



UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN BAHAN DAN SUMBER MINERAL

KAMPUS KEJURUTERAAN

**KAJIAN KESAN SAIZ PARTIKEL ALUMINA DAN
TEMPOH PENGADUKAN KE ATAS SIFAT-SIFAT
FIZIKAL KRUSIBEL ALUMINA YANG DIHASILKAN
MENGUNAKAN KAEDAH TUANGAN GEL**

Oleh:

**ROSFARIZA BIN MOHAMED KHALIB
60353**

Penyelia:

Prof. Madya Dr. Zainal Arifin Ahmad

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat
Keperluan untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN

(KEJURUTERAAN BAHAN)

MAC 2004

PENGHARGAAN

Dengan Nama Allah Yang Maha Pemurah Lagi Maha Mengasihani

Bersyukur saya ke hadrat Ilahi kerana akhirnya dapat menyiapkan projek penyelidikan tahun akhir ini. Pada kesempatan ini, saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih kepada penyelia projek, Prof. Madya Dr. Zainal Arifin bin Ahmad di atas segala bimbingan dan tunjuk ajar beliau serta komen-komen yang beliau berikan sepanjang saya menjalankan projek penyelidikan ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada En. Mohd. Al-Amin selaku penolong penyelia di atas segala panduan dan tunjuk ajar berguna daripada beliau.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada semua juruteknik terutamanya En. Shahrul Ami yang tidak jemu-jemu memberikan tunjuk ajar kepada saya, Dekan, Pensyarah-pensyarah dan semua staf di Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral yang terlibat secara langsung atau tidak dalam menjayakan projek penyelidikan saya ini. Tidak lupa juga buat teman-teman seperjuangan yang sentiasa memberi panduan dan teguran (Hafizi, Faizal, Jamal, Hanim, Polo, Fahmi, Seow, Wong, Wan Mohd Arif, Shah Rizal, Khairrel Rafizi, Yeoh Cheow Keat, Mohd Nazree dan Julie) yang sama-sama berkongsi suka-duka sepanjang projek penyelidikan ini. Akhir sekali buat kedua ibubapa dan keluarga yang memberikan sokongan dan dorongan kepada saya.

Hanya tuhan sahaja yang dapat membalas segala jasa dan budi baik kalian. Saya harap segala usaha saya ini akan mendapat berkat dan manfaat kepada semua.

Yang Benar,

ROSFARIZA BIN MOHAMED KHALIB

800421035347

KANDUNGAN

PENGHARGAAN	i
KANDUNGAN	ii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	viii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xii

BAB 1 : PENGENALAN

1.1 Pendahuluan	1
1.2 Objektif Penyelidikan	3
1.3 Skop kajian	4

BAB 2 : KAJIAN PERSURATAN

2.1 Pengenalan	6
2.2 Teknik Tuangan Gel	8
2.3 Komponen Tuangan Gel	11

2.4 Kelebihan Tuangan Gel	13
2.5 Tuangan Gel Tak Akues	16
2.6 Tuangan Gel Akues	17
2.7 Sistem Akrilat	18
2.8 Sistem Akrilamida	20
2.9 Penyerakan dan Penyebaran	22
2.10 Proses Pengeringan	23
2.11 Tuangan Gel-Teknik Alaf Baru	24
2.12 Kelebihan Kaedah Tuangan Gel berbanding kaedah pembentukan seramik tradisi	26

BAB 3 : TATACARA EKSPERIMEN

3.1 Pengenalan	27
3.2 Bahan Mentah	27
3.3 Bahan-bahan	28
3.3.1 Monomer Organik	28
3.3.2 Pelarut	31
3.3.3 Penyahgumpal	31
3.3.4 Mangkin	31
3.3.5 Bahan Mula	32
3.4 Rekabentuk Eksperimen	32
3.4.1 Analisis Bahan Mentah	33

3.4.1.1 Saiz dan Taburan Saiz Partikel	33
3.4.1.2 Analisis Mineralogi-Pembelauan Sinar-X (XRD)	33
3.4.2 Penyediaan Spesimen	34
3.4.2.1 Pencampuran dan Pengadukan	36
3.4.2.2 Penyingkiran Udara	38
3.4.2.3 Penuangan ke dalam acuan	38
3.4.2.4 Penyingkiran acuan	38
3.4.2.5 Pengeringan dan Pensinteran	39
3.4.3 Ujian-ujian Pencirian	39
3.4.3.1 Pengecutan Linear	39
3.4.3.2 Ujian Ketelapan	40
3.4.3.3 Ujian Ketumpatan	41
3.4.3.4 Kajian Mikrostruktur	41
BAB 4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1 Pengenalan	43
4.2 Analisis bahan mentah (serbuk alumina)	43
4.2.1 Keputusan analisis saiz partikel dengan <i>Malvern Mastersizer</i>	44
4.2.1.1 Keputusan analisis saiz partikel serbuk Alumina 001306	44
4.2.1.2 Keputusan analisis saiz partikel serbuk Alumina Metco 105SFP	44
4.2.2 Keputusan analisis pembelauan sinar-X (XRD)	48
4.2.3 Keputusan analisis serbuk bahan mentah alumina menggunakan SEM	51
4.2.3.1 Alumina Metco 105SFP	51

4.2.3.2 Alumina 001306	52
4.3 Keputusan Ujian Pengecutan Linear	54
4.3.1 Keputusan Ujian Pengecutan diameter krusibel Alumina Metco 105SFP	54
4.3.2 Keputusan Ujian Pengecutan berat krusibel Alumina Metco 105SFP	60
4.4 Keputusan Ujian Ketumpatan	66
4.4.1 Keputusan ujian ketumpatan bagi sampel krusibel Alumina Metco 105SFP	66
4.4.2 Keputusan ujian ketumpatan bagi sampel Alumina	68
4.5 Keputusan Ujian Ketelapan	70
4.5.1 Keputusan ujian ketelapan bagi sampel krusibel Alumina Metco 105SFP	70
4.6 Keputusan dan Perbincangan bagi Analisis Mikrostruktur	72
4.6.1 Keputusan dan perbincangan bagi Analisis Mikrostruktur Optik	72
4.6.2 Keputusan dan Perbincangan Analisis SEM	75
4.7 Mesin Pengaduk	81
BAB 5 : KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Cadangan penyelidikan masa depan	85
RUJUKAN	87
LAMPIRAN	90

ABSTRAK

Tuangan Gel merupakan satu teknik pembentukan seramik terbaru yang masih lagi tidak meluas penggunaannya. Tuangan Gel adalah suatu proses melibatkan pencampuran antara larutan monomer organik dengan sluri serbuk seramik dan kemudian dituang ke dalam acuan. Di dalam proses ini campuran monomer terpolimer secara *in-situ* untuk membentuk jasad gel yang akan mengikat teguh partikel-partikel serbuk seramik. Dalam kajian ini, saiz partikel dan tempoh pengadukan akan memberi kesan kepada sifat-sifat fizikal sesebuah krusibel Alumina. Krusibel Alumina telah dijalankan dengan menggunakan 5 jenis Alumina yang setiap satunya mempunyai saiz partikel yang berlainan dan salah satu daripadanya yang mempunyai ciri-ciri terbaik dikaji dengan tempoh pengadukan yang berbeza. 5 jenis alumina dengan pelbagai saiz dikaji iaitu Alumina Metco 105SFP, Alumina 001306, Alumina Metkon bersaiz 0.05 μm , Alumina Metkon bersaiz 0.3 μm dan Alumina Metkon bersaiz 1.0 μm . Set-set sluri disediakan untuk setiap saiz serbuk alumina berdasarkan peratusan kandungan pepejal. Segala pemerhatian diteliti semasa penyediaan spesimen. Setelah pensinteran dilakukan, ujian-ujian pencirian seperti pengecutan linear, ujian ketelapan, ujian ketumpatan dan kajian mikrostruktur dilakukan ke atas spesimen. Keputusan kajian ini mendapati bahawa saiz serbuk alumina yang optimum adalah Alumina Metco 105SFP dan peratus kandungan pepejal optimum bagi serbuk ini ialah 50%. Teknik Tuangan Gel ini juga berupaya menghasilkan bentuk jasad yang kompleks yang padat dan kuat tanpa runtuh. Kesan saiz partikel dan tempoh pengadukan telah dikenalpasti, termasuk parameter yang memberi kesan kepada sifat-sifat fizikal ke atas mikrostruktur jasad krusibel. Muatan pepejal yang optimum bagi setiap jenis alumina adalah, Alumina Metco 105SFP-50,

001306-30, Metkon 1.0 μm -38, Metkon 0.3 μm -39 dan Metkon 0.05 μm -15% isipadu. Kandungan monomer (AM) yang ditambah kepada sluri adalah sebanyak 20% berat dan MBAM adalah sebanyak 2% berat. Kesan kepada bahan mula, terutamanya saiz partikel telah dianalisis berdasarkan analisis mikrostruktur dan Ujian Ketumpatan. Dan untuk kesan tempoh pengadukan telah dianalisis dengan kajian mikrostruktur. Ia melihat kepada saiz dan liang-liang pada jasad anum adalah berkurang dengan mengurangkan saiz partikel. Tempoh pengadukan yang optimum berdasarkan kajian mikrostruktur adalah selama 8 jam.

EFFECT OF PARTICLE SIZE ALUMINA AND MILLING TIME FOR PHYSICAL
PROPERTIES OF ALUMINA CRUCIBLE PRODUCED BY GEL CASTING
TECHNIQUE

ABSTRACT

Gel casting is a new forming method that not used widely. Gel casting is a process, which involved mixing organic monomer solution with ceramic powder slurry and then poured into the mold. In this process, monomer solution is polymerized by in-situ process to form solid gel that bonds the ceramic powder particles. In this experiment, Particle size and mixing time will effect properties of alumina crucible. Alumina (Al_2O_3) crucible have been gel cast using five kinds of alumina with different particle size and two from that kinds of alumina have been gel cast using different mixing time. Five different alumina powder with various size has been study including Alumina Metco 105SFP, Alumina 001306, Alumina Metkon with size 0.05 μm , 0.3 μm and 1.0 μm . Each batch of slurry has been prepared for each particle sizes depend on the percentages of solid loading. After sintering process, some characterization testing is done such as linear shrinkage, density, permeability and microstructure studied. From the study, we can make a conclusion that alumina powder alumina Metco 105SFP can give the optimum result compare to other sizes. The optimum percentage of solid loading for this powder is 50%. Gel casting method also can produce the though complex shape body without collapse. The effect of particle size and mixing time on gel casting process and properties of alumina crucible have been investigated, including process parameters affecting homogeneous green microstructure. The cast able solid loading of each starting materials,

Alumina Metco 105SFP-50, 001306-30, Metkon 1.0 μm -38, Metkon 0.3 μm -39 and Metkon 0.05 μm -15 vol.%, respectively. The contents of monomer added in slurry were 20 wt%, respectively and dimmer (cross-linker) of 2 wt% was added in all slurry. The effect of starting materials, especially particle size, has been analyzed through microstructural analysis and green density. And for mixing time has been analysis through microstructural analysis. Microstructural analysis revealed that the size and distribution of pores in the green body was radically reduced with decreasing particle size. The optimum mixing time based on the microstructural analysis was 8 hour.

SENARAI JADUAL

Jadual 2.1 : Sifat-sifat alumina mengikut peratus kandungan alumina.

Jadual 2.2: Sifat-sifat seramik alumina dalam penggunaan seramik kejuruteraan [John,1997].

Jadual 2.3 : Perbandingan parameter-parameter dalam teknik tuangan gel berbanding teknik tuangan slip, pengacuan suntikan dan penuangan tekanan.

Jadual 3.1: Kepekatan larutan kimia yang digunakan untuk menghasilkan krusibel alumina gel

Jadual 3.2 : Kandungan setiap bahan mentah bagi 100ml sampel.

Jadual 4.1 : Keputusan analisis saiz partikel *Malvern Mastersizer*

Jadual 4.2 : Peratus pengecutan diameter krusibel Alumina Metco 105SFP selepas pengeringan.

Jadual 4.3 : Peratus pengecutan diameter krusibel Alumina Metco 105SFP selepas bakar.

Jadual 4.4 : Perbandingan peratus pengecutan diameter selepas pengeringan dengan selepas bakar bagi krusibel Alumina Metco 105SFP.

Jadual 4.5 : Peratus pengurangan berat krusibel Alumina Metco 105SFP selepas pengeringan

Jadual 4.6 : Peratus pengurangan berat krusibel Alumina Metco 105SFP selepas pembakaran

Jadual 4.7 : Perbandingan peratus pengurangan berat krusibel Alumina Metco 105SFP selepas pengeringan dengan selepas pembakaran.

Jadual 4.8 : Ketumpatan bagi sampel krusibel Alumina Metco 105SFP

Jadual 4.9 : Ketumpatan bagi sampel Alumina Metkon dan Alumina 001306

Jadual 4.10 : Data ujian ketelapan bagi sampel krusibel Alumina Metco 105SFP

Jadual 4.11 : Keputusan Analisis Mikrostruktur Optikikal bagi sampel krusibel Alumina Metco 105SFP.

Jadual 4.12 : Bahan-bahan atau komponen yang telah dibentuk untuk menghasilkan Mesin Pengaduk.

SENARAI RAJAH

Rajah 1.1 : Carta alir mengenai urutan proses-proses yang terlibat dalam penghasilan dan pencirian krusibel alumina yang dihasilkan melalui kaedah tuangan gel.

Rajah 2.1 : Carta alir proses tuangan gel secara umum.

Rajah 3.1: AM yang dibekalkan oleh MERCK-Schuchardt (No. Siri: S28379018).

Rajah 3.2: MBAM yang dibekalkan oleh Fluka Chemika (No. Siri: 2037509).

Rajah 3.3: Bahan pemula (ammonium perokdisulfat) yang dibekalkan oleh Fluka Chemika (No. Siri: 2317818) dan bahan pemangkin (TEMED) oleh MERCK-Schuchardt (No. Siri: S24169844).

Rajah 3.4: Carta alir proses penyediaan sampel melalui kaedah tuangan gel.

Rajah 4.1 : Analisis saiz partikel bahan mentah Alumina 001306 dengan menggunakan *Malvern Mastersizer E Ver. 1.2b*.

Rajah 4.2 : Analisis saiz partikel bahan mentah Alumina Metco 105SFP dengan menggunakan *Malvern Mastersizer E Ver. 1.2b*.

Rajah 4.3 : Padanan corak XRD bagi bahan mentah serbuk Alumina 001306 dengan data ICDD bagi Alumina (43-1484).

Rajah 4.4 : Padanan corak XRD bagi bahan mentah serbuk Alumina Metco 105SFP dengan data ICDD bagi Alumina (43-1484).

Rajah 4.5 : Padanan corak XRD bagi bahan mentah serbuk Alumina Metkon bersaiz 1.0 μm dengan data ICDD bagi Alumina (43-1484).

Rajah 4.6 : Padanan corak XRD bagi bahan mentah serbuk Alumina Metkon bersaiz 0.3 μm dengan data ICDD bagi Alumina (43-1484).

Rajah 4.7 : Padanan corak XRD bagi bahan mentah serbuk Alumina Metkon bersaiz 0.05 μm dengan data ICDD bagi Alumina (43-1484).

Rajah 4.8 : Mikrograf SEM bagi serbuk bahan mentah Alumina Metco 105SFP dengan pembesaran 1,50KX.

Rajah 4.9 : Mikrograf SEM bagi serbuk bahan mentah Alumina 001306 dengan pembesaran 1,50KX.

Rajah 4.10 : Graf menunjukkan peratus pengecutan diameter krusibel selepas pengeringan.

Rajah 4.11 : Graf menunjukkan peratus pengecutan diameter krusibel selepas pembakaran.

Rajah 4.12 : Graf menunjukkan perbandingan peratus pengecutan diameter krusibel

Rajah 4.13 : Graf menunjukkan peratus pengurangan berat selepas pengeringan

Rajah 4.14 : Graf menunjukkan peratus pengurangan berat selepas pembakaran

Rajah 4.15 : Graf menunjukkan perbandingan peratus pengurangan berat

Rajah 4.16 : Graf menunjukkan ketumpatan bagi sampel krusibel alumina metco

Rajah 4.17 : Graf menunjukkan ketumpatan alumina

Rajah 4.18 : Graf menunjukkan isipadu air yang keluar dari krusibel

Rajah 4.19 : Mikrograf menunjukkan mikrostruktur bagi sampel Alumina Metco 105SFP.

Rajah 4.20 : Mikrograf menunjukkan sampel Alumina 001306

Rajah 4.21 : Mikrograf menunjukkan mikrostruktur bagi sampel Alumina Metkon

1.0 μm

Rajah 4.22 : Mikrograf menunjukkan mikrostruktur bagi sampel Alumina Metkon 0.3

μm

Rajah 4.23 : Mikrograf menunjukkan mikrostruktur bagi sampel Alumina Metkon 0.05

μm

Rajah 4.24 : Mesin Pengaduk yang telah siap dibina

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Permintaan terhadap seramik termaju dalam bidang elektronik, automotif dan industri pertahanan semakin meningkat terutamanya pada alaf yang lebih mencabar ini. Kebolehan untuk menghasilkan bahan yang memenuhi spesifikasi seperti kebolehasilan, kebolehbentukan, kekuatan dan sebagainya adalah amat penting untuk memenuhi kehendak semasa. Kekurangan yang wujud pada teknik pembentukan seramik yang ada sekarang telah menjana ke arah penyelidikan teknik yang lebih baik. Bagi memenuhi keperluan ini, satu teknik pembentukan seramik yang terbaru telah diperkenalkan iaitu teknik ‘gelcasting’ atau tuangan gel. Projek penyelidikan ini dilakukan juga merupakan salah satu kajian yang perlu dilakukan untuk membuat penyelidikan dalam bidang seramik maju dan projek penyelidikan tahun akhir ini dipastikan berjaya untuk memenuhi keperluan permintaan terhadap barangan seramik maju.

Tuangan gel ialah teknik penghasilan seramik yang menggabungkan kaedah penghasilan seramik tradisi dengan kimia polimer. Teknik ini melibatkan pencampuran antara monomer organik dengan sluri serbuk seramik yang mana kemudiannya dituangkan ke dalam acuan. Larutan monomer organik membolehkan pempolimeran *in-situ* berlaku apabila penambahan mangkin dan bahan pemula dilakukan. Larutan

monomer yang digunakan ialah akrilamida yang bertujuan untuk menghasilkan ikatan yang kuat dan tegar di samping memberikan kelikatan yang rendah kepada aliran sluri.

Teknik tuangan gel ini telah diperkenalkan oleh sekumpulan penyelidik di Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Amerika Syarikat yang diketuai oleh Ray Johnson pada tahun 1991. Pada asalnya tuangan gel dihasilkan di ORNL bertujuan untuk membuat komponen automotif berbentuk kompleks seperti turbin tetapi kemudiannya telah mendapat sokongan dan kerjasama erat antara pihak industri dan kerajaan untuk dikomersialkan. Ini kerana tuangan gel adalah satu proses yang mampu menghasilkan produk seramik dalam bentuk kompleks dan mempunyai kualiti yang tinggi pada kadar kos yang lebih rendah berbanding teknik-teknik pembentukan seramik konvensional yang lain. Tambahan pula teknik tuangan gel mempunyai satu tarikan tersendiri kerana berupaya menghasilkan produk yang pelbagai aplikasi dan penggunaannya daripada penghasilan komponen enjin hinggalah kepada tulang tiruan.

Pada awalnya, penyelidik-penyelidik ORNL hanya menghasilkan komponen turbin kecil yang berbentuk kompleks tetapi kemudiannya idea teknik tuangan gel ini telah dikembangkan untuk saiz produk yang lebih besar. Penyelidikan teknik tuangan gel ini telah mendapat banyak persepsi yang baik sehingga mereka yakin teknik tuangan gel adalah satu proses yang inovatif yang mampu menghasilkan produk seramik dalam sistem termaju yang akan menongkah kemajuan dalam penghasilan produk seramik di alaf baru. Berikutan itu, seorang demi seorang penyelidik di ORNL telah mendapat anugerah hasil daripada kemajuan mereka dalam penyelidikan tentang tuangan gel

sehinggalah pada tahun 1995 pihak ORNL mendapat anugerah '*R&D 100 Award*' yang mengiktiraf teknologi tuangan gel.

Sebab utama teknik tuangan gel diperkenalkan adalah kerana hasilnya adalah besar, dapat menghasilkan barangan yang berbentuk kompleks yang cukup kuat untuk dimesin. Proses ini juga adalah cukup ringkas, menjimatkan, dan menggunakan peralatan konvensional. Antara kelebihan teknik tuangan gel secara umum ialah seperti berkeupayaan menghasilkan produk seramik dalam tempoh masa yang lebih singkat berbanding kaedah-kaedah lain, mempunyai kekuatan jasad anam yang lebih tinggi, berkebolehan menghasilkan bahagian-bahagian komponen yang besar (>1m dimensi maksimum) di samping itu juga tuangan gel ialah satu kaedah yang mesra alam dan selamat kerana pembuangan hasil bahan mentah tidak memudaratkan alam sekitar serta pengguna.

1.2 Objektif Penyelidikan

Projek penyelidikan ini adalah bertujuan untuk mengkaji :

- a) Mengkaji kesan saiz partikel serbuk alumina terhadap sifat-sifat krusibel yang dihasilkan melalui kaedah tuangan gel.
- b) Mengkaji kesan tempoh pencampuran dan pengadukan gel alumina terhadap mutu krusibel yang dihasilkan melalui kaedah tuangan gel.

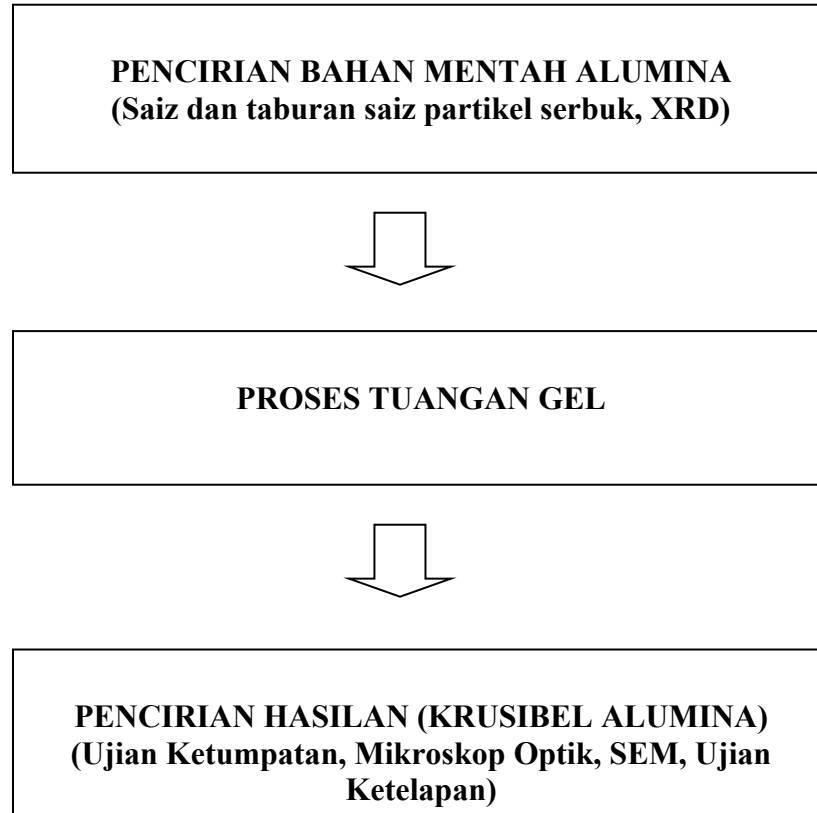
- c) Mengkaji jumlah bahan pemula dan pemangkin sesuai untuk menghasilkan krusibel alumina tuangan gel yang terbaik.

1.3 Skop Kajian

Dalam penyelidikan ini, bahan mentah yang digunakan ialah alumina. Lima jenis serbuk alumina yang berlainan saiz partikel digunakan. Serbuk alumina ini dicampurkan bersama-sama dengan larutan monomer iaitu akrilamida dan juga agen paut silang beserta bahan pemula dan mangkin.

Percampuran bahan-bahan ini dilakukan untuk setiap set sluri yang disediakan berdasarkan perbezaan tempoh pengadukan dan pencampuran sluri. Percampuran dilakukan dengan dimulai dengan tempoh pengadukan tertinggi sehingga tempoh yang terendah yang mungkin untuk setiap jenis saiz partikel serbuk alumina yang dikaji. Campuran yang terbentuk menghasilkan slip seramik yang kemudiannya akan dituang ke dalam acuan untuk membentuk krusibel. Slip akan mengeras secara *in-situ* dan kemudiannya jasad dikeluarkan daripada acuan sebelum pensinteran dilakukan.

Setelah jasad disinter, sifat-sifat hasilan jasad dikajikan dengan melakukan ujian-ujian percirian seperti pengecutan linear, keliangan ketara, ketumpatan pukal, kajian mikrostruktur dan ujian kekerasan serta ujian mampatan bagi meneliti kesan daripada penggunaan saiz partikel serbuk yang berlainan dan tempoh pengadukan terhadap sifat produk tuangan gel alumina.



Rajah 1.1 : Carta alir mengenai urutan proses-proses yang terlibat dalam penghasilan dan pencirian krusibel alumina yang dihasilkan melalui kaedah tuangan gel.

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.1 Pengenalan

Dalam penyelidikan teknik tuangan gel ini, alumina digunakan sebagai bahan mentah. Alumina boleh dianggap sebagai bahan mentah yang paling pelbagai kegunaannya dalam seramik kejuruteraan kerana keupayaannya bertahan pada suhu tinggi berserta dengan sifat-sifat kimia, elektrik dan mekanikalnya yang baik. Alumina juga adalah bahan mentah yang mudah diperolehi, senang dibentuk dan mampu menghasilkan produk dengan menggunakan pelbagai teknik pembentukan seperti tuangan slip, penuangan tekanan, dan tuangan gel. Seramik alumina berkepekatan tinggi biasanya mengandungi 92% hingga 99.8% Al_2O_3 . Dengan meningkatnya peratusan kandungan alumina maka sifat-sifat fizikal alumina tersebut akan diperbaiki dan ditingkatkan seperti yang ditunjukkan dalam jadual 2.1.

Jadual 2.1 : Sifat-sifat alumina mengikut peratus kandungan alumina.

Alumina (%)				
Sifat	75	86-94	94-98	>98
Ketumpatan ($\text{kg/m}^3 \times 10^{-3}$)	3.2	3.3	3.5	3.7
Kekerasan (skala Mohr)	8.5	9	9	9
Kekuatan mampatan (MN/m^2)	1250	1750	1750	-
Kekuatan lenturan (MN/m^2)	270	290	350	380
Suhu kerja maksimum ($^{\circ}\text{C}$)	800	1100	1500	-

Seramik berketumpatan tinggi, tak telap gas boleh diperolehi dengan pensinteran alumina dengan sedikit magnesium oksida (MgO) kira-kira 0.25% untuk menghalang pertumbuhan butiran yang berlebihan. Seramik beralumina tinggi banyak digunakan dalam pembuatan komponen-komponen antaranya ialah dalam pembuatan penebat palam pencucuh, pemasangan seramik/logam dalam tiub vakum, substrat untuk pengendapan litar mikro elektronik dan alat pemotong. Selain itu, disebabkan penyerapan neutron yang rendah dalam keratan rentas alumina, alumina ditemui kegunaannya dalam alat nuklear [John,1997]. Jadual 2.2 menunjukkan sifat-sifat alumina mengikut gred dalam penggunaan seramik kejuruteraan.

Jadual 2.2: Sifat-sifat seramik alumina dalam penggunaan seramik kejuruteraan [John,1997].

Sifat-sifat Mekanikal	suhu	unit	960P	975P	995P	96S	ZTA
Al ₂ O ₃	20°C	g/cm ³	96.0	97.5	99.7	96.0	80.0
Ketumpatan pukal	20°C	MPa	-	-	3.96	3.77	4.1
Kekuatan tegangan	20°C	MPa	205	205	220	nd	-
Kekuatan lenturan	20°C	MPa	375	375	410	295	450
Modulus kenyal	20°C	GPa	300	355	375	nd	340
Kekerasan	20°C	Kg/mm ²	10	12	14	nd	16
Ketahanan pecah	20°C	MPa.m ^{1/2}	4-5	4-5	4-5	nd	7

Sifat Terma							
Suhu kerja maks	-	°C	1600	1650	1700	-	1500
Pekali pengembangan terma	25-300°C	10-6/°C	7.1	7.2	7.8	6.7	-
	25-1000°C	10-6/°C	7.4	7.7	8.1	7.4	8.1
Kebolehaliran terma	20°C	W/m°K	24	26	28	28.6	23
Sifat Elektrikal							
Kekuatan dielektrik	2.5mm tk	Ac-kv/mm	9.2	9.2	10	30	-
Pekali dielektrik	1 Mhz	-	9.0	9.4	9.7	9.8	-
Keberintangan	300°C	Ohm-cm	10 ⁹	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹²	-
	1000°C	Ohm-cm	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁷	-
Faktor kehilangan	1 Mhz	-	0.028	0.012	0.009	0.0015	-

2.2 Teknik Tuangan Gel

Tuangan gel adalah suatu proses seramik terkini yang melibatkan pencampuran antara larutan monomer organik dengan sluri serbuk seramik dan kemudian dituang ke dalam acuan. Di dalam proses ini campuran monomer terpolimer secara *in-situ* untuk membentuk jasad gel yang akan mengikat teguh partikel-partikel serbuk seramik

[Ogbemi,1991]. Tuangan gel mempunyai dua kaedah utama iaitu dengan menggunakan larutan akues ataupun tanpa larutan akues. Proses ini menggunakan kandungan pepejal yang tinggi iaitu serbuk seramik dalam gel organik. Acuan yang digunakan boleh terdiri daripada pelbagai jenis acuan seperti logam, polimer, seramik dan komposit.

Teknik yang digunakan dalam tuangan gel ini adalah berdasarkan idea daripada proses seramik tradisional dan kimia terpolimer. Elemen terpenting dalam proses ini adalah penggunaan larutan monomer yang terpolimer untuk membentuk gel pelarut polimer yang kuat dan terpaut silang. Oleh itu, campuran monomer membolehkan penuangan terkawal, kerana larutan monomer tersebut menyediakan kelikatan yang rendah sebagai pengangkutan untuk membawa serbuk seramik.

Monomer organik yang biasa digunakan ialah akrilamida (AM) dan metakrilamida (MAM) manakala agen paut silang yang biasa digunakan ialah N,N'-metilena bisakrilamida (MBAM) dan poli(etilena glikol dimetakrilat) (PEG-DMA). Bahan pemula radikal bebas yang biasa digunakan ialah ammonium persulfat (APS). Manakala N,N,N',N' Tetrametiletillenadamina (TEMED) sering ditambah sebagai bahan penggalak kepada APS dan bahan ini akan mempercepatkan berlakunya pempolimeran dan tindakbalas paut silang. Pempolimeran AM dan MBAM adalah hasil tindakan radikal bebas semasa pempolimeran berlaku dalam persekitaran atmosfera biasa.

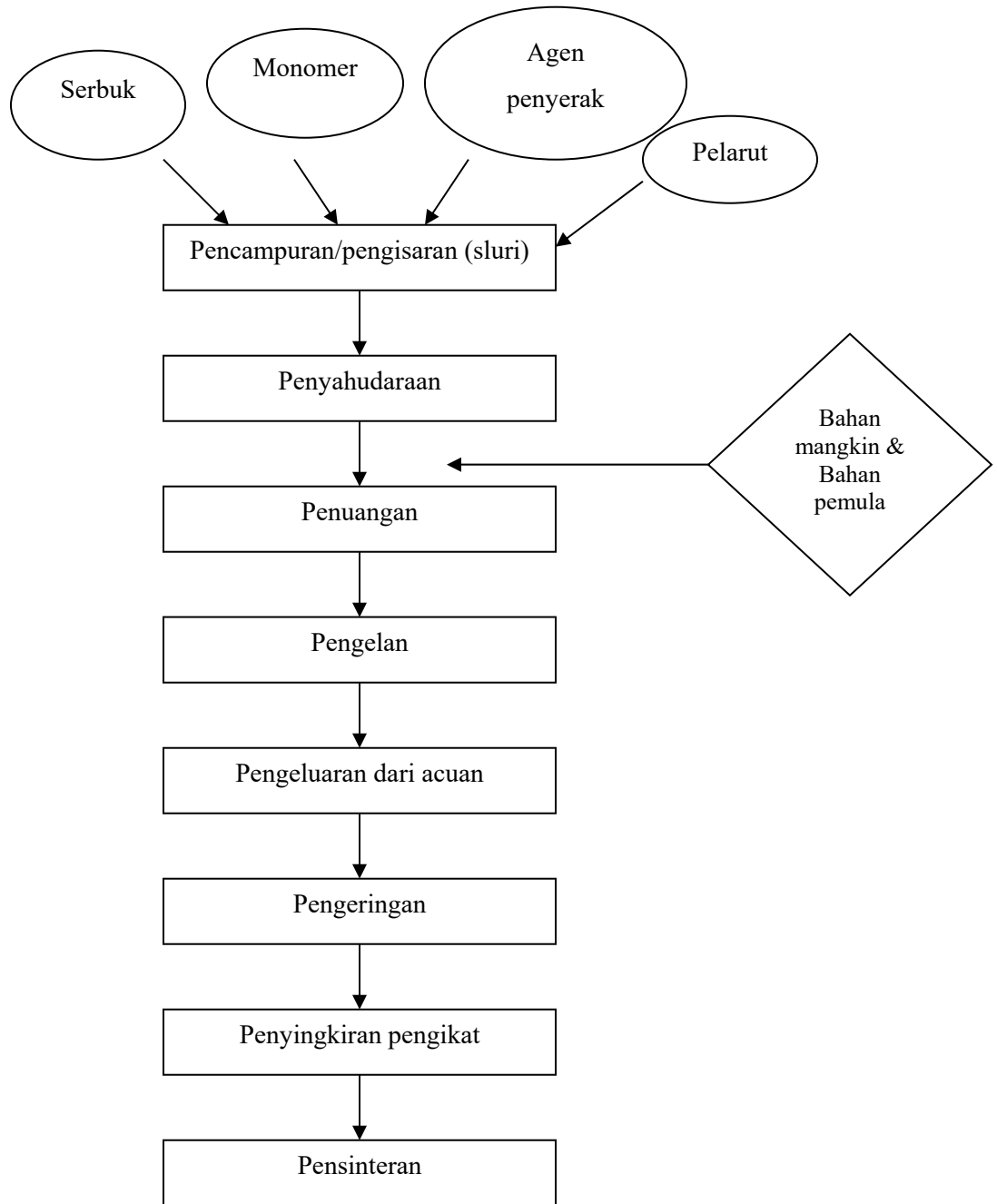
Sluri yang terhasil mengandungi kandungan pepejal yang tinggi serta kelikatan yang rendah iaitu 1.8 Pa.s pada 62% isipadu jasad. Dengan pembentukan sistem ini,

sistem yang terhasil mengandungi hanya sedikit kandungan pengikat. Kandungan pengikat di dalam jasad kering tidak lebih dari 4% mengikut jisim. Ini membenarkan sluri yang mempunyai kandungan pepejal yang tinggi dan kuat serta keboleharapan untuk menghasilkan jasad yang kompleks [Albert,1990].

Tuangan gel bergantung kepada pembentukan gel larutan polimer akues yang terpaut silang sebagai mekanisme pengesetan (pengerasan) iaitu sluri seramik itu akan kekal dalam bentuk yang dikehendaki setelah dituang ke dalam acuan. Oleh kerana paut silang pelarut polimer yang telah digelkan mengandungi hanya 10-20% mengikut jisim, maka pelarut boleh diekstrak daripada bahagian gel melalui proses pengeringan. Pelarut menyumbangkan lebih kurang 85% pergerakan cecair. Setelah dikeringkan, polimer terpautsilang boleh dikeluarkan dengan pirolisis terma iaitu penyingkiran pengikatan. Hanya 3-6% polimer yang masih tertinggal di dalam jasad kering tersebut (berasaskan kepada jisim serbuk seramik). Rangkaian liang akan terhasil di dalam jasad semasa peringkat pengeringan dan ini membenarkan produk pirolisis untuk berpindah melalui permukaan dan menghalang kewujudan tekanan serta keretakan.

2.3 Komponen Tuangan Gel

Komponen tuangan gel yang terlibat adalah seperti rajah 2.1.



Rajah 2.1 : Carta alir proses tuangan gel secara umum.

Komponen yang penting dalam tuangan gel ialah serbuk seramik, monomer organik, bahan pemula untuk pempolimeran, agen penyerak dan pelarut. Apabila pelarut

yang digunakan adalah air maka proses tuangan gel ini dikenali sebagai tuangan gel akues dan jika pelarut organik yang digunakan maka proses ini dikenali sebagai tuangan gel tak akues. Dalam penyelidikan proses tuangan gel terkini, teknik tuangan gel akues dipraktikkan memandangkan tuangan gel tak akues banyak membawa masalah kepada hasil akhir produk.

Dalam penghasilan sluri, serbuk seramik dicampurkan dengan larutan monomer yang telah disediakan bersama-sama dengan agen penyerak. Penyahudaraan di dalam vakum dilakukan untuk menyingkirkan udara dalam sluri yang terhasil. Kemudiannya pemangkin dan bahan pemula dimasukkan bertujuan untuk mencetuskan tindakbalas kimia pembentukan gel dalam sluri. Penuangan kemudian dilakukan dengan menuangkan sluri ke dalam acuan.

Selepas proses penuangan, sluri membentuk gel mengikut acuan yang digunakan dan boleh diproses secara tertutup keseluruhannya. Dengan itu, pencampuran, penurasan, penyahudaraan (untuk menghilangkan gelembung) dan penuangan boleh dilakukan tanpa sebarang bahaya daripada bahan tercemar. Ini bertujuan untuk meminimumkan kecacatan pada jasad hasil akhir. Jasad anum kemudiannya dikeluarkan dari acuan.

Seterusnya, pengikat dikeluarkan melalui proses pembakaran yang melibatkan dua peringkat iaitu pada suhu 450°C dan 1600°C di dalam relau. Pada suhu pembakaran 450°C adalah bertujuan untuk menyingkirkan polimer yang masih wujud dalam jasad dan polimer ini perlu disingkirkan dengan berhati-hati agar hasil akhir tidak mempunyai

kecacatan yang teruk. Pada suhu pensinteran 1600°C pula, adalah bertujuan untuk menghasilkan jasad yang keras dan lebih tumpat.

2.4 Kelebihan Tuangan Gel

Tuangan gel merupakan teknik pembentukan produk seramik terbaru yang dapat memberikan banyak kelebihan berbanding dengan kaedah-kaedah pembentukan yang sedia ada terutamanya dalam penghasilan bentuk yang lebih kompleks dan bersaiz besar. Penggunaan teknik tuangan gel boleh digunapakai untuk pelbagai serbuk seramik, antaranya ialah alumina, silikon nitrida, silikon karbida, boron karbida, ferit, aluminium titanat, zirkonia, sialon, dan natrium zirkonium fosfat. Selain itu jasad anam tuangan gel juga mempunyai kekuatan yang tinggi (3 hingga 4 MPa), dan kebolehmesinan yang baik.

Perbandingan teknik tuangan gel dengan pengacuan suntikan menunjukkan tuangan gel hanya menggunakan 3-4% bahan pengikat berbanding pengacuan suntikan yang memerlukan 20% penggunaan bahan pengikat. Tuangan gel memerlukan tempoh kurang 1 hari untuk penyahikatan bahan pengikat manakala pengacuan suntikan memakan masa hampir seminggu kerana penyahikatan bahan pengikat adalah sukar dalam pengacuan suntikan sehingga menghadirkan kecacatan kepada jasad. Di samping itu teknik pengacuan suntikan menghasilkan kekuatan jasad anam yang rendah dan permasalahan dalam ketebalan jasad. Kelemahan dan kecacatan seperti ini dapat dielakkan melalui teknik tuangan gel jika jasad dikeringkan dengan sempurna.

Tuangan gel menunjukkan banyak kelebihan berbanding teknik tuangan slip. Antaranya ialah tuangan gel berupaya menghasilkan jasad siap dengan kadar 50%-80% lebih cepat, menghasilkan keseragaman dalam struktur pemadatan serbuk, kekuatan jasad anam yang lebih tinggi, dan kepelbagaian dalam penggunaan acuan. Kelemahan teknik tuangan slip adalah kerana teknik ini sangat bergantung kepada pergerakan air sebagai mekanisme pengesetan yang mengakibatkan unsur kebolehlarutan cenderung untuk berpindah dan terserak secara tidak sekata dalam pembentukan jasad anam. Pengeringan jasad pula sangat lemah dan jasad tidak boleh dimesin. Segala kelebihan ini menyebabkan tuangan gel lebih mudah dipraktikkan.

Selain itu, teknik tuangan gel berupaya menggantikan teknik penyemperitan dalam beberapa aplikasi tertentu. Sebagai contoh dalam pembuatan tiub atau rod dan pembuatan komponen bersaiz besar menggunakan serbuk halus yang memerlukan aplikasi teknikal, teknik tuangan gel telah digunakan kerana kos pembuatan yang lebih rendah walaupun teknik-teknik tersebut lebih pantas. Jadual 2.3 menunjukkan perbandingan antara parameter-parameter teknik tuangan gel dengan teknik-teknik penuangan slip, pengacuan suntikan dan penuangan tekanan.

Jadual 2.3 : Perbandingan parameter-parameter dalam teknik tuangan gel berbanding teknik tuangan slip, pengacuan suntikan dan penuangan tekanan.

Sifat-sifat	Tuangan gel	Penuangan slip	Pengacuan Suntikan	Penuangan Tekanan
Tempoh pengacuan	5-60 min	1-10 jam	10-60 saat	10 min – 5 jam
Kekuatan (semasa pembentukan)	sedehana tinggi bergantung kepada sistem gel	rendah	tinggi	rendah
Kekuatan (selepas pengeringan)	sangat tinggi	rendah	sedehana	rendah
Bahan untuk acuan	logam, kaca, polimer, lilin, seramik, komposit	POP	logam	plastik berliang
Penyahikatan bahan pengikat	2-3 jam	2-3 jam	sehingga seminggu	2-3 jam
Kecacatan acuan	minimum	minimum	berkesan	minimum
Dimensi maksimum	> 1 meter	> 1 meter	~30 cm, 1 dimensi mesti ≤ 1 cm	~1 meter

Kebengkokan jasad ketika pengeringan /penyahikatan bahan pengikat	minimum	minimum	agak tinggi	minimum
Masalah dalam ketebalan jasad	Tiada masalah	Ketebalan perlukan peningkatan tempoh penuangan	Masalah dengan penyahikatan bahan pengikat dalam ketebalan	Ketebalan perlukan peningkatan tempoh penuangan
Saiz partikel	Kelikatan meningkat apabila saiz menurun	Tempoh penuangan meningkat apabila saiz menurun	Kelikatan meningkat apabila saiz menurun	Tempoh penuangan meningkat apabila saiz menurun

2.5 Tuangan Gel Tak Akues

Tuangan gel tak akues merujuk kepada penggunaan yang memerlukan pelarut organik yang memberi tambahan pilihan dalam penggunaan pelarut. Dalam pemilihan yang sesuai untuk proses tuangan gel tak akues ini beberapa sifat yang menarik dan bersesuaian perlu ada pada pelarut iaitu mempunyai kelikatan relatif yang rendah dan mempunyai tekanan gas yang rendah pada suhu paut silang.

Mekanisme pempolimeran yang dipilih ialah mekanisme beradikal bebas kerana terdapat banyak sistem monomer yang boleh diguna untuk menghasilkan gel polimer yang mempunyai paut silang yang tinggi. Antara monomer pelbagai fungsi yang boleh digunakan adalah “Tri-functional trimethylolpropane triacrylamide” (TMPTA) dan dwifungsi ini digunakan secara meluas dalam industri terutamanya dalam industri penyalutan iaitu sebagai komponen pengikat dan pelarut reaktif.

Komponen akhir yang terlibat dalam sistem tuangan gel tak akues ini adalah sistem penyebar. Sistem ini digunakan bertujuan untuk menghasilkan cecair sluri. Pemilihan agen penyebar mestilah bersesuaian dengan penggunaan kombinasi antara pelarut dan juga monomer yang digunakan. Kehadiran monomer boleh mengubahsui sifat-sifat yang terdapat pada pelarut dan seterusnya memberikan kesan kepada tindakbalas antara agen penyebar dengan sistem serbuk seramik-pelarut monomer. Tambahan pula, agen penyebar akan bertindakbalas secara negatif dengan sistem bahan pemula-monomer yang akan memberikan kesan samada mempercepatkan tindak balas ataupun melambatkan proses pempolimeran. Sepatutnya kedua-dua keadaan ini harus dielakkan kerana ini bertujuan untuk memastikan tindak balas adalah dalam keadaan yang normal.

2.6 Tuangan gel akues

Sistem tuangan gel akues mempunyai beberapa kelebihan berbanding sistem tuangan gel tak akues. Penggunaan air suling sebagai pelarut memberi banyak kelebihan yang antaranya adalah :

- i.) Menjadikan proses ini hampir serupa dengan penghasilan seramik tradisional.
- ii.) Kelebihan semasa proses pengeringan kerana proses akan menjadi lebih mudah dan ringkas.
- iii.) Pengurangan kadar kelikatan terhadap gel bahan mula berbanding sistem tuangan gel tak akues.
- iv.) Mesra alam iaitu tidak membawa kepada pencemaran alam kerana bahan buangan akan terbio-degradasi.

Dalam sistem tuangan gel akues ini terdapat dua sistem yang utama iaitu sistem yang berasaskan siri akrilat-ester dan sistem yang berasaskan siri akrilamida. Secara umumnya, sistem akrilamida lebih banyak diaplikasikan kerana keboleherjaan yang tinggi tetapi sistem ini memerlukan sedikit penambahan kepada pembaikan hasil akhir [Janney & Omatete, 1991].

2.7 Sistem akrilat

Polimer gel akues telah dihasilkan dengan amat jayanya dengan cara pengabungan tiga jenis monomer satu fungsi. Antara monomer tunggal yang digunakan adalah dari dua jenis 2-hidroksietil metakrilat (HEMA), asid metakrilat (MA), dan N-vinil piriolidon ataupun 1-vinil-2-pirolidon (NVP) dengan dua monomer dwi-fungsi iaitu etilena dimetakrilat (EDMA) dan juga dietilena glikol dwiakrilat (DEGDA).

Pemilihan pelarut adalah berdasarkan kepada dua keperluan iaitu sistem yang dipilih harus mengandungi peratus kandungan air yang semimum mungkin dan kesemua komponen yang terlibat harus dicampur dengan tahap pencampuran yang mempunyai kehomogenan yang tinggi sebelum campuran mula membentuk fasa gel. Monomer fungsi tunggal dan juga dwi-fungsi tunggal seperti hidrokarbon telah digunakan secara besar-besaran. Monomer fungsi tunggal banyak digunakan bersama dengan air. Namun begitu, pencampuran antara monomer fungsi tunggal dan monomer dwi-fungsi beserta dengan air akan dipisahkan kepada fasa akues dan juga fasa hidrokarbon.

Dalam keadaan di mana larutan akues yang digunakan terdiri daripada H_2O_2 dan kalium persulfat ($K_2S_2O_8$), pencampuran ini bertujuan untuk memperkenalkan penggunaan bahan pemula ke dalam larutan campuran mula. Apabila $K_2S_2O_8$ terlibat dalam larutan, ini bermaksud pelarut yang boleh larut dalam air telah dipilih kerana fasa yang terpisah dan bahan pemula akan dapat bergabung dengan sangat berkesan. Perkembangan dalam sistem akrilat ini adalah amat terhad kerana beberapa syarat yang perlu dipatuhi:

- a) Sistem ini tidak tulen sepenuhnya, contohnya dalam penggunaan NMP, maka penambahan air adalah diperlukan.
- b) Ketidaksempurnaan sifat gel yang terbentuk akan berterusan dalam campuran sluri yang hanya bersifat gel pada sebahagian percampuran sahaja.

- c) Larutan campuran mula akan menghasilkan sifat gel yang tidak sempurna walaupun penggunaan pelarut adalah secara berlebihan ataupun berkurangan.
- d) Kehadiran sifat gel yang terbentuk hasil daripada penggunaan pemula tidak boleh dijangka tindakbalasnya walaupun pada suhu bilik dan pada awal pencampurannya.

2.8 Sistem akrilamida

Penggunaan sistem akrilamida diaplikasikan disebabkan masalah-masalah yang timbul semasa penghasilan seramik yang menggunakan sistem akrilat. Sistem akrilat telah diubahsuai dengan hanya menggunakan air sebagai bahan pelarut. Pengubahsuaian ini telah memberikan banyak kelebihan kerana sistem akrilamida ini tidak mempunyai had dalam penggunaan pelarut.

Pada masa kini, kebanyakan bahan yang digunakan adalah berasaskan kepada sistem akrilamida. Antara monomer yang digunakan dalam sistem akues ini adalah fungsi tunggal akrilamida (AM) dan juga dwi-fungsi N,N'-metilena bisakrilamida (MBAM). Pelarut yang digunakan ialah air. Larutan campuran pemula mempunyai kepekatan antara 5.0% hingga 18.6% monomer, MBAM dan AM dalam nisbah 3:35 hingga 1:90 manakala jumlah peratus isipadu air dari 81.4% hingga kepada 95.0%.

Terdapat dua jenis bahan pemula yang larut dalam air serta boleh digunakan pada sistem akrilamida iaitu ($K_2S_2O_8$) dan ammonium persulfat $[(NH_4)_2S_2O_8]$. Penggunaan

kedua-dua pemula ini memberikan kesan yang sangat baik yang akhirnya telah dijadikan sebagai sebagai bahan pemula piawai sistem akrilamida ini.

Antara kelebihan sistem akrilamida ini ialah seperti berikut :

- a) Larutan campuran mula tanpa kehadiran bahan pemula tidak akan bertukar menjadi gel walaupun dipanaskan dalam ketuhar sehingga suhu 130°C. Larutan yang terhasil mempunyai jangka hayat perlindungan yang infiniti walaupun suhunya diubahsuai.
- b) Kehadiran bahan pemula iaitu $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ dengan kepekatan 0.5% atau kurang akan membentuk sifat gel dalam rendaman air yang bersuhu 60°C-80°C dalam masa 5 minit. Kebiasaannya sifat gel akan terbentuk dalam masa 10 hingga 40 saat dalam ketuhar bergantung kepada tahap kuasa penggunaannya.
- c) Penambahan pemangkin iaitu TEMED dalam kuantiti yang sedikit iaitu 0.1% ataupun kurang daripada jumlah keseluruhan pencampuran maka akan menerbitkan sifat yang lebih fleksibel semasa pembentukan gel.

Proses penghasilan gel adalah suatu sistem eksotermik. Gel yang terbentuk adalah lutsinar dan didapati kekuatannya meningkat dengan penambahan monomer serta suhu penghasilan gel. Gel yang terbentuk adalah homogen pada keseluruhan jasad akhir. Dalam sistem akrilamida ini tidak terdapat perpisahan fasa seperti mana yang terjadi dalam sistem akrilat. Penghasilan gel samada dengan penggunaan monomer yang banyak ataupun sedikit tidak memberikan kesan kepada penghasilan jasad tanpa penyingkiran keluar pelarut.

Dengan hanya kehadiran bahan pemula sahaja, sluri akan menjadi gel dengan jayanya dalam rendaman air panas pada suhu 60°C hingga 80°C dalam tempoh 30 minit. Jika digunakan dalam ketuhar gelombang mikro, gel akan terbentuk dalam masa 30 hingga 90 saat. Dengan penambahan pemangkin iaitu TEMED maka sifat gel akan terbentuk pada suhu bilik dalam tempoh 10 minit hingga ke beberapa jam. Ini bergantung kepada jumlah kedua-dua bahan iaitu mangkin dan juga kepekatan monomer yang digunakan. Semakin tinggi kepekatan monomer maka semakin singkat tempoh yang diperlukan untuk berlakunya pembentukan gel.

Amaun penggunaan mangkin untuk pembentukan gel dalam sluri adalah dua atau tiga kali ganda penggunaannya dengan kuantiti yang digunakan dalam larutan campuran mula. Pemangkin TEMED dan juga bahan pemula $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ akan dicampur bersama-sama dalam sluri dan kemudian sluri yang terbentuk tadi akan dituang ke dalam acuan yang sedia ada. Acuan kemudiannya akan dipanaskan untuk memberi masa untuk sluri tadi membentuk gel dan juga dalam masa yang sama menyingkirkan kandungan air yang terdapat dalam jasad.

2.9 Penyerakan dan penyebaran

Dalam kaedah tuangan gel ini, penghasilan sluri mestilah mempunyai kebendaliran yang maksima iaitu sluri yang terhasil mudah mengalir dan juga mudah dituang ke dalam acuan.

Sluri yang dihasilkan akan dicampur dan diaduk dengan mesin pengadukan bebola. Bebola berfungsi untuk menghasilkan sluri yang homogen tanpa berlaku sebarang gumpalan. Setelah sluri dihasilkan, proses penyahudaraan dilakukan bertujuan untuk menyingkirkan gelembung-gelembung udara yang wujud ketika proses pengadukan. Kehadiran gelembung-gelembung udara boleh menyebabkan kecacatan akan hadir pada jasad akhir kerana gelembung udara menyebabkan ketumpatan jasad menjadi rendah daripada yang sepatutnya.

Selepas penyahudaraan dilakukan, sluri akan dituang ke dalam acuan. Untuk mengelakkan udara terperangkap semasa proses penuangan, penuangan boleh dilakukan di atas meja yang bergetar ataupun penuangan dilakukan di dalam bekas hampagas [Bleier, 1991].

Acuan dibiarkan selama satu hari untuk berlakunya pempolimeran *in-situ* dan kemudiannya acuan ditanggalkan. Jasad akan dimasukkan ke dalam ketuhar sekitar suhu 60-80°C selama satu hari untuk menyingkirkan kandungan air di dalam jasad. Jasad kemudiannya dikeluarkan daripada ketuhar dan dibiarkan mengering pada suhu bilik.

2.10 Proses pengeringan

Proses pengeringan adalah amat penting dalam tuangan gel. Pengeringan akan mengurangkan berlakunya kecacatan pada jasad. Oleh yang demikian, setelah sluri mengeset di dalam acuan selama satu hari, sluri kemudiannya dibiarkan selama satu hari

di dalam suhu bilik sebelum dimasukkan ke dalam ketuhar pada suhu sekitar 60-80°C. Ini adalah bertujuan supaya jasad anum yang terhasil mempunyai rekahan atau retakan yang seminimum mungkin sebelum persinteran dilakukan. Kajian telah menunjukkan bahawa :

- a) Kelembapan adalah parameter yang dominan yang mana suhu pengeringan pada suhu bilik bergantung kepada parameter ini.
- b) Tuangan gel tidak mempunyai tempoh yang tertentu untuk proses pengeringan berbanding teknik-teknik lain seperti tuangan slip.
- c) Proses pengeringan adalah satu proses isotropik dan mempunyai pengecutan linear dari 1.0% hingga 4.0% bergantung kepada kepekatan sluri dan proses pengeringan banyak bergantung kepada kelembapan jasad itu sendiri dan suhu yang digunakan [Omatete et. al., 1991].

2.11 Tuangan gel-teknik alaf baru

Tuangan gel adalah satu teknik pembentukan yang paling terkini dalam teknik pembentukan produk seramik. Pembangunan penyelidikan sedang giat dijalankan di luar negara terutamanya di Amerika Syarikat dan negara-negara maju lain. Penyelidikan *gelcasting* di Malaysia adalah suatu penyelidikan yang agak baru dan teknik tuangan gel belum dipraktikkan di dalam industri pembuatan di negara kita. Penyelidikan demi penyelidikan akan menyusul selepas ini, kerana berpandukan kepada kelebihan yang ada pada teknik *gelcasting* itu sendiri dan teknik ini berupaya menggantikan teknik