

ASPEK KIMIA DAN FISIKA DALAM SINTESIS KERAMIK MELALUI PROSES SOL-JEL

Oleh:
Hari Sutrisno

Abstrak

Pembuatan keramik umumnya membutuhkan suhu tinggi untuk peleburan langsung bahan-bahan oksida logam. Peleburan oksida logam bukan satu-satunya cara untuk pembuatan keramik. Salah satu proses pembuatan keramik yang tidak membutuhkan suhu tinggi adalah proses sol-jel. Proses sol-jel melibatkan banyak aspek. Dua di antara aspek tersebut menjadi bahan diskusi dalam makalah ini yaitu peranan aspek kimia dan fisika.

Proses sol-jel dimulai dengan seleksi bahan baku atau prekursor tertentu untuk dibuat koloid berupa sol. Bahan baku dapat berasal dari senyawa anorganik atau senyawa organik. Jel-jel disintesis dengan cara hidrolisis alkoksida, dilanjutkan dengan reaksi polikondensasi. Reaksi hidrolisis diawali reaksi katalisis asam atau basa, sedangkan polikondensasi meliputi pembentukan ikatan siloksan dan kondensasi dari alkohol atau air.

Aspek kimia yang berperan dalam proses sol-jel menyangkut faktor yang berpengaruh pada kinetika reaksi hidrolisis-polikondensasi. Aspek fisika menyangkut struktur produk akhir yang berhubungan dengan sifat reologi dari sol atau jel. Pengukuran reologi secara kualitatif diidentifikasi saat larutan kehilangan fluiditas, sedangkan secara kuantitatif diidentifikasi secara kasar dengan perubahan viskositas.

Pendahuluan

Bahan keramik umumnya dibuat dengan cara peleburan langsung bahan-bahan oksida logam pembentuknya. Suhu peleburan pada umumnya sangat tinggi dan pencemaran yang dihasilkan relatif besar. Peleburan oksida bukan satu-satunya cara dalam sintesis keramik. Cara lain yang saat ini dikembangkan adalah "proses sol-jel". Teknologi sol-jel telah diketahui lebih dari satu abad dan diterima sebagai hal yang menarik karena sangat diperlukan untuk keramik berteknologi tinggi atau keramik maju (advanced ceramics). Penelitian yang berkaitan dengan proses sol-jel antara lain: studi sintesis serbuk stronsium titanat (SrTiO_3 , Sr_2TiO_4 , $\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$, $\text{Sr}_4\text{Ti}_3\text{O}_{10}$) berfungsi sebagai bahan elektronik, sintesis gelas silika, sintesis serat keramik silika.

Proses sol-jel memungkinkan pengolahan material dalam bentuk film tipis, serat dan serbuk serta menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi pada suhu rendah. Sebagai contoh adalah film silika yang digunakan untuk "integrated circuits" (IC). Proses pembuatan dengan cara biasa, substrat

silikon dioksidasi pada temperatur 1000°C . Sebaliknya film silika dengan proses sol-jel dihasilkan pada suhu 400°C sampai 600°C .

Proses sol-jel melibatkan beberapa aspek yang sangat berperan di dalam mekanisme pembentukan sol sampai menjadi gel dan akhirnya menjadi bahan keramik. Di antara aspek-aspek tersebut menjadi bahan diskusi dalam makalah ini yaitu bagaimanakah peranan aspek kimia dan fisika dalam pembuatan keramik dengan proses sol-jel? Hal ini penting dan perlu didiskusikan, karena menurut perkiraan dari Dislich (1985: 599-611) sampai tahun 2004 akan dihasilkan sekitar 1000 jenis material melalui proses sol-jel. Kajian ini akan memberi sedikit gambaran mengenai aspek kimia dan fisika dalam proses sol-jel, dalam rangka untuk mengembangkan keramik maju pada khususnya atau material maju pada umumnya.

Kajian Teoritik

Tinjauan Umum

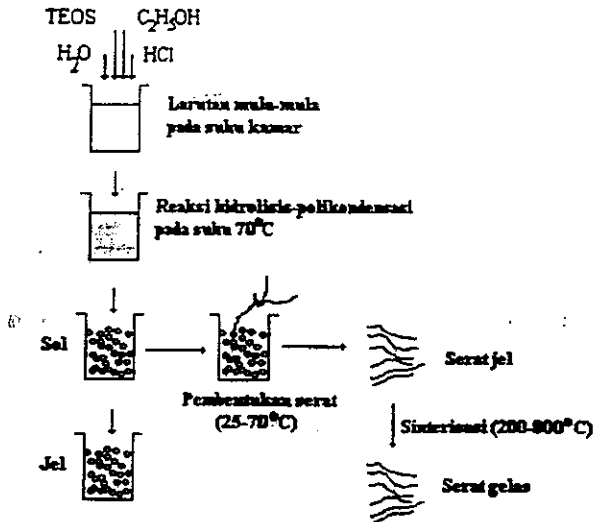
Sol adalah suatu suspensi koloid partikel padat dalam suatu cairan. Batasan koloid memberikan arti suatu partikel yang sangat kecil (1 nm). Partikel ini mula-mula dihasilkan dari proses polimerisasi. Partikel ini mungkin monomer, dimer atau oligomer (molekul berukuran sedang) di mana polimer atau makromolekul akan dibentuk. Proses pengikatan makromolekul-makromolekul untuk membentuk suatu jaringan tiga dimensi yang meliputi keseluruhan cairan adalah proses jelasi, dan zat yang terjadi disebut jel.

Proses sol-jel dimulai dengan seleksi bahan baku atau prekursor tertentu untuk dibuat koloid atau sol. Bahan baku dapat berasal dari senyawa anorganik seperti $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ atau senyawa organik seperti $\text{Al}(\text{OC}_4\text{H}_9)_3$ untuk aluminium oksida. Senyawa organik disebut alkoksida dan merupakan bahan baku utama yang akan didiskusikan dalam makalah ini. Perubahan dari sol menjadi gel menghasilkan suatu material viskoelastis. Sifat-sifat viskositas dan elastisitas menunjukkan kemampuan untuk membentuk serat yang disebut sifat spinabilitas (ketebalan dari film).

Proses terakhir adalah memindahkan pelarut atau mengeringkan jel. Pengerangan jel dengan cara penguapan di bawah kondisi normal menghasilkan xerojel. Pada keadaan lain aeroxel dihasilkan jika kondisi superkritik (di atas titik kritik) diterapkan. Aerojel mengandung kekosongan fraksi volum atau fraksi udara dan luas permukaan yang lebih besar sehingga sangat baik untuk reaksi katalis (Fricke, 1988: 172).

Ada 3 teknik untuk membentuk film jel dalam permukaan suatu substrat yaitu dimasukkan dalam sol (dipping), disemprot dengan sol (spraying) dan substrat diletakkan di atas suatu tempat kemudian diputar dan disemprot dengan sol (spinning) (Reed, J.S., 1989: 405). Selain dijadikan

film tipis, dapat pula dibentuk menjadi serat keramik yaitu dengan cara memintal sol menjadi suatu serat (fibers gel). Suatu contoh pembentukan serat dapat dilihat pada gambar 1, bahan dasar serat silika yaitu tetraetil ortosilikat (TEOS) dalam medium alkohol dan air dengan katalis asam klorida (Poza de Fernandes, Kang dan Mangonon, 1993: 49-53).



Gambar 1. Pembentukan serat gelas melalui proses sol-jel.

Proses sol-jel memiliki keistimewaan dan keuntungan dibandingkan proses yang lain dalam sintesis material antara lain:

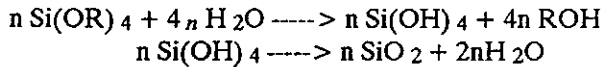
1. Menghasilkan material yang baik antara lain: gelas, keramik gelas, pelapisan material (coating), serat. Yang dimaksud material baik adalah stokkiometri tepat, lebih homogen, lebih murni, lebih terkontrol.
2. Memungkinkan dihasilkan material baru.
3. Temperatur pensinteran yang rendah sehingga lebih ekonomis untuk produk dalam skala kecil, tetapi untuk produk skala besar kurang cocok.
4. Proses sol-jel dapat diperbaiki dan disederhanakan.
5. Dapat membentuk material film tipis.

Aspek Kimia

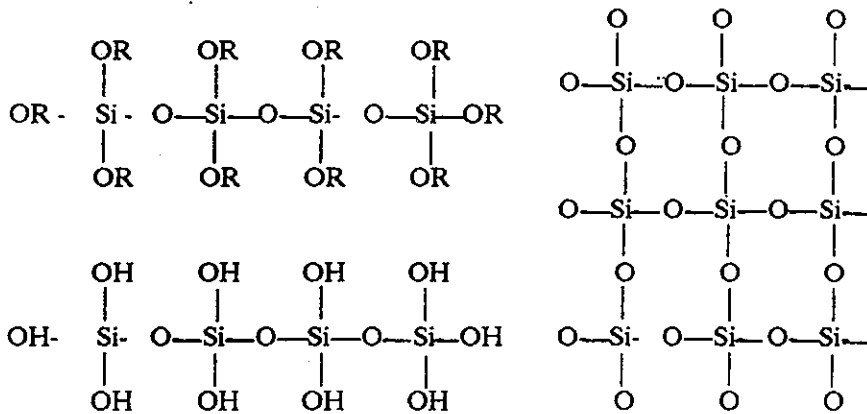
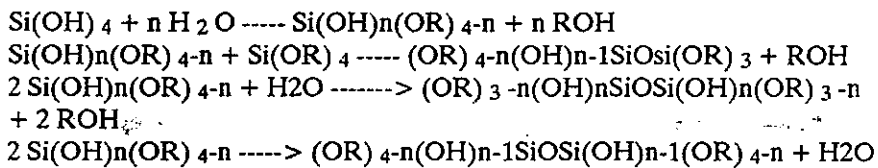
Jel-jel disintesis dengan cara hidrolisis alkoksida ($-OC_nH_{2n+1}$) atau ($-OR$), misalnya: silikon alkoksida, zirkonium alkoksida, aluminium alkoksida, titanium alkoksida. R adalah suatu radikal alkil, misalnya:

ethoksida, isoproksida dan butoksida. Selanjutnya diikuti reaksi polikondensasi (Reed, J.S., 1989: 53-54).

Reaksi hidrolisis diawali dengan katalis asam atau basa. Suatu contoh proses sol-jel yaitu hidrolisis dan polikondensasi dari silikon alkoksida ($\text{Si}(\text{OR})_4$), di mana R adalah radikal alkil. Secara singkat reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Yamane, Inoue dan Yasumuri, 1984: 13):



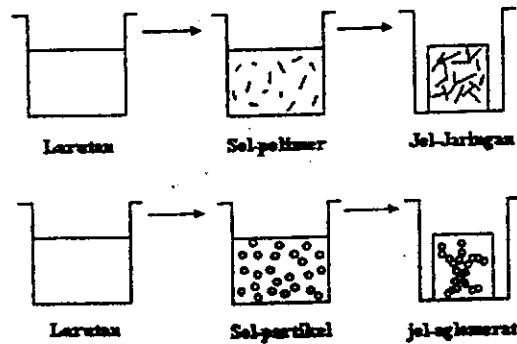
Reaksi di atas kenyataannya terjadi dalam larutan alkoholik pada alkoksida dan melalui reaksi yang kompleks. Reaksi yang terjadi dalam tahap permulaan pada transisi sol-jel adalah sebagai berikut:



Model Polimer dalam sol

Model partikel dalam sol

Gambar 2. Model molekul polimer dalam sol.



Gambar 3. Bentuk molekul dalam proses sol-jel.

Bentuk molekul dari hasil reaksi hidrolisis dan polikondensasi di atas terdiri dari 2 jenis yaitu jaringan polimer dan aglomerat, sedangkan model molekul dalam bentuk sol ada 2 macam yaitu model molekul polimer dan partikel, seperti tampak pada gambar 2 dan 3 di atas (Sakka, 1985: 1463).

Parameter yang mempengaruhi reaksi hidrolisis dan polikondensasi untuk membentuk jaringan polimer dipengaruhi oleh hal berikut:

- a. Kinetika reaksi hidrolisis dan polikondensasi yang ditentukan oleh:
 - Seleksi bahan awal (precursor) dan medium pelarut
 - Perbandingan air/alkoksida
 - Pemisahan molekul dengan penambahan air
 - Pengaruh katalis
 - Temperatur reaksi
- b. Urutan atau tingkat reaksi dalam sistem multi komponen
- c. Pengaruh setelah pencampuran:
 - Penggumpalan
 - Perlakuan panas (waktu, suhu dan keadaan udara).

Reaksi total dari reaksi hidrolisis dan polikondensasi di atas menunjukkan perbandingan mol (r) $H_2O/Si(OR)_4$ sebesar 2, secara teoritis cukup untuk berlangsungnya reaksi hidrolisis dan polikondensasi menghasilkan SiO_2 . Apabila kelebihan air ($r > 2$) atau kekurangan air ($r < 2$) reaksi berlangsung tidak sempurna.

Penambahan katalis pada reaksi di atas, menyebabkan reaksi berlangsung lebih mudah karena penghomogenan larutan oleh pelarut. Suatu contoh adalah air dan tetractil ortosilikat (TEOS) merupakan dua zat

yang tidak saling melarutkan, tetapi dengan penambahan etil alkohol mengakibatkan terjadinya larutan tunggal.

Sakka (1985: 1463-1466) menemukan komposisi dalam diagram terner air-alkohol-TEOS di mana serat, partikel atau film dapat dibentuk. Dengan menggunakan nilai r dari 1 sampai 2 dan konsentrasi HCl 0,01 M, maka akan dihasilkan jel yang dapat dipintal dalam wadah terbuka. Nilai r lebih besar dari 2 dengan digunakan katalis basa akan menghasilkan jel berbentuk bulat atau partikel berbentuk tipis pada viskositas ekuivalen. Akibat lebih lanjut adalah mirip dengan proses Stober yang meliputi hidrolisis TEOS dengan nilai r dari 20 sampai 50 dengan konsentrasi amoniak dari 1 sampai 7 M untuk menghasilkan partikel bulat dispersi tunggal. Reaksi dengan katalis asam pada nisbah $H_2O : Si(OR)_4$ rendah menghasilkan produk serat yang polimerat. Reaksi berkatalis basa dengan nisbah $H_2O : Si(OR)_4$ besar akan menghasilkan produk yang partikulat. Dalam pembatasan reaksi, penambahan air di bawah stoikiometri ($r \ll 2$) biasanya menyebabkan kondensasi ROH, sedangkan kondensasi H_2O akan terjadi pada $r \gg 2$.

Hasil penelitian yang dikerjakan oleh Pozo de Fernandez, Kang dan Mangonon (1993 : 49-53) didapatkan bahwa waktu pembentukan jel berkurang dengan semakin tingginya kandungan H_2O , pembentukan serat sebesar 10 Pa.s, dan nilai r optimum sebesar 1,6.

Aspek Fisik

Aspek fisik dari proses sol-jel berhubungan dengan bagaimana struktur produk akhir. Dalam proses perkembangan struktur, sifat reologi akan berubah. Struktur polimer tergantung pada fungsionalitas (f) dari monomer. Monomer bifungsional ($f=2$) akan menghasilkan rantai polimer linier. Apabila $f > 2$ kemungkinan dapat berikatan silang untuk membentuk struktur tiga dimensi.

Polimerisasi dari silikon alkoksida membentuk polimer kompleks bercabang disebabkan monomer $Si(OH)_4$ adalah tetrafungsional ($f=4$). Monomer dengan $f > 2$ akan membentuk ikatan pada keadaan random dan biasanya membentuk struktur massa frakta (mirip suatu kelompok polimer). Dalam campuran alkoksida-alkohol-air, kelarutan fasa padat terbatas, oleh karena itu reaksi kondensasinya adalah irreversibel dan berakibat ikatan random dan keadaan setimbang tidak terbentuk. Hal ini biasanya berperan pada pembentukan kelompok fraktal polimerat.

Struktur fraktal dibedakan oleh sinar hamburan bersudut kecil. Dalam teknik ini, radiasi (netron, cahaya, sinar x) mengenai sampel dan besarnya sudut tergantung pada intensitas sinar hamburan yang diukur. Suatu plot dari \log [intensitas pendar] versus \log [sudut] akan mempunyai bagian linier pada

sudut-sudut tertentu. Ketergantungan sifat reologi pada konsentrasi, berat molekul dapat digunakan untuk mendapatkan informasi struktur.

Pengukuran reologi secara kualitatif dan kuantitatif memberikan dua karakteristik dari jel. Secara kualitatif titik jel sering diidentifikasi pada saat larutan kehilangan fluiditas. Saat itu tidak ada aliran jel yang tampak ketika wadah dimiringkan. Titik jel dalam pengukuran kuantitatif sering diidentifikasi secara kasar dengan perubahan viskositas. Dua kriteria di atas tidak perlu sama. Pengukuran viskositas selama reaksi digunakan untuk identifikasi pada saat serat dan film terbentuk. Sakka dan Kamiya pada tahun 1982 (31-46) melaporkan bahwa serat-serat dapat dibentuk ketika viskositasnya berharga 1 - 100 Pa.s, sedangkan film tipis dibentuk ketika viskositasnya mencapai antara 1 - 10 Pa.s

Tahap terakhir adalah pengeringan jel. Pengeringan jel adalah proses penguapan fasa cair yang ada dalam celah-celah jel. Peristiwa yang mengiringi adalah penyusutan dan penguapan bertahap, pengembangan tekanan dan fragmenisasi.

Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan di atas dapat disimpulkan:

1. Aspek kimia dalam pembentukan sol atau jel menyangkut faktor yang mempengaruhi kinetika reaksi hidrolisis dan polikondensasi antara lain: perbandingan mol (r) air/alkoksida, pemilihan jenis prekursor, mekanisme reaksi adanya katalis, waktu jelasi dan temperatur.
2. Aspek fisik berhubungan dengan perkembangan produk akhir atau tahan akhir dalam sifat reologi. Pengukuran reologi secara kualitatif diidentifikasi saat larutan kehilangan fluiditas, secara kuantitatif diidentifikasi secara kasar dengan perubahan viskositas.

Daftar Pustaka

- Dislich, H., 1985, *Journal Non-Crystallin Solids*, No. 73, p. 599- 612.
- Fricke, J., 1988, *Journal Non-Crystallin Solids*, No. 100, p. 169- 173.
- Pozo de Firnandez, M.E., Kang. C. and Mangonon, P.L., 1993, *Chemical Engineering Progress*, September 1993.
- Reed, J.S., 1989, *Introduction of Principles of Ceramic Processing*, Singapore: John Wiley and Sons (SEA) Pte.Ltd.
- Sakka, S., 1985, *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 64, No. 11, p. 1463-1466.

Sakka, S. and Kamiya, K., 1982, *Journal Non-Crystallin Solids*, No. 48, p. 31-46.

Yamane, M., Inoue, S. and Yasumuri, A., 1984, *Journal Non-Crystallin Solids*, No. 63, p. 13021.

MEMANFAATKAN PENDIDIKAN MIPA DALAM ERA PASAR BEBAS ASEAN

**Oleh :
Suparwoto**

Abstrak

Globalisasi, transformasi, kemajuan IPTEKS dan komunikasi merupakan indikator yang banyak digunakan dalam era pasar bebas. Globalisasi informasi dan komunikasi memiliki dampak dalam hal perluasan cakupan arus perubahan IPTEK, sehingga akan mendorong perluasan wawasan manusia yang mampu melintasi wilayah suatu negara. Era pasar bebas Asean, merupakan sarana terjadinya transformasi berbagai aspek kehidupan manusia melalui kemajuan teknologi dan komunikasi dalam laju yang cepat dan selang waktu yang singkat. Globalisasi ini memiliki dampak nyata yang pada umumnya akan banyak mendorong perubahan kelembagaan, sistem tata nilai, perilaku, gaya hidup, struktur masyarakat dan sosial budaya. Perubahan tersebut mengarah pada satu pola, yakni menuju pada 'kesamaan' dengan menembus batas wilayah negara. Pendidikan MIPA sebagai salah satu komponen budaya bangsa bermanfaat dalam memberikan bekal kewaspadaan, dan tanggap terhadap arus globalisasi dunia yang bakal terjadi. Tujuannya agar manusia menyesuaikan diri dan sekaligus berkompetisi dalam mengolah alam lingkungannya dengan baik. Kesadaran, kesiagaan dan keberanian untuk berkompetisi dalam pasar bebas dapat dipupuk melalui penguasaan pendidikan MIPA yang tinggi.

Pendahuluan

Empat tahun mendatang telah memasuki Milenium baru, perubahan tidak hanya terjadi pada bilangan tahun, dasa warsa, dan abad tetapi terjadi pergantian masa dalam orde ribuan tahun. Pengalaman sejarah menunjukkan bahwa perubahan milenium ini membawa perubahan pada kecenderungan terjadinya tata dunia baru. Tanda awal terjadinya perubahan mendasar ini, ada tiga hal yang telah mulai dirasakan dari sekarang, yakni (1) mulai bergesernya kondisi masyarakat yang akan berubah ke arah pengembangan masyarakat informasi, (2) dalam aspek teknologi lebih banyak dipaksakan pada teknologi tingkat tinggi yang selalu menekankan efisiensi dan efektivitas, dan (3) tatanan ekonomi mendatang akan memiliki peran yang lebih dominan serta sangat berpengaruh terhadap seluruh aspek kehidupan manusia baik ideologi, politik, sosial budaya dan pertahanan keamanan.

Kecenderungan terjadinya pergeseran ke arah masyarakat informasi, ditandai dengan optimalisasi pemanfaatan gelombang elektromagnetik untuk kepentingan komunikasi. Misalnya berkembangnya teknologi komunikasi, informasi dan sibernetik akan banyak mendorong munculnya globalisasi komunikasi yang selanjutnya akan berdampak pada globalisasi