

## MEKANISME PENYERAKAN ZARAH DALAM PEMROSESAN BERKOLOID OKSIDA SERAMIK ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-MgO}$ ) MENGUNAKAN DAXAD 19<sup>TM</sup>

ANDANASTUTI MUCHTAR<sup>1</sup>, HUSNA OSMAN<sup>2</sup> & SITI MASRINDA TASIRIN<sup>3</sup>

**Abstrak.** Dalam kajian ini, kesan agen penyerak komersil Daxad 19<sup>TM</sup> terhadap sifat reologi dan pepadatan ampaiian seramik alumina-zirkonia-magnesia telah dikenalpasti. Komposisi serbuk yang digunakan adalah berasaskan kepada 85% isipadu alumina (ketulenan 99.99%) dan 15% isipadu zirkonia (ketulenan 99.5%). Penambahan serbuk magnesia (ketulenan 99.99%) pula adalah pada kuantiti yang kecil iaitu 0.25% berat dari pada jumlah berat alumina dan zirkonia. Untuk mengelakkan masalah pengaglomeratan zarah, teknik pemprosesan berkoloid dipilih dalam pembikinan sampel. Untuk ini, Daxad 19<sup>TM</sup> dicampurkan ke dalam ampaiian dengan tujuan untuk menyerakkan zarah. Kuantiti penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> yang digunakan ialah dalam julat 0 hingga 0.60% berat. Kajian reologi menggunakan alat meter kelikatan dilakukan bagi mengenalpasti kuantiti Daxad 19<sup>TM</sup> yang optimum bagi penyerakan zarah. Setelah itu, sampel anum dihasilkan melalui proses penuangan buburan. Sampel diprasinter pada suhu 800°C selama 45 minit sebelum disinter pada suhu 1600°C selama 2 jam. Kajian ini secara keseluruhannya telah mendapati julat penggunaan optimum penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> di dalam ampaiian seramik yang dihasilkan adalah di antara 0.4875% hingga 0.525% berat daripada berat keseluruhan serbuk seramik yang digunakan. Kertas ini juga membincangkan mekanisme penyerakan zarah dalam ampaiian alumina-zirkonia-magnesia melalui penggunaan Daxad 19<sup>TM</sup>.

*Kata kunci:* Penyerakan zarah, reologi, ketumpatan, alumina, zirkonia

**Abstract.** The effects of a commercially available dispersant, Daxad 19<sup>TM</sup>, on the rheology and densification characteristics of alumina-zirconia-magnesia suspensions have been investigated. The compositions of powders used are based on 85% volume of alumina (99.99% purity) and 15% volume of zirconia (99.95% purity). The addition of a small amount of magnesia is based on 0.25% weight of the combined weight of both alumina and zirconia powders. In an effort to avoid the agglomeration of particles, colloidal processing technique is used to produce samples. For this, Daxad 19<sup>TM</sup> is added to the suspensions to disperse the oxide particles. The Daxad 19<sup>TM</sup> addition is within the range of 0-0.60% weight. Rheological investigation is carried out using a rotational viscometer to determine the optimum quantity of dispersant (Daxad 19<sup>TM</sup>) that can best disperse the powders. Green samples are then prepared using the slip casting process. The sample are pre-sintered at a constant temperature of 800°C for 45 minutes before being sintered at 1600°C with a holding time of 2 hours. The optimum concentration of Daxad 19<sup>TM</sup> for a successful dispersion of powders is found to be between 0.4875-0.525% weight of the combined weight of alumina and zirconia powders. This paper also discusses the mechanisms for particle dispersion in alumina-zirconia-magnesia suspensions.

*Keywords:* Particle dispersion, rheology, density, alumina, zirconia

<sup>1&2</sup> Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi.

<sup>3</sup> Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi.

## 1.0 PENGENALAN

Seramik berketulenan tinggi dan berira halus semakin mendapat perhatian ramai penyelidik kerana sifat mekaniknya yang lebih baik dalam kebanyakan aplikasi kejuruteraan yang memerlukan penggunaan seramik struktur [1-4]. Namun begitu, terdapat beberapa masalah dalam pembikinan komponen daripada seramik berira halus ini. Masalah utama ialah kecenderungan serbuk seramik terutama yang bersaiz koloid untuk membentuk aglomerat secara semulajadi sehingga menyukarkan terhasilnya komponen seramik yang homogen.

Kehadiran aglomerat boleh mengakibatkan pemadatan serbuk yang tidak homogen dan selanjutnya membawa kepada proses persinteran yang juga tidak homogen [5-7]. Tanpa sifat kehomogenan yang tinggi, komponen seramik struktur yang terhasil akan memiliki nilai ketahanan patah yang rendah dan bersifat rapuh. Kaedah yang diguna bagi menghasilkan seramik struktur ini memainkan peranan penting dalam menentukan kualiti komponen akhir yang dihasilkan. Pengurangan kecacatan dan ketidakhomogenan ini boleh dicapai melalui pemprosesan berkoloid. Konsep pemprosesan ini merangkumi manipulasi dan kawalan ke atas daya antara zarah di dalam ampaian serbuk bagi menghapuskan keheterogenan dan memperbaiki sifat reologi ampaian. Sifat reologi ampaian memainkan peranan penting dalam mengawal kelakuan zarah dan mengoptimumkan pemadatan zarah dalam jasad anum. Secara asasnya, sifat reologi ampaian ditentukan oleh interaksi termodinamik dan sifat mekanik bendalir. Hal ini menunjukkan wujudnya hubungan rapat di antara interaksi zarah termasuk gerakan Brown, struktur ampaian dan tindak balas reologi. Interaksi mekanik bendalir dan daya antara zarah bergantung kepada jarak pemisahan purata antara zarah terampai. Sifat reologi aliran cecair biasanya dicirikan oleh kelikatannya yang boleh diandaikan sebagai rintangan cecair terhadap aliran. Secara teori, ampaian yang mempunyai nilai kelikatan dan tegasan ricih terendah mengandungi zarah yang terserak dengan baik dan bebas dari pengaglomeratan [8-10].

Penambahan agen penyerak ke dalam ampaian seramik boleh dilakukan bagi mengurangkan kecenderungan zarah seramik menghampiri satu sama lain membentuk aglomerat, sekaligus dapat menghasilkan ampaian seramik berketulenan rendah.

## 2.0 METODOLOGI

Bagi menjalankan kajian ini, serbuk seramik berketulenan tinggi serta saiz purata yang halus telah dipilih. Seramik yang digunakan adalah serbuk alumina (TM-DAR, diperolehi dari Pred Materials Inc.) berketulenan 99.99%, zirkonia (diperolehi dari Strem Chemicals Inc.) berketulenan 99.5% dan magnesia (Starmag HP30A, diperolehi dari Konoshima Chemicals Co. Ltd.) berketulenan 99.99%. Serbuk seramik ini masing-masing mempunyai saiz purata 0.17  $\mu\text{m}$ , 0.3  $\mu\text{m}$ , dan 0.4  $\mu\text{m}$ .

Agen penyerak yang digunakan dalam kajian ini pula adalah Daxad 19<sup>TM</sup> yang merupakan agen penyerak anionik dan dihasilkan daripada pemeluwapan asid naftalen sulfonik. Sepuluh ampaian akues alumina (85% isipadu), zirkonia (15% isipadu) dan magnesia (0.25% berat daripada jumlah berat alumina dan zirkonia) disediakan dengan penambahan agen penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> yang berbeza iaitu 0%, 0.45%, 0.475%, 0.4875%, 0.5%, 0.5125%, 0.525%, 0.5375%, 0.55% dan 0.60% berat, juga daripada jumlah berat alumina dan zirkonia. Kandungan agen penyerak antara 0% hingga 0.475% berat dirujuk sebagai kuantiti kecil. Kandungan agen penyerak antara 0.487% hingga 0.525% berat dirujuk sebagai kuantiti sederhana, manakala pada peratus berat 0.5375 hingga 0.60 pula kandungan penyerak dirujuk sebagai kuantiti besar. Penghasilan ampaian ini secara umumnya menggunakan kaedah pemprosesan berkolid kerana teknik ini mampu mengelakkan masalah pengaglomeratan dalam pembikinan komponen seramik struktur [11-14].

Setiap ampaian disediakan dengan melarutkan agen penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> terlebih dahulu ke dalam air suling. Serbuk seramik alumina-zirkonia-magnesia kemudiannya dimasukkan ke dalam larutan penyerak sambil dikacau. Aturan ini dibuat mengikut kaedah yang dicadangkan Tari *et al.* [10]. Berdasarkan kepada kajian mereka, bagi menyerakkan zarah magnesia dengan baik, bahan ini perlu ditambahkan terlebih dahulu ke dalam larutan agen penyerak bagi menghampiri sifat cas permukaan pada alumina. Sekiranya tidak, cas yang berlainan pada permukaan zarah oksida yang berbeza akan menyebabkan berlakunya penggumpalan, seterusnya meningkatkan keheterogenan pada mikrostruktur jasad yang bakal dihasilkan.

Ampaian seterusnya dihomogenkan dengan menggunakan alat penghomogen (T25 Basic, Ika-Werke GMBH & Co.) selama 5 minit dengan kelajuan pengacauan minimum 11000 ppm. Bagi mengkaji kesan agen penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> ke atas kualiti penyerakan campuran serbuk seramik oksida alumina, zirkonia dan magnesia, ampaian yang telah dihomogenkan kemudiannya menjalani ujian kelikatan menggunakan meter kelikatan (HAAKE VT 500). Selain daripada kajian reologi, analisis pepadatan zarah juga dilakukan bagi mendapatkan maklumat lanjut mengenai kualiti penyerakan zarah. Ini dilakukan ke atas sampel yang dihasilkan daripada ampaian melalui kaedah penuangan buburan. Ampaian dituang ke dalam acuan Teflon berbentuk cakera silinder (diameter 28 mm dan ketebalan 10 mm) yang diletakkan di atas blok lepa Paris bagi menghasilkan jasad anum. Ampaian dibiarkan di dalam acuan selama 12 jam bagi memastikan kesemua air di dalam ampaian berkenaan diserap oleh blok lepa Paris. Jasad anum yang diperolehi dan yang telah mengering di dalam acuan seterusnya dikeluarkan dari acuan dan dipra-bakar pada suhu 800°C selama 45 minit untuk meningkatkan kekuatan jasad bagi pengendalian seterusnya. Sampel kemudian disinter pada suhu 1600°C dengan masa rendaman 2 jam menggunakan relau (Linn High Therm VMK-1800).

Ketumpatan jasad anum diukur dengan mengambil kira dimensi dan berat sampel, sementara ketumpatan jasad tersinter pula diperolehi menggunakan teknik Archi-

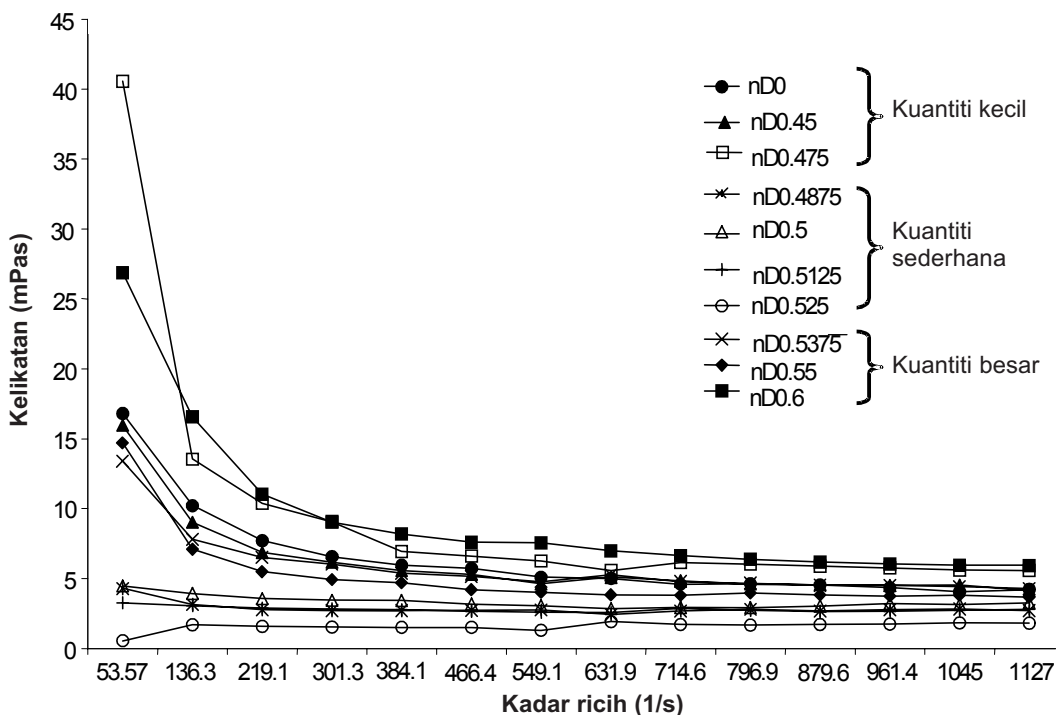
medes. Seterusnya, pengiraan peratusan ketumpatan teori jasad anum dan tersinter bagi komposit seramik di dalam kajian ini diperolehi melalui Persamaan 1 yang berikut:

$$\left( \frac{\% \text{ isipadu}(\text{Al}_2\text{O}_3)}{100} \times 3.99 \right) + \left( \frac{\% \text{ isipadu}(\text{ZrO}_2)}{100} \times 5.4669 \right) + \left( \frac{\% \text{ isipadu}(\text{MgO})}{100} \times 3.58 \right) \quad (1)$$

### 3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

#### 3.1 Kajian Reologi

Kelikatan bagi ampaian yang bersifat Newtonian tidak dipengaruhi oleh kadar ricih. Ini ditunjukkan dalam Rajah 1 oleh ampaian yang mengandungi kuantiti agen penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> yang sederhana iaitu di antara 0.487% hingga 0.525% berat. Ampaian dengan agen penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> dalam kuantiti kecil iaitu 0% hingga 0.475% berat dan kuantiti besar iaitu antara 0.537% hingga 0.60% berat memaparkan kelakuan pseudoplastik. Oleh yang demikian, kuantiti penyerak Daxad



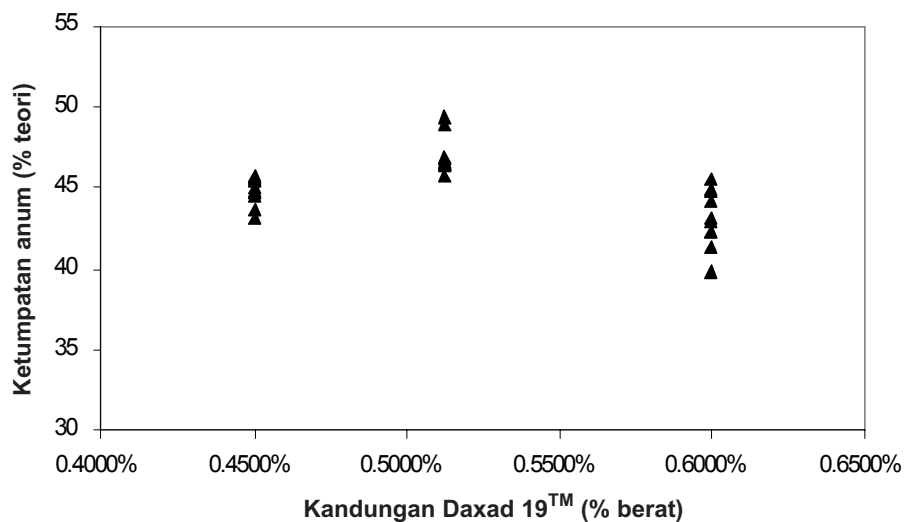
**Rajah 1** Kesan penambahan agen penyerak ke atas nilai kelikatan ampaian alumina-zirkonia-magnesia

19<sup>TM</sup> di antara 0.487% hingga 0.525% berat boleh diandaikan sebagai kuantiti optimum penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> disebabkan keberkesannya menghasilkan ampaian dengan kelikatan yang konsisten rendah dengan peningkatan kadar ricih.

Keputusan ini selari dengan kajian terdahulu yang mendapati pada nilai optimum penggunaan agen penyerak, nilai kelikatan ampaian didapati paling rendah dan memberi petunjuk awal bahawa tahap serakan di dalam ampaian berkenaan adalah baik [8-10]. Sekiranya penggunaan agen penyerak tidak menepati kuantiti optimumnya, kesan baik penggunaannya tidak dapat dimanfaatkan, malahan menyebabkan ampaian mudah membentuk aglomerat dan menghasilkan ampaian dengan kelikatan yang tinggi dan tidak sesuai bagi pemprosesan seramik, khususnya melalui kaedah penuangan buburan [15].

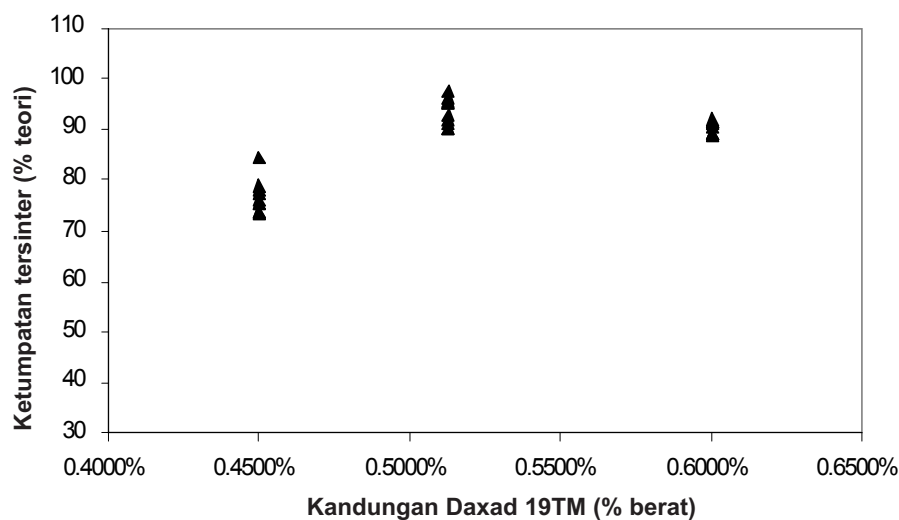
### 3.2 Ketumpatan Jasad Anum dan Jasad Tersinter

Keputusan ujian reologi pada peringkat pertama kajian ini disokong oleh hasil keputusan ujikaji pada peringkat kedua iaitu ujian pengukuran ketumpatan jasad anum dan jasad tersinter. Rajah 2 dan 3 menunjukkan ketumpatan anum yang telah diperoleh bagi jasad yang telah disediakan dengan mencampurkan 0.45%, 0.5125% dan 0.60% berat agen penyerak. Kepekatan Daxad 19<sup>TM</sup> yang dipilih iaitu 0.45%, 0.5125% dan 0.60% berat adalah masing-masing sebagai mewakili kepekatan kuantiti kecil, sederhana dan besar. Secara purata, nilai ketumpatan jasad anum dan jasad tersinter yang disediakan dengan 0.5125% berat penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> adalah lebih tinggi berbanding sampel. Kajian terdahulu [4,6,16] telah mendapati ampaian dengan



**Rajah 2** Ketumpatan anum (peratus teori) sampel yang dihasilkan daripada ampaian yang disediakan dengan kandungan Daxad 19<sup>TM</sup> yang berbeza-beza

pemeraian zarah yang baik mampu menghasilkan jasad anum dan jasad tersinter berketumpatan tinggi. Sebaliknya, kualiti penyerakan yang rendah pada ampaian yang berkelikatan tinggi adalah disebabkan oleh pengaglomeratan di dalam ampaian berkenaan [17]. Disebabkan kehadiran aglomerat juga, pemadatan zarah dalam jasad anum tidak akan mencatatkan nilai yang tinggi bilamana ampaian tidak diserakkan dengan baik. Seterusnya, ketumpatan yang tinggi juga boleh dicapai bagi jasad tersinter sekiranya ketumpatan jasad anum adalah tinggi [5,9,12,18]. Ini bertepatan dengan hasil kajian ini seperti yang dipaparkan oleh Rajah 2 dan Rajah 3.

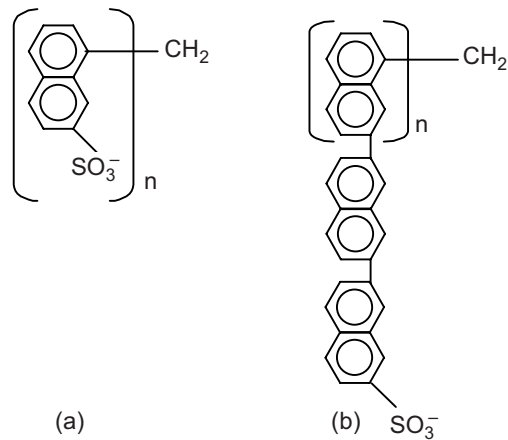


**Rajah 3** Ketumpatan tersinter (peratus teori) sampel yang dihasilkan daripada ampaian yang disediakan dengan kandungan Daxad 19<sup>TM</sup> yang berbeza-beza

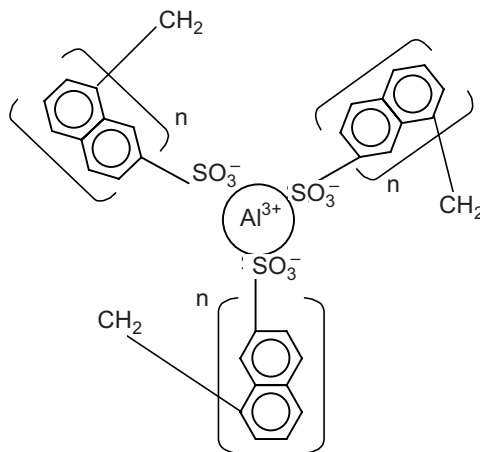
### 3.3 Mekanisme Penyerakan Zarah oleh Daxad 19<sup>TM</sup> Melalui Halangan Elektrostatik

Di dalam kajian ini, aturan campur yang digunakan adalah dengan menambahkan agen penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> terlebih dahulu ke dalam air suling, menghasilkan suatu larutan Daxad 19<sup>TM</sup>. Apabila dilarutkan ke dalam air, molekul Daxad 19<sup>TM</sup> akan membentuk satu kumpulan sulfonat yang bebas dengan cas (-1). Ion bebas pada molekul Daxad 19<sup>TM</sup> ini adalah  $\text{SO}_3^-$ . Molekul Daxad 19<sup>TM</sup> juga mempunyai struktur yang berulang. Dengan itu, molekul Daxad 19<sup>TM</sup> boleh wujud sebagai satu rantaian yang panjang sebagaimana yang ditunjukkan pada Rajah 4.

Dalam pada itu, zarah serbuk seramik yang kemudiannya tertabur di dalam air juga masing-masing mempunyai casnya yang tersendiri. Oksida seramik ini bercas positif. Dengan itu serbuk seramik dikatakan mempunyai permukaan berkation. Bagi kajian yang telah dijalankan, zarah seramik alumina, zirkonia dan magnesia



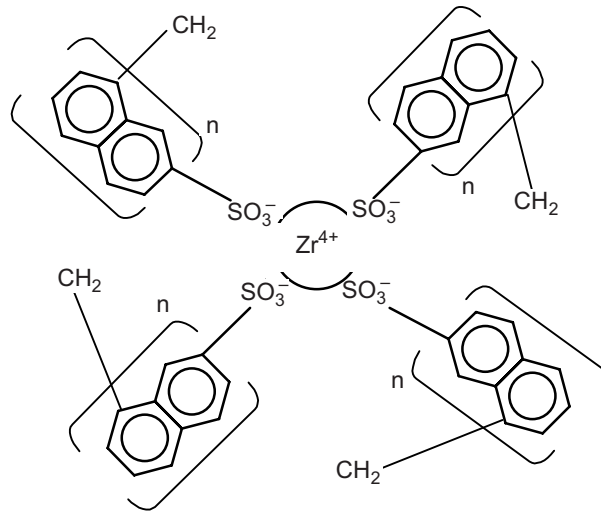
**Rajah 4** Lakaran molekul Daxad 19<sup>TM</sup> dalam bentuk (a) satu unit molekul (b) rantaian panjang



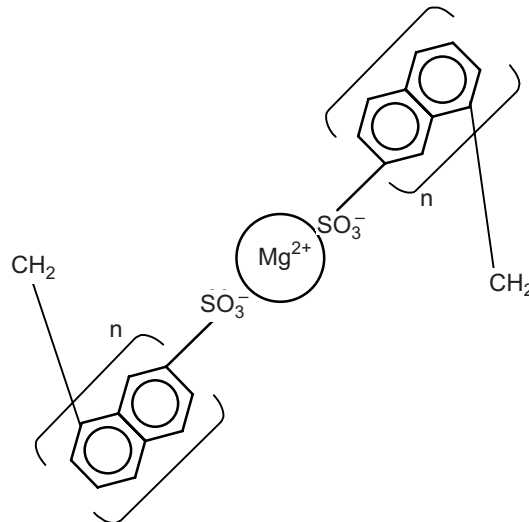
**Rajah 5** Lakaran skema penjerapan molekul Daxad 19<sup>TM</sup> ke atas permukaan zarah alumina ( $\text{Al}^{3+}$ )

masing-masing mempunyai cas 3+, 4+ dan 2+ pada permukaannya apabila dicampurkan ke dalam air.

Dalam ampaian, ion sulfonat ( $\text{SO}_3^-$ ) yang bercas negatif pada molekul Daxad 19<sup>TM</sup> akan terjerap pada permukaan zarah serbuk seramik yang bersifat kationik tadi. Jumlah ion negatif yang sama akan terjerap pada cas positif dan meneutralkannya. Ion-ion ini akan terikat kuat pada permukaan zarah kerana mempunyai interaksi secara langsung dengan zarah dan membentuk satu lapisan ion mengelilingi zarah. Lapisan ion ini dikenali sebagai lapisan Stern [19-20]. Proses penjerapan ion-ion sulfonat ( $\text{SO}_3^-$ ) pada permukaan zarah seramik alumina, zirkonia dan magnesia ini boleh digambarkan seperti dalam Rajah 5, Rajah 6 dan Rajah 7.



**Rajah 6** Lakaran skema penyerapan molekul Daxad 19<sup>TM</sup> ke atas permukaan zarah zirkonia ( $Zr^{4+}$ )



**Rajah 7** Lakaran skema penyerapan molekul Daxad 19<sup>TM</sup> ke atas permukaan zarah magnesia ( $Mg^{2+}$ )

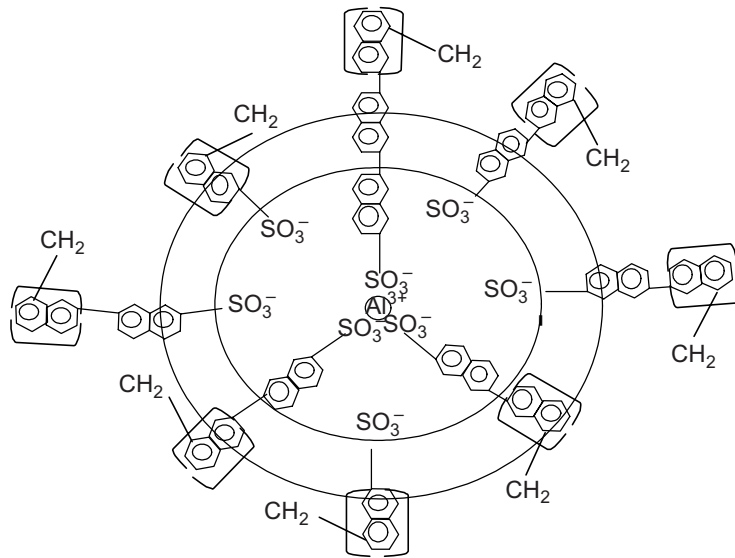
Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5, tiga kumpulan sulfonat diperlukan untuk menstabilkan 1 ion  $Al^{3+}$  di dalam air. Seterusnya, empat kumpulan sulfonat diperlukan untuk menstabilkan 1 ion  $Zr^{4+}$  (Rajah 6) sementara 2 kumpulan sulfonat diperlukan untuk menstabilkan ion  $Mg^{2+}$  (Rajah 7).

Sementara itu, ion  $SO_3^-$  lebih yang masih bebas di dalam larutan akan sentiasa mendekati permukaan zarah alumina, zirkonia dan magnesia disebabkan cas mereka

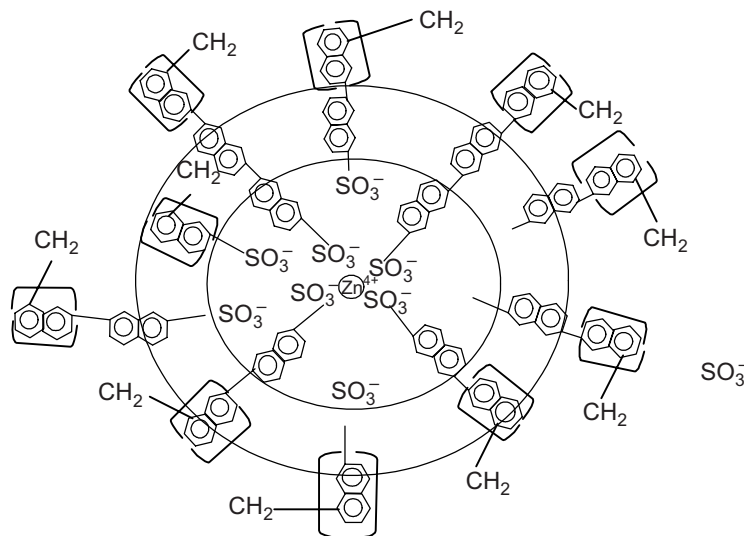


yang berlawanan. Oleh kerana kesemua ion-ion ini sentiasa bergerak akibat pergerakan haba, ion-ion akan tertabur mengelilingi zarah membentuk suatu lapisan lain yang boleh dirujuk sebagai lapisan Gouy-Chapmann. Ion-ion di dalam lapisan ini terikat secara tidak kukuh berbanding ion-ion di dalam lapisan Stern [20-22].

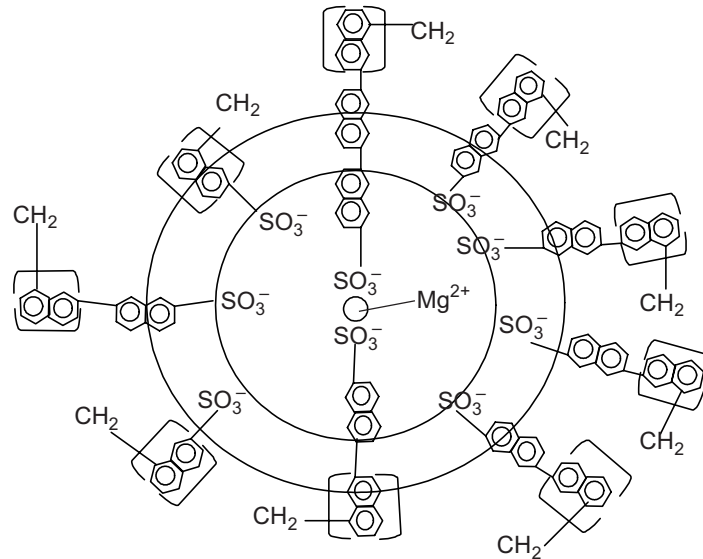
Penjerapan ion  $\text{SO}_3^-$  pada permukaan zarah alumina, zirkonia dan magnesia akhirnya akan membentuk dua lapisan elektrik yang terdiri daripada lapisan Stern dan lapisan Gouy-Chapmann. Ilustrasi skematik pembentukan dua lapisan elektrik



**Rajah 8** Lakaran skema pembentukan lapisan dua elektrik pada permukaan zarah alumina



**Rajah 9** Lakaran skema pembentukan lapisan dua elektrik pada permukaan zarah zirkonia



**Rajah 10** Lakaran skema pembentukan lapisan dua elektrik pada permukaan zarah magnesia

ini diberikan dalam Rajah 8, Rajah 9 dan Rajah 10. Dua lapisan elektrik inilah yang akan berfungsi menghalang daya tarikan semulajadi daya van der Waals di antara zarah. Ia menghasilkan daya tolakan yang menghalang zarah mendekati satu sama lain dan mengelak pembentukan aglomerat. Dalam literatur, dua lapisan elektrik ini biasa dikenali dengan istilah *electrical double layer*, atau lapisan dwi-elektrik.

Penggunaan penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> sebanyak 0.45% berat atau kurang daripada nilai penggunaan optimumnya tidak mencukupi bagi menghasilkan lapisan dwi-elektrik dengan tolakan yang cukup kuat bagi mengatasi daya tarikan di antaranya yang lebih tinggi. Daya tolakan tidak cukup kuat untuk menghalang zarah daripada menghampiri satu sama lain, menyebabkan penggumpalan berlaku. Sementara itu, penggunaan penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> sebanyak 0.60% berat atau melebihi penggunaan optimumnya menyebabkan berlakunya keruntuhan lapisan dwi-elektrik. Menurut Reed [23], pengentalan atau penggumpalan semula zarah yang terserak berlaku disebabkan oleh sesakan ion-ion lawan pada lapisan dwi-elektrik zarah berkenaan. Sesakan atau penggumpalan ion lawan yang terlalu banyak pada lapisan dwi-elektrik ini akan menyebabkan lapisan berkenaan dimampat dan saiznya berkurangan. Keadaan ini akhirnya akan mengurangkan tolakan di antara zarah menyebabkan berlakunya penggumpalan semula zarah. Bagi kedua-dua kes yang mana penggunaan penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> adalah di luar nilai penggunaan optimumnya, penggumpalan zarah berlaku. Keadaan inilah yang mengganggu aliran zarah dalam ampaian lalu menyebabkan kelikatan ampaian yang tinggi.

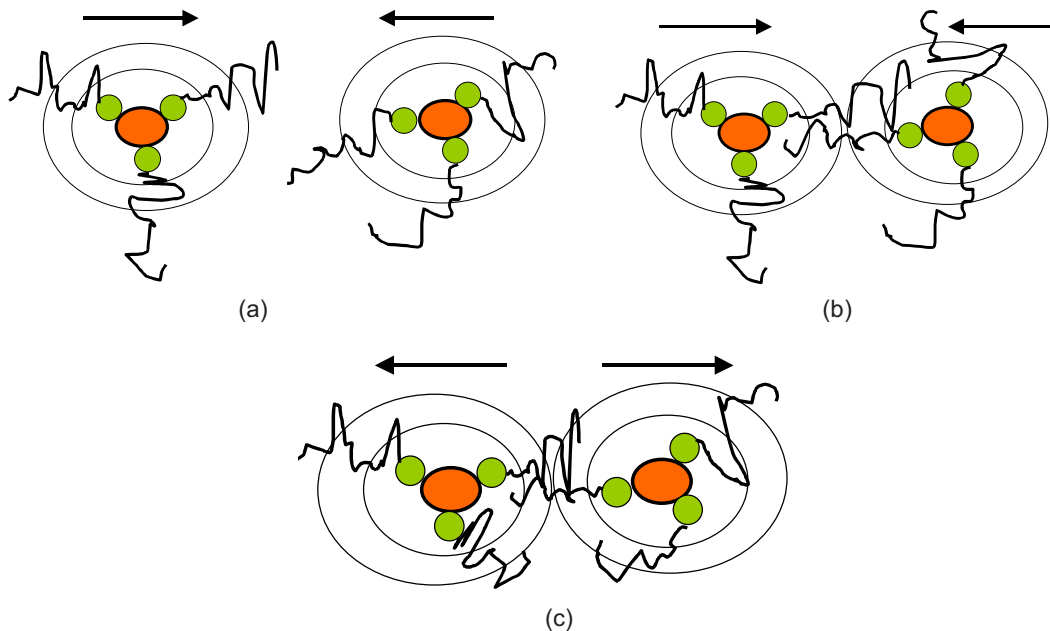


### 3.4 Mekanisme Penyerakan Zarah oleh Daxad 19<sup>TM</sup> Melalui Halangan Sterik

Dari aspek yang berbeza, kestabilan bagi ampaian seramik di dalam kajian ini juga dipercayai dihasilkan melalui kestabilan secara sterik. Jika di perhatikan kepada struktur agen penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> dapat dilihat bahawa agen penyerak ini mempunyai struktur yang berulang yang boleh membentuk satu rantaian yang panjang.

Beberapa keadaan boleh wujud apabila dua zarah yang mempunyai lapisan polimer terjerap pada permukaannya menghampiri satu sama lain. Pada jarak di mana lapisan polimer terjerap pada kedua-dua zarah seramik mula bersentuhan di antara satu sama lain, rantaian polimer pada kedua-dua permukaan zarah berkenaan mula menusuk di antara satu sama lain.

Apabila kedua-dua zarah seramik ini semakin hampir di antara satu sama lain penusukan rantaian polimer yang terjerap pada kedua-dua permukaan zarah berkenaan menjadi semakin ketara. Kedua-dua zarah menjadi terlalu rapat bersama menyebabkan lapisan polimer yang terjerap pada permukaannya menjadi termampat yang akhirnya akan menghasilkan daya penolakan. Daya penolakan ini menghalang zarah seramik daripada mendekati satu sama lain dan membentuk gumpalan. Tindakbalas ini memberikan kestabilan kepada ampaian seramik yang dikaji.



**Rajah 11** (a) Dua partikel dengan lapisan polimer terjerap menghampiri satu sama lain (b) Lapisan polimer terjerap pada kedua-dua partikel mula menusuk dan termampat (c) Penolakan berlaku di antara dua partikel

Kestabilan ampaian yang diperoleh hasil daripada penolakan ini dikenali sebagai kestabilan sterik. Gambaran ringkas mengenai tindakbalas kestabilan ini boleh dilihat melalui model skematik yang ditunjukkan pada Rajah 11. Pada jarak yang dekat, daya tolakan ini adalah lebih dominan dan menghalang daya tarikan van der Waals di antara zarah koloid berkenaan. Maka kestabilan di dalam sistem koloid dapat diperoleh. Menurut kajian terdahulu [19], kesan penolakan di antara zarah boleh ditingkatkan lagi sekiranya molekul dengan rantai yang lebih panjang menjerap pada permukaan zarah berkenaan.

#### 4.0 KESIMPULAN

Kajian ini secara keseluruhannya telah mendapati bahawa terdapat satu julat penggunaan optimum penyerak Daxad 19<sup>TM</sup> di dalam ampaian alumina-zirkonia-magnesia yang dihasilkan. Julat penggunaan ini adalah di antara 0.487% hingga 0.525% berat daripada berat keseluruhan serbuk seramik yang digunakan. Di dalam julat penggunaan ini, ampaian alumina-zirkonia-magnesia yang dihasilkan memberikan bacaan kelikatan yang rendah iaitu kurang daripada 5mPas. Selain daripada itu ketumpatan jasad anum dan tersinter yang dihasilkan daripada ampaian ini mencatatkan nilai ketumpatan tertinggi berbanding sampel lain.

Pengurangan kelikatan di dalam ampaian dikenalpasti adalah kesan daripada wujudnya lapisan dwi-elektrik dan lapisan polimer terjerap pada permukaan zarah seramik di dalam ampaian yang menghalang zarah berkenaan daripada membentuk aglomerat. Daya tolakan akan wujud apabila zarah menghampiri di antara satu sama lain, secara tidak langsung menghasilkan suatu serakan zarah yang stabil di dalam ampaian. Kestabilan di dalam ampaian ini dicapai secara halangan elektrostatik dan sterik atau juga dikenali sebagai halangan elektrosterik.

#### PENGHARGAAN

Penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada kerajaan Malaysia dan Universiti Kebangsaan Malaysia atas pembiayaan penyelidikan ini melalui peruntukan IRPA 03-02-02-0047.

#### RUJUKAN

- [1] Lange, F. F. 1989. Powder Processing Science and Technology for Increased Reliability. *J. Am. Ceram. Soc.* 72(1): 3-15.
- [2] Misirli, Z., A. Uguz, dan T. Baykara. 1994. Effect of Additives on the Microstructure and Mechanical Properties of Commercial Alumina Ceramics. *Materials Characterisation.* 33: 329-341.
- [3] Goh, G. K. L., L. C. Lim, M. Rahman, dan S. C. Lim. 1997. Effect of Grain Size on Wear Behaviour of Alumina Cutting Tools. *Wear.* 206: 24-32.
- [4] Muchtar, A., dan L. C. Lim. 1998. Indentation Fracture Toughness of High Purity Submicron Alumina. *Acta Materialia.* 46(5): 1683-1690.

- [5] Rhodes, W. H. 1981. Agglomerate and Particle Size Effects on Sintering Ytria-Stabilised Zirconia. *Journal of the American Ceramic Society*. 64(1): 19-22.
- [6] Lange, F. F. 1984. Sinterability of Agglomerated Powders. *Journal of the American Ceramic Society*. 67(2): 83-89.
- [7] Kimura, T., Y. Matsuda, M. Oda, dan T. Yamaguchi. 1987. Effect of Agglomerates on Sintering of  $\alpha$ -alumina. *Ceramics International*. 13: 27-34.
- [8] Calvert, P. D., E. S. Tormey, dan R. L. Pober. 1986. Fish Oil and Triglycerides as Dispersant for Alumina. *American Ceramic Society Bulletin*. 65(4): 669-672.
- [9] Chou, K. S., dan L. J. Lee. 1989. Effect of Dispersant on the Rheological Properties and Slip Casting of Concentrated Alumina Slurry. *Journal of the American Ceramic Society*. 72(9): 1622-1627.
- [10] Tari, G., J. M. F. Ferreira, dan O. Lyckfeldt. 1997. Influence of Magnesia on Colloidal Processing of Alumina. *Journal of the European Ceramic Society*. 17: 1341-1350.
- [11] Bergstrom, L., E. Blomberg, dan H. G. Pedersen. 1999. Interparticle Forces and Rheological Properties of Ceramic Suspension. *Key Engineering Materials*. 159-160: 119-126.
- [12] Muchtar, A. 1999. Sintering Characteristics and Microstructures of Colloidally Processed Alumina. *Jurnal Kejuruteraan*. 11(2): 3-12.
- [13] Dakskobler, A., dan T. Kosmac. 2000. Preparation of Coagulated Aqueous Alumina Suspension at Inherent pH. *Key Engineering Materials*. 175-176: 43-48. (atas talian) <http://www.scientific.net.html>.
- [14] Muchtar, A., N. Wati, dan N. A. Jaafar. 2002. Deagglomeration of High Purity Fine Alumina Powder via pH Control. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*. 2(1): 55-60.
- [15] Tsetsekou, A., C. Agrafiotis, dan A. Milias. 2001. Optimization of the Rheological Properties of Alumina Slurries for Ceramic Processing Applications. Part 1: Slip Casting. *Journal of the European Ceramic Society*. 21: 363-373.
- [16] Kimura, T., Y. Kaneko, dan T. Yamaguchi. 1991. Consolidation of Alumina-Zirconia Mixtures by a Colloidal Process. *Journal of the American Ceramic Society*. 74(3): 625-632.
- [17] Shanefield, D. J. 1996. *Organic Additives and Ceramic Processing with Application in Powder Metallurgy, Ink and Paint*. 2nd Edition. Kluwer Academic Publisher.
- [18] Inada, S., T. Kimura, dan T. Yamaguchi. 1990. Effects of Green Compact Structure on the Sintering of Alumina. *Ceramics International*. 16: 369-373.
- [19] Van de Warden, M. 1950. Adsorption of Aromatic Hydrocarbons in Non-Aromatic Media on Carbon Black. *Journal of Colloid Science*. 6: 443.
- [20] Sparnaay, M. J. 1972. *The International Encyclopedia of Physical Chemistry and Chemical Physics: The Electrical Double Layer*. Pergamon Press Limited.
- [21] Ross, S., dan I. D. Morrison. 1988. *Colloidal System and Interfaces*. A Wiley-Interscience Publications. John Wiley and Sons.
- [22] Rahaman, M. N. 1995. *Ceramic Processing and Sintering*. Marcel Dekker Inc.
- [23] Reed, J. S. 1995. *Principles of Ceramics Processing*. John Wiley & Sons, Inc.