prinsipnya terdiri dari larutan padat metastabil β -quartz dan/atau β -spodumene. Alasan pemanfaatan material ini dalam lingkungan suhu panas yang berfluktuasi karena relatif koefisien panas ekspansi yang rendah. Akibatnya material ini telah lama digunakan sebagai panel-panel listrik dan bahan isolasi listrik (Scheidler dan Rodek, 1986).

Pemakaian β -spodumene gelas keramik didalam lingkungan thermal-shock sebagai upaya menerapkan keuntungan koefisien panas ekspansi termal yang rendah (kira-kira $0,9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ dalam rentang suhu 20-1000 °C), belum disadari secara penuh (Knickerbocker dkk, 1989). Aplikasi yang menarik dari material tersebut adalah keberadaan tegangan tekan pada permukaan bahan yang bisa timbul pada komposit material sebagai hasil perbedaan koefisien panas ekspansi antara fasa matrik dengan fasa β -spodumene. Perbedaan ini akan menghasilkan material komposit dengan peningkatan ketahanan terhadap pengaruh beban kejutan termal.

Selain itu keberadaan β -spodumene akan meningkatkan ketahanan creep pada pertambahan suhu dan ketahanan kimia (Bold and Groves, 1978; Strnad, 1986). Tahanan material terhadap creep fracture membuat bahan ini menjadi salah satu bahan penguat yang sangat penting bagi material komposit karena β -spodumene mampu menunjukkan sifat *superplasticity* meskipun seringkali hanya dibatasi oleh kavitasi (Wang dan Raj, 1984). Selain itu fasa cair yang timbul sebagai akibat kehadiran β -spodumene bisa meningkatkan ketahanan terhadap kavitasi jika dibandingkan dengan bahan polikristalline monolithic didalam batas butir meskipun cenderung getas pada suhu yang lebih tinggi. Kemampuan bahan tersebut terhadap serangan kimia secara potensial akan memiliki ketahanan terhadap lingkungan korosi. Sehingga pertimbangan yang penting untuk pemakaian spodumene adalah ketahanan termal shocknya dan/atau korosi terhadap gas pembakaran.

Disamping bahan dasar gelas yang dihasilkan oleh β -spodumene juga disertai kemampuan fluk yang memiliki potensi pada penurunan suhu sinter dan sekaligus juga meningkatkan proses pemanasan. Kemampuan mengontrol dan memanipulasi proses sinter juga membuat pembuatan gelas keramik menjadi sangat menarik secara teknologi dan komersial (Latella dkk, 1995).

Potensial spodumene didalam proses pembuatan alumina-matrik komposit

Alumina (α - Al_2O_3) digunakan secara luas didalam teknologi keramik struktur sebagai bahan monolitik atau sebagai paduan dengan unsur oksida (Barta dkk, 1972). Bahan ini memiliki koefisien sebesar kurang lebih $8.5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ didalam rentang suhu 20-1000 $^\circ\text{C}$ (Dorre dan Hubner, 1984 p16) relatif terhadap koefisien β -spodumene. Studi menunjukkan bahwa penambahan mulite, zirconia atau serat keramik SiC terhadap alumina memberikan peningkatan sifat-sifat mekanis (Barta dkk, 1972; Wei dan Becher, 1985).

Dengan penambahan β -spodumene didalam alumina nampaknya sangat menjanjikan jika diaplikasikan sebagai bahan termal shock. Akan tetapi penelitian

dalam bidang ini masih sangat terbatas (Latella dkk, 1995). Keberadaan fasa spodumene didalam alumina matrik akan menghasilkan fasa gelas antar batas butir yang bisa berbentuk kristal sebagian atau kristal penuh selama pendinginan berlangsung, yang dalam hal ini akan bergantung pada history pemanasnya. Dengan demikian fasa gelas pada batas butir mampu mengakomodasikan perkembangan tegangan sisa tekan dibawah pengaruh perubahan suhu sehingga akan menurunkan kavitasi dan/atau kerusakan struktur mikro serta penurunan kecenderungan terhadap kegagalan retak mikro.

Pada dasarnya keretakan mikro cenderung terjadi sewaktu keramik mengalami gradien suhu oleh karenanya bahan tersebut sangat sensitif terhadap kegagalan termal shock. Dalam hal ini kecenderungan bencana kegagalan terhadap termal-shock terutama tergantung pada konduktifitas panas, ekspansi termal dan kekuatan bahan. Variasi suhu yang besar menimbulkan tegangan didalam keramik sebagai akibat perubahan volume sehingga menyebabkan secara spontan retak atau patah. Akan tetapi variasi suhu ini bisa juga menguntungkan jika mampu menimbulkan penguatan oleh matrik dan tegangan tekan pada permukaan bahan. Tegangan tekan pada matrik bisa timbul jika terjadi perbedaan kontraksi diantara matrik dan fasa kedua sebagai akibat perbedaan koefisien ekspansi panas, sedangkan tegangan tekan pada permukaan merupakan hasil dari laju perbedaan kontraksi selama pendinginan diantara permukaan dan bagian dalam keramik.

Alumina matrik komposit terdiri β -spodumene bisa menghasilkan tegangan tekan permukaan pada saat pemanasan sebagai akibat perbedaan panas ekspansi positif ($\Delta\alpha^+$) yang dapat didefinisikan $\Delta\alpha^+ = \alpha_{\text{matrik}} - \alpha_{\text{spodumene}}$ (Donald dan McMillan, 1976). Oleh karenanya ditetapkan bahwa tegangan tekan permukaan bisa menyebabkan spodumene-alumina keramik kurang sensitif terhadap kegagalan jika mengalami fluktuasi suhu yang sangat besar.

Kehadiran fasa β -spodumene didalam daerah permukaan keramik komposit mampu menurunkan kecenderungan kerusakan dari beban tarik secara berulang-

ulang selama pendinginan. Dengan demikian pendekatan pada struktur mikro komposit bisa didesain dalam upaya menghasilkan tegangan sisa. Perkembangan regangan sisa ini dan atau tegangan dalam komposit ada dua macam yaitu *tegangan mikro* dan *tegangan makro*.

Tegangan mikro bisa disebabkan oleh (i) ekspansi panas anisotropi didalam setiap fasa dan (ii) ekspansi panas mismatch diantara dua fasa yaitu alumina dan β -spodumene selama pendinginan dari suhu sinter atau paska sinter. Mekanisme ini bisa menyebabkan tegangan tekan timbul didalam butir alumina dan tegangan tarik timbul didalam β -spodumene butir.

Sebaliknya tegangan makro bisa timbul didalam permukaan alumina matrik komposit karena perkembangan gradien suhu selama pendinginan. Tegangan tersebut menyebabkan daerah dekat permukaan meregang relatif terhadap volume benda uji. Oleh karenanya tegangan makro bekerja pada banyak butir. Keberadaan tegangan sisa yang bagus ini diasumsikan memainkan peranan penting didalam kekuatan dan ketangguhan sehingga menurunkan kerusakan permukaan. (Lawn dan Marshall, 1977; Padture dkk, 1993).

1.2 Peningkatan Kekuatan dengan Teknik Termomekanis

Kekuatan glass dan keramik bisa ditingkatkan dengan menimbulkan tegangan tekan pada permukaan. Teknik yang lazim meliputi transformasi didalam *Zirconia-Toughened Ceramic (ZTC)*, dan proses pencelupan dari keramik polikristalin. Penggerindaan permukaan telah menunjukkan cukup energi dalam menghasilkan transformasi tetragonal ke monoklinik ZrO_2 (Garvie dkk, 1975; Pascoe dan Garvie, 1977). Proses ini dikenal secara luas untuk menghasilkan tegangan tekan disertai perubahan volume pada transformasi t-ke-m- ZrO_2 .

Peningkatan didalam kekuatan keramik dengan pencelupan telah dilaporkan oleh sejumlah ilmuan (Phillips and Divita, 1964; Kirchner dkk, 1971; Marshall dkk, 1978). Pembentukan tegangan tekan adalah effective dalam meningkatkan ketahanan

termal-shock dan tahanan abrasi dari keramik body (Lakshminarayanan dkk, 1996). Didalam penelitian ini tegangan permukaan dihasilkan oleh proses pencelupan akan dinalisa secara mikro dengan metoda difraksi sinar-x (XRD).

1.3 Tegangan Mikro Pada Material Keramik

Respon termomekanis keramik alumina matrik dipengaruhi oleh kehadiran tegangan mikro. Tegangan ini timbul sebagai akibat panas ekspansi anisotropi (TEA), atau panas ekspansi mismatch (TXM) sewaktu dikombinasikan dengan fasa lain, selama proses sinter dan/atau setelah proses sinter. Tegangan sisa mikro pada dasarnya suatu sifat yang melekat pada keramik tangguh generasi baru yang sangat berperan dalam respon mekanis.

TEA didalam alumina menyebabkan perkembangan tegangan sisa lokal yang besar sewaktu material dipanaskan sampai suhu kurang lebih 1600 °C dan kemudian didinginkan kedalam suhu kamar. Tegangan sisa rata-rata yang menembus fasa atau batas butir dalam arah arah sumbu kristalografi- a dan c bisa diestimasi dari persamaan (White dan Hay, 1994):

$$\sigma_a = \frac{2}{3} G_E (\alpha_c - \alpha_a) \Delta T \quad (1.1)$$

$$\sigma_c = -2 \sigma_a \quad (1.2)$$

dimana G_E = adalah konstanta material effective yang dapat dinyatakan sebagai:

$$G_E = \frac{G(9K + 8G)}{5(3K + 4G)} \quad (1.3)$$

disini konstanta G dan K menunjukkan modulus geser dan bulk; α_a dan α_c adalah koefisien panas ekspansi dalam arah sumbu kristalografi a -dan c ; dan ΔT adalah perbedaan suhu diantara suhu awal dan pengamatan.

Regangan mikro sepanjang arah tertentu sumbu kristalografi didalam alumina (ϵ_p) bisa ditentukan dari:

$$\epsilon_p = \Delta \alpha \Delta T \quad (1.4)$$

dimana $\Delta\alpha$ adalah koefisien panas ekspansi diantara butir yang berdekatan sepanjang arah yang ditentukan.

Tegangan sisa lokal diantara butir diantara panas ekspansi anisotropi mempengaruhi besar butir yang tergantung pada energi retak didalam alumina. Oleh karenanya TEA menjadi unsur penting didalam *grain-bridging* yang menentukan kurva tahanan retak (R) dimana keramik yang memiliki kurva tersebut akan meningkat tahanan termalnya.

Ekspansi panas mismatch (TXM) diantara matrik dan partikel fasa kedua adalah mekanisme yang juga memperkuat material dan juga merubah sifat ketangguhan. Partikel matrik pada *interface* bisa berkontribusi tegangan radial dan tarik selama pendinginan dari suhu fabrikasi. Suatu persamaan untuk tegangan sisa dalam karena termal ekspansi mismatch telah diberikan oleh Selsing (1961) dalam bentuk radial dan komponen tegangan tangensial adalah:

$$-\sigma_r = 2\sigma_t = \frac{\Delta\alpha \Delta T}{\left(\frac{1+\nu_m}{2E_m}\right) + \left(\frac{1-2\nu_p}{E_p}\right)} \quad (1.5)$$

dimana $\Delta\alpha$ menyatakan perbedaan panas ekspansi dari matrik dan partikel fasa kedua; ΔT adalah perbedaan suhu selama pendinginan; ν_m dan ν_p adalah angka poisson dari matrik dan partikel fasa kedua didalam komposit; dan E_m dan E_p adalah modulus Young dari matrik dan partikel fasa kedua.

Pengaruh tegangan TXM mendukung penguatan yang dapat dikategorikan berdasarkan tanda dari $\Delta\alpha$: (i) jika $\Delta\alpha$ adalah kecil dan positif maka besar butir diharapkan mengontrol kekuatan; (ii) jika $\Delta\alpha$ adalah besar dan positif maka matrik bisa dikenai tegangan tarik aksial, sedangkan interface bisa dalam kondisi radial tekan. Selanjutnya tegangan tarik bisa memperlemah matrik tetapi cukup mendukung terjadinya ketangguhan retak mikro. Namun demikian matrik *microcracking* bisa juga menguntungkan dalam hal meningkatkan ketangguhan *crack-deflection* dan unjuk kerja *thermal shock*.

Beberapa mekanisme juga telah dikembangkan oleh para ahli dengan mempertimbangkan perilaku ketangguhan didalam banyak sistem keramik. Walaupun demikian masih banyak ahli yang masih saling bertentangan mengenai bentuk dan mekanisme ketangguhan didalam keramik. Namun demikian masih ada sedikit kesamaan pandangan bahwa mekanisme ketangguhan bisa beroperasi secara bersamaan oleh sebab itu analisa sebab akibat mekanisme ketangguhan menjadi sangat lebih komplek.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan

Dengan memahami pentingnya karakteristik tegangan-regangan sisa tekan pada permukaan komposit keramik terhadap sifat mekanisnya, maka penelitian ini bertujuan:

1. Untuk lebih mengetahui mekanisme proses peningkatan kekuatan keramik sebagai dasar pengembangan keramik yang memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu.
2. Mengembangkan spodumene-alumina keramik dengan memfokuskan pada ketahanan *thermal shock* melalui proses pencelupan.
3. Menerapkan teknik difraksi sinar-x (XRD) dalam mengukur regangan mikro alumina dan alumina komposit yang diperkuat dengan β -spodumene.

Manfaat

Dengan demikian penelitian ini dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Optimasi proses perlakuan panas paska sinter bahan keramik komposit sebagai cara dalam meningkatkan kekuatan dan ketangguhan.
2. Memperoleh kondisi tegangan-regangan dalam memperkirakan dan memahami pengaruh kerusakan permukaan sebagai dasar teknologi dalam produksi keramik.
3. Memberikan wawasan yang lebih luas dalam mekanisme regangan sisa keramik serta lebih membudayakan teknologi difraksi sinar-x dalam bidang keramik.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini utamanya adalah membuat dan mengembangkan spodumene-alumina matrik komposit serta mengidentifikasi kondisi tegangan-regangan keramik setelah mengalami perlakuan pencelupan paska sinter. Langkah-langkah yang ditempuh meliputi:

- 1) Studi tentang karakteristik alumina (A12) dari Alcoa Australia dan spodumene sebagai bahan monolithik dan keramik komposit.
- 2) Mengkaji tentang tegangan sisa tekan didalam spodumene-alumina keramik komposit sebagai cara meningkatkan kekuatan dan ketangguhan dengan metoda pencelupan (*quenching*).
- 3) Mengeksplorasi keadaan tegangan-regangan sisa didalam keramik dengan pengukuran XRD analisis dari sudut pandang kondisi mikro regangan.

1.6 Sistematika Laporan Penelitian

Bab 1 memberikan gambaran umum tentang bahan spodumene-alumina keramik komposit. Dilanjutkan review tentang perkembangan metoda perlakuan permukaan material.

Bab 2 menguraikan kembali tentang perilaku dan kondisi tegangan-regangan sisa dari sudut pandang difraksi sinar x (analisis XRD).

Bab 3 memfokuskan pada metoda eksperimen dalam memperoleh tegangan-regangan mikro keramik.

Bab 4 menyajikan hasil penelitian dan pembahasan dari hasil penelitian dari pengukuran tegangan-regangan sisa dengan metoda sinar-x.

Bab 5 berisi penutup dan kesimpulan.