

PEMBUATAN MIKROMODEL UNTUK UJIAN ALIRAN MULTIFASA

Oleh:

Ahmad Kamal Idris
Azmi Mohd Arshad
Issham Ismail
Mohd. Rasid Misran

*Jabatan Kejuruteraan Petroleum
Universiti Teknologi Malaysia
Kuala Lumpur*

Kertas kerja ini disediakan untuk dibentangkan dalam seminar penyelidikan FKKKSA 1993, anjuran JKPP, FKKKSA, Universiti Teknologi Malaysia, yang diadakan di Hotel Federal, Kuala Lumpur, 23 -24 Jun 1993.

PEMBUATAN MIKROMODEL UNTUK UJIAN ALIRAN MULTIFASA

Abstrak

Aliran bendalir petroleum di dalam batuan reserbor merupakan proses yang kompleks kerana melibatkan berbilang fasa dan seringkali melibatkan pemindahan jisim. Walaupun batuan reserbor mungkin menjangkau kawasan sehingga ribuan meter persegi dan ketebalan yang beratus meter, pada hakikatnya ia terbentuk dari liang yang berukuran dari 1 - 100 mikron. Tingkahlaku aliran bendalir pada skala yang sangat kecil ini menentukan prestasi keseluruhan reserbor. Untuk itu kajian tentang tingkahlaku fasa dalam liang berkenaan perlu dilakukan.

Kertas kerja ini membincangkan kaedah merekabentuk dan membina mikromodel yang boleh digunakan untuk kajian aliran pada skala mikroskopik. Kajian ini membuktikan bahawa mikromodel kaca dengan saiz liang sekecil 20 mikron boleh dihasilkan. Mikromodel ini dibuat dengan menggunakan kaca cermin dengan teknik imej foto. Asid hidroflik digunakan untuk melorek kaca membentuk rangkaian liang. Masalah yang dihadapi dalam membina mikromodel juga turut dibincangkan.

Pendahuluan

Bahan petroleum iaitu minyak dan gas, dijumpai dalam batuan reserbor yang terdiri daripada batupasir atau batukapur. Berdasarkan kepada proses pembentukannya dan bahan yang membentuknya jelas batuan reserbor memiliki struktur liang yang sangat kompleks dan heterogen. Kerana sifat yang heterogen ini, kajian yang teliti dan menyeluruh perlu dilakukan. Seringkali keputusan yang berbeza akan diperolehi jika kaedah dan skala yang berlainan digunakan.

Berdasarkan kepada skala yang digunakan, penyelidikan dalam bidang kejuruteraan reserbor boleh dibahagikan kepada tiga skala utama iaitu skala megaskopik, makroskopik dan mikroskopik (Gambarajah 1).¹ Pada skala megaskopik, kajian meliputi saiz keseluruhan reserbor dengan menggunakan pendekatan penyelakuan reserbor. Untuk kajian ini, data daripada pengukuran sifat teras di makmal (skala makroskopik) diperlukan. Kajian makroskopik ini lebih bersifat "kotak hitam" kerana data masukan dan keluaran yang diperolehi tidak memberikan gambaran tentang proses fizik yang sebenarnya terjadi di dalam liang tersebut. Sebagai contoh, kajian ini tidak boleh memberikan jawapan kepada soalan seperti bagaimanakah agihan antara minyak, gas dan air pada berbagai ketepuan; bagaimanakah mekanisme pergerakan ketiga fasa tersebut; bagaimanakah minyak dan gas boleh terperangkap dan bagaimana minyak dan gas yang terperangkap ini boleh digerakkan semula untuk dikeluarkan di permukaan. Proses fizik ini perlu difahami baik pada skala mikroskopik mahupun makroskopik. Pernyataan matematik dan ramalan tingkah laku aliran perlu dibantu dengan pemerhatian secara langsung. Walaupun ini sukar atau tidak mungkin dilakukan dengan menggunakan media poros semulajadi (batuan reserbor), media poros buatan yang dibuat dari bahan lut sinar boleh dihasilkan.

Matlamat projek ini adalah untuk menjalankan penyelidikan yang berkaitan dengan tingkahlaku fasa air, minyak dan gas, pada skala mikroskopik. Ini hanya dapat dilakukan dengan cara menyediakan model rangkaian liang yang mewakili liang dalam batuan resebor. Model ini disebut mikromodel. Dalam kertas kerja ini, akan dibentangkan kerja awal yang melibatkan perekabentukan rangkaian liang dan pembinaan mikromodel. Mikromodel yang akan dibina adalah daripada bahan kaca dengan menggunakan proses pelorekan oleh asid hidroklorik.

Mikromodel

Mikromodel merupakan media poros buatan dua dimensi (2-D) yang mengandung liang atau rangkaian liang yang bersaiz kecil (20 - 1000 mikron). Mikromodel digunakan sebagai model media poros di mana kejadian pada skala mikroskopik boleh dipelajari. Mikromodel dihasilkan daripada bahan lut sinar seperti kaca^{2,3,4} atau bahan resin⁵ untuk membolehkan pemerhatian visual dilakukan. Rangkaian liang berbagai saiz yang terdiri daripada pori (pores) dan leleher (throats) direkabentuk untuk mewakili rangkaian liang dalam batuan. Nisbah ukuran pori terhadap leleher dikenal sebagai nisbah pori-leleher (pore-throat ratio) dan bilangan simpang untuk setiap pori disebut sebagai nombor koordinasi (coordination number).

Mikromodel boleh digunakan sebagai alat visual yang membolehkan pemerhatian mengenai proses penyesaran di dalam media poros atau untuk kajian kuantitatif mengenai ketepuan bendalir, ketertelapan relatif, angkali penyerakan dan kaitannya dengan parameter rangkaian. Di samping itu, ia boleh juga digunakan untuk kajian kuantitatif peristiwa tahap-pori (pore-level events) seperti mekanik ganglia minyak dan pemutusan-bendalir (snap-off) dalam aliran multifasa. Dalam kejuruteraan reserbor, mikromodel banyak digunakan dalam kajian perolehan minyak tertingkat (enhanced oil recovery - EOR) seperti kajian keterbasahan, aliran emulsi, kajian kesan tegangan antara permukaan, pengaruh graviti, banjir busa, banjir wap dan lain-lain lagi.^{1,6,7}

Pembinaan Mikromodel

Dalam kajian ini, kaca dipilih sebagai bahan untuk membuat mikromodel memandangkan ia mempunyai sifat kimia permukaan yang hampir menyamai permukaan batupasir.⁸ Sebagai contoh, kaca menunjukkan sifat basah-air seperti mana sifat permukaan batupasir. Kaca yang digunakan adalah kaca cermin.

Untuk membolehkan penyalinan corak rangkaian dari photomask kepada kaca, teknik imej foto digunakan. Untuk ini digunakan bahan "Kodak KPR photoresist" dan "photoresist developer". Setelah didedahkan kepada sinar lampau ungu bahagian photoresist yang terdedah akan terpolimer dan melekat pada permukaan kaca, sementara yang terlindung akan tanggal apabila dibasuh dengan asid nitrik. Untuk kerja melorek corak rangkaian pada kaca, asid hidroflorik (HF) digunakan.

Secara ringkasnya, proses pembuatan mikromodel kaca ini boleh dibahagikan kepada lapan tahap utama:-

1. Menyediakan foto rangkaian di atas filem negative litografik yang akan digunakan sebagai "photomask". Tiga contoh rangkaian liang yang telah dihasilkan adalah seperti dalam Gambarajah 2.
2. Menyaluti permukaan kaca dengan lapisan nipis bahan "Kodak KPR photoresist".
3. Memprojekkan rekabentuk rangkaian pada "photomask" ke atas lapisan "photoresist" dengan cahaya lampau ungu dan selanjutnya "memproses (develope)" bahagian yang terdedah dengan bahan "photoresist developer".
4. Membersihkan bahagian yang tidak terpolimer (yang tidak terdedah kepada sinar lampau ungu).

5. Melorekkan rekabentuk rangkaian pada kaca dengan menggunakan asid hidroflorik.
6. Menggerudi saluran masuk dan saluran keluar pada model.
7. Mengkedap model dengan kepingan kaca penutup dengan cara memanaskan model tersebut di dalam relau.
8. Memasang saluran tetiub dan mengkedapnya dengan menggunakan gam epoksi.

Urutan rangkaian langkah penyediaan mikromodel yang lebih lengkap digambarkan dalam Gambarajah 3. Mikromodel yang telah siap boleh digunakan untuk ujian aliran. Untuk tujuan pemerhatian, bendalir yang digunakan diwarnakan dengan menggunakan pewarna tertentu.

Hasil dan Perbincangan

Kajian ini telah berjaya menghasilkan beberapa buah mikromodel dengan corak jaringan yang telah disediakan. Gambarajah 4 menunjukkan beberapa contoh gambar foto mikroskop yang menunjukkan agihan atau taburan air dan minyak di dalam mikromodel A pada skala yang berlainan.

Dalam menyediakan mikromodel kaca, banyak langkah yang perlu dikenalpasti dan ini melibatkan banyak kerja 'trial and error'. Ini disebabkan banyak perkara yang tidak pasti dan di luar kawalan. Satu daripada perkara yang sukar dikawal adalah mutu kaca cermin yang digunakan. Ini termasuk kesukaran untuk mendapatkan cermin dengan lapisan perak yang betul-betul rata dan baik. Lapisan perak ini diperlukan untuk bahan photoresist melekat dengan sempurna pada kaca. Cermin dengan lapisan perak yang berlubang-lubang akan menghasilkan mikromodel yang tidak sempurna.

Satu lagi langkah yang kritikal adalah semasa pencelupan kaca ke dalam asid nitrik. Lama masa pencelupan bergantung kepada kepekatan asid dan juga lama masa kaca (bahan photoresist) didedahkan kepada cahaya lampau ungu. Biasanya masa rendaman ini hanya beberapa saat dan keterampilan yang tinggi diperlukan.

Langkah lain yang juga sukar dikawal adalah masa pelorekan kaca oleh asid HF. Bergantung kepada mutu kaca dan kepekatan asid yang digunakan, masa rendaman ini juga hanya dapat ditentukan dengan cara "trial and error". Dalam kajian ini didapati masa rendaman sekitar 20 minit adalah mencukupi.

Langkah lain yang memerlukan ketelitian adalah kerja memanaskan kaca di dalam relau semasa proses melekatkan lapisan penutup. Suhu yang sesuai dan tempoh yang tepat perlu dicari. Suhu yang terlalu tinggi menyebabkan kaca terlalu lembut dan bengkok. Jika suhu tidak mencukupi kaca penutup tidak akan melekat dan mengkedap mikromodel. Dalam kajian ini, suhu yang sesuai diperolehi ialah 720°C dengan masa pemanasan selama 20 minit.

Walaupun pada prinsipnya tidak ada had saiz liang yang boleh dihasilkan, pengalaman menunjukkan adalah sukar untuk mendapatkan liang yang baik jika saiz garis adalah kurang dari 20 mikron.

Kesimpulan

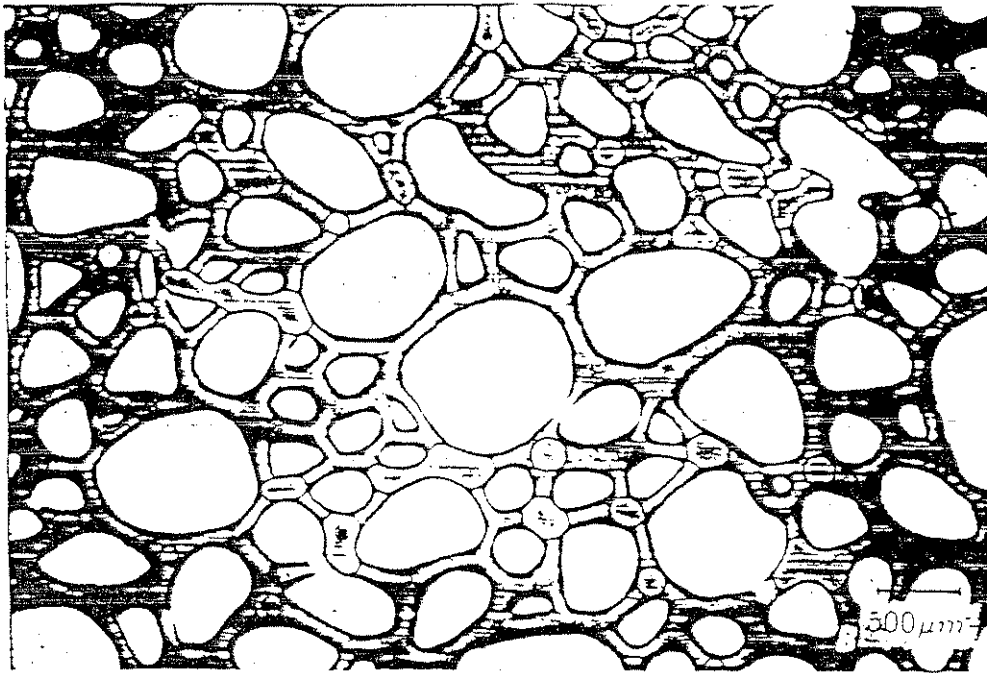
1. Mikromodel kaca, sebagai media poros buatan, dengan saiz liang sekitar 20 mikron atau lebih boleh dihasilkan dengan menggunakan teknik imej foto dan pelorekan oleh asid HF.
2. Untuk ukuran kurang dari 20 mikron sukar untuk mendapatkan liang yang baik dan licin.
3. Pembinaan mikromodel memerlukan keterampilan dan ketelitian yang tinggi.
4. Selain dari keterampilan yang tinggi, faktor lain yang juga menentukan kejayaan membina mikromodel adalah mutu bahan kaca cermin, ketebalan dan keseragaman lapisan photoresist, mutu dan kepekatan asid nitrik dan asid hidroflorik, lama masa dedahan kepada cahaya lampau ungu dan lama masa celupan dalam asid nitrik.

Penghargaan

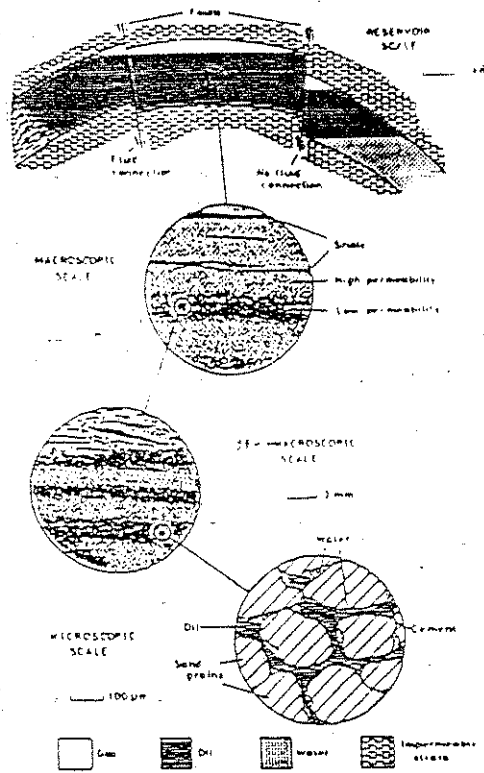
Kami berterima kasih kepada para juruteknik Makmal Analisis Bendalir Jabatan Kejuruteraan Petroleum, Sdra. Abu Samah Nasir dan Sdra. Osman Adon serta Sdra. Arshad Abu Hassan dari Makmal Geologi, yang turut membantu kerja penyelidikan ini. Juga kepada pihak UPP, UTM yang membiayai projek ini.

Rujukan

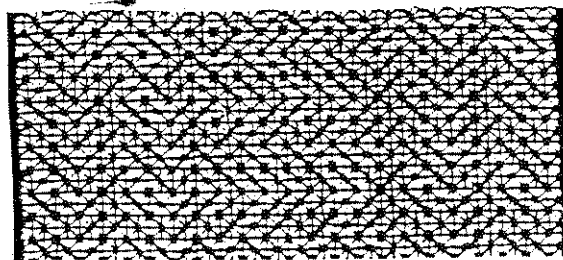
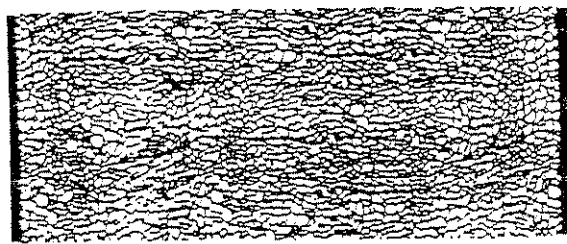
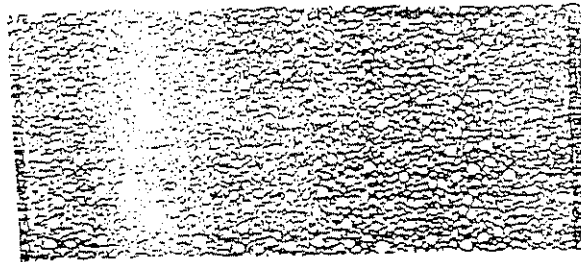
1. Dawe R. A.: "Reservoir Physics at The Pore Scale," Commemoration Volume of Seventy-Five Years of Oil Field Science and Technology at RSM (ed. M. Ala), Imperial College, Science and Technology, University of London, 1990.
2. McKellar, M. dan Wardlaw, N.C.: "A Method of Making Two-Dimensional Micromodels of Pore Systems," J. Can. Pet. Tech. 21 (4), 1982, 39-41.
3. Egbogah, E.O. dan Dawe, R.A.: Microvisual Studies of Size Distribution of Oil Droplets in Porous Media, Bull. Can. Pet. Geol., v. 28, June 1980, 200 -210.
4. Mattax, C.C. dan Kyte, J.R.: "Ever See Water Flood," Oil and Gas Journal, 59, Oct. 16 1961, 115-128.
5. Mahers, E.G. dan Dawe, R.A.: "Visualization of Microscopic Displacement Processes Within Porous Media in EOR - Capillary Pressure Effects." paper presented at the 3rd European Symposium on EOR, Rome, Italy, April 16 -18, 1985.
6. Idris, A.K.: "Some Effects of Wettability and Fluid Properties on Immiscible Displacement in Porous Media," Tesis Ph.D, Imperial College, Science and Technology, Univ. Of London, 1990.
7. Davis, J.A. Jr., dan Jones S.C.: "Displacement Mechanism of Micellar Solutions," J. Pet. Tech., Dec. 1968, 1415-1428.
8. Dawe, R. A., Mahers, E.G. dan Williams, J.K.: "Pore Scale Physical Modeling of Transport Phenomena in Porous Media," in Advances in Transport Phenomena in Porous Media, (ed. J. Bear and M.Y. Corapcioglu,) 1987, 48-76.



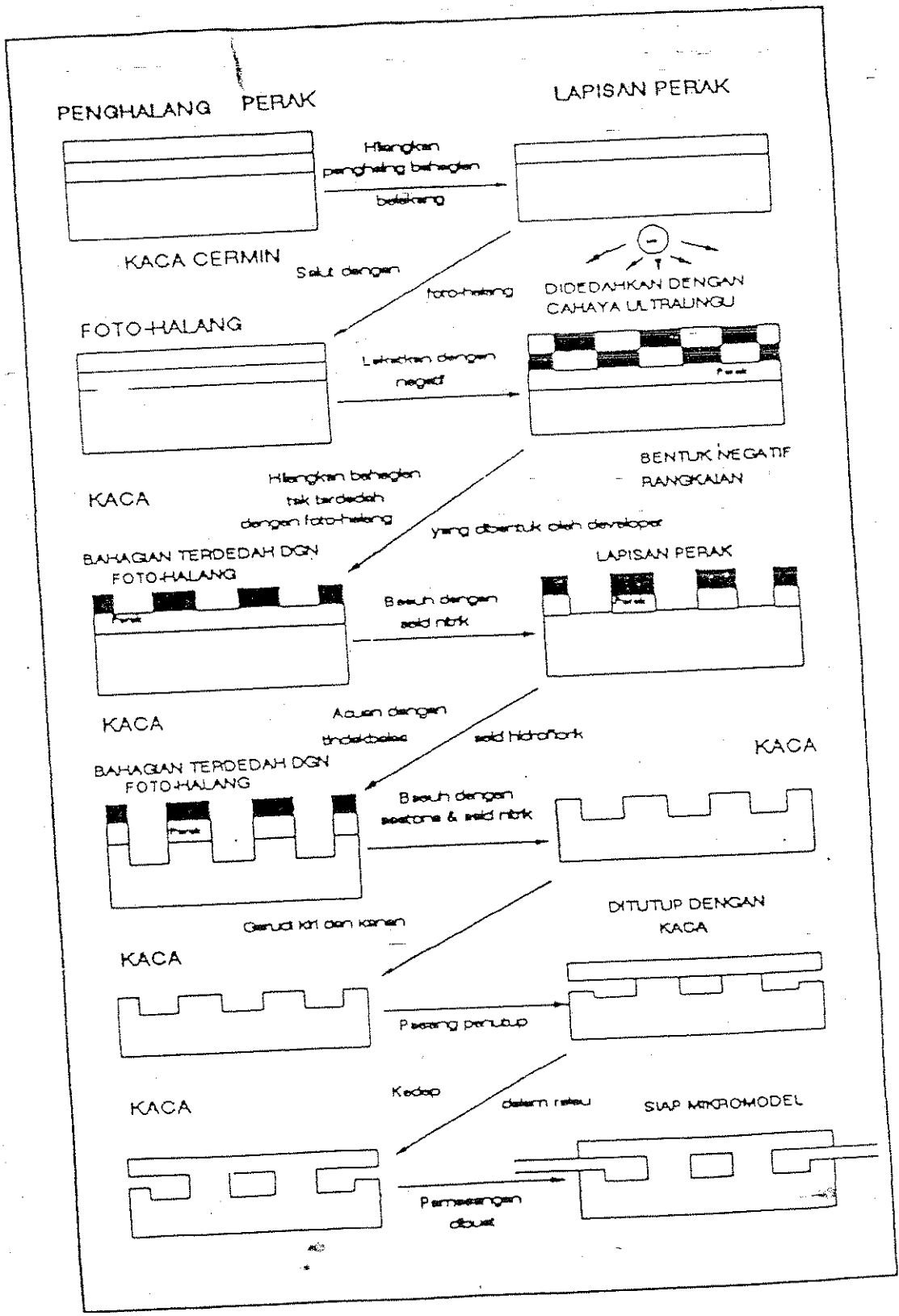
Gambarajah 4 :
Contoh Gambarfoto Menunjukkan Agihan Air
Dan Minyak (A) Dan Air Minyak Dan Gas (B)
Dalam Mikromodel Kaca



Gambarajah 1 :
Menunjukkan Tiga Skala Didalam Kajian Reserbor Petroleum



Gambarajah 2 :
Menunjukkan Tiga Jenis Corak Rangkaian Mikromodel Yang Telah Direka



Gambarajah 3 :
 Urutan Langkah Dalam Penyediaan Mikromodel Kaca