

REKAYASA

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**Pengaruh Lubang Angin (*Outlet Vent*) dan
Tekanan Input Terhadap Kualitas Cetakan pada
*Proses Injection Molding***

**IR. H. USMAN HARAHAH, MT.
DRS. DADAN RAMDAN, MENG., MSC.**

**Dibiayai Oleh :
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional
Surat Keputusan Koordinator Perguruan Tinggi Swasta Wil. I
Nomor: 021/K1.2.2/KL/2013**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA
DESEMBER 2013**

elitian
13

REKAYASA

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**Pengaruh Lubang Angin (*Outlet Vent*) dan
Tekanan Input Terhadap Kualitas Cetakan pada
*Proses Injection Molding***

**IR. H. USMAN HARAHAHAP, MT.
DRS. DADAN RAMDAN, MENG., MSC.**

**Dibiayai Oleh :
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional
Surat Keputusan Koordinator Perguruan Tinggi Swasta Wil. I
Nomor: 021/K1.2.2/KL/2013**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA
DESEMBER 2013**

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN HIBAH BERSAING

Judul Kegiatan : Pengaruh Lubang Angin (outlet vent) dan Tekanan Input Terhadap Kualitas Cetakan pada Proses Injection Molding

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 432 / Teknik Produksi (dan Atau Manufaktur)

Ketua Peneliti

A. Nama Lengkap : Ir, USMAN HARAHAH MT.

B. NIDN : 0015025102

C. Jabatan Fungsional : Lektor

D. Program Studi : Teknik Elektro

E. Nomor HP : 081361391663

F. Surel (e-mail) : usmanharahap@uma.ac.id

Anggota Peneliti (1)

A. Nama Lengkap : DRS DADAN RAMDAN M.Eng

B. NIDN : 0005026401

C. Perguruan Tinggi : Universitas Medan Area

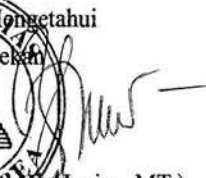
Lama Penelitian Keseluruhan : 2 Tahun

Penelitian Tahun ke : 1

Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp 140.000.000,00

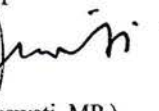
Biaya Tahun Berjalan :

- diusulkan ke DIKTI	Rp 70.000.000,00
- dana internal PT	Rp 0,00
- dana institusi lain	Rp 0,00
- inkind sebutkan	

Mengetahui,
Dekan,

(Haniza, MT.)
NIP/NIK 196101311987031002

Medan, 2 - 12 - 2013,
Ketua Peneliti,


(Ir, USMAN HARAHAH MT.)
NIP/NIK

Menyetujui,
Ketua UPAM

(Dr. dr. Suswati, MP.)
NIP/NIK 196505251989032002
L P 2 M

Judul Penelitian : Pengaruh lubang angin (*outlet vent*) dan tekanan input terhadap kualitas cetakan pada proses *injection molding*

Bidang Penelitian : Rekayasa

Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Ir. H. Usman Harahap, MT.
- b. NIP/NIK : 19510215 198703 1 003
- c. NIDN : 0015025102
- d. Jabatan Fungsional : Lektor
- e. Jabatan Struktural : Ka. PRODI
- f. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro
- g. Pusat Penelitian : LP2M Universitas Medan Area
- h. Alamat Institusi : Jalan Kolam No. 1 Medan Estate, Medan, 20371
- i. Telepon/Faks/E-mail : 061-7357771/061-7366998/usmanharahap@uma.ac.id
- j. Tim Peneliti

No.	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1.	Ir. H. Usman Harahap, MT.	Teknik Tenaga Listrik	Teknik/T.Elektro	Universitas Medan Area
2.	Dr. Dadan Ramdan, MEng., MSc.	Teknik Kendali	Teknik/T.Mesin	Universitas Medan Area


k. Pendanaan dan jangka waktu penelitian


- a. Jangka Waktu Penelitian yang diusulkan : 2 tahun
- b. Biaya total yang diusulkan : 140.000.000,-
- c. Biaya yang disetujui tahun I : 70.000.000,-

Medan, 2 Desember 2013

Mengetahui,
Dekan,

Ir. Hj. Haniza, MT.
NIP. 19610131 198703 1 002

Ketua Peneliti,

Ir. H. Usman Harahap, MT.
NIP. 19510215 198703 1 003

Menyetujui,
Ketua LP2M UMA

Ir. Suswati, MP.
NIP. 19650525 198903 2 002

Ringkasan

Pada perkembangan penelitian ini menganalisa pengaruh dari bentuk dan ukuran lubang angin pada udara terperangkap dan distribusi tekanan dalam suatu bentuk cetakan sederhana selama proses injection molding. Model tiga dimensi sederhana cetakan dirancang dengan menggunakan program GAMBIT dan dianalisa menggunakan program FLUENT. Dalam proses pencetakan perilaku fluida cair dihitung dengan menggunakan model viskositas Castro-Macosko dengan menganggap pengaruh proses pembekuan dan teknik volume fluida diterapkan untuk menghitung aliran permukaan fluida. Model fiskositas ditulis dengan menggunakan bahasa C dan dikompail menggunakan UDF pada program FLUENT. Tiga type ukuran lubang angin yang berbeda dipakai untuk menganalisa dalam kasus ini yang disebut Tipe 1, Tipe 2 dan Tipe 3. Tipe 1 yang memiliki luas paling kecil menunjukkan udara terperangkap terendah dan distribusi tekanan rata-rata tertinggi. Kemudian, untuk viskositas fluida meningkat dua kali mengakibatkan udara terperangkap meningkat delakan kali lebih besar.

Summary

The current research analyzes the effect of outlet vent arrangements on the air traps and pressure distribution of a simple package during injection molding process. A three-dimensional model of simple package is created using GAMBIT and analyzed using FLUENT code. In the molding process, the epoxy molding compound flow behavior calculated using the Castro-Macosko viscosity model by considering the curing effect, and the volume of fluid technique are applied for flow front tracking. The viscosity model is written in C language and compiled using User-Defined Function (UDF) in FLUENT code. Three different types of outlet vent arrangement are considered in the analysis, namely, Type 1, Type 2, and Type 3. Type 1, which has the minimum outlet vent area, shows the minimum air trap and the highest average pressure distribution.

PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur penulis sampaikan kepada Allah swt yang telah memberikan petunjuk, kesehatan dan kemampuan sehingga penelitian tahap pertama ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini merupakan upaya untuk memberikan kontribusi kepada pembangunan dalam rangka meningkatkan kualitas hasil cetakan pada proses *injection molding*.

Penulis sangat berharap jika hasil penelitian ini dapat diterapkan pada masyarakat yang memerlukannya, karena sampai saat ini di Kota Medan masih banyak yang belum menerapkan teknologi ini.

Namun demikian penulis juga berharap adanya masukan dan saran-saran untuk kesempurnaan penelitian ini dari pembaca yang budiman dan saya ucapkan banyak terima kasih.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kepada kelancaran penelitian ini terutama kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional melalui KOPERTIS WILAYAH I Medan dan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Medan Area yang telah membantu dalam proses pelaksanaan penelitian ini.

Medan, Desember 2013

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan

A. LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN

Ringkasan dan Summary	i
Prakata	ii
Daftar Isi	iii
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Urgensi Penelitian	2
1.3 Inovasi	3
Bab II Tinjauan Pustaka	4
Bab III Tujuan dan Manfaat Penelitian	7
3.1 Tujuan Penelitian	7
3.2 Manfaat Penelitian	8
Bab IV Metoda Penelitian	9
4.1 Simulasi Numerik	10
4.1.1 Model Simulasi dan Kondisi Awal	10
4.1.2 Proses Simulasi CFD	12
4.1.3 Metode Diskritisasi CFD	12
4.1.4 Langkah Penyelesaian Masalah	13
4.2 Alat Eksperimen	13
4.3 Langkah-langkah Penelitian	14
Bab V Hasil Penelitian dan Pembahasan	15
5.1 Hasil Penelitian	15
5.1.1 Validasi	15
5.1.2 Data Hasil Penelitian	17
5.2 Pembahasan	19
5.2.1 Aliran Fluida dan Distribusi Tekanan	19
5.2.2 Udara Terperangkap	23
Bab VI Kesimpulan dan Saran	26

6.1 Kesimpulan	26
6.2 Saran	26
Daftar Pustaka	28
Lampiran	30
B. ROADMAP PENELITIAN	
C. ARTIKEL YANG TELAH DIPUBLIKASIKAN	
D. ARTIKEL YANG TELAH DISEMINARKAN	
E. SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Upaya melakukan pemberdayaan masyarakat dan seluruh kekuatan ekonomi nasional termasuk terhadap industri kecil dan menengah (IKM) pengecoran logam memerlukan keberpihakan dari pemerintah. Keberpihakan ini disamping untuk meredam kegagalan pasar (market failures) juga diperlukan dalam upaya mengurangi keterpurukan akibat krisis ekonomi yang berkepanjangan. Industri kecil dan menengah (IKM) pengecoran logam di Ceper adalah contoh kasus, yang dalam batas-batas tertentu memerlukan keberpihakan tersebut.

Berdasarkan 'Klaten Dalam Angka 1998' bahwa jumlah IKM pengecoran logam sebanyak 332, namun dengan adanya krisis ekonomi, diduga yang masih survive sekitar 30%. Meskipun ada penurunan yang cukup tajam, IKM pengecoran logam di Ceper ini masih berpeluang untuk meraih potensi pasar komponen pengecoran logam, hanya persoalannya antara lain adalah diperlukan adanya sentuhan teknologi yang inovatif sehingga kualitas produknya memiliki daya saing yang tinggi. Oleh karena itu intervensi pemerintah melalui berbagai kebijakan diperlukan untuk mendorong IKM pengecoran logam Ceper mau mengadopsi atau mendifusikan hasil inovasi teknologi (Ugay Sugarmansyah dkk., 2003).

Hal utama yang harus diperhatikan pada proses pengecoran dengan teknologi yang berinovasi tinggi atau otomatis pada sistem *injection molding* adalah : 1) Mampu memasukkan logam cair ke dalam cetakan pada volume yang tepat; 2) Mampu menuangkan logam cair sampai level volume yang tepat tanpa ada logam cair yang tumpah atau tanpa terjadi percikan, karena bila hal ini terjadi maka akan ada pemborosan bahan dan berbahaya bagi operatornya; 3) Mampu menggunakan waktu proses yang diperlukan selama proses pencetakan sesingkat mungkin, sebab hal ini akan dipengaruhi oleh temperatur dari logam cair yang digunakan (Kazuhiko Terashima dkk., 2000)

Kemudian, oleh karena proses pengecoran logam sangat berbahaya bagi kesehatan dan keselamatan operatornya yang diakibatkan oleh asap, panas dan gas yang ditimbulkannya, maka merealisasikan sistem pengecoran yang memiliki teknologi yang berinovasi tinggi atau otomatis sangat diperlukan.

1.2 Urgensi Penelitian

IKM pengecoran logam Ceper merupakan aset negara yang peranannya relatif cukup besar dalam menghasilkan produk besi cor Indonesia. Namun teknologi pengecoran logam di Ceper yang sebagian besar memakai teknologi tungkik menghasilkan kualitas produk coran yang relatif rendah dan kurang efisien, sehingga produk yang dihasilkan akan sulit bersaing dengan produk dari luar negeri terutama dalam menjelang pasar bebas. Padahal IKM pengecoran di Ceper ini masih berpeluang untuk meraih potensi pasar komponen pengecoran logam, hanya persoalannya antara lain adalah diperlukan adanya sentuhan teknologi yang inovatif sehingga kualitas produknya memiliki daya saing yang tinggi (Ugay Sugarmansyah dkk., 2003).

Oleh karena di Indonesia pada umumnya dan di Medan pada khususnya, industri yang menggunakan proses pengecoran belum banyak menggunakan sistem teknologi yang berinovasi tinggi misalnya yang otomatis, maka penelitian ini sangat diperlukan, terutama nanti apabila sudah diterapkan pada IKM akan menghasilkan kualitas produk yang lebih baik.

Untuk menghasilkan produk cetakan yang dapat bersaing dengan dunia luar, maka diperlukan suatu sistem pengecoran yang berkualitas. Berkualitas dalam hal ini adalah sistem yang bekerja dapat dilakukan secara otomatis sehingga dapat melakukan proses pengecoran dengan presisi dan akurasi yang tinggi sehingga tidak muncul gangguan baik dari luar maupun dari sistem itu sendiri.

Kemudian, apabila hasil produksinya sudah dapat diterima di pasar global, maka tentu harga jual akan semakin bersaing sehingga keuntungan yang diperoleh IKM atau perusahaan semakin besar. Dengan demikian diharapkan industri pengecoran di Indonesia akan dapat diterima di pasar global untuk meningkatkan daya saing bangsa di masa depan.

Selain hal di atas dari sisi teknologi inovasi, paling tidak ada beberapa elemen penting yang perlu dipertimbangkan di dalam mendifusikan teknologi tersebut yaitu (1) inovasi teknologi yang didifusikan harus memberikan manfaat bagi *adopters* baik secara teknis maupun ekonomis (*relative advantage*), kemudian juga dilihat dari aspek *compatibility*, *complexity*, *trialability*, dan *observability*; (2) bagaimana inovasi tersebut dikomunikasikan; (3) difusi inovasi teknologi memerlukan waktu yang relatif beragam dan ;(4) harus mempertimbangkan sistem sosial yang ada (Ugay Sugarmansyah dkk., 2003).

Model dan kendali tekanan input fluida cair (liquid) melalui simulasi komputer yang dirancang dapat juga digunakan sebagai alat untuk mengkomunikasikan teknologi yang inovatif kepada para operator yang bertugas di Industri Pengecoran. Dalam segi ilmiah, penelitian ini sangat memungkinkan untuk menghasilkan beberapa paper yang dapat diterbitkan pada jurnal nasional maupun internasional.

Penelitian ini diharapkan akan menjadi acuan perancangan model sistem pengecoran otomatis dan sekaligus menjadi alat untuk menganalisa perilaku zat cair pada proses pengecoran (*Injection molding*). Sehingga penelitian akan mudah dilakukan dengan biaya yang rendah karena cukup dilakukan di laboratorium.

1.3 Inovasi

Dari pemaparan di atas, maka penelitian ini mengambil perumusan masalah sebagai berikut: **Apakah perubahan besar tekanan input atau gaya dorong gerak piston pada silinder serta merubah besar dan posisi lubang angin (*outlet vent*) pada cetakan (dalam proses *injection molding*) dapat mengurangi atau menghilangkan udara terperangkap (*airtrap*) serta luka cetakan (*void*) pada permukaan hasil cetakan?**

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dadan RAMDAN (2007, 2008), telah membuat model dan simulasi komputer untuk perilaku fluida pada tungku pada proses pengecoran untuk penuangan model putar (tilting-type). Paper ini dapat menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen yang signifikan. Perilaku fluida dianalisa dengan menggunakan metoda SOLA-MAC dan model pendulum. Pertama dilakukan analisa perilaku permukaan fluida pada saat tungku putar balik, lalu hasilnya dibandingkan antara kedua model tersebut.

K. Terashima dkk. (2001) telah menganalisa gelombang permukaan dan merancang sistem kontrol untuk menghilangkan gelombang permukaan pada mesin pengecoran logam otomatis model tilting-type. Paper ini membahas kendali dua derajat kebebasan yaitu mengendalikan besar sudut putar balik dan sekaligus mengatur kecepatannya sehingga gelombang permukaannya dapat diredam. Pengendaliannya menggunakan kompensasi umpan balik dan input shaping. Kazuhiko TERASHIMA dkk. (1999, 1997) juga telah membahas Model dan sistem kendali vibrasi permukaan zat cair pada sistem pengecoran otomatis untuk model tilting-type. Pada penelitian ini suatu rancangan optimal dengan menghilangkan gelombang permukaan pada kendali kontainer bergerak yang berisi fluida cair dengan model simulasi komputer dinamika fluida telah ditunjukkan.

Dengan model yang berbeda, Michael F. Burditt, Paul M. Bralower (1989) dan W. Lindsay (1983) dalam papernya membahas kualitas produk yang dihasilkan oleh sistem pengecoran yang dikendalikan secara otomatis.

K. Terashima dkk. (2005) telah membahas tentang model dan control robust untuk mengatur ketinggian permukaan liquid pada suatu cetakan untuk bentuk baskom pada proses pengecoran logam. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk memperoleh metode agar menghasilkan ketinggian permukaan liquid pada cetakan yang tetap setiap dilakukan penuangan pada proses pengecoran logam model baskom. Pada penelitian ini digunakan model robot pengecoran otomatis tipe tilting. Suatu sistem kontrol dua derajat kebebasan digunakan untuk mengendalikan ketinggian permukaan liquid. Pada paper ini juga ditunjukkan suatu urutan model yang sesuai untuk setiap bagian pada proses pengecoran logam. Selanjutnya model input feedforward juga digunakan untuk merealisasikan pengendali ketinggian permukaan liquidnya (level control). Untuk

mempertahankan performansi model digunakan kendali umpan balik robust dengan menggunakan teori kendali H tak hingga. Untuk menguji validitas sistem kontrol yang diusulkan telah ditunjukkan melalui hasil simulasi dan eksperimen.

Y.Noda dkk. (2003) telah melakukan penelitian tentang pendeteksian dan kendali lintasan untuk objek yang sistem geraknya tidak diketahui dengan tujuan untuk meredam gelombang permukaan pada proses pengecoran logam.

Penelitian ini mengambil fokus pada pendeteksian otomatis dan kendali lintasan untuk gerakan memperoleh target yang posisinya tidak diketahui, juga kendali untuk meredam gelombang permukaan pada suatu lintasan objek. Kendali lintasan untuk target objek tersebut dengan mengeksekusi gelombang permukaan melalui kendali peredaman telah di rekomendasikan sebagai pengembangan awal untuk suatu tipe robot pengecoran otomatis yang dapat bekerja secara otomatis pada industri pengecoran.

Pada penelitian ini juga telah dilakukan pengamatan target objek, kemudian suatu sensor laser telah digunakan untuk mengukur posisi lintasan objek dan perbedaan antara target dan lintasan objek telah di estimasi. Berdasarkan informasi ini, referensi jalan lintasannya untuk mengendalikan lintasan diberikan berdasarkan peredaman gelombang permukaan. 2-DOF (degree of freedom) sistem dengan menggunakan suatu pengendali feedforward model inverse untuk lintasan objek telah ditunjukkan. Kendali gelombang permukaan pada lintasan objek ditunjukkan dengan merancang pengendali umpan balik melalui pendekatan bentuk hibrida. Keefektifan sistem kendali yang diusulkan ditunjukkan melalui percobaan pada sistem transfer container zat cair.

E. Tabatabaei (1998), pada papernya yang berjudul Pengecoran Otomatis untuk Logam Cair dengan Menggunakan Sistem Kendali Pengamatan Real Time telah melakukan penelitian yang memfokuskan pada pengamatan logam cair dalam sprue cup dengan menggunakan kamera digital. Penelitian ini juga telah membandingkan hasil penggunaan Laser dan Sinar-X di dalam pengukuran tanpa menyentuh objek yang ditangkap dengan kamera, lensa dan elektronik pemroses citra.

D. Ramdan (2012) telah menganalisa perilaku fluida cair dalam IC pada proses enkapsulasi dengan menggunakan model Castro Macosko.

Pada penelitian ini dilakukan analisa perilaku aliran fluida cair pada proses injection molding dengan tiga model cetakan yang memiliki perbedaan besar dan posisi lubang angin (*outlet v ent*). Simulasi komputer dilakukan dengan menggunakan dua model aliran yaitu Cross model dan Castro Macosko model serta tiga nilai input tekanan yang berbeda yakni 72 kPa, 113 kPa dan 161 kPa. Analisa fluida dilakukan dengan

menggunakan sistem *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Model tiga dimensi dikembangkan dengan menggunakan VOF (*Volume of Fluid*) model.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa pengaruh lubang angin (outlet vent) pada cetakan dan tekanan input injeksi fluida terhadap kualitas cetakan pada proses injection molding.

Untuk merealisasikan maksud di atas, maka diperlukan upaya agar perilaku logam cair (liquid) pada saat dilakukan injeksi dan pencetakan selama proses dapat diketahui. Hal ini dapat dicapai dengan merancang model dan kendali tekanan input liquid sistem *injection molding* melalui komputer terutama analisa bentuk dan besar *void* permukaan serta aliran lelehan selama proses pencetakan, sebab untuk mengetahui perilaku permukaan liquid (*flow front*) di dalam cetakan pada proses pengecoran logam melalui analisa komputer dapat diamati dengan mudah (Kazuhiko Terashima dkk., 2001). Oleh karena itu biaya dan waktu percobaan di lapangan dapat dikurangi, juga operator dapat memahami lebih mudah untuk mengenal proses pengecoran.

Dengan proses numerik yang dilakukan komputer, analisa akan mudah dilakukan, begitu juga visualisasi perilaku permukaan liquid dapat ditunjukkan dengan interaktif.

Selain hal di atas, penelitian ini juga berusaha agar diperoleh suatu model matematik yang tepat dari perilaku liquid (logam cair) pada proses pencetakan logam. Hal ini sangat diperlukan untuk upaya proses pengendalian secara otomatis dengan tujuan agar *air trap* (udara terperangkap) atau *void* (kecacatan cetakan) pada hasil cetakan dapat dikurangi atau dihilangkan ketika proses injeksi dan pembekuan berlangsung setelah proses berakhir.

Air trap dan *void* ini akan sangat berpengaruh terhadap kualitas dan hasil pengecoran karena akan menimbulkan proses *finishing* yang lama.

Telah banyak peneliti yang melakukan upaya di atas namun pengendalian untuk mengurangi *void* atau *air trap* di dalam hasil cetakan dengan pengaturan gerak putar motor yang menentukan tekanan penghisap pada silinder belum banyak dilakukan para peneliti. Hal ini diperlukan motor yang memiliki torsi yang sangat besar, sehingga energi yang diperlukan juga cukup besar (Kazuhiko Terashima dkk., 1999, 1997).

Pada penelitian ini akan diupayakan proses pengendalian untuk mengurangi atau menghilangkan *air trap* atau *void* yang terdapat pada hasil cetakan melalui pengaturan

tekanan input fluida cair serta merubah bentuk dan besar lubang angin (outlet vent). Hal ini diharapkan akan diperoleh hasil penurunan udara terperangkap dengan hasil cetakan yang lebih baik serta dapat mengurangi konsumsi energi dengan membutuhkan waktu proses sesingkat mungkin.

Untuk menghasilkan produk hasil cetakan yang dapat bersaing dengan dunia luar, maka diperlukan suatu sistem pencetakan yang berkualitas. Berkualitas dalam hal ini adalah sistem yang bekerja dapat dilakukan secara otomatis sehingga dapat melakukan proses pencetakan (injeksi) dengan presisi dan akurasi yang tinggi sehingga tidak terjadi gangguan, baik dari luar maupun dari sistem itu sendiri, dengan demikian diperoleh hasil cetakan yang sesuai dengan yang diharapkan yaitu tidak terdapat porositas (void) dan bentuk sesuai cetakan.

3.2 Manfaat Penelitian

Setelah dilakukan analisa melalui simulasi komputer dan diterapkan pada kasus yang sebenarnya, maka manfaat yang akan dirasakan dari penelitian ini adalah para teknisi atau desainer cetakan akan lebih mudah memahami perilaku logam cair (liquid) yang mengalir melalui cetakan, serta parameter yang digunakan dapat dijadikan acuan sebagai referensi jika akan mengembangkan atau mendesain cetakan baru juga dapat diketahui jika ada parameter proses yang akan dirubah.

BAB IV METODE PENELITIAN

Dalam model simulasi, proses *injection molding*, fluida cair yang digunakan diasumsikan taktermampatkan dan persamaan yang menggambarkan aliran fluida cair adalah kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi (Khor et al., 2010).

CFD biasanya memecahkan persamaan menggunakan koordinat kartesian parsial dan komponen kecepatan.

Beberapa model telah digunakan untuk memprediksi hubungan antara viskositas (μ) dan derajat polimerisasi. Model Castro-Macosko telah diterapkan oleh (Nguyen et al, 2000) dan dipilih untuk digunakan dalam simulasi ini. Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut:

$$\mu(T, \dot{\gamma}) = \frac{\mu_0(T)}{1 + \left(\frac{\mu_0(T)\dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}} \left(\frac{\alpha_g}{\alpha_g - \alpha}\right)^{C_1 + C_2\alpha} \quad (4.1)$$

dimana T adalah suhu absolut, $\dot{\gamma}$ adalah shear rate, μ_0 shear rate viskositas awal, τ^* adalah parameter yang menggambarkan wilayah transisi antara shear rate awal dan daerah power law kurva viskositas, n adalah power law indeks, α adalah konversi, α_g adalah konversi pada titik *gel* dan C_1 dan C_2 adalah konstanta fitting.

$$\mu_0(T) = B \exp\left(\frac{T_b}{T}\right) \quad (4.2)$$

B adalah konstanta eksponensial *fitted*, T_b adalah temperature konstanta *fitted*. Selain itu, kinetika *curing* Kamal digabungkan bersama dengan model Castro-Macosko. Model ini memprediksi tingkat konversi kimia dari senyawa sebagai berikut:

$$\frac{d\alpha}{dt} = (k_1 + k_2\alpha^{m_1})(1 - \alpha)^{m_2} \quad (4.3)$$

$$k_1 = A_1 \exp\left(-\frac{E_1}{T}\right) \quad (4.4)$$

$$k_1 = A_1 \exp\left(-\frac{E_1}{T}\right) \quad (4.5)$$

dimana A_1 dan A_2 faktor Arrhenius pre-eksponensial, E_1 dan E_2 adalah energi aktivasi, m_1 dan m_2 adalah orde reaksi.

Ide dasar dari skema VOF untuk mencari dan berevolusi distribusi, mengatakan, fase cair dengan menetapkan setiap sel dalam komputasi grid merupakan suatu nilai skalar, F , yang menentukan fraksi volume sel yang ditempati oleh cairan. Dengan demikian, F mengambil nilai 1 ($F = 1$) dalam sel yang hanya berisi fluida cair, nilai 0 ($F = 0$) dalam sel yang hampa dari fluida cair, dan nilai antara 0 dan 1 ($0 < F < 1$) dalam "interface" sel atau disebut fluida cair sedang meleleh. Persamaan proses mencair dari waktu ke waktu diatur oleh persamaan transport berikut:

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (uF) = 0 \quad (6)$$

4.1 Simulasi Numerik

4.1.1 Model Simulasi dan Kondisi Awal

Udara dan fluida cair didefinisikan sebagai fasa yang berbeda dalam analisis. Solusi implisit dan formulasi yang tergantung waktu diterapkan untuk fraksi volume pada setiap langkah waktu. Fraksi volume bahan fluida cair didefinisikan sebagai nilai satu dan nilai nol untuk fase udara. Selain itu, viskositas model Castro Macosko dan teknik VOF diterapkan untuk melacak permukaan lelehan (*melt front*).

Batas dan kondisi awal yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut (Khor et al., 2010):

(a) Pada dinding:

$$u = v = w = 0; T = T_w, \frac{\partial p}{\partial n} = 0$$

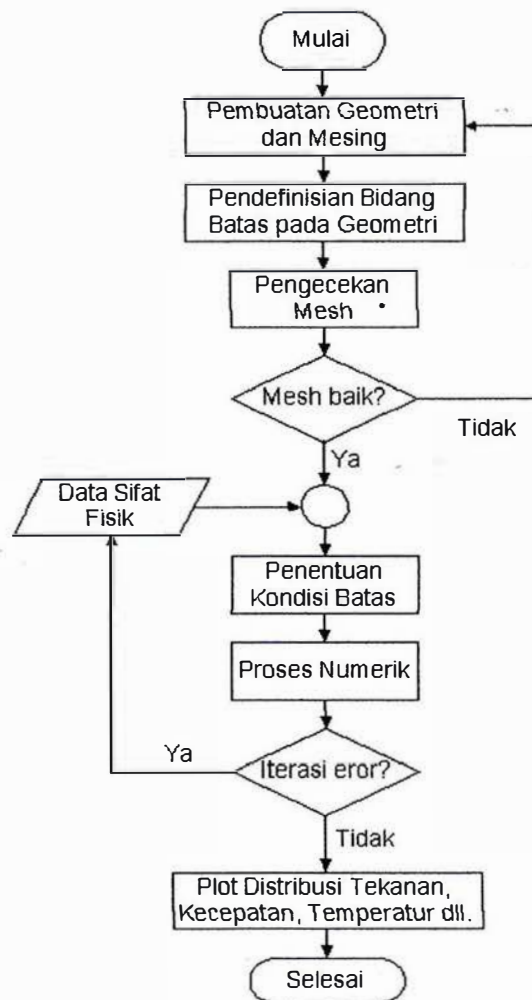
(b) Pada permukaan fluida:

$$p = 0$$

(c) Pada gerbang masukan:

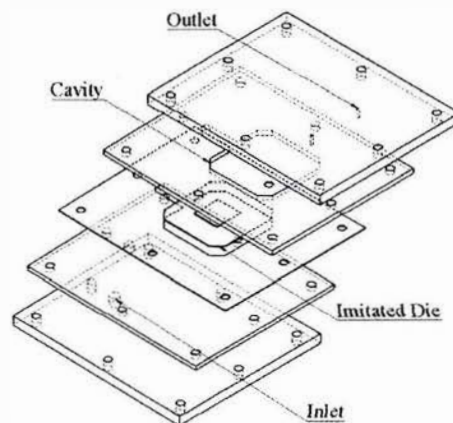
$$p = p_{in}(x, y, z); T = T_{in}$$

Langkah-langkah penyelesaian dengan analisis simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 4.1 Diagram Alir Prosedur Simulasi (Firman Tuaika, 2008).

Dimensi model cetakan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Model cetakan

4.1.2 Proses Simulasi CFD

Pada umumnya terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika kita melakukan simulasi CFD, yaitu preprocessing, solving, dan postprocessing (Firman Tuaika, 2008).

Preprocessing

Preprocessing merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat model dalam paket Computer Aided Design, membuat mesh yang sesuai desain, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya.

Solving

Solvers (program inti pencari solusi) CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat preprocessing.

Postprocessing

Postprocessing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang berupa gambar, kurva atau animasi.

Prosedur berikut terdapat pada semua pendekatan program CFD, yaitu:

1. Pembuatan geometri dari model/problem
2. Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (meshing)
3. Pendefinisian model fisiknya, misalnya persamaa-persamaan gerak, entalphi, konservasi species (zat-zat yang kita definisikan, komponen dari suatu reaktan).
4. Pendefinisian kondisi-kondisi batas, termasuk di dalamnya sifat-sifat dan perilaku dari batas-batas model/problem. Untuk kasus transient, kondisi awal juga didefinisikan.
5. Persamaan-persamaan matematika yang membangun CFD diselesaikan dengan cara iteratif, bisa dalam kondisi tunak (steady state) atau transien.
6. Analisis dan visualisasi dari solusi CFD.

4.1.3 Metode Diskritisasi CFD

CFD sebenarnya mengganti persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. CFD

merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak hingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga).

Perhitungan/komputasi aljabar untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial ini ada beberapa metode (metode diskritisasi), diantaranya adalah; metod beda hingga (finite difference method), metod elemen hingga (finite element method), metod volume hingga (finite volume method), metod elemen batas (boundary element method), dan metode skema resolusi tinggi (high resolution scheme method).

Metode diskritisasi yang dipilih umumnya menentukan kestabilan dari program numerik/CFD yang dibuat atau program software yang ada. Oleh karenanya diperlukan kehati-hatian dalam cara mendiskritkan medel khususnya cara mengatasi bagian yang kosong atau diskontinu. Dalam penelitian ini menggunakan metode volume hingga.

4.1.4 Langkah Penyelesaian Masalah

Setelah merencanakan analisis CFD pada model, langkah-langkah penyelesaian analisis CFD dilakukan dengan; Membuat geometri dan mesh pada model, Memilih solver yang tepat untuk model tersebut (3D), Mengimpor mesh model (grid), Melakukan pemeriksaan pada mesh model, Memilih formulasi solver, Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis, dalam hal ini dipilih laminar, Menentukan sifat material yang akan dipakai, Menentukan kondisi batas, Mengatur parameter kontrol solusi, Inialisasi medan aliran, Melakukan perhitungan/ iterasi, Memeriksa hasil iterasi, dan Menyimpan hasil iterasi.

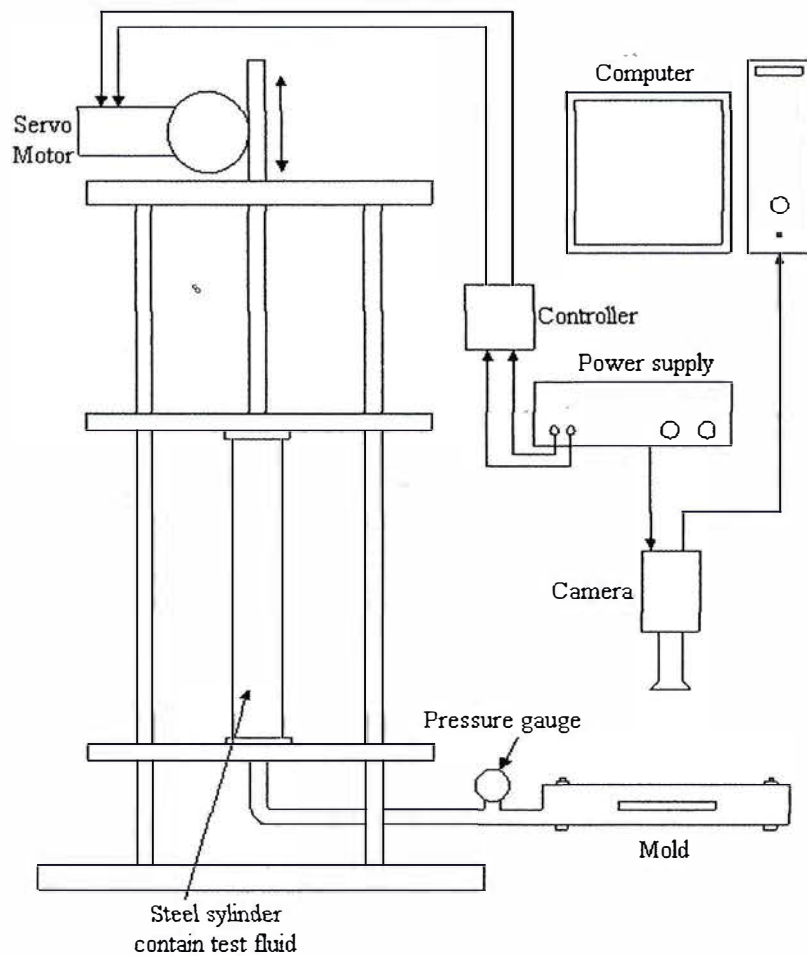
4.2 Alat Experimen

Alat eksperimen yang digunakan secara lengkap dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada Gambar 4.3 tersebut terdapat beberapa bagian diantaranya; a) motor serve, b) pengendali kecepatan motor servo, c) power suply, d) kamera digital, e) personal komputer, f) silinder yang berisi fluida cair, g) flow meter, dan h) cetakan (mold).

Cara kerja alat di atas adalah dapat diterangkan sebagai berikut:

- a) Motor servo berputar untuk menggerakkan piston yang terdapat pada silinder.
- b) Pada saat piston bergerak, fluida cair terdorong ke luar melalui pipa melewati flow meter dan masuk ke cetakan.
- c) Pada saat fluida cair memasuki cetakan kamera digital melakukan perekaman sampai cetakan penuh terisi dengan fluida cair.

- d) Data gambar yang ter-rekam oleh kamera ditransfer ke personal komputer untuk dilakukan analisa data.



Gambar 4.3. Sistem *Injection Molding* otomatis

4.3 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- Tekanan input fluida cair di set pada nilai yang tetap digunakan untuk tiga model cetakan yang berbeda yaitu besar dan posisi lubang angin (outlet vent) berbeda.
- Tekanan input fluida cair di set pada nilai yang berubah untuk model cetakan yang tetap (sama).

Langkah-langkah tersebut akan dilakukan dengan dua tahap yaitu simulasi komputer dan eksperimen dan hasil keduanya akan dibandingkan.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

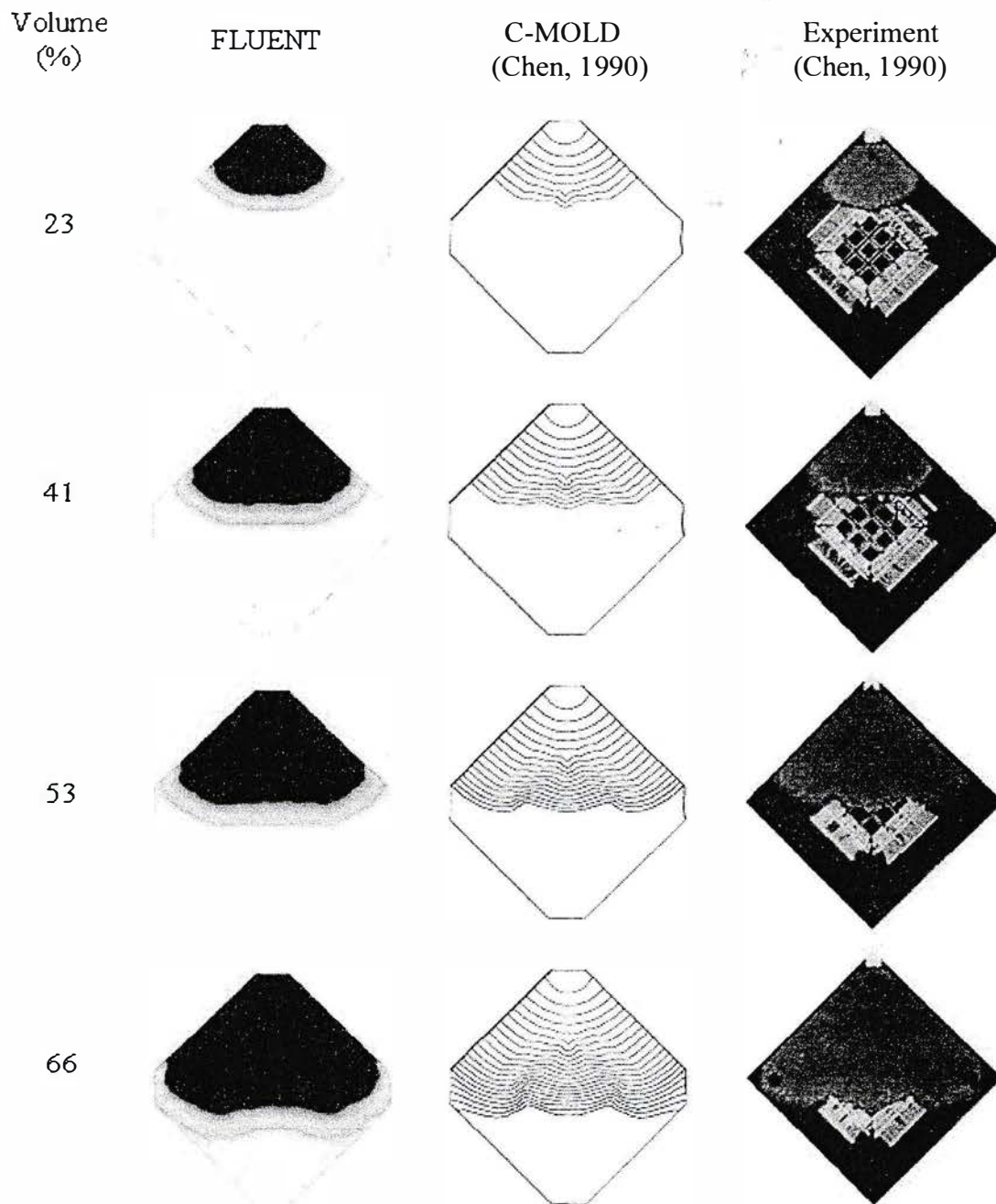
Penelitian tahap awal ini selain preliminari studi yang menghasilkan artikel yang telah dipresentasikan pada International Conference di Jogjakarta pada bulan Juni 2013 yang lalu, juga menghasilkan sejumlah temuan dari hasil simulasi ini. Diantaranya adalah pengaruh lubang angin terhadap tekanan dalam dan volumen udara terperangkap pada hasil cetakan.

5.1.1 Validasi

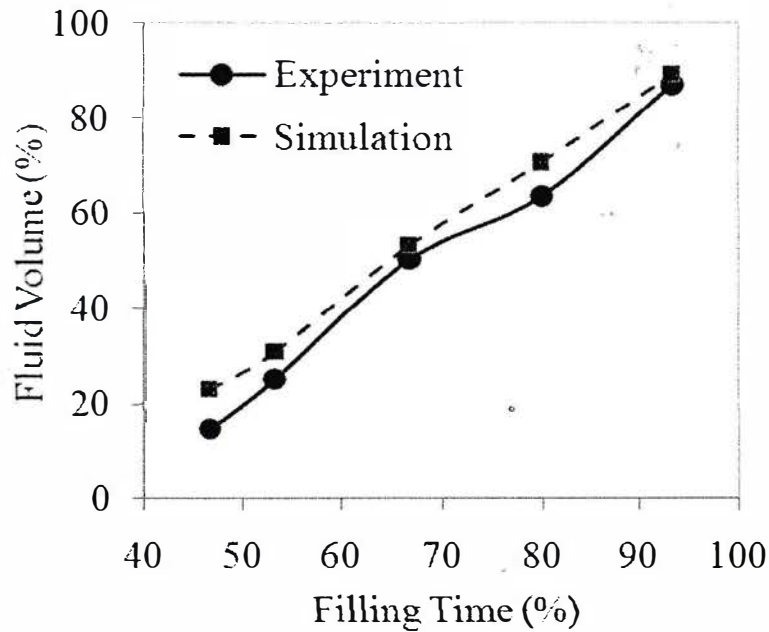
Hasil eksperimen terdahulu (Chen, 1990) dalam presentasi volume yang masuk ke cetakan dibandingkan dengan hasil simulasi. Gambar 5.1 menunjukkan lelehan permukaan dari ukuran cetakan yang sesungguhnya untuk hasil keduanya, eksperimen dan simulasi dari 23, 41, 53 dan 66 persen volume fluida yang masuk. Hasil eksperimen telah diperoleh dari hasil kerja sebelumnya oleh Chen. Pada tahap awal, volume fluida cair yang masuk 23%, tampak atas dari hasil simulasi yang dibuat menunjukkan hampir seluruh aliran permukaan mirip dengan hasil eksperimen. Secara jelas ditunjukkan dalam 41% volume fluida cair masuk, hasil simulasi sangat sesuai dengan hasil eksperimen. Untuk 53 dan 66% fluida cair yang masuk, lelehan permukaan tampak atas berbentuk cekung di kawasan pertengahan namun hasil eksperimen nampak sedikit cembung. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lelehan permukaan tampak atas kawasan tengah lebih lambat dibandingkan dengan hasil eksperimen. Perbedaan dengan hasil eksperimen ini dikarenakan adanya perbedaan geometri model cetakan. Hasilnya menunjukkan bahwa di daerah yang tidak berpenghalang nampak lebih laju.

Namun demikian, pada tahap fluida masuk 66% hasil dari simulasi dan eksperimen sangat sesuai. Dengan demikian secara keseluruhan perkiraan FLUENT memberikan hasil kesesuaian yang sangat baik dengan hasil eksperimen.

Gambar 5.2 menunjukkan presentasi volume dari lelehan selama proses pengisian cetakan. Perkiraan volumedari lelehan permukaan dihitung dari hasil eksperiment (Chen, 1990) dengan mengambil kawasan lelehan permukaan. Hasilnya juga menunjukkan perbandingan antara hasil pengukjuran eksperimen dan perhitungan simulasi yang mana menunjukkan kesamaan yang sangat baik.



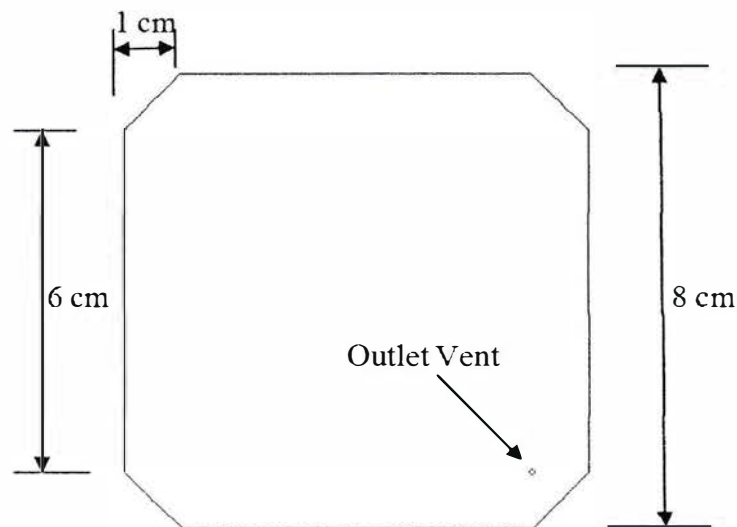
Gambar 5.1 Perbandingan profil lelehan fluida antara simulasi dengan eksperimen



Gambar 5.2 Perbandingan persentase volumen fluida antara simulasi dan hasil eksperimen

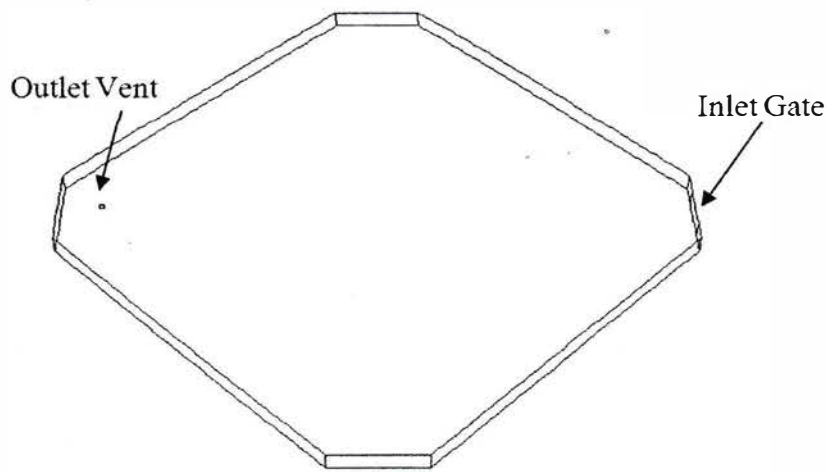
5.1.2 Data Hasil Penelitian

Tiga tipe cetakan dengan lubang angin yang berbeda dalam paket yang berukuran 80 mm x 80 mm x 3 mm digunakan dalam penelitian ini. Selama proses injection molding fluida cair ditransfer dari penampungan terus ditekan dan mengalir melalui runner lalu masuk ke cetakan dan mengisi ke seluruh ruang yang ada. Tekanan input gerbang di set pada 70 kPa. dengan temperatur 175 °C.

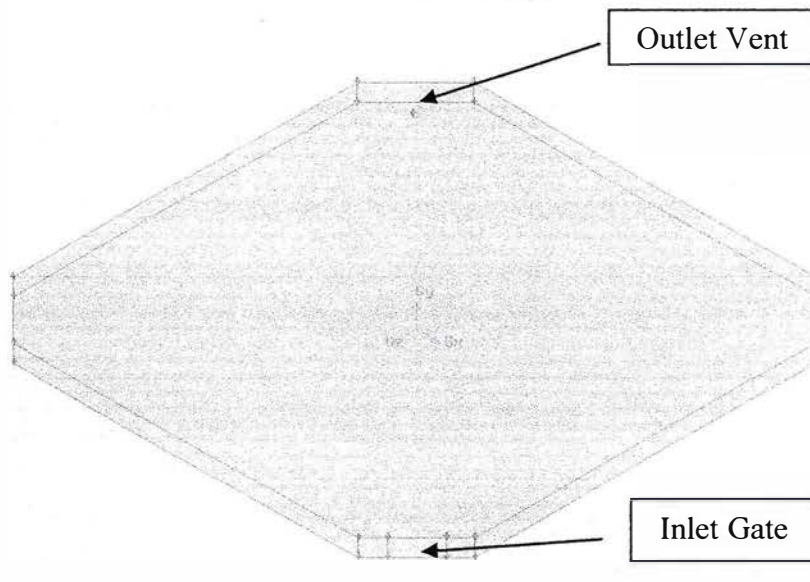


Gambar 5.3 Dimensi Cetakan

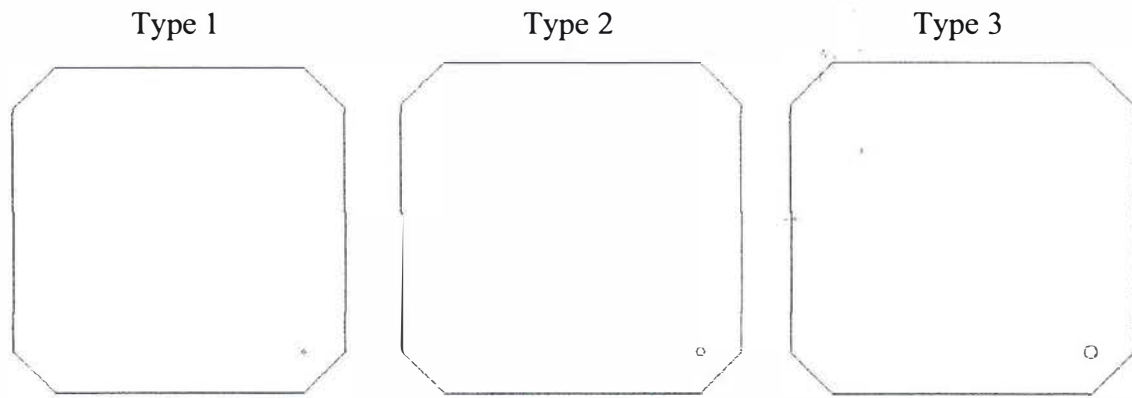
Suatu model simulasi tiga dimensi dibuat dengan menggunakan program GAMBIT dengan rata-rata jumlah elemen mesh adalah 132.800 tetrahedral. Model paket sederhana ditunjukkan pada Gambar 5.3 dan 5.4. Sedangkan model mesh ditunjukkan dalam Gambar 5.5. Tiga tipe outlet vent yang berbeda ukuran yang diberi nama Tipe 1, Tipe 2 dan Tipe 3 yang diilustrasikan pada Gambar 5.6. Tipe 1 memiliki lubang angin dengan diameter 1 mm, Tipe 2 sebesar 2 mm dan Tipe 3 sebesar 3 mm dengan posisi yang sama yaitu disebrang gerbang masukan (inlet gate).



Gambar 5.4 Definisi seluruh permukaan



Gambar 5.5 Hasil meshing cetakan



Gambar 5.6 Tipe-tipe cetakan dengan ukuran outlet vent berbeda

5.2 Pembahasan

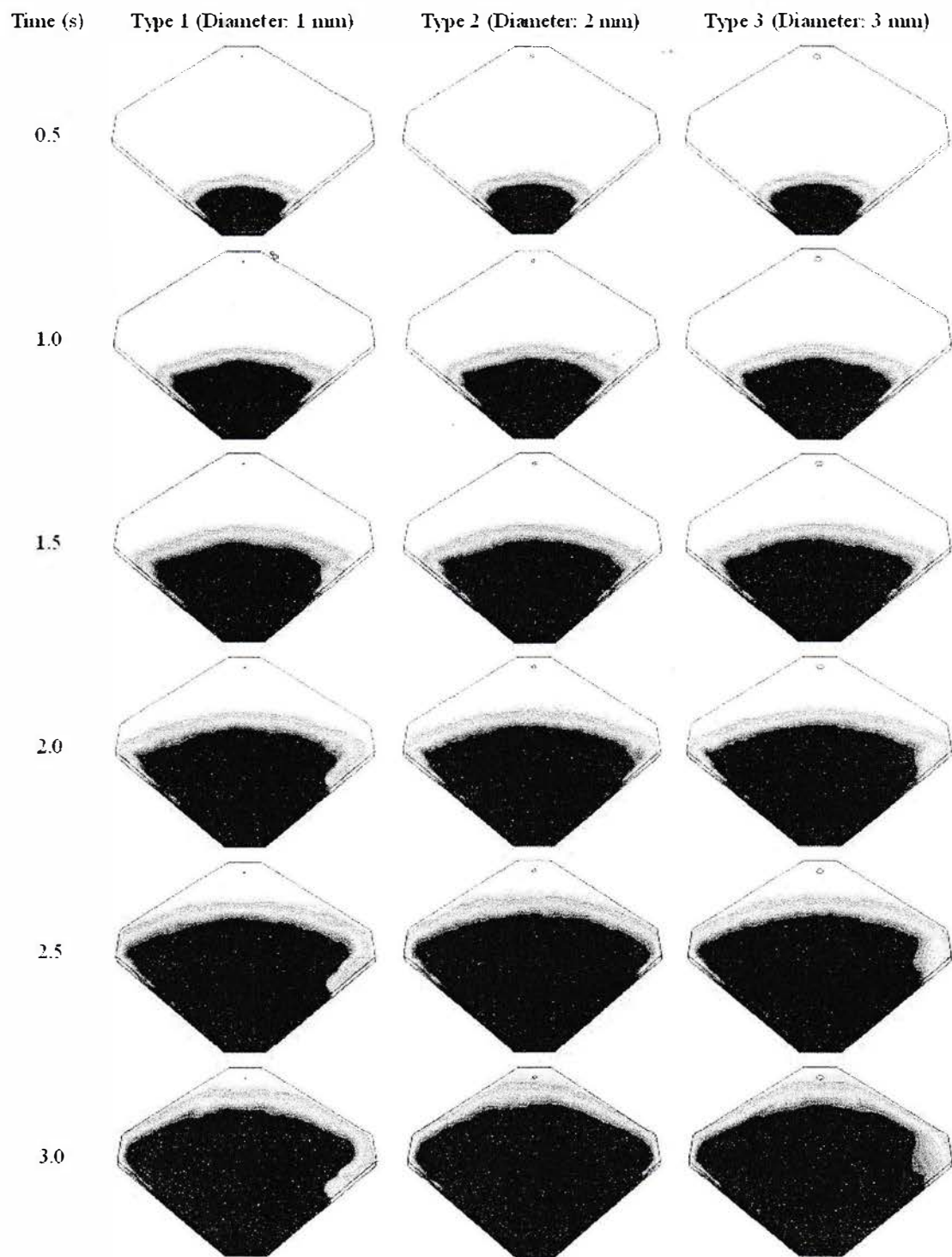
5.2.1 Aliran Fluida dan Distribusi Tekanan

Injection molding merupakan suatu sistem yang memiliki tahapan fabrikasi proses molding yang esensial. Fluida cair yang digunakan untuk proses molding ini untuk mencapai hasil cetakan yang realibel dan dapat meminimalisir hasil cetakan yang tidak bias digunakan. Proses kendali dan penelitian dalam area ini sangat krusial untuk pengembangan secara terus menerus dan meminimalisir hasil cetakan yang rusak atau cacat. Parameter prosesnya dalam proses injection molding juga sangat penting. Suatu kesalahan dalam pemilihan parameter mungkin akan mengakibatkan suatu kerusakan dalam suatu hasil cetakan. Dalam cetakan, udara terperangkap atau formasi void akan mengakibatkan reabilitas berkurang dan menyebabkan kesalahan dari hasil cetakan.

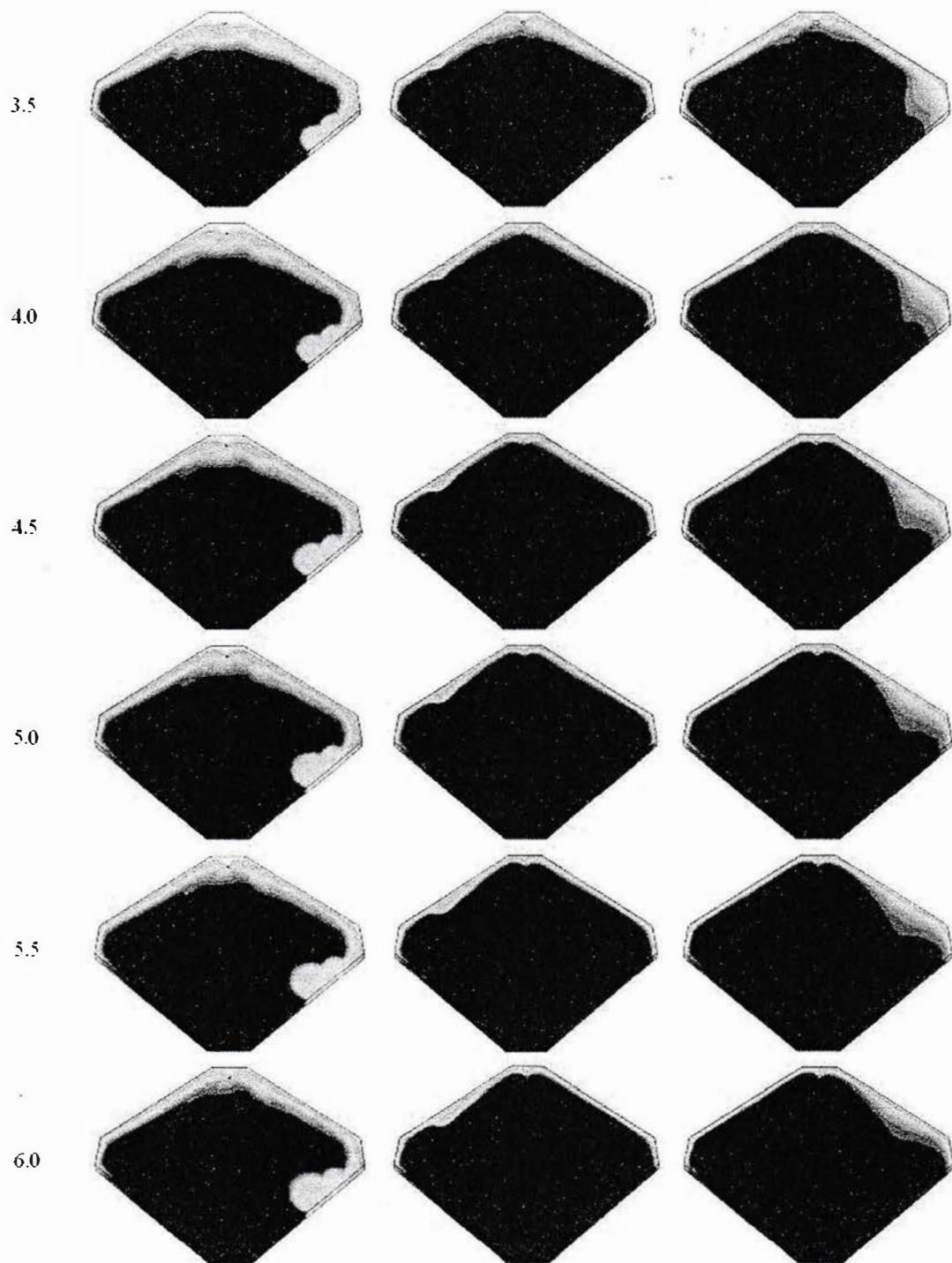
Pengaturan besar dan posisi outlet vent merupakan suatu faktor yang berpengaruh terhadap udara terperangkap di dalam cetakan. Dalam penelitian yang sedang berjalan ini tiga pengaturan posisi dan besar outlet vent telah dipilih untuk dianalisa perbedaannya. Lebih lanjut, penelaahan distribusi tekanan di dalam cetakan untuk diketahui batas minimal yang bisa diabaikan juga merupakan hal yang sangat penting.

Perbedaan besar diameter outlet vent dapat mengakibatkan perbedaan yang bervariasi di dalam cetakan. Temuan dari penelitian yang sedang berjalan ini adalah dapat dijadikan sebagai referensi atau petunjuk pada model cetakan yang dipengaruhi oleh perbedaan lubang angin. Profil aliran depan dari tiga ukuran outlet vent yang berbeda dibandingkan dan ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan 5.8. Formasi outlet vent tidak terlalu berpengaruh terhadap profil aliran fluida. Fluida cair diobservasi dan

ditemukan hampir seluruh tahapan memiliki bentuk yang mirip. Perbandingan presentasi volumen fluida yang mengalir ke dalam cetakan ditunjukkan pada Gambar 5.9.



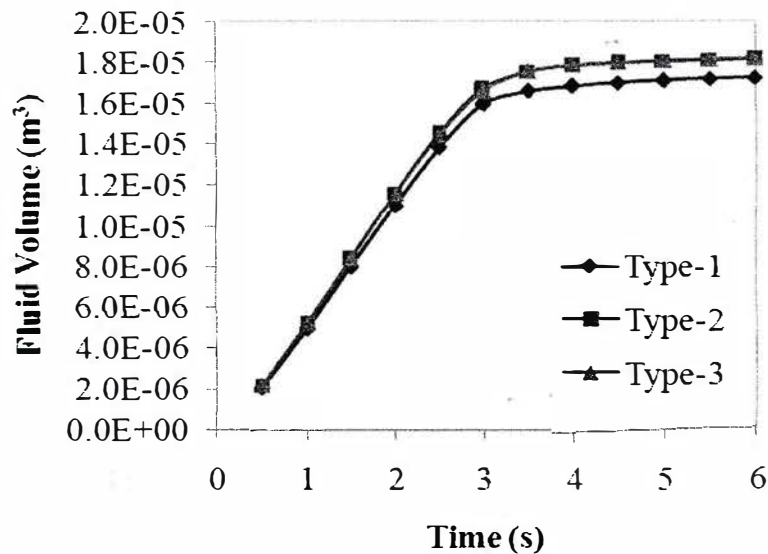
Gambar 5.7 Perbandingan profil lelehan fluida dalam cetakan



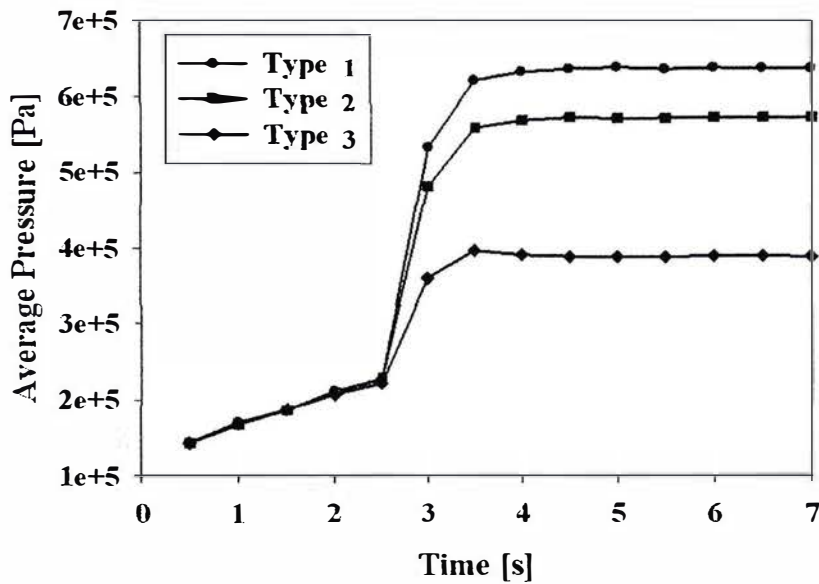
Gambar 5.8 Perbandingan profil lelehan fluida dalam cetakan (lanjutan)

Dalam mengobservasi variasi tekanan di dalam cetakan pada diameter outlet vent yang berbeda, secara grafik ditunjukkan pada Gambar 5.9. Hasilnya menunjukkan bahwa tekanan tertinggi sekitar gerbang masukan dan tekanan terendah sekitar lubang angin.

Secara umum, tekanan di dalam cetakan akan meningkat sejalan dengan fluida cair memasuki cetakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.9 Perbandingan laju volumen Fluida



Gambar 5.10 Perbandingan profil tekanan dalam cetakan

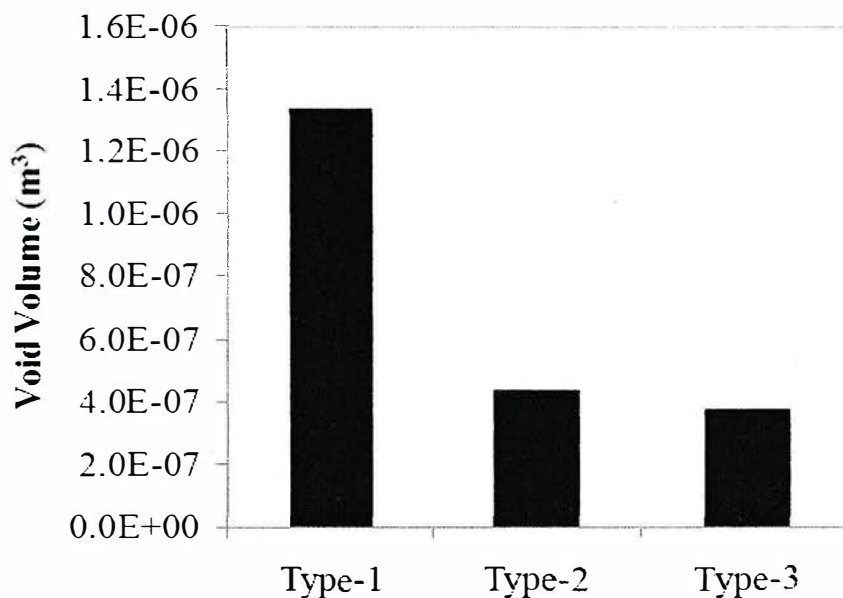
Dari hasil simulasi, profil fluida masuk pada Tipe 1 menunjukkan tekanan tertinggi dibandingkan dengan Tipe 2 dan Tipe 3. Fenomena ini disebabkan oleh interaksi alirannya dari perbedaan outlet vent. Dari hasil tersebut, hubungan antara tekanan dan tipe outlet vent sangat jelas. Makin besar outlet vent semakin rendah tekanan di dalam cetakkannya selama proses injection molding.

5.2.2 Udara Terperangkap

Kemungkinan terjadinya udara terperangkap di dalam cetakan diobservasi dalam penelitian ini. Tiga Tipe lubang angin (outlet vent) digunakan dalam analisisnya.

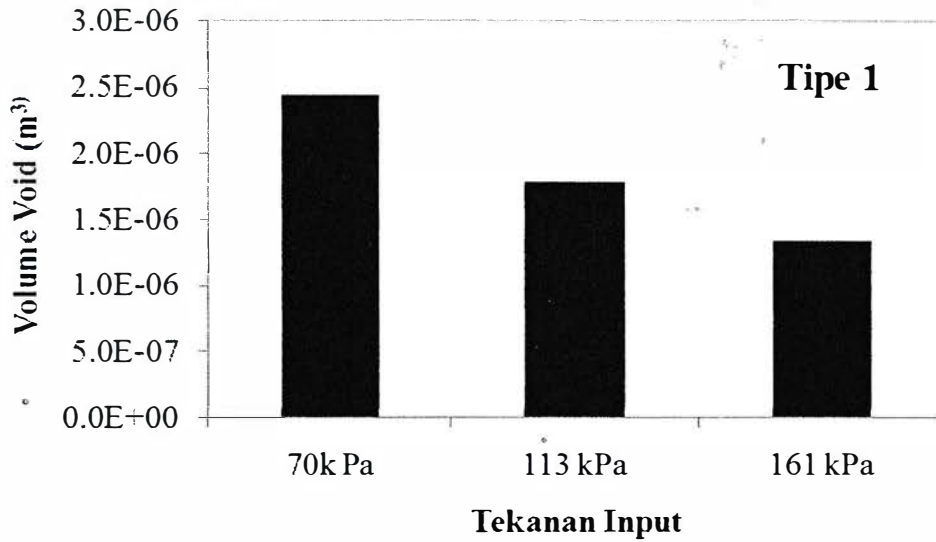
Suatu perbandingan dari volume udara terperangkap dikerjakan untuk tiga tipe dari desain perbedaan diameter outlet vent dan ditunjukkan pada Gambar 5.11. Volume udara terperangkap dihitung dari total volume cetakan dikurangi fluida yang masuk ke cetakan. Hasilnya diperoleh dari analisa simulasi menunjukkan bahwa Tipe 1 yang memiliki udara terperangkap terbesar dibandingkan dengan dua Tipe yang lainnya.

Pada Tipe 3 ditemukan memiliki udara terperangkap paling kecil selama proses fluida mengalir ke cetakan. Gambar 5.11 menunjukkan dengan meningkatnya lubang angin mengakibatkan berkurangnya udara terperangkap. Hasil ini secara jelas ditunjukkan oleh Gambar 5.11, dimana volume udara terperangkap terkecil ditemukan pada lubang angin terkecil juga (Tipe 1).

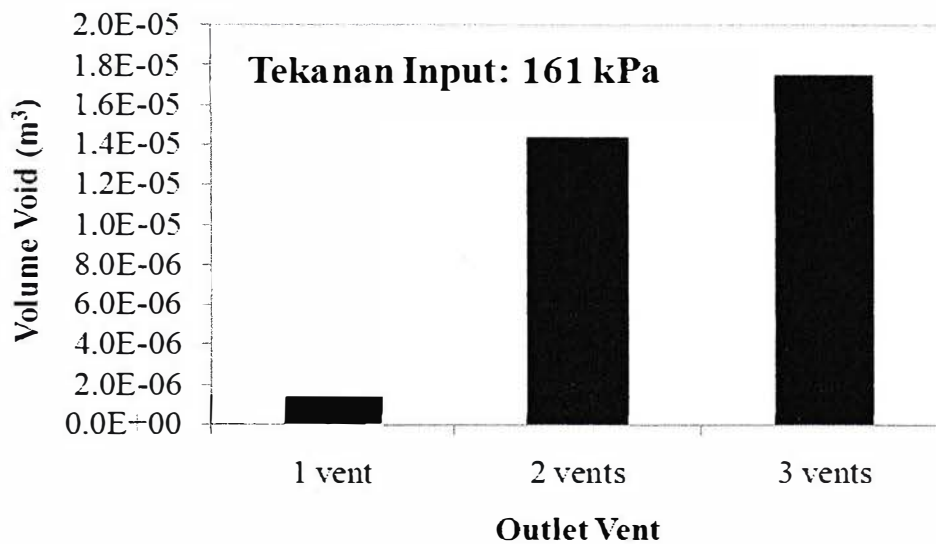


Gambar 5.11 Perbandingan volume void

Gambar 5.12 menunjukkan perbedaan volume void pada tekanan yang berubah. Semakin tinggi tekanan input, maka volume void di dalam cetakan akan semakin berkurang. Namun volume void akan semakin bertambah jika outlet vent semakin banyak. Hal ini dijelaskan pada Gambar 5.13.

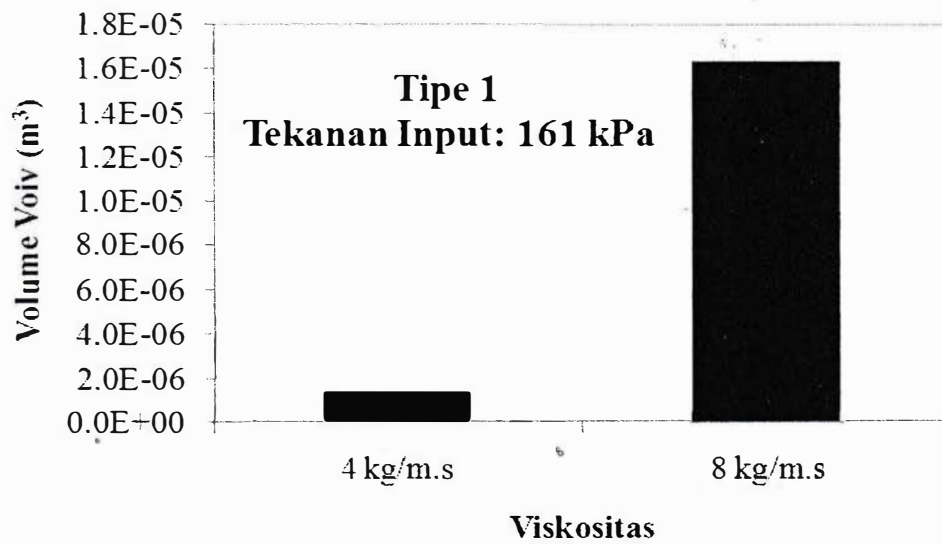


Gambar 5.12 Perbedaan volume void pada tekanan yang berbeda.



Gambar 5.13 Perbedaan volume void pada jumlah outlet vent yang berbeda

Gambar 5.14 menjelaskan bahwa apabila viskositas fluida cair bertambah tinggi, maka volume void akan bertambah besar. Untuk kenaikan viskositas dua kali, akan mengakibatkan pertambahan volume void sebesar delapan kali.



Gambar 5.14 Perbedaan volume void untuk viskositas fluida yang berbeda.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sedang berlangsung ini ditemukan bahwa terdapat pengaruh dari besar lubang angin terhadap distribusi tekanan dan volume udara terperangkap di dalam cetakan.

Model viskositas Castro–Macosko dengan efek pembekuan digunakan untuk menganalisa perilaku aliran fluida dalam cetakan. Hanya tiga Tipe ukuran lubang angin Only three types of outlet yang dipelajari karena literature yang ada masih terbatas terutama yang membahas pengaruh lubang angin terhadap udara terperangkap. Dari hasil penelitian tahap awal ini diperoleh bahwa ukuran, posisi dan tipe lubang angin akan sangat berpengaruh terhadap terjadinya udara terperangkap. Dengan berkurangnya luas lubang angin menghasilkan udara terperangkap yang rendah, tetapi mengakibatkan tekanan yang lebih tinggi. Cetakan Tipe 1 memberikan hasil yang baik dan sesuai dengan hasil eksperimen penelitian terdahulu terutama untuk aliran permukaan selama proses berlangsung. Secara keseluruhan, dari hasil penelitian sampai saat ini menunjukkan bahwa telah berhasil menunjukkan proses aliran fluida cair di dalam cetakan dan FLUENT telah menyelesaikan hal tersebut secara efisien. Udara terperangkap dalam cetakan harus diinvestigasi lebih jauh karena akan mempengaruhi kualitas dari hasil cetakan dan harus diminimalisir.

- Dari hasil penelitian yang sedang berlangsung melalui simulasi bahwa hasil cetakan sangat dipengaruhi oleh ukuran dan posisi lubang angin karena distribusi tekanan berubah serta volume udara terperangkap di dalam cetakan juga berbeda.
- Dengan berkurangnya ukuran lubang angin menghasilkan tekanan di dalam cetakan bertambah tinggi sehingga mengakibatkan udara terperangkap bertambah besar.
- Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut melalui eksperimen untuk menghasilkan kualitas hasil cetakan yang tinggi.

6.2 Saran

Dari hasil penelitian tahap pertama ini masih ada hal-hal yang harus dikembangkan melalui eksperimen dan simulasi diantaranya:

- a. Pengaruh jumlah dan bentuk penghalang (obstacle) terhadap perilaku aliran fluida.

- b. Pengaruh jumlah dan bentuk penghalang terhadap udara terperangkap (void).
- c. Pengaruh tinggi penghalang terhadap aliran fluida dan udara terperangkap.
- d. Pengaruh besar tekanan input terhadap waktu pengisian fluida cair.
- e. Pengaruh jenis fluida terhadap perilaku aliran fluida.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Y.R. (1990) Mold Flow Simulation and Wire Sweep in IC Encapsulation, M.S. Thesis, Mech. Eng., Christian Univ. of Chun Yuan, Taiwan.
- Khor CY, Abdul Mujeebu M, Abdullah MZ, Che Ani F. (2010) Finite Volume Based CFD Simulation of Pressurized Flip-chip Underfill Encapsulation Process. *Journal of Microelectronics Reliability*, pp. 98–105.
- Lindsay W. (1983) Automatic Pouring and Metal Distribution Systems, *Foundry Trade Journal*, pp 151-165.
- Michael FB and Paul MB. (1989) Good Pouring Practice Contributor to Quality Castings, *Modern Casting*, pp. 59-63.
- Nguyen L, Quentin C, Lee W. (2000) Computational Modeling and Validation of the Encapsulation of Plastic Packages by Transfer Molding, *Transaction of the ASME*, pp. 138-146.
- Noda Y, Yano K, Terashima K. (2003) Detection and Tracking Control to Unknown Moving Object Considering Sloshing-Suppression in Pouring Robot, *Proceeding Intelligent Systems and Control* vol. 388.
- Noda Y, Yano K, Terashima K. (2005) Control of Self-Transfer-Type Automatic Pouring Robot with Cylindrical Ladle, *IFAC*.
- Ramdan D. (2009) Model dan Kendali Gelombang Liquid Saat Putar Balik dengan Mengatur Kecepatan Putar Tungku pada Proses Pengecoran, Kumpulan Makalah Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa dengan Tema: Teknologi Berwawasan Global, 28-29 April 2009, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara, pp. 1-13.
- Ramdan D. (2008) Simulasi Perilaku Logam Cair pada Proses Pengecoran dengan Metoda SOLA-MAC, Kumpulan Makalah Pekan Ilmiah Periode XVI-TA.2007/2008, Fakultas Teknik UISU Medan, April 2008, pp. 56-63
- Ramdan D, Abdullah MZ, Yusop NM. (2012) Effects of outlet vent arrangement on air traps in stacked-chip scale package encapsulation, *Journal of International Communication Heat and Mass Transfer*, Vol. 39, pp. 405–413.
- Singer NC, Seering WP. (1990) Preshaping Command Inputs to Reduce System Vibration, *Transaction of the ASME*, Vol. 12, pp. 76-82.
- Sugarmansyah U, Dharmawan, Hartaya, Savianto R, Santoso I. (2003) Analisis Difusi Inovasi Teknologi Pengecoran Logam di Industri Kecil dan Menengah Klaten-Ceper (Tinjauan dari Aspek Kebijakan), *Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri*, Vol. V, Hal. 130-139.
- Tabatabaei E. (1998) Automatic Pouring of Molten Metal by Utilizing Real Time Vision Based Control System, *AFS Transaction*, pp. 641-644.

Terashima K, Ramdan D, Yano K, Toda T. (2000) Modeling and Simulation of Fluid Flow in Ladle and Mold of Tilting-type Pouring in Casting Process, Paper, FLUCOME 2000, Sherbrooke, Canada, Vol. 18, No. 5 pp. 728-736.

Terashima K and Yano K. (2001) Sloshing Analysis and Suppression Control of Tilting-type Automatic Pouring Machine, *Control Engineering Practice* 9, pp. 607-620.

Terashima K and Yano K. (1999) Sloshing Suppression Control of Tilting-Type Automatic Pouring Machine, IFAC World Congress, Beijing, Vol. O, pp. 25-30.

Terashima K and Inagaki T. (1997) Feedforward and Feedback Control on Liquid Vibration and Rotary Angle in Tilting Motion of Automatic Pouring, Proc. Of 2nd Asian Control Conference, Soul (Korea), pp 375-378.

Terashima K, Yano K, Sugimoto Y. (2005) Modeling and Robust Control of Liquid Level in a Sprue Cup for Batch-type Casting Pouring Processes, ISIJ Int. Vol. 45, pp. 1165 – 1172.

Tuaika F. (2008) *Dasar-dasar C FD de ngan m enggunakan F LUENT*, Informatika Bandung.

Lampiran:

Roadmap Automatic Molding Sistem Research using CFD Simulation and Experiment

No.	System		Penjelasn
1.	Pouring Tilting Type		
	a.	Tahun	2008
		Judul	Simulasi Perilaku Logam Cair pada Proses Pengecoran dengan Metoda SOLA-MAC
		Methode	SOLA-MAC
		Simulation Software	FORTRAN
		Output	Kumpulan Makalah Pekan Ilmiah Periode XVI-TA.2007/2008, Fakultas Teknik UISU Medan, April 2008, pp.56-63
		Sumber Dana	PHB
	b.	Tahun	2009
		Judul	Model dan Kendali Gelombang Liquid Saat Putar Balik dengan Mengatur Kecepatan Putar Tungku pada Proses Pengecoran,
		Methode	SOLA-MAC
		Simulation Software	FORTRAN dan MATLAB
		Output	Kumpulan Makalah Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa dengan Tema: Teknologi Berwawasan Global, 28-29 April 2009, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
		Sumber Dana	PHB
2.	Transfer Molding		
		Tahun	2012
		Judul	Investigation of Wire Sweep During PBGA Encapsulation Process Using Fluid Structure Interaction
		Methode	Experimen dan simulasi dengan metode Volume of Fluid dan Castro-Macosko Model
		Simulation Software	FLUENT, ABAQUS dan MpCCI
		Output	1. Plastic Ball Grid Array Encapsulation Process Simulation on Rheology Effect, TELKOMNIKA, Vol.9, No. 1, April 2011, pp. 27-36, e-ISSN: 2087-278X, accredited by DGHE (DIKTI), Decree No: 51/Dikti/Kep/2010.
			2. Effects of outlet vent arrangement on air traps in stacked-chip scale package encapsulation, International Communication in Heat and Mass Transfer, Vol. 39, No. 3, March 2012, pp. 405-413.
			3. FSI Simulation of Wire Sweep PBGA Encapsulation Process Considering Rheology Effect, IEEE Transaction on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 2, No. 4, April 2012, pp. 593-603.
			4. Fluid/structure interaction investigation in PBGA packaging, IEEE Transaction on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 2, No. 11, November 2012, pp. 1786-1795.
			5. FSI Analysis of Wire Sweep in Encapsulation Process of Plastic Ball Grid Array Packaging, Journal of Thermal Science and Technology, Vol. 33-2, October-2013, pp. 101-109.
		Sumber Dana	DIKTI, INTEL, USM



3.	Injection Molding	
	Tahun	2013
	Judul	Pengaruh Lubang Angin (<i>Outlet Vent</i>) dan Tekanan Input Terhadap Kualitas Cetakan pada Proses <i>Injection Molding</i>
	Methode	Simulasi dengan metode Volume of Fluid dan Cross Model
	Simulation Software	FLUENT
	Output	Jurnal Internasional Conference IEEE
	Sumber Dana	PHB
	Tahun	2014
	Judul	Perancangan Mesin <i>Injection Molding</i> Otomatis Berdasarkan Pengaruh Lubang Angin (<i>Outlet Vent</i>) dan Tekanan Input untuk Peningkatan Kualitas Cetakan
	Methode	Experimen dan simulasi dengan metode Volume of Fluid dan Cross Model
	Simulation Software	FLUENT
	Output	1. Jurnal Nasional Terakreditasi/Jurnal Internasional 2. <i>Prototipe Automatic Injection Molding</i>
	Sumber Dana	PHB
	Tahun	2015
	Judul	Pengaruh Bentuk dan Model Cetakan serta temperatur terhadap waktu proses cetakan dengan <i>Injection Molding</i>
	Methode	Experimen dan simulasi dengan metode Volume of Fluid dan Cross Model
	Simulation Software	FLUENT
	Output	Jurnal Nasional Terakreditasi/Jurnal Internasional
	Tahun	2016
	Judul	Pengaruh Viskositas Terhadap Kualitas Cetakan dalam Proses <i>Injection Molding</i>
	Methode	Experimen dan simulasi dengan metode Volume of Fluid dan Castro-Macosko Model
	Simulation Software	FLUENT dan ABAQUS
	Output	Jurnal Nasional Terakreditasi/Jurnal Internasional

2013 INTERNATIONAL CONFERENCE ON QIR (QUALITY in RESEARCH)

<http://qir.eng.ui.ac.id>



Yogyakarta
25-28 June 2013



IN CONJUNCTION WITH :

ICCS 2013

(THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON CIVIC SPACE)

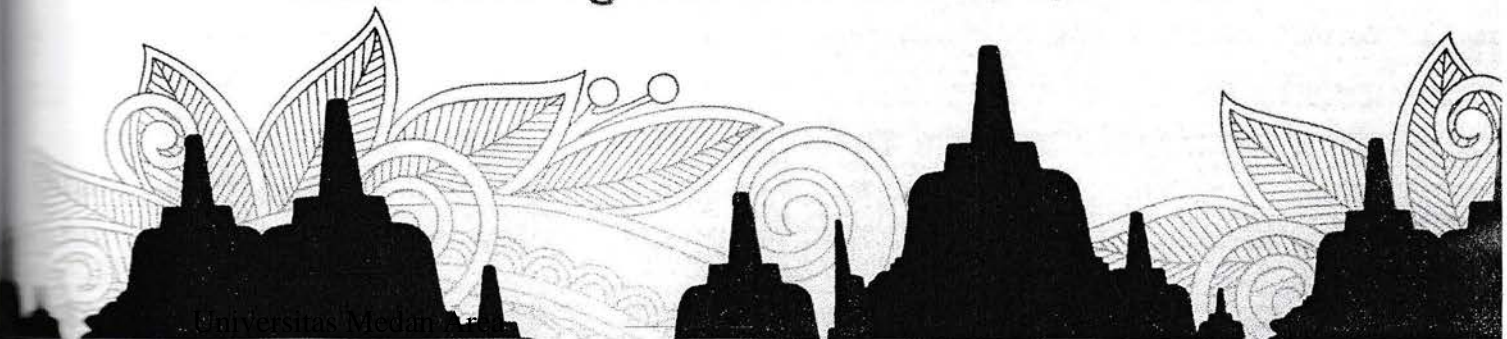
ORGANIZED BY :



Faculty of Engineering
Universitas Indonesia

ISBN 978-1-4673-5785-2

IEEE Catalog Number CFP13QIR-ART





2013 INTERNATIONAL CONFERENCE ON QIR (QUALITY IN RESEARCH)

The 13th International Conference on QiR

25-28 June 2013
Yogyakarta, Indonesia

COPYRIGHT AND REPRINT PERMISSION:

Abstracting is permitted with credit to the source. Libraries are permitted to photocopy beyond the limit of U.S. copyright law for private use of patrons those articles in this volume that carry a code at the bottom of the first page, provided the per-copy fee indicated in the code is paid through Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. For other copying, reprint or republication permission, write to IEEE Copyrights Manager, IEEE Operations Center, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854.

All right reserved. Copyright © 2013 by IEEE

Papers are printed as received from the authors.

All opinions expressed in the Proceedings are those of the authors and are not binding on the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

IEEE Catalog Number : CFP13QIR-ART

ISBN : 978-1-4673-5785-2

Editors : Prof. Eko Tjipto Rahardjo
Dr. Fitri Yuli Zulkifli

Publisher : Faculty of Engineering, Universitas Indonesia

Secretariat : QiR Conference Secretariat,
Faculty of Engineering Universitas Indonesia,
Depok 16424, West Java, INDONESIA

Fluid Structure Interaction Simulation in IC Encapsulation Process

Dadan Ramdan*, Usman Harahap
Electrical Engineering Department
Engineering Faculty, Medan Area University
Medan, Indonesia
061-7357771, dadan@uma.ac.id

Mohd. Zulkifli Abdillah
*School of Mechanical Engineering
Universiti Sains Malaysia
Penang, Malaysia
+604-5996310, mezul@eng.usm.my

Abstract— This paper presents three-dimensional (3D) fluid structure interaction (FSI) technique; using Mesh based Parallel Code Coupling Interface (MpCCI), for the visualization of wire sweep during encapsulation. The effects of number of mold cavity outlet vents on the melt flow behavior, wire sweep, and von Mises stress distributions, are mainly studied. 3D model of mold and wire were designed using GAMBIT, simulated fluid flow and structural using FLUENT and ABAQUS. Three types of mold cavity simple model namely Type D1, Type D2 and Type D3 with different outlet vents were studied to analyze wire sweep deformation. Polymer rheology model with curing effect (Castro-Macosco model) have been used in the fluid flow modeling and Volume of Fluid (VOF) technique was applied for melt front tracking for the Epoxy Molding Compound (EMC). In the present study, Type D3 with minimum outlet vent area of mold cavity shows the highest deformation of wire and highest stress distributions. The numerical results of wire deformation pattern were compared with the analytical method and found in good conformity. The strength of MpCCI software in handling FSI problems is proved to be excellent. This present work is expected to be the reference and guideline for microelectronics industry.

Keywords— Fluid Structure Interaction, Wire Sweep, MpCCI, Castro-Macosco model, Epoxy Molding Compound (EMC), Volume of Fluid (VOF).

I. INTRODUCTION

Nowadays, the electronics industry could offer their product in a compact size but also give more functionality, better performance and lower cost. It is widely used in applications including computing, communications, biomedical, automotive, military, and aerospace. They must operate in varying temperature and humidity environments, exposure to moisture and mechanical stresses can be highly detrimental to electronic devices and may lead to device failures [1]. Therefore, it is essential that the electronic devices be packaged for protection from their intended environment. The design, fabrication and encapsulation of the package has become increasingly complex and challenging owing to increased number of components and the need for miniaturization [2]. The major objectives of electronics devices encapsulation are to protect of the device from mechanical and chemical hazards, and thermal path for heat dissipation [1].

Wire bonding is the one principal ways of connecting the silicon device to the lead frame in molded plastic packaging of

encapsulation process [3]. Typical wire bonding process uses gold or aluminum wire to connect the die pads with the leadframe [4]. New packages methods, such as Flip Chip, use Lead-Tin solder bump as interconnection between die and substrates [1]. The purpose of this process is to establish electrical interconnections for signal and power transfer.

During the encapsulation of microelectronic chips by the transfer molding process, the fragile gold wire bonds, which provide electrical connection from the chip to the leadframe, are subjected to flow stresses from the molding compound [5]. The flow stress can cause the leadframe and the wire bond to permanently deform from their original geometry [6]. If the displacement of a bonding wire is too large, it can result in a package failure; either short circuits due to contact between adjacent wires or open circuit due to a broken wire [7]. Even if the displacement is not so severe, wire deformation can result in deteriorated electrical and mechanical performance of the device, which will shorten its lifetime [8]. Hence, it's important to minimize the wire-sweep deformation during encapsulation.

The technique time-dependence and the two-phase aspects of the flow, especially the propagation of the resin front in the mold, and the effect of its impact with the wires, and by introducing the time-dependent material, geometric, and loading variations that exist in the actual phenomenon along wires was introduced [9].

In fact, the wire deflection during encapsulation is a typical fluid-structure interaction (FSI) problem. The drag force resulted from the fluid flow caused the wire sweep or normally known as the wire deformation. The use of finite volume method (FVM) for the flow analysis and the finite-element method (FEM) for the structure analysis, coupled with MpCCI was reported in various works [10-12]. However, as far as the authors are conscious, the use of FSI has not been reported so far in the wire sweep problems.

In the present study, 3D computational analysis is used to predict the wire sweep problems in the simple model of encapsulation process. The FVM-based (FLUENT) and FEM-based (ABAQUS) software with MpCCI coupling software are utilized as tools to perform the FSI for the virtual model of the package. The Castro-Macosco model is used to describe the polymer rheology with curing effect in the viscosity behavior of the epoxy molding compound (EMC). The program is

written in C language has been employed in UDF to calculate the curing kinetics of EMC. The volume of fluid (VOF) technique is also applied to track the flow front of the EMC. Wire sweep profiles are analyzed and presented by ABAQUS. The EMC flow field and wire sweep phenomena can be visualized simultaneously through this FSI simulation. The simulation results are also compared with the analytical results available in literature and found in good agreement.

II. MATHEMATICAL MODEL

A. Fluid Flow Analysis

In the simulation model, the encapsulation process material and air are assumed incompressible and the governing equations describing the fluid flow are conservation of mass, conservation of momentum, and conservation of energy [13]. FLUENT normally solves the governing equations using Cartesian spatial coordinates and velocity components.

The conservation of mass or continuity equation is:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Eq. (1) is the general form of the mass conservation equation and is valid for incompressible and compressible flows. Conservation of momentum in i^{th} direction in an inertial (non accelerating) reference frame is described by:

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

where, P is the static pressure, τ_{ij} is the viscous stress tensor and g_i and F_i are the gravitational acceleration and external body force in the i direction, respectively.

The energy equation cast in terms of h (static enthalpy) can be written as,

$$\frac{\partial (\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} (k \frac{\partial T}{\partial x_j}) + \eta \dot{\gamma} \quad (3)$$

where T is the temperature, k is the thermal conductivity, η is the viscosity and $\dot{\gamma}$ is the shear rate. The molding compound was assumed to be a generalized Newtonian fluid (GNF).

Several models have been used to predict the relationship between viscosity and the degree of polymerization. The Castro-Macosko model has been applied in encapsulation process [14] and is selected to use in this simulation. It can be described as follows:

$$\mu(T, \dot{\gamma}) = \frac{\mu_0(T)}{1 + (\frac{\mu_0(T)\dot{\gamma}}{\tau^*})^{1-n}} \left(\frac{\alpha_g}{\alpha_g - \alpha} \right)^{C_1 + C_2 \alpha} \quad (4)$$

where n is the power law index, μ_0 the zero shear rate viscosity, τ^* is the parameter that describes the transition region between zero shear rates and the power law region of the viscosity curve, $\dot{\gamma}$ is the shear rate, α is the conversion, α_g

is the conversion at the gel point and C_1 and C_2 are fitting constants.

$$\mu_0(T) = B \exp\left(\frac{T_b}{T}\right) \quad (5)$$

B is an exponential-fitted constant and T_b is a temperature fitted-constant. In addition, Kamal curing kinetics is coupled together with Castro-Macosko model. This model predicts the rate of chemical conversion of the compound as follows:

$$\frac{d\alpha}{dt} = (k_1 + k_2 \alpha^{m_1})(1 - \alpha)^{m_2} \quad (6)$$

$$k_1 = A_1 \exp\left(-\frac{E_1}{T}\right) \quad (7)$$

and

$$k_2 = A_2 \exp\left(-\frac{E_2}{T}\right) \quad (8)$$

where α is the conversion, A_1 and A_2 are the Arrhenius pre-exponential factors, E_1 and E_2 are the activation energies, m_1 and m_2 are the reaction orders and T is the absolute temperature. TABLE I summarized the material properties of the EMC considered in the current study.

TABLE I. EMC MATERIAL PROPERTIES [14].

	Parameter	Value	Unit
Castro Macosko Model	α_g	0.17	-
	B	0.000381	Kg/m/s
	T_b	5230	K
	n	0.7773	-
	τ	0.0001	N/m ²
	C_1	1.03	-
	C_2	1.50	-
Curing Kinetics	m_1	1.21	-
	m_2	1.57	-
	A_1	33530	1/s
	A_2	30540000	1/s
	E_1	7161	K
	E_2	8589	K
	α	0.05	-
Density	ρ	2000	Kg/m ³
Specific Heat	C_p	1079	J/Kg-K
Thermal Conductivity	-	0.97	W/m-K
Reference Temperature	T	298	K

The basic idea of the VOF scheme is to locate and evolve the distribution of, say, the liquid phase by assigning for each cell in the computational grid a scalar, f , which specifies the fraction of the cell's volume occupied by liquid. Thus, f takes the value of 1 ($f = 1$) in cell which contains only resin, the value 0 ($f = 0$) in cells which are void of resin, and a value between 0 and 1 ($0 < f < 1$) in "interface" cells or referred as the resin melt front. The equation of melt front over time is governed by the following transport equation:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial t} + \nabla \cdot (uf) = 0 \quad (9)$$

B. Wire Sweep Analysis

To calculate the drag force exerted on the wires by the resin flow, the value of velocities and viscosities have to be determined from the mold filling simulation. The effect of wire density on the resin flow is considered according to their occupied volume in the three dimensional filling simulation. Then, the Lamb's model is utilized to calculate the drag force as follows [5]:

$$D = \frac{C_D \rho U^2 d}{2} \quad (10)$$

where D is the drag force per unit length, ρ is the fluid density, U is the undistributed upstream velocity, d is the wire diameter and C_D is the drag coefficient, which can be written

$$C_D = \frac{8\pi}{Re[2.002 - \ln(Re)]} \quad (11)$$

where Re is the Reynold number, which can be defined as:

$$Re = \frac{\rho ud}{\eta} \quad (12)$$

where η is the fluid viscosity.

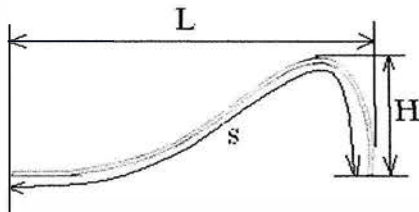


Fig. 1: Curved profile of wire.

Wire sweep deflection δ can be written as [8]:

$$\delta_{max} = S * D \left(f_B \left(\frac{H}{L} \right) \frac{H^3}{EI} + f_T \left(\frac{H}{L} \right) \frac{L^3}{GI_p} \right) \quad (13)$$

where S is the length of the wire bond, f_B is the bending geometry factor for the bending moment, f_T is the twisting geometry factor for the twisting moment, H is the height of wire, L is the length of wire span, G is the shear modulus of wire, E is the elastic modulus of wire, I is the momentum of inertia of the wire, I_p is the polar momentum of inertia of the wire.

The wire profile is shown in Fig. 1, where H has a length 7.3×10^{-4} m, the span of wire has a length $L = 2.2 \times 10^{-3}$ m, and a square cross section of wire is 1 mil x 1 mil (i.e., 2.5×10^{-5} m x 2.5×10^{-5} m). A square cross section was chosen for this case to simplify the derivation of the analytical solution.

III. NUMERICAL SIMULATION

A. Simulation Model and Boundary Conditions in FLUENT

The volume of fluid (VOF) model in FLUENT 6.3.26 is utilized to simulate the process [15]. Outlet vent types are set at different parameters, as shown in TABLE II. In the VOF model, a single set of momentum equations is shared by the fluids, and the volume fraction of each of the fluids in each computational cell is tracked throughout the domain [15]. Air and EMC (EME 6300HN Dynamic Modes) are defined as the phases in the analysis [15]. Implicit solution and time dependent formulation are applied for the volume fraction in every time step. The volume fraction of the encapsulation material is defined as one and zero for air phase.

Besides, viscosity Castro Macosko model and VOF techniques are applied to track the melt front. The mold chip boundary condition and its package model used in the present study are shown in Fig. 2 and 3 respectively. The dimension of mold is 2.75 x 1.5 x 1 mm. The model is created by using GAMBIT software and average 3500 tetrahedral elements are generated for simulation (Fig 4). Three types of the outlet vent namely Type D1, Type D2, and Type D3 as illustrated in Fig. 3 are considered for simulation. The boundary and initial conditions are used in the calculation are as follows [15]:

- On wall : $u = v = w = 0$; $T = T_w$, $\frac{\partial p}{\partial n} = 0$
- On centre line : $\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0$
- On melt front : $p = 0$
- At inlet : $u = u_{in}(x, y, z)$; $T = T_{in}$

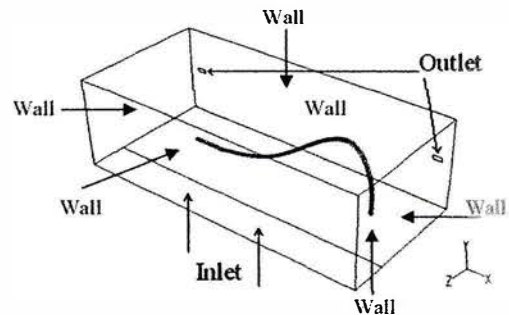
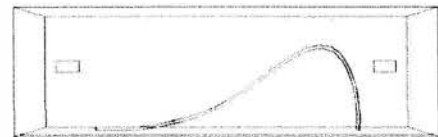
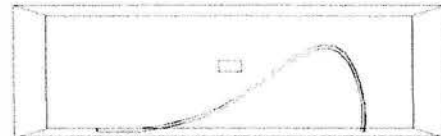


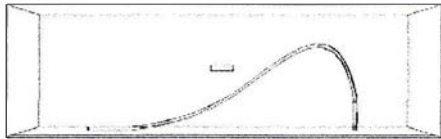
Fig. 2. Boundary condition for FLUENT analysis.



(a) Type D1



(b) Type D2



(c) Type D3

Fig. 3. Models of package.

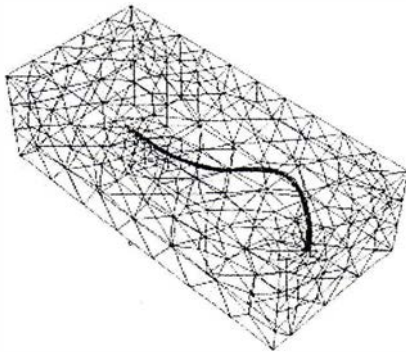


Fig. 4. Meshed model for FLUENT analysis of two outlet vents.

TABLE II. SPECIFICATION OF OUTLET VENT

Type of Mold	Number of outlet vent	Area of outlet vent [mm ²]
D1	2	0.04
D2	1	0.02
D3	1	0.01

This research introduce of a new three-dimensional computational technique for prediction of wire sweep in encapsulation process. Wire sweep is the deflection and deformation of wire loop during the encapsulant flow.

B. The computational domain and boundary conditions in ABAQUS

Commercial FEM based software; ABAQUS is use in this study to calculate the wire deformation. The structures of the wires are imported from GAMBIT in ACIS '.sat' format. The flow direction is normal to the un-deformed wire axis, and the properties are approximately the same as those used in [11]. The elastic modulus of wire is $E = 17.73$ GPa; density, $\rho = 88500$ kg/m³; Poisson's ratio, $\nu = 0.42$; and reference temperature, $T = 175^\circ\text{C}$. The wire bond is divided into 291 elements as shown in Fig. 5. The shape of the wire also classified as typical J loop wire bond [10]. The ball bond boundary conditions of wire are set as fixed in ABAQUS as shown in Fig. 5.

C. Mesh based Parallel Coupling Code Interface (MpCCI)

MpCCI is a software library which enables the exchange of data defined on meshes of two or more simulation codes in the coupling region. Since the meshes need not match point by point, MpCCI performs an interpolation and, in case of parallel codes, keeps track of the distribution of the domains

onto different processes [16]. In this way, the intricate details of the data exchange are hidden behind the concise interface of MpCCI. As a consequence, the simulation codes themselves are changed only moderately when they are prepared for coupling via MpCCI (Fig. 6).

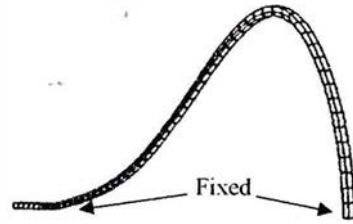


Fig. 5. Boundary condition for ABAQUS analysis

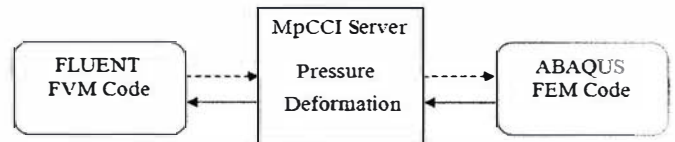


Fig. 6. FLUENT and ABAQUS coupling simulation process [16].

IV. RESULT AND DISCUSSION

The wire deformation pattern and the EMC volume is shown in Fig. 7, whereas Fig. 8 to describe of von Misses and displacement of wire in ABAQUS for all types.

The amounts of drag force and wire displacement of each type are shown in Fig. 9. Type D3 shows highest displacement of wire at highest drag force and minimum size of outlet vent.

The comparison of wire displacement of simulation and analytical results of Type D1, D2 and D3 are shown in Fig. 10. The wire deflection is validated with the analytical result that is calculated by using Eq. (13) as proposed by [8]. In the analytical calculation, the values of f_B and f_T used are 0.135 and 0.00215 respectively for $H/L = 0.332$ [8].

Displacement error of analytical and simulation results at 3 s filling time of Type D1, Type D2 and Type D3 are 3.7%, 9.8% and 5.4 % respectively.

V. CONGCLUTION

The analysis of wire deformation of encapsulation process with the specific purpose of studying the effects of outlet vent type arrangement is presented. The parameter such as viscosity and curing effect that control the mould quality are also incorporated. Three different arrangements of outlet vent of mould have been investigated. Size, position and type of outlet vent were found affected the encapsulation result in electronics packaging process.

The IC simple packages encapsulation process was investigated numerically using Gambit and FLUENT of FVM

based simulation study. The three dimensional simple IC package was simulated to study the flow visualization and wire sweep in different number of outlet vent of the process.

Three types outlet vent of mold were examined to distinguish the wire sweep of wire bonding and compare with the analytical results and demonstrated that the methodology works very well. From simulation results, the Type D3 of outlet vent showed a highest wire sweep deformation in smaller outlet vent than the Type D1 and D2 of outlet vent. Thus, the strength of MpCCI software in handling wire sweep in encapsulation process is proved to be excellent.

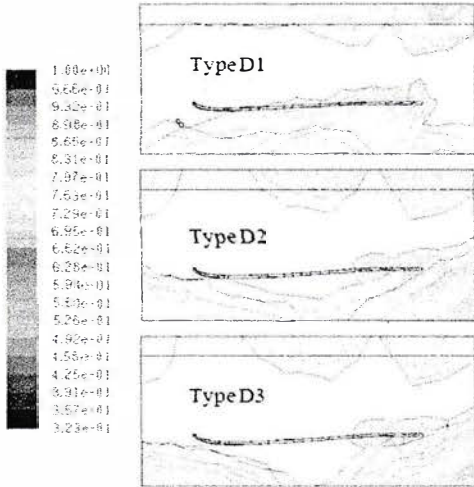
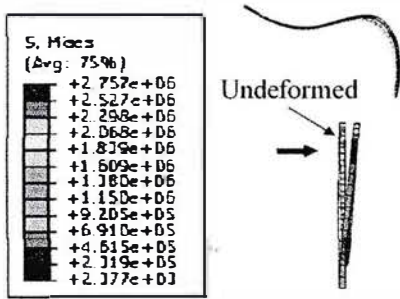
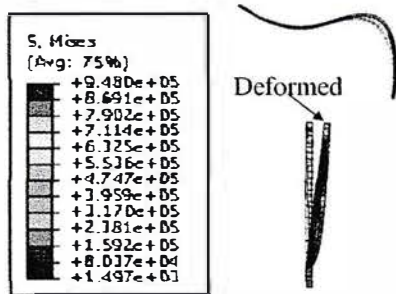


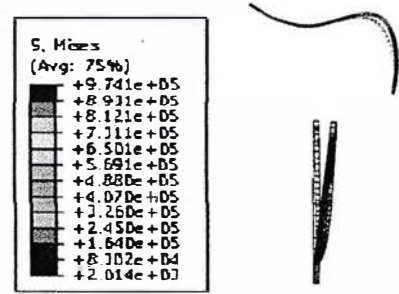
Fig. 7. FSI simulation results for all cases.



(a) Type D1

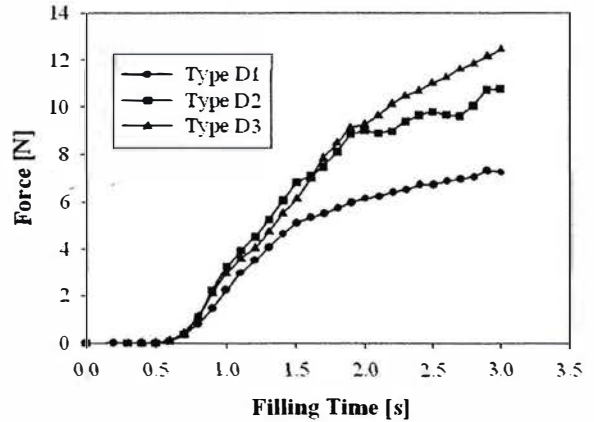


(b) Type D2

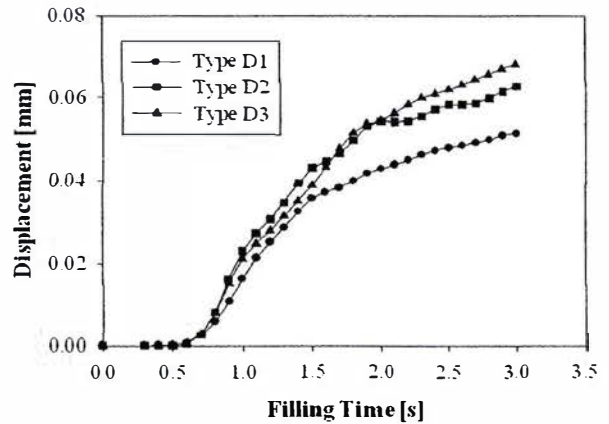


(c) Type D3

Fig. 8. Von Mises and wire deflection in ABAQUS for all cases. (a) Type D1, (b) Type D2 and (c) Type D3.



(a)



(b)

Fig. 9. (a) Drag force of wire for all cases. (b) Wire displacement profile of all cases.

ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledged the Intel Tech. Sdn. Bhd., Penang for the financial support of this research work. The author would also like to thank DGHE National Education and Culture Department of Republic of Indonesia for the scholarship of PhD Program and Research Found of PHB skim in 2012 FY. Lastly, the author would also like to thank C.Y. Khor for the technical software advices in the present study.

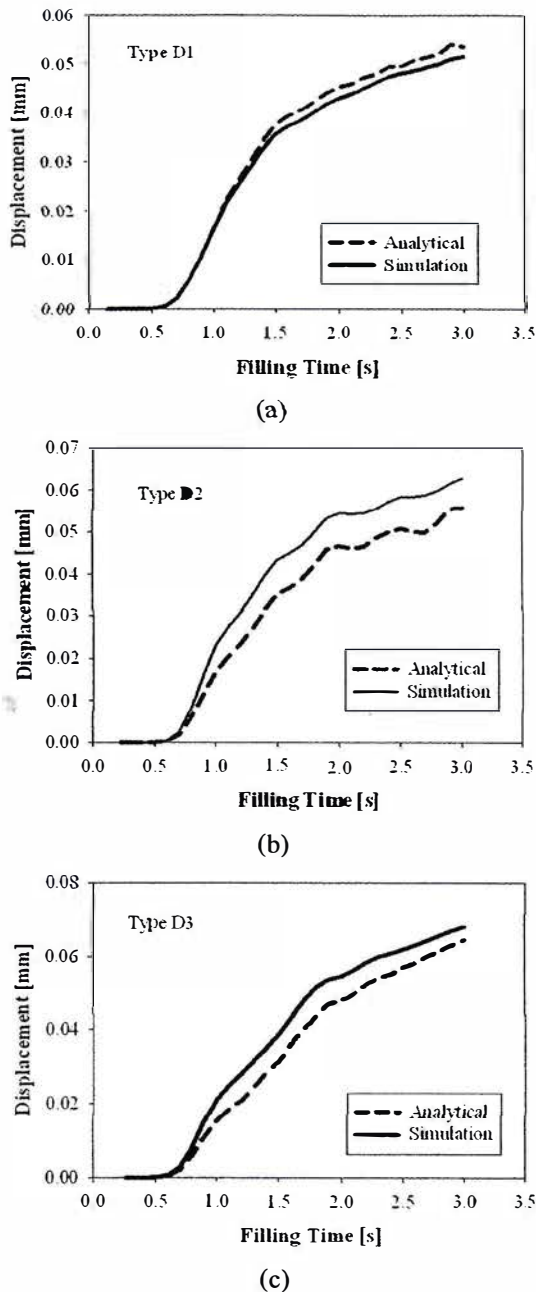


Fig. 10. Comparison wire displacement of simulation with analytical results.

(a) Type D1. (b) Type D2. (c) Type D3.

- [1] H. Ardebiri, M. Pecht, *Encapsulation Technologies for Electronic Applications*, Linacre House, Jordan Hill, Burlington, USA, Elsevier, 2009, p. 181-188.
- [2] J. M. Brand, S. A. Ruggero, A. J. Shah, "Wire sweep Reduction via Direct Cavity Injection During Encapsulation of Stacked Chip-Scale Packages," *J. Electron. Packag.*, Vol. 130, pp. 011011-1 – 011011-5, March 2008.
- [3] C. C. Pei, S. J. Hwang, "Prediction of Wire Sweep During the Encapsulation of IC Packaging with Wire Density effect," *J. Electron. Packag.* ASME, vol. 127, pp. 335-339, September 2005.
- [4] M. Ishiko, M. Usui, T. Ohuchi, M. Shirai, "Design Concept for Wire Bonding Reliability Improvement by Optimizing Position in Power devices," *Microelectron. J.* 37, pp. 262 – 268, 2006.
- [5] J. Su, S. J. Hwang, F. Su, S. K. Chen, "An Efficient Solution for Wire Sweep Analysis in IC Packaging," *J. Electron. Packag.*, ASME, vol. 125, pp. 139-143, March 2003.
- [6] W. R. Jong, Y. R. Chen, T. H. Kuo, "Wire Density in CAE analysis of high pin-count IC packages: Simulation and verification," *Int. Commun. Heat and Mass Transfer*, vol. 2, pp. 1350-1359, 2005.
- [7] Y. F. Yao, B. Njoman, K. H. Chua, T. Y. Lin, "New Encapsulation Development for Fine Pitch IC Devices," *Microelectro. Reliab.* vol. 45, pp. 1222-1229, 2005.
- [8] H. K. Kung, J. N. Lee, C. Y. Wang, "The Wire Sweep Analysis Based on the Evaluation of the Bending and Twisting Moments for Semiconductor Packaging," *Microelectron. Eng.* 83, pp. 1931-1939, 2006.
- [9] H. Q. Yang, S. Bayyuk, S. Mazumder, S. Lowry, A. Krishnan, A. Przekwas, L. Nguyen, "Time-Accurate, 3-D Computation of Wire Sweep During Plastic Encapsulation of Electronic Components," *J. Pressure Vessel Tech.*, ASME, vol. 123, pp.501-509, November 2001.
- [10] S. Yigit, M. Schafer, M. Heck, "Grid movement techniques and their influence on laminar fluid-structure interaction computations," *J. Fluids and structures*, Vol. 24, pp. 819-832, 2008.
- [11] F. Thirifay and P. Geuzaine, "Numerical simulations of fluid-structure interaction problem using MpCCI," address: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download>, 2008.
- [12] B. Gatzhammer, M. Mehl, T. Neckel, "A coupling environment for partitioned multiphysics simulations applied to fluid-structure interaction scenarios," *Procedia Comput. Science*, Vol. 1, pp.681-689, 2010.
- [13] D. Ramdan, M. Z. Abdullah, C. Y. Khor, "Plastic Ball Grid Array Encapsulation Process Simulation on Rheology Effect," *TELKOMNIKA*, vol. 9, no. 1, pp. 27 – 36, April 2011.
- [14] L. Nguyen, C. Quentin, W. Lee, S. Bayyuk, S. A. Bidstrup-Allen, S. T. Wang, "Computational Modeling and Validation of the Encapsulation of Plastic Packages by Transfer Molding," *Trans. of the ASME*, vol. 122, pp. 138-146. 2000.
- [15] C. Y. Khor, M. K. Abdullah, M. Z. Abdullah, M. Abdul Mujeebu, D. Ramdan, M. F. M. A. Majid, Z. M. Ariff, "Effect of vertical stacking dies on flow behavior of epoxy molding compound during encapsulation of stacked-chip scale packages," *Heat Mass Transfer*, vol. 46, pp.1315-1325, 2010.
- [16] MpCCI 3.1.0-1 Documentation part I overview, Fraunhofer Institute for Algorithms and Scientific Computing SCIA, Germany, January 2009.

Investigasi Interaksi Fluida Struktur pada Pembengkokan Kawat selama Proses Pembungkusan IC

Dadan Ramdan
Fakultas Teknik, Universitas Medan Area
Mohd. Zulkifly Abdullah
Mechanical Engineering School, Universiti Sains Malaysia

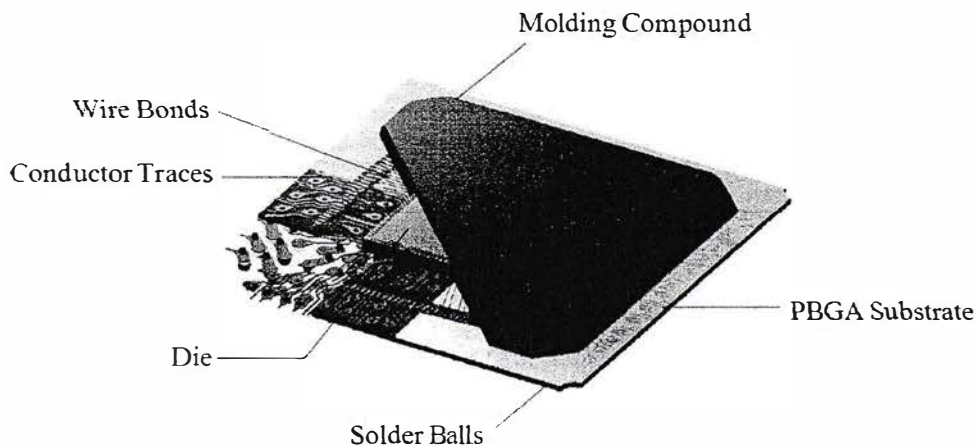
Abstrak

Pada penelitian ini dibahas tentang interaksi antara fluida cair dengan struktur kawat pada proses pembungkusan (encapsulation) Integrated Circuit (IC) melalui proses transfer molding. Bentuk IC yang dipelajari pada penelitian ini adalah tipe Plastic Ball Grid Array (PBGA) dalam ukuran besar (Scale-up) dengan input fluida disudut dan disamping. Hasil simulasi dan eksperimen dibandingkan melalui volume yang masuk ke cetakan dan besar maksimum simpangan kawat pada saat proses pembungkusan ditunjukkan secara visual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan dari kedua hasil tersebut adalah 6% untuk volume fluida yang masuk cetakan sedangkan untuk simpangan atau pembengkokan kawat sebesar 4,95%.

Pendahuluan

Di dalam IC, kawat penghubung masih banyak digunakan dalam teknologi pembungkusan (enkapsulasi) komponen elektronika mikro (Kung et al., 2012). Dalam ukuran IC yang semakin kecil serta jumlah input dan output yang terus meningkat akan menimbulkan membengkoknya kawat penghubung selama proses pembungkusan berlangsung. Pembengkokan kawat yang terlalu besar akan mengakibatkan hubungan singkat dengan kawat terdekatnya, bahkan bisa terjadi kawat tersebut putus atau lepas (Suetal., 2003). Banyak peneliti berusaha menyelesaikan masalah ini, namun yang menggunakan metode nyata dua arah dari program analisa fluida dan struktur secara bersamaan dilakukan analisa masih jarang.

Plastic Ball Grid Array (PBGA) diklasifikasikan sebagai paket IC padat komponen dalam teknologi pembungkusan yang kecanggihannya terus berkembang dalam industri elektronika mikro. Peluang perkembangan pasar yang dimiliki PBGA lebih dari 30% per tahun (Ardebiri, 2009).



Gambar 1. Konfigurasi paket PBGA (Texas Instrument, 2009)

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan analisa komputer 3 dimensi interaksi fluida s struktur dengan menggunakan program MpCCI (Mesh based parallel Coupling Interface) sebagai antarmuka untuk mengkopel program FLUENT dan ABAQUS untuk memvisualisasikan perilaku pembengkokan kawat selama proses pembungkusan. Kemudian berusaha untuk memprediksikan pengaruh posisi gerbang input fluida terhadap perilaku aliran fluida yang masuk ke cetakan serta pembengkokan kawat penghubung selama proses pembungkusan.

Metode

Penelitian ini terdiri dari analisa dengan simulasi dan eksperimen untuk proses pembungkusan P BGA. Dalam simulasi model 3 dimensi telah dibangun dan proses mesh menggunakan program GAMBIT. Program FLUENT digunakan untuk menyelesaikan masalah aliran fluida dan program ABAQUS dipakai untuk mengatasi analisa s struktur. Model volume fluida telah digunakan untuk menganalisa aliran fluida selama proses pembungkusan. MpCCI difungsikan sebagai antarmuka dari program FLUENT dan ABAQUS secara simultan untuk mengatasi proses dua arah dalam waktu nyata pada interaksi antara fluida dan struktur.

Fluida yang digunakan dianggap tidak termampatkan, sehingga dapat digunakan persamaan kontinuitas serta persamaan kekekalan masa berikut ini.

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Persamaan kekekalan massa

Arah x

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (2)$$

Arah y

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] \quad (3)$$

Arah z

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\eta \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\eta \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] \quad (4)$$

dimana, ρ adalah densitas fluida, u adalah vector kecepatan dan p adalah tekanan statis secara berurutan..

Persamaan Newtonian fluid:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

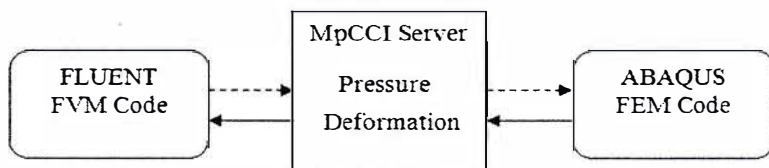
Dimana, τ adalah shear stress dan $\dot{\gamma}$ adalah strain rate.

Ide dasarnya dari skema VOF adalah melokalisasi dan mengembangkan distribusi fluida dengan memberikan tanda setiap sel pada setiap batas komputasi dalam scalar F yang spesifik sebagai fraksi dari sel yang sesuai dengan volume fluida. Dengan demikian, jika F bernilai 1 ($F=1$) dalam sel yang ada hanya fluida, jika bernilai 0 ($F=0$) di dalam sel dinyatakan udara kosong, dan jika F bernilai antara 0 dan 1 ($0 < F < 1$) merupakan sel perantara atau permukaan dari fluida yang meleleh. Persamaan diferensial permukaan lelehan fluida di bagi waktu dibangun oleh persamaan transport berikut (Khor et al., 2011):

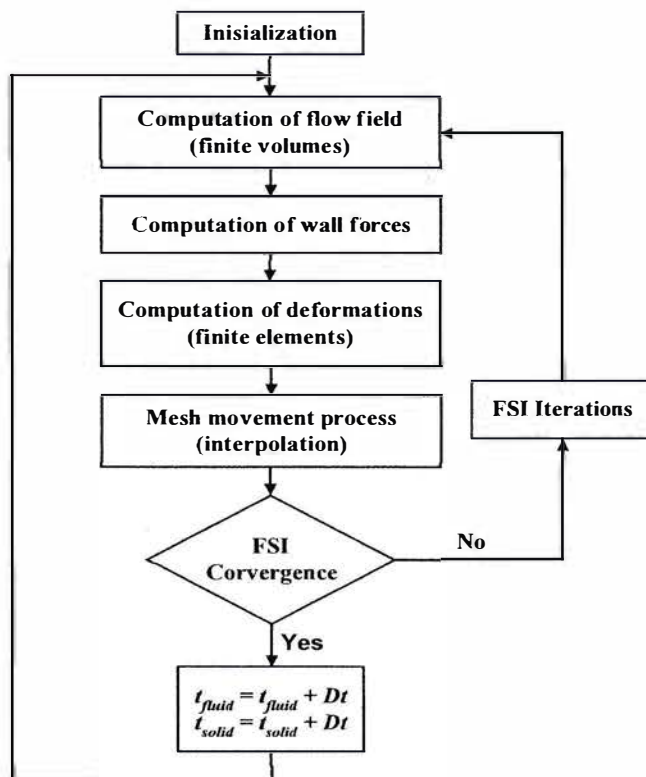
$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} - \left(\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (6)$$

Namun demikian, persamaan momentum berikut digunakan dalam FEM (ABAQUS) untuk menyelesaikan deformasi struktur (Gatzhammer et al., 2010):

$$\rho_s \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla \vec{\sigma} + \rho_s \vec{g} \quad (7)$$



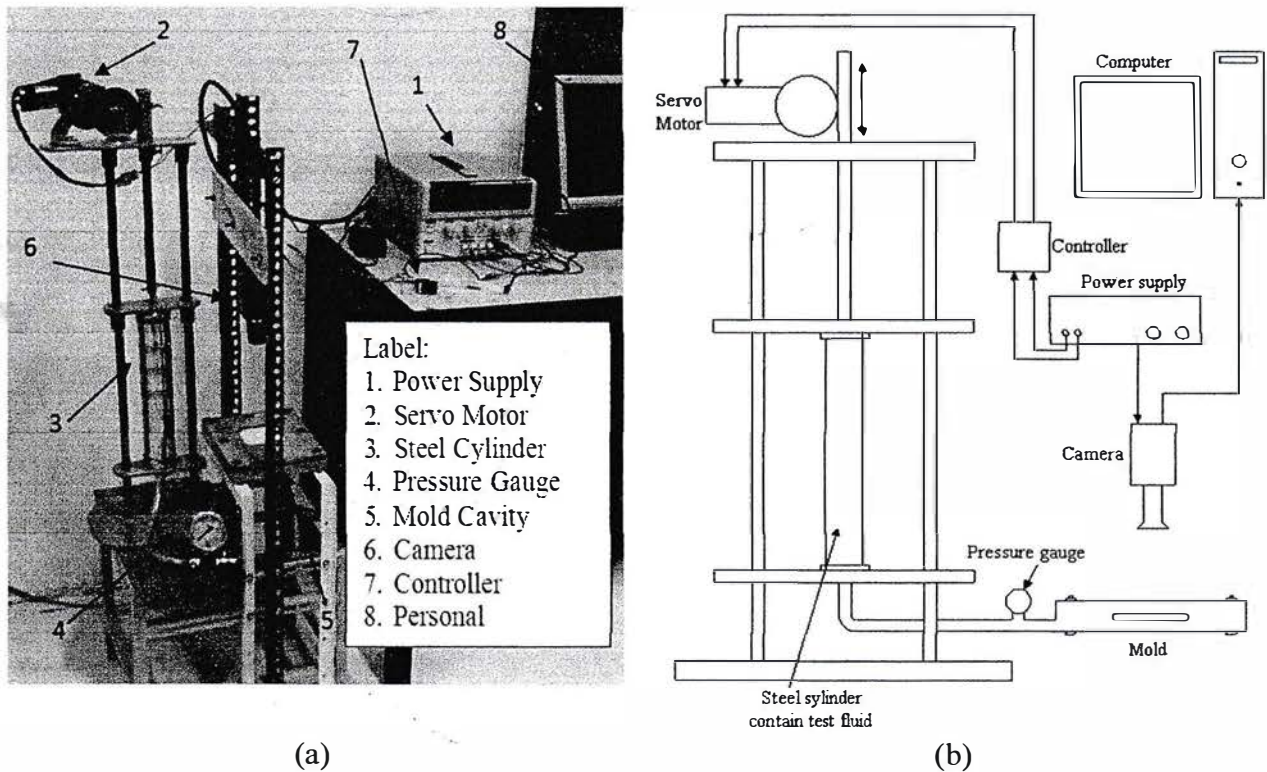
Gambar 2. Pertukaran data dari FLUENT dan ABAQUS melalui MpCCI



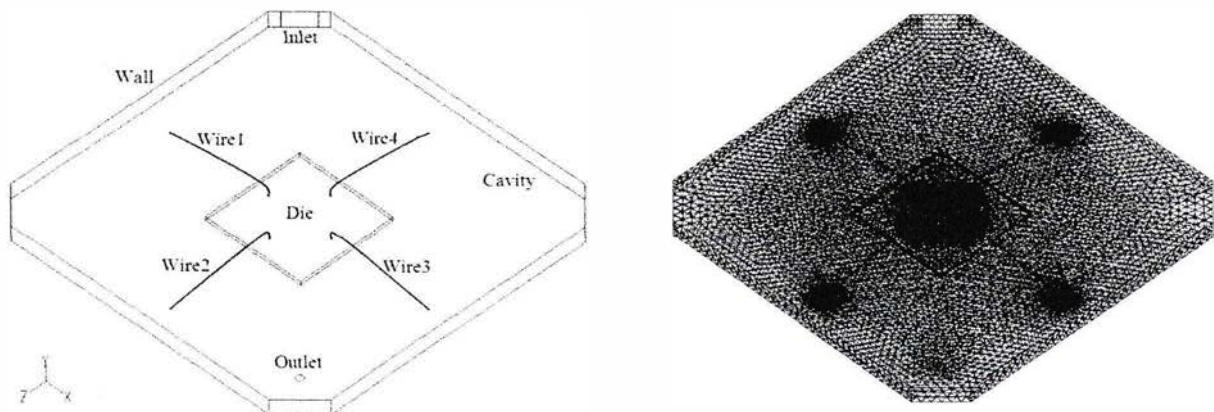
Gambar 3. Flowchart untuk prosedur penyelesaian kopel (Michael, 2005)

Hasil dan Pembahasan

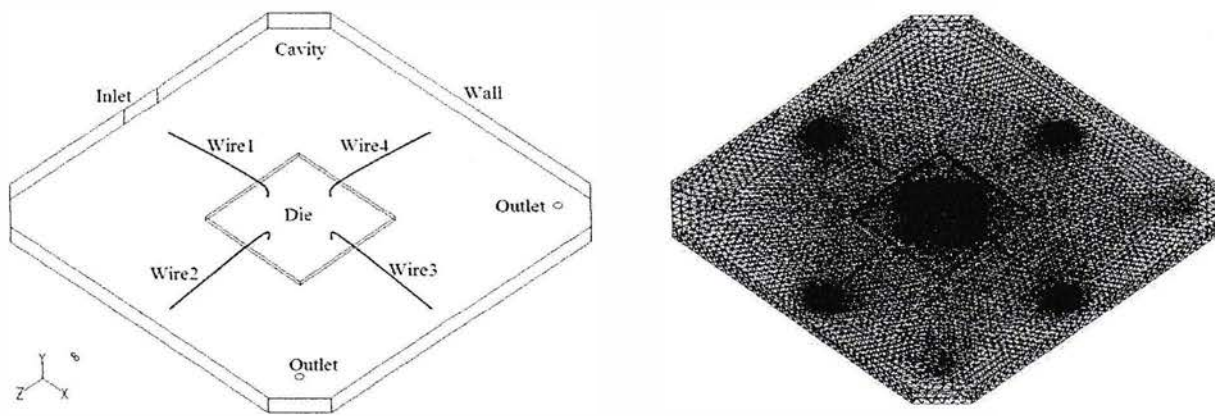
Alat eksperimen yang dirancang dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar (a) secara visual dan (b) secara skematik. Fluida cair yang berada dalam silinder didorong oleh piston yang digerakkan oleh motor, masuk ke dalam cetakan melalui pipa yang tekanan alirannya di deteksi oleh Pressure gauge. Aliran fluida di dalam cetakan selama proses direkam oleh digital camera dan datanya disimpan di dalam Personal Computer (PC). Tekanan input yang masuk ke dalam cetakan diatur oleh perubahan kecepatan motor yang diberi tegangan listrik DC yang berbeda.



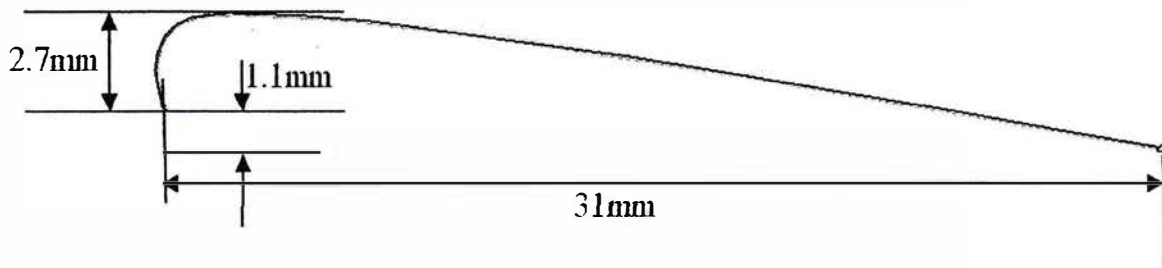
Gambar 4. Alat eksperimen (a) Photo (b) Skematik



Gambar 5. Gerbang Input di Sudut



Gambar 6. Gerbang Input di Sisi



Gambar 7. Dimensi kawat

Solid Parameter:

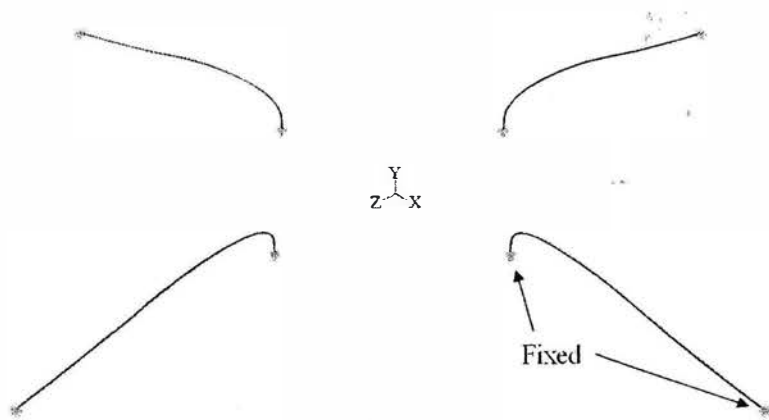
Wire: Copper
 Density: 8960 Kg/m³
 Modulus Young: 103.422 Gpa
 Poisons Ratio: 0.355
 Diameter of wire: 0.17 mm

Fluid Parameter:

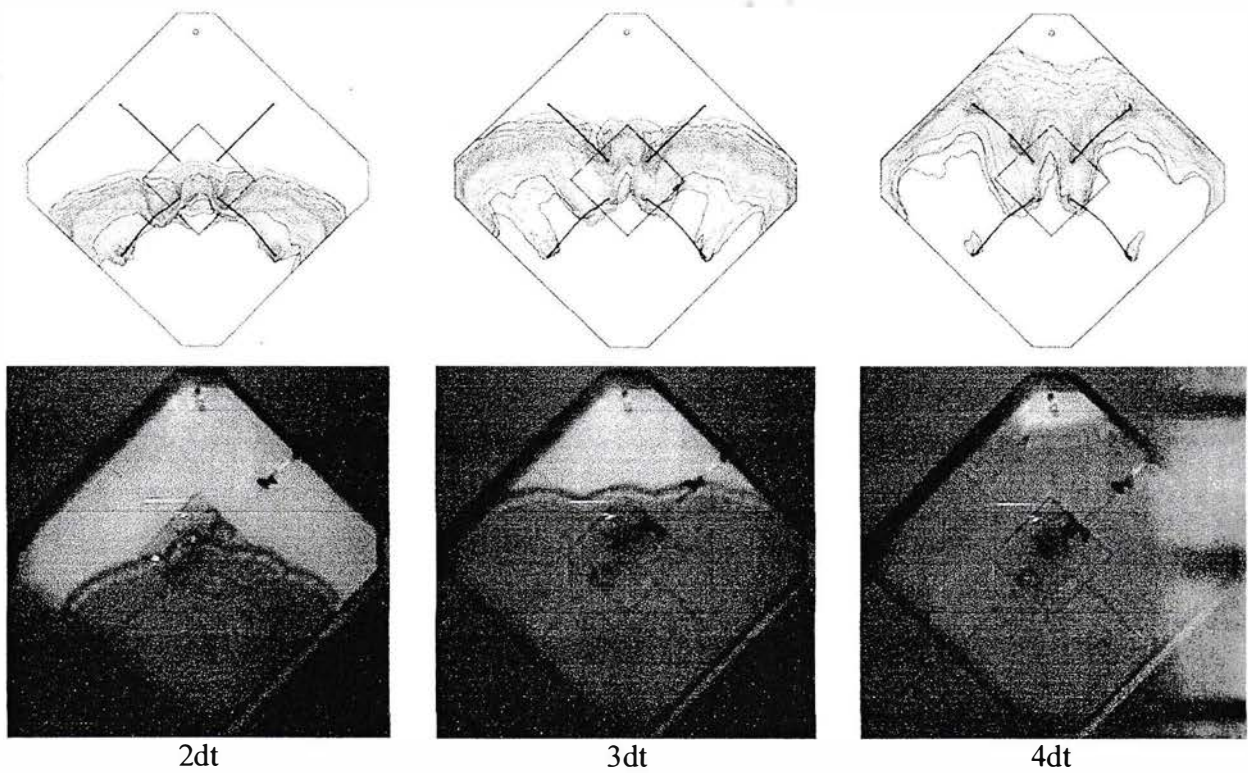
Inlet pressure: 161441 Pa.
 Density of Silicon Fluid: 1067 Kg/m³
 Viscosity of Silicon Fluid: 4 Pa.s

Kondisi awal:

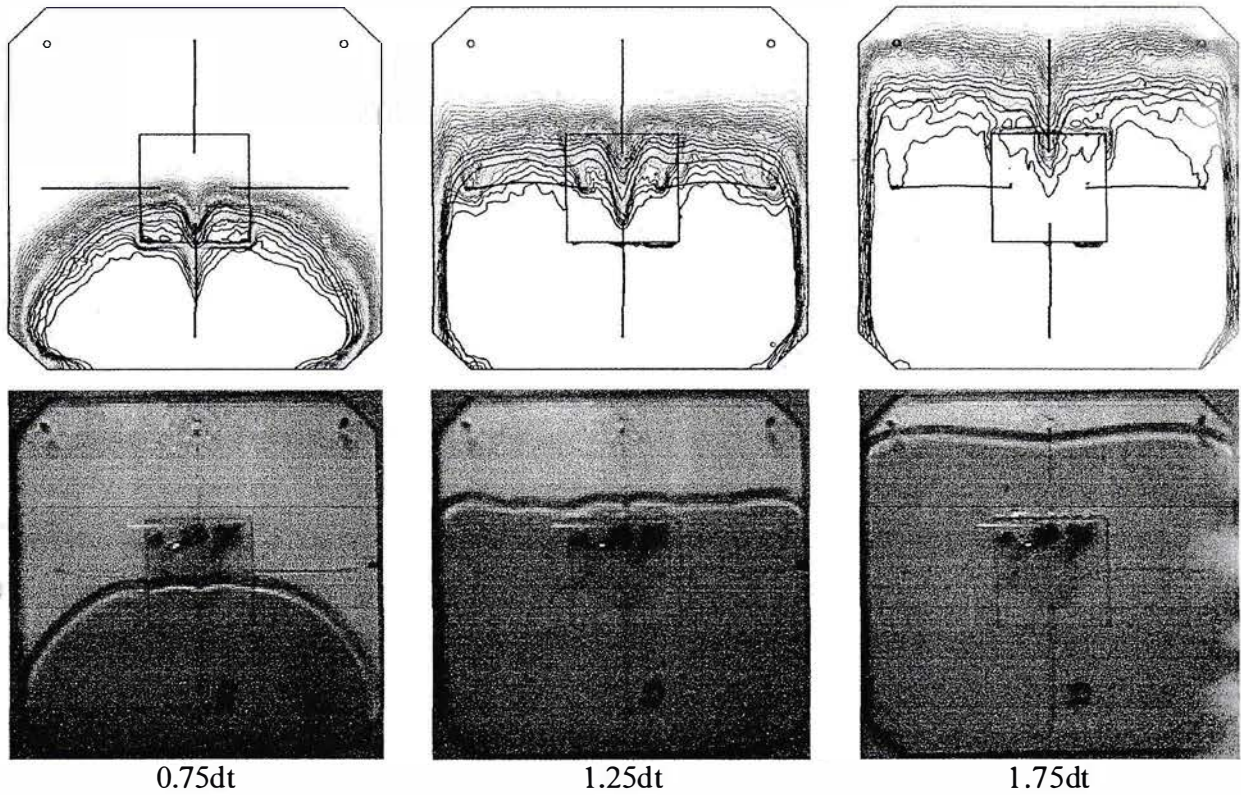
- Kecepatan fluida pada dinding: $u = v = w = 0$; $T = T_w$
- Tekanan pada permukaan fluida: $p = 0$
- Tekanan pada gerbang masukan: $p = p_{in}(x, y, z)$; $T = T_{in}$



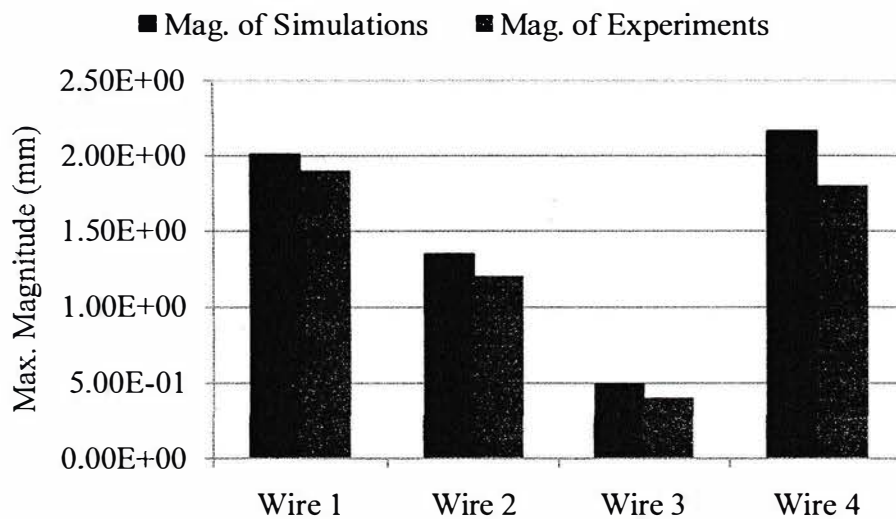
Gambar 8. Kondisi awal untuk ABAQUS



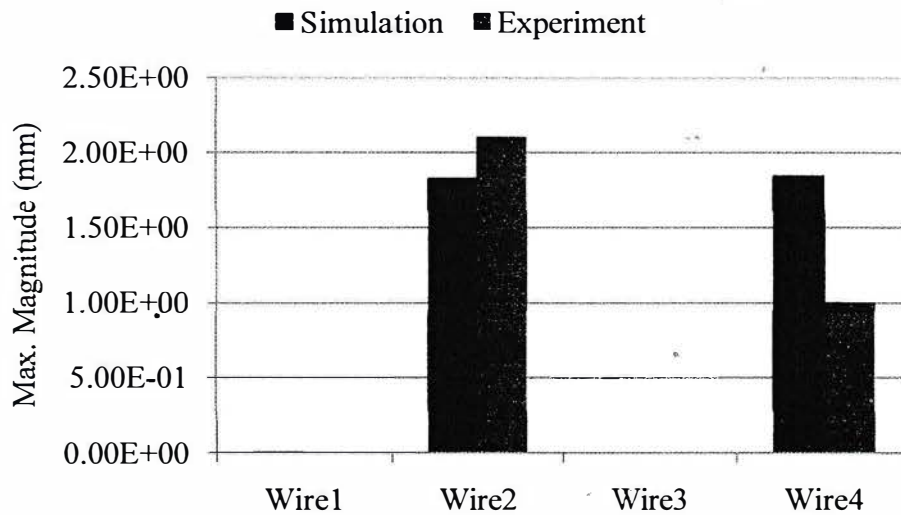
Gambar 9. Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen dengan input sudut



Gambar 10. Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen dengan input samping



Gambar 11. Besar simpangan kawat maksimum pada gerbang input di sudut



Gambar 12. Besar simpangan kawat maksimum pada gerbang input di sisi/samping

Kesimpulan

- Posisi gerbang input fluida mempengaruhi perilaku aliran fluida di dalam cetakan.
- Posisi berbangi nput f luida m empengaruhi pe mbengkokan kawat selama proses pembungkusan.
- Hasil simulasi dengan eksperimen memiliki perbedaan maksimum 6,0% untuk volume fluida yang masuk cetakan dan 4,95% untuk pembengkokan kawat.

Referensi

- Ardebiri, H., Pecht, M. (2009) Encapsulation Technologies for Electronic Applications. Linacre House, Jordan Hill, Burlington, USA, Elsevier.
- Gatzhammer B., Mehl M., Neckel T., "A coupling environment for portioned multiphysics simulations applied to fluid-structure interaction scenarios," *Procedia Comput. Sci. I*, Vol. 1, pp. 681-689, 2010.
- Khor, C.Y., Abdullah, M.K., Abdullah, M.Z., Mujeebu, M.A., Ramdan, D., Majid, M.F.M.A., Ariff, Z.M. (2010) Effect of Vertical Stacking Dies on Flow Behavior of Epoxy Molding Compound during Encapsulation of Stacked-chip Scale Packages. *Heat Mass Transfer*. 46, p. 1315-1325.
- Khor C.Y., Abdullah M.Z., Abdullah M.K., Mujeebu M.A., Ramdan D., Majid M.F.M.A., Ariff Z.M., Abdul Rahman M.R. (2011) Numerical analysis on the effects of different inlet gates and gap heights in TQFP encapsulation process, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 54, pp. 1861-1870.
- Kung, H.K., Chen, H.S., Lu, M.C. (2012) The Wire Sag Problem in Wire Bonding Technology for Semiconductor Packaging. *Microelectronics Reliability*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2012.08.017>.
- Plastic Ball Grid Array (PBGA), Application Report, Texas Instruments, Submit Documentation Feedback. SSZA002-August 2009, p. 1-17.
- Su, J., Wang, S.J., Su, F., Chen, S.K. (2003) An Efficient Solution for Wire Sweep Analysis in IC Packaging. *ASME Journal of Electronic Packaging*. 125, p. 139-143.

Effects of outlet vent arrangement on air traps in simple package molding

D. Ramdan, U. Harahap, M.Z. Abdullah*

Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty

Medan Area University, Jl. Kolam No. 1, Medan Estate,

Medan, 20371, North Sumatera, Indonesia

*School of Mechanical Engineering, Universiti Sains Malaysia

Engineering Campus, 14300 Nibong Tebal, Penang, Malaysia

Corresponding author: Phone: +6285262307704

Email: dadan@uma.ac.id

Abstract

The current paper analyzes the effect of outlet vent arrangements on the air traps and pressure distribution of a simple package during molding process. A three-dimensional model of simple package is created using GAMBIT and analyzed using FLUENT code. In the molding process, the epoxy molding compound flow behavior calculated using the Castro–Macosko viscosity model by considering the curing effect, and the volume of fluid technique are applied for flow front tracking. The viscosity model is written in C language and compiled using User-Defined Function in FLUENT code. Three different types of outlet vent arrangement are considered in the analysis, namely, Type 1, Type 2, and Type 3. Type A, which has the minimum outlet vent area, shows the minimum air trap and the highest average pressure distribution.

Keywords: Castro–Macosko model, Curing Kinetic model, Epoxy Molding Compound (EMC), Volume of Fluid (VOF).

NOMENCLATURE

A_1, A_2	Pre-exponential factors 1/s.
B	Exponential-fitted constant Pa.s.
C_1, C_2	Fitting constant.
C_p	Specific heat J/kg.K.
E_1, E_2	Activation energies K.
F	External body force.
f	Front advancement parameter.
g	Gravitational acceleration.



k	Thermal conductivity W/m.K.
k_1, k_2	Rate parameters described by an Arrhenius temperature dependency 1/s.
M	Linear viscous operators.
m_1, m_2	Constants for the reaction order.
N	Non-linear viscous operators.
n	Power law index.
P	Static pressure Pa.
T	Absolute temperature K.
t	Time s.
T_b	Temperature-fitted constant K.
u	Fluid velocity component in x-direction mm/s.
v	Fluid velocity component in y-direction mm/s.
w	Fluid velocity component in z-direction mm/s.
x, y, z	Cartesian coordinates.

Greek letters

α	Conversion of reaction.
α_{gel}	Degree of cure at gel.
$\dot{\alpha}$	Curing rate.
ΔH	Exothermic heat of polymerization J/kg.
η	Viscosity Pa.s.
η_0	Zero shear rate viscosity Pa.s.
ρ	Density kg/m ³ .
τ	Shear stress Pa.
$\dot{\gamma}$	Shear rate 1/s.
τ^*	Parameter that describes the transition region between zero shear rates and the power law region. of the viscosity curve Pa.
Φ	Energy source term J.

1. Introduction

Transfer molding is the most popular microelectronics encapsulation method for electronic packaging. The common molding defects in this process include short shot, air trap, wire sweep, paddle shift, as well as other stress-induced problems [1]. These defects arise from the improper selection of processing conditions, molding material, lead frame layout, or mold design. Further, trends

to produce faster, smaller, and cheaper electronic products are driving packaging technology toward a higher packaging density with thinner and smaller profiles. This condition has made the process of encapsulation much more complicated and unpredictable [2].

There has been a significant demand for stacked die technology in recent years. The stacking of chips in leaded and substrate package can efficiently minimize package size and cost [1, 3]. Stacked-chip packages can be packed using IC manufacturing, such as die attach, wire bonding, and molding. Some challenges in stacked die development are thin wafer back grinding and handling, thermal issues due to the low thermal conductivity of the nonconductive die attach paste between die to die, and delamination issues due to package material mismatch, among others [4-5]. Many researchers have studied this mold-filling process. However, only a few works related to the present study are reviewed and considered in the current paper.

Lim and Lee [6] performed numerical simulations of three-dimensional (3D) mold filling during resin transfer molding. They used the finite element method to predict the flow front while the epoxy molding compound (EMC) is injected into a mold cavity preloaded with a porous fibrous preform. To check the 3D EMC front location as a function of time inside the preform, an optical fiber is used as sensing element. The experimental data were found to agree well with the numerical results.

Sato and Yokoi [7] developed a visualization mold with a glass-inserted structure, which enables observation of the dynamic melt behavior inside the cavity along the thickness direction. The flow melt profile and the behavior of the flow front surface were observed using a high-speed video system and analyzed with an image processor. Several experiments revealed that the melt advanced slipping on the cavity surface or lead frame. The melt flow is suggested to be affected by the melt in the opposite cavity beyond the lead frame.

Nguyen et al. [8] numerically studied transfer molding. They presented, discussed, and compared the results from experimental and computational studies on plastic encapsulation for a 144-lead TQFP package. The experimental results were also obtained using an instrumented molding press, whereas the computational predictions were obtained using a newly developed software for modeling transfer molding. Validation of the software was emphasized, and the computational results were compared with the corresponding experimental measurements for pressure, temperature, and flow front advancement in the cavities and runners. The experimental and computational results were found to be in good agreement, especially for the flow-front shapes and locations.

Shojaeia et al. [9] presented numerical simulations of a 3D isothermal mold filling process based on the concept of the control volume finite element method. Two numerical schemes were employed to track the flow front: one was based on quasi-steady state formulation, and the other was based on the formulation of partial saturation at the flow front. Preform permeability may be a function of fluid

velocity. Hence, the proposed numerical schemes accounted for the velocity dependency of permeability. The correlation between preform permeability and fluid velocity during mold filling made the numerical schemes complex. The validity of the two schemes was evaluated by a comparison with analytical solutions for simple geometries. Excellent agreements were observed.

Gokce and Advani [10] investigated the molding process, where the resin is injected into the mold cavity containing preplaced reinforcement fabrics, through openings known as gates, whereas the displaced air leaves the mold through openings called vents. Gate and vent locations determine process output, such as fill time, pressure requirements, and whether or not the fabrics will be saturated entirely, a requirement for the success of mold filling. In their study, a cascaded optimization algorithm is proposed for simultaneous gate and vent location optimization in the presence of racetracking during mold filling. This algorithm is created by integrating branch and bound search with map-based exhaustive search.

Abdullah et al. [11] numerically examined the encapsulation of the stacked-Chip Scale Package (S-CSP). They presented a study of flow visualization during encapsulation in S-CSP. The Navier–Stokes equation was solved by the finite difference method. The numerical model was verified by comparing the prediction with the experimental results. The numerical results show good agreement with the experimental ones. The prediction also shows that the short shot problem that occurred for the die top clearance is lower than 0.25 mm.

Recently, Khor et al. [12] studied the effect of inlet gate arrangement on the filling time during TQFP encapsulation. A 3D model of plastic TQFP packages was built using GAMBIT and simulated by FLUENT software. The Castro–Macosko viscosity model and volume of fluid (VOF) technique are applied for the flow front tracking of the EMC. Curing kinetics is considered in the simulation using Kamal's equation. The results of simulation flow front profiles in encapsulation are presented and compared with previous experimental results. Void problems or incomplete filling around packages and the multi-inlet gate are also discussed in the present paper. The results of the simulation and previous experimental results are found to be in good agreement.

In the present study, the computational fluid dynamic code FLUENT 6.3 is used to analyze the effect of outlet vent arrangements on flow behavior during injection molding process. A 3D model is developed and analyzed using the finite volume method. Three different arrangements of mold, namely, Type 1, Type 2, and Type 3, are applied in the analysis. The Castro–Macosko model is used to consider polymer rheology with curing effect in the viscosity behavior of the EMC. A program written in C language is employed in the User-Defined Function (UDF) to calculate the curing kinetics of EMC. The VOF technique is also applied to track the flow front of the EMC. The numerical results of the flow patterns and the filling time of the three arrangements are compared.

2. Mathematical Model

In the simulation model, the EMC and air are assumed to be incompressible, and the flow is laminar. The EMC and air are treated as the two different phases during encapsulation. The governing equations describing fluid flow are the conservation of mass, conservation of momentum, and conservation of energy. The FLUENT software solves the governing equations using Cartesian spatial coordinates and velocity components.

The conservation of mass or continuity equation is

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Eq. (1) is the general form of the mass conservation equation and is valid for incompressible and compressible flows. The conservation of momentum in the i^{th} direction in an inertial (non-accelerating) reference frame is described by

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

where P is the static pressure, τ_{ij} is the viscous stress tensor, and g_i and F_i are the gravitational acceleration and external body force in the i direction, respectively.

The energy equation cast in terms of h (static enthalpy) can be written as

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_j} (k \frac{\partial T}{\partial x_i}) + \eta \dot{\gamma} \quad (3)$$

where T is the temperature, k is the thermal conductivity, η is the viscosity, and $\dot{\gamma}$ is the shear rate. The EMC is assumed to be a generalized Newtonian fluid.

Several models have been used to predict the relationship between viscosity and the degree of polymerization. The Castro–Macosko model applied by Nguyen et al. [8] is selected in the present simulation. It can be described as follows:

$$\eta(T, \dot{\gamma}) = \frac{\eta_0(T)}{1 + \left(\frac{\eta_0(T)\dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}} \left(\frac{\alpha_g}{\alpha_g - \alpha}\right)^{C_1 + C_2\alpha} \quad (4)$$

where n is the power law index, η_0 is the zero shear rate viscosity, τ^* is the parameter that describes the transition region between zero shear rates and the power law region of the viscosity curve, $\dot{\gamma}$ is the shear rate, α is the chemical conversion, α_g is the conversion at gel point, and C_1 and C_2 are fitting constants.

$$\eta_0(T) = B \exp\left(\frac{T_b}{T}\right) \quad (5)$$

B is an exponential-fitted constant, and T_b is a temperature fitted-constant. In addition, Kamal curing kinetics is coupled with the Castro–Macosko model. This model predicts the rate of chemical conversion of the compound as follows:

$$\frac{d\alpha}{dt} = (k_1 + k_2\alpha^{m_1})(1 - \alpha)^{m_2} \quad (6)$$

$$k_1 = A_1 \exp\left(-\frac{E_1}{T}\right) \quad (7)$$

and

$$k_2 = A_2 \exp\left(-\frac{E_2}{T}\right) \quad (8)$$

where, A_1 and A_2 are the Arrhenius pre-exponential factors, E_1 and E_2 are the activation energies, m_1 and m_2 are the reaction orders, and T is the absolute temperature.

The VOF scheme is used to locate and evolve the distribution of, say, the liquid phase by assigning each cell in the computational grid a scalar, f , which specifies the fraction of the cell's volume occupied by liquid. Thus, f takes the value of 1 ($f = 1$) in the cell, which contains only the resin, the value 0 ($f = 0$) in the cells, which are void of resin, and a value between 0 and 1 ($0 < f < 1$) in “interface” cells, referred to as the resin melt front. The equation of melt front over time is governed by the following transport equation:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial t} + \nabla \cdot (uf) = 0 \quad (9)$$

3. Simulation Model and Boundary Conditions

Three different outlet vents of simple package, each with a dimension of 80 mm × 80 mm × 3 mm, are considered in the present study. During injection molding process, the EMC is transferred from the pot, goes through the runner, and fills the cavity of the mold containing the package. The pressure at the inlet gate is set at 70 kPa, and the mould temperature is 175 °C. A 3D simulation model is created by the GAMBIT software, and an average of 132,861 tetrahedral element meshes is generated. The simplified package models are shown in Figs. 1 and 2. Both meshed models are shown in Fig. 3. The three types of outlet vent arrangement, namely, Type 1, Type 2, and Type 3, are illustrated in Fig. 4. Type 1, Type 2, and Type 3 are designed with diameter 1 mm, 2 mm, and 3 mm outlet vents, respectively.

In the VOF calculations, a single set of momentum equations is shared by the fluids, and the volume fraction of each fluid in each computational cell is tracked throughout the domain. The VOF equation in FLUENT 6.3.26 [13, 14] is applied into the present study's simulation of encapsulation. Air and EMC (EME 6300HN Dynamic Modes) [8] are defined as the phases in the analysis. The volume fraction of the EMC is defined to have "one" and "zero" values for the air phase. UDF is employed in modeling flow behavior using the Castro–Macosko viscosity model. The viscosity model with curing kinetic effect used in the present study is shown from Eqs. 4 to 8. The program is written in C programming language and compiled with FLUENT code during the analysis. The implicit method and time-dependent formulation are applied in the calculation for every time step of 0.001 s. The simulation is performed on Dell Precision PWS90, with a speed of 2.40 GHz and a memory of 3.50 GB. The calculations for one case were completed in approximately 8 h. The EMC material properties [8] for the present study are summarized in Table 2. The boundary and initial conditions used in the calculations are set as follows:

- (a) On wall : $u = v = w = 0; T = T_w, \frac{\partial p}{\partial n} = 0$
- (b) On melt front : $p = 0$
- (c) At inlet : $p = p_m(x, y, z); T = T_m$

4. Model Verification

Fig. 5 shows a comparison of the results of previous experimental works and the present study's simulation. At the initial stage, 1.5 to 5.5 s of filling time, the simulation results (top) show an almost similar flow front profile with the experiment. The result shows that there is a faster flow front at the free region without silicon die. This finding is observed at a filling time of 1.5 s. At 2.5 s, the

EMC has already covered more than half of the package. In this condition, the experimental results show a similar trend with the simulation results. However, the shape of the flow front from the predicted results began to diverge after reaching the die's leading edge.

The EMC is completely filled at approximately 5.5 s. In addition, the strength of the present analysis is demonstrated when the filled volumes for both the experiment and simulation are almost matched, as shown in Fig. 6. The findings indicate that the simulation results are in good agreement with the experimental ones. Overall, the strength of FLUENT analysis is proven with its realistic predictions. Fig. 7 shows the viscosity variation versus shear rate. The EMC exponentially behaves in viscosity variation with the shear rate.

5. Results and discussion

5.1 Flow front and pressure distribution

Injection molding is an essential step in molding manufacturing. The EMC used to mould in the packaging process enhances the reliability and minimizes the malfunction of the package. Process control and research in this area are crucial for continuously improving and minimizing the failure of packages. The process parameter in encapsulation is also important. A disparity in the parameter may cause a defect on the package. In package, air traps or void formations decrease the reliability and cause the failure of the package. The arrangement of outlet vents is one of the factors that affect the air traps in the package. In the present study, three different arrangements of outlet vent have been considered.

Further, determining the pressure distribution in the package to ensure that the pressure is within its allowable limit is important. Different numbers of outlet vents may cause pressure variation inside the package. The findings of the present study are expected to be a valuable reference and guide on packages in terms of the different of outlet vents. The flow front profiles of three different outlet vent arrangements are compared and presented in Fig. 8 and 9. The outlet vent arrangement does not substantially affect the flow front profile. The EMC flow is observed and found to be almost in identical shape.

The pressure distribution contour for four different numbers of outlet vents is shown in Fig. 10. The color contours representing the different pressure values around the package during filling indicate the pressure drop associated with flow front advancement. The results show a higher pressure around the inlet gates and a lower pressure around the outlet vents.

The pressure points indicated in Fig. 10 are measured for each filling process. In general, the pressure in the mold increases as the EMC fills the mold, as can be observed in Fig. 10. The pressure at all locations shows a similar distribution for different types of outlet vent arrangement in filling.



Notably, the pressure around the outlet vents is lower than that near the inlet gate. From the simulation results, Type 1 filling shows the highest pressure compared with Types 2 and 3. This phenomenon is caused by the flow interaction from different outlet vents. From the results, the relationship between pressure and the type of outlet vents is clear: the more the outlet vents, the higher the pressure during filling. The fluid volume comparison of all Types is shown in Fig. 11.

5.2 Air traps

The possibility of air traps in the package is observed in the present study. Three types of outlet vent are used in the analysis.

A comparison of the percentages of air trap volume is conducted for three types of outlet vent design and is shown in Fig. 12. The percentage of air trap is calculated from the total volume of the air trap in each package. The results obtained from the simulation analysis show that Type 3 has higher air traps compared with the other two outlet vent arrangements. Type 1 is found to have the lowest air trap volume during filling. Fig. 12 shows an increase in the outlet vent area caused by the increase in air trap. This result is clearly shown in Figs. 12, where the air trap is smaller and lesser for Type 1.

6. Conclusions

The current paper presents the effects of outlet vent arrangements on the pressure distributions and air traps in simple molding. The Castro–Macosko viscosity model with curing effect is considered for EMC flow behavior in molding. Only three types of outlet vent arrangement are studied due to the limited number of available literature on the effect of outlet air vents on air traps. The results obtained shows that the size, position, and type of air vent outlet significantly affects air trap development. The decrease in outlet vent area resulted in lower air traps, but it caused an increase in pressure. The results of Type 1 outlet vent design are in good agreement with the experimental results for flow front advancement. Overall, the present study shows that the EMC flow is successful, and FLUENT is efficient in handling the encapsulation problem. The air traps in packaging should be investigated further to improve and minimize the percentage of air traps in package.

Acknowledgement

The authors would like to thank the Directorate General High Education Department, Ministry of National Education, Republic of Indonesia, for the financial support.

References

- [1] M. K. Abdullah, M. Z. Abdullah, M. A. Mujeebu, Z. M. Ariff, K. A. Ahmad, Three-Dimensional Modeling to Study the Effect of Die-Stacked Shape on Mould Filling During Encapsulation on Microelectronic Chips, *IEEE Transactions on Advanced Packaging* 33 (2) (2010) 438–446.
- [2] R. Y. Chang, W. H. Yang, S. J. Hwang, F. Su, Three Dimensional Modeling of Mold Filling in Microelectronics Encapsulation Process, *IEEE Transactions on component and Packaging Technologies* 27 (1) (2004) 200–209.
- [3] M. K. Abdullah, M. Z. Abdullah, M. A. Mujeebu, S. Kamaruddin, Z. M. Ariff, Study on the Effect of Stack Thickness During Encapsulation of Stacked-Chip Scale Packages (S-CSP), *Journal of International Microelectronics and Electronics Packaging* 5 (2) (2008) 62–67.
- [4] M. K. Abdullah, M. Z. Abdullah, M. A. Mujeebu, S. Kamaruddin, A Study on the Effect of Epoxy Molding Compound (EMC) Rheology During Encapsulation of Stacked-Chip Scale Packages (S-CSP), *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 28 (20) (2009) 2527–2538.
- [5] Y. F. Yao, T. Y. Lin, K. H. Chua, Improving the Deflection of Wire Bond in Stacked Chip Scale Package (CSP), *Microelectronics Reliability* 43 (2003) 2039–2045.
- [6] S. T. Lim, W. I. Lee, An analysis of the three-dimensional resin transfer mold filling process, *Composites Science and Technology* 60 (2000) 961–975.
- [7] M. Sato, H. Yokoi, Visualization Analysis of Melt Flow in IC Packaging Process along Thickness Direction, *IEEE Transaction on Advanced Packaging* 23 (4) (2000) 729–737.
- [8] L. Nguyen, C. Quentin, W. Lee, S. Bayyuk, S. A. Bidstrup-Allen, S. T. Wang, Computational Modeling and Validation of the Encapsulation of Plastic Packages by Transfer Molding, *Transaction of the ASME* 122 (2000) 138–146.
- [9] A. Shojaei, S. R. Ghaffarian, S. M. H. Karimian, Numerical simulation of three-dimensional mold filling process in resin transfer molding using quasi-steady state and partial saturation formulations, *Composites Science and Technology* 62 (2002) 861–879.
- [10] A. Gokce and S. G. Advani, Simultaneous gate and vent location optimization in liquid composite molding processes, *Composites Part A* 35 (2004) 1419–1432.
- [11] M. K. Abdullah, M. Z. Abdullah, S. Kamaruddin, Z. M. Ariff, Study of Flow Visualization in Stacked-Chip Scale Packages (S-CSP), *International Communications in Heat and Mass Transfer* 34 (2007) 820–828.
- [12] C. Y. Khor, M. Z. Abdullah, M. K. Abdullah, M. A. Mujeebu, D. Ramdan, M. F. M. A. Majid, Z. M. Ariff, M. R. Abdul Rahman, Numerical analysis on the effects of different inlet gates and gap heights in TQFP encapsulation process, *International Journal Heat Mass Transfer* 54 (2011) 1861–1870.

- [13] C. Y. Khor, M. A. Mujeebu, M. Z. Abdullah, F. C. Ani, Finite Volume Based CFD Simulation of Pressurized Flip-chip Underfill Encapsulation Process, *Journal of Microelectronics Reliability* 50 (1) (2010) 98–105.
- [14] C. Y. Khor, Z. M. Ariff, C. F. Ani, M. A. Mujeebu, M. K. Abdullah, M. Z. Abdullah, M. A. Joseph, Three-Dimensional Numerical and Experimental Investigations on Polymer Rheology in Meso-scale Injection Molding, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37 (2) (2009) 131–139.

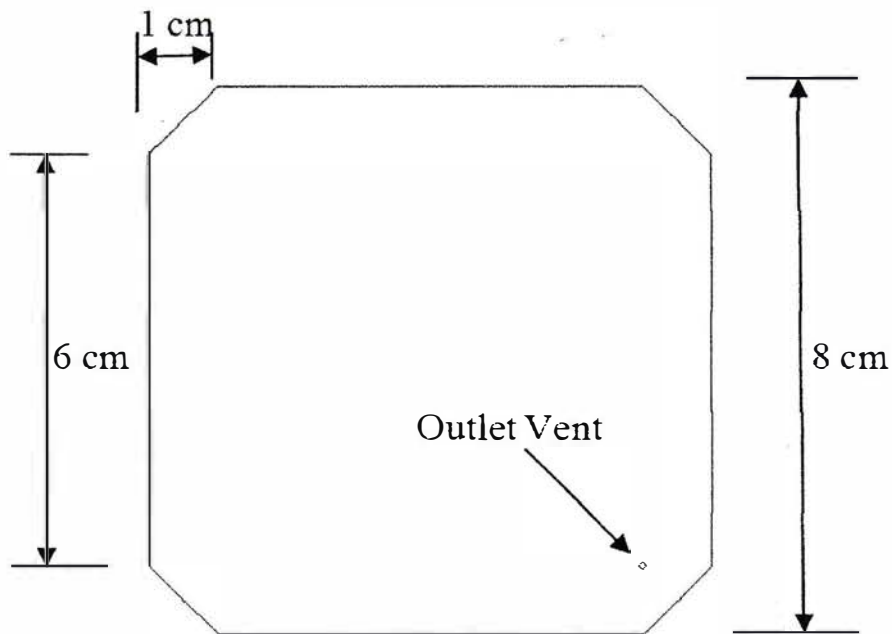


Figure 1

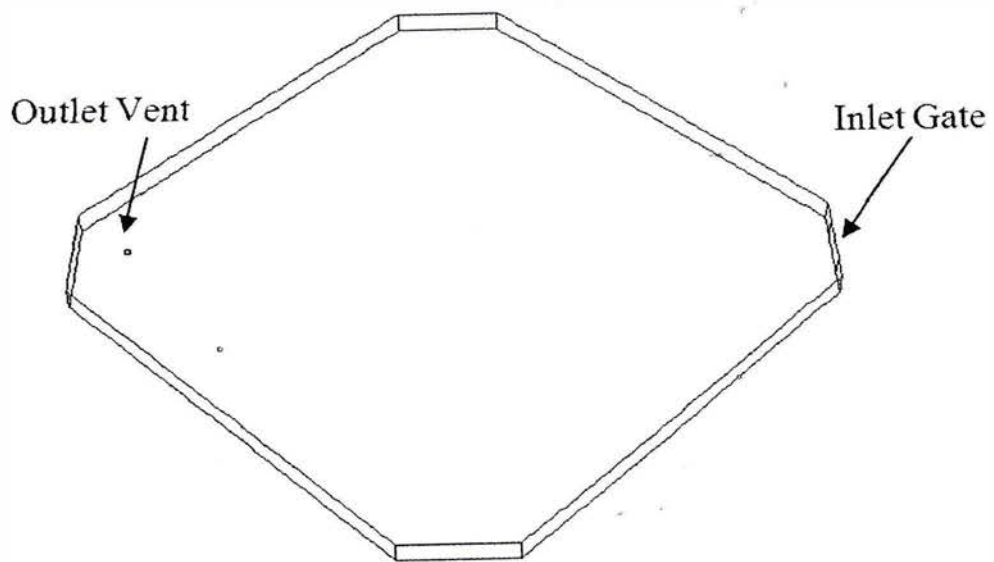


Figure 2

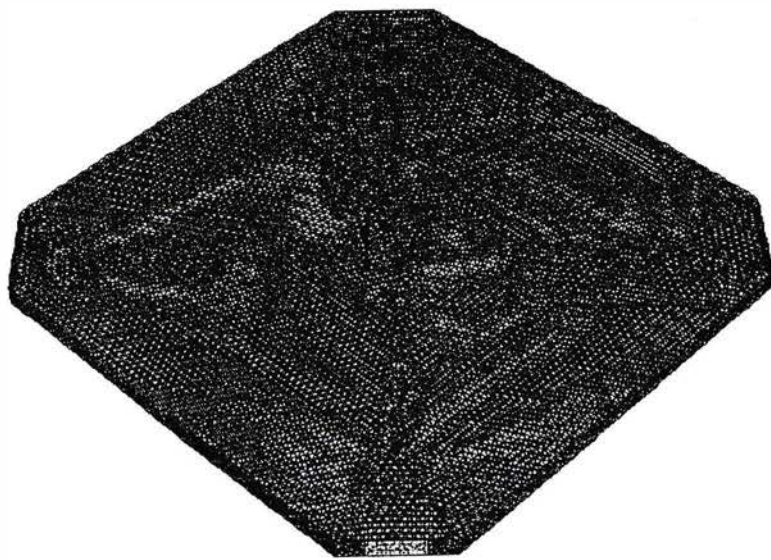
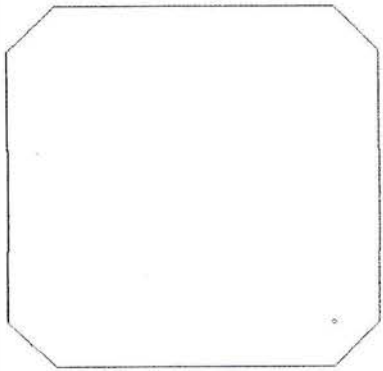
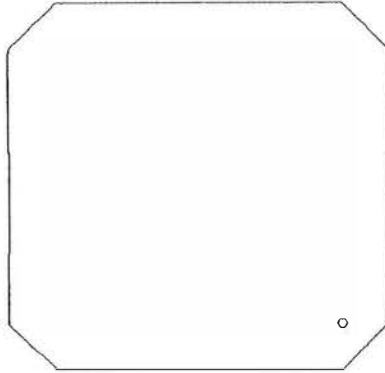


Figure 3

Type 1



Type 2



Type 3

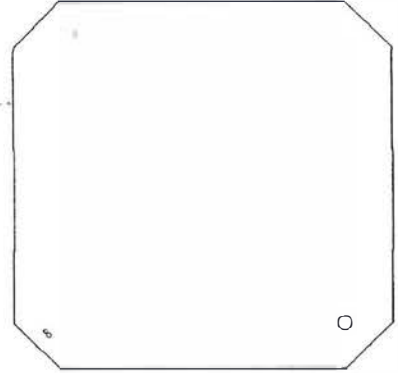


Figure 4

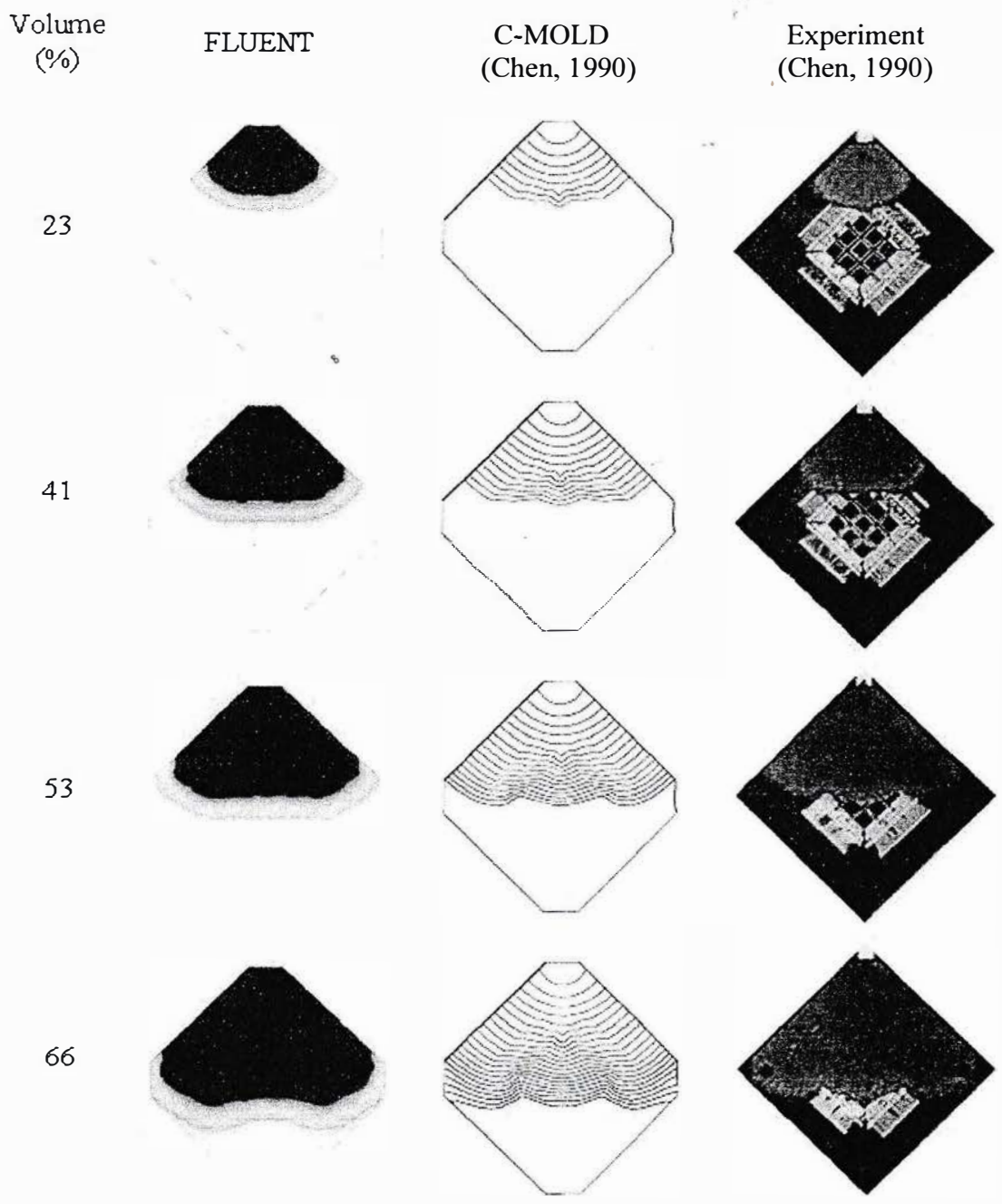


Figure 5

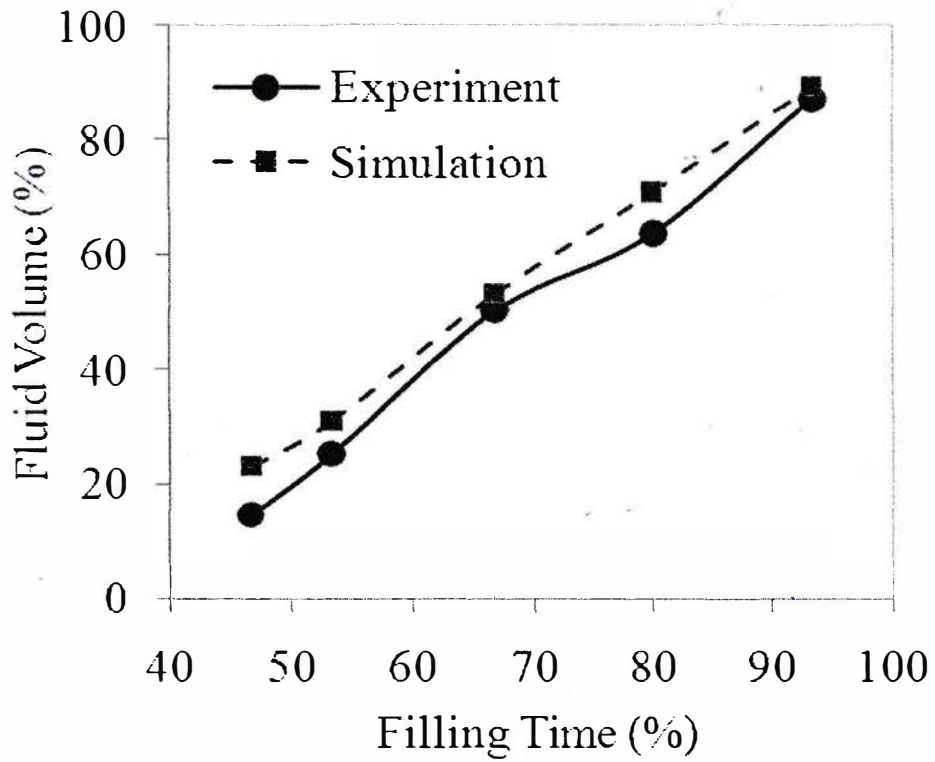


Figure 6

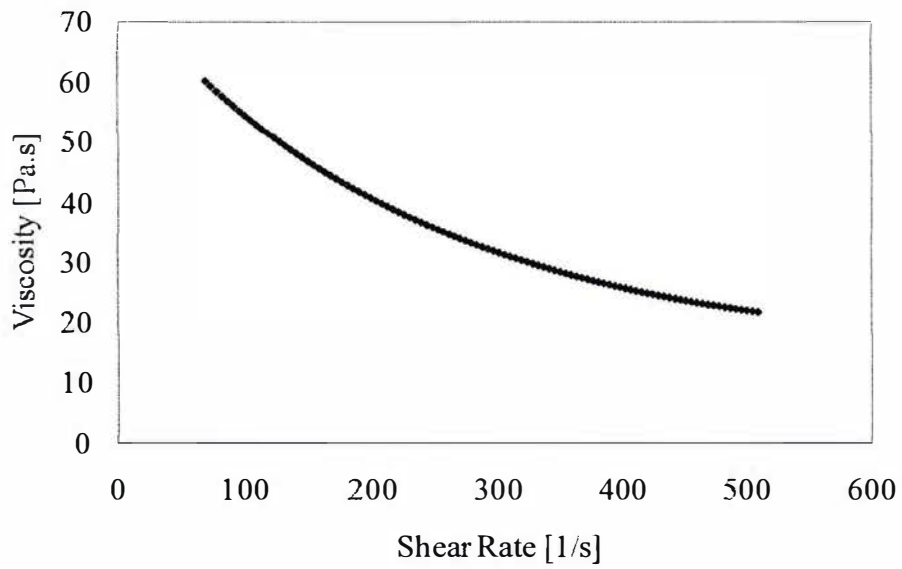


Figure 7

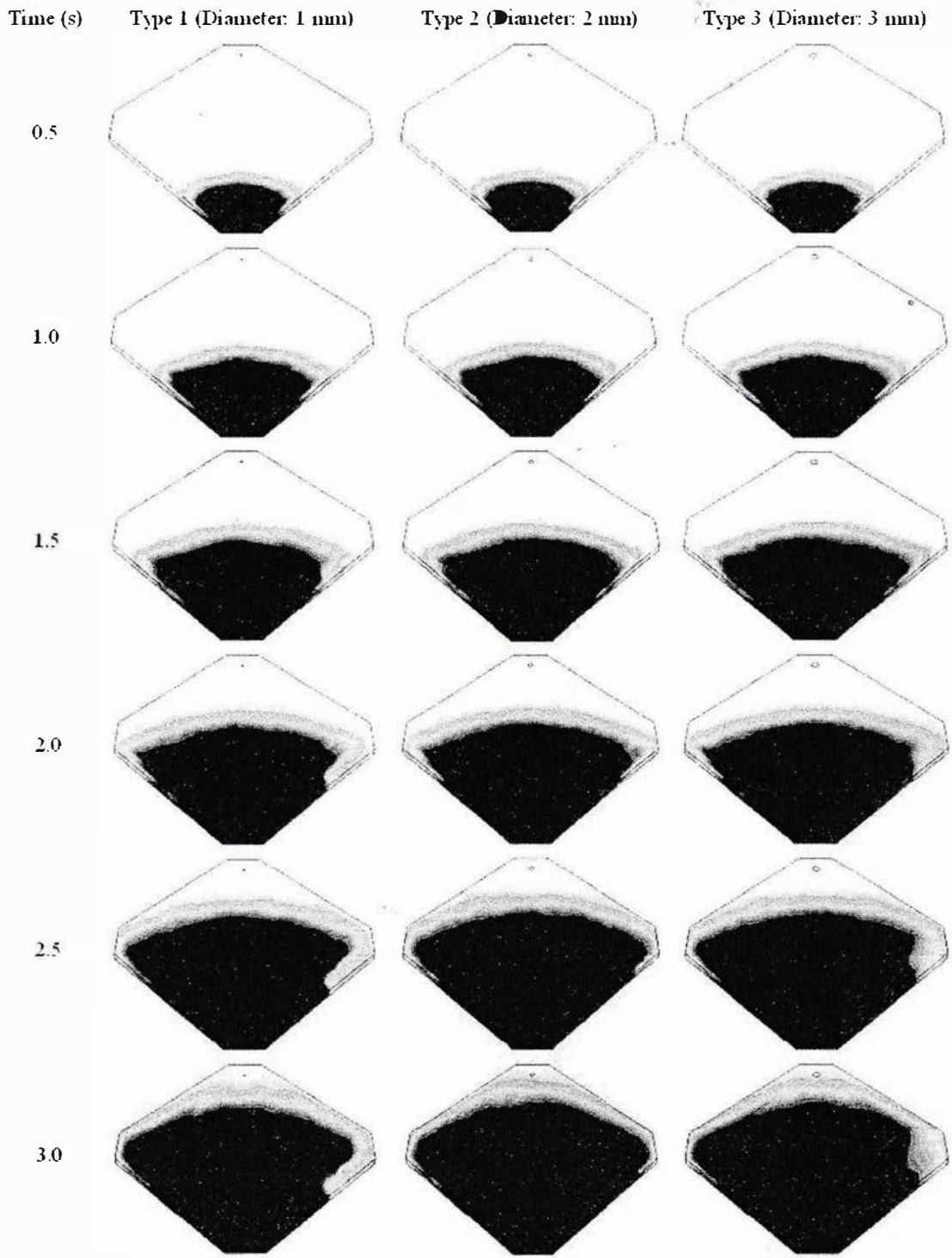


Figure 8

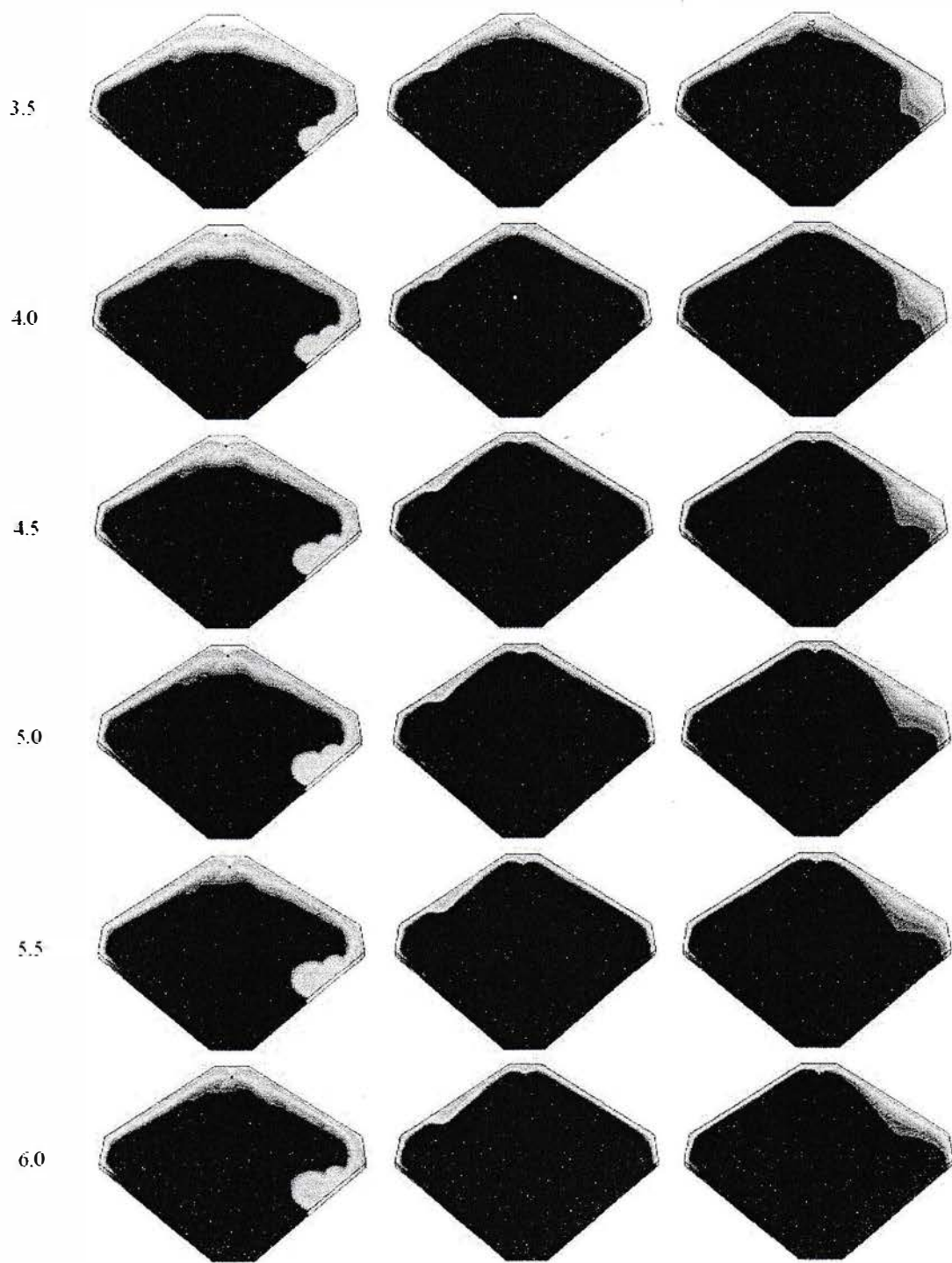


Figure 9 (continued)

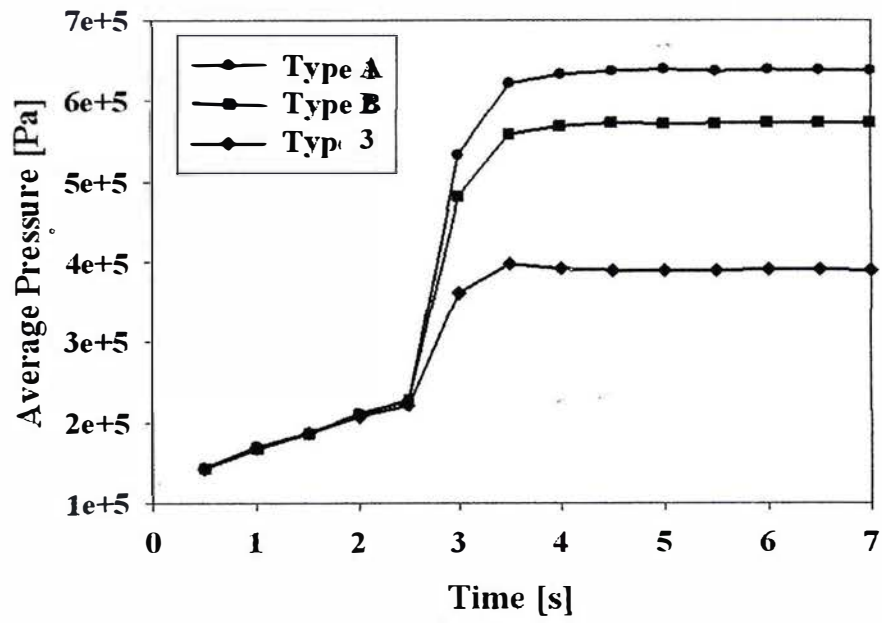


Figure 10

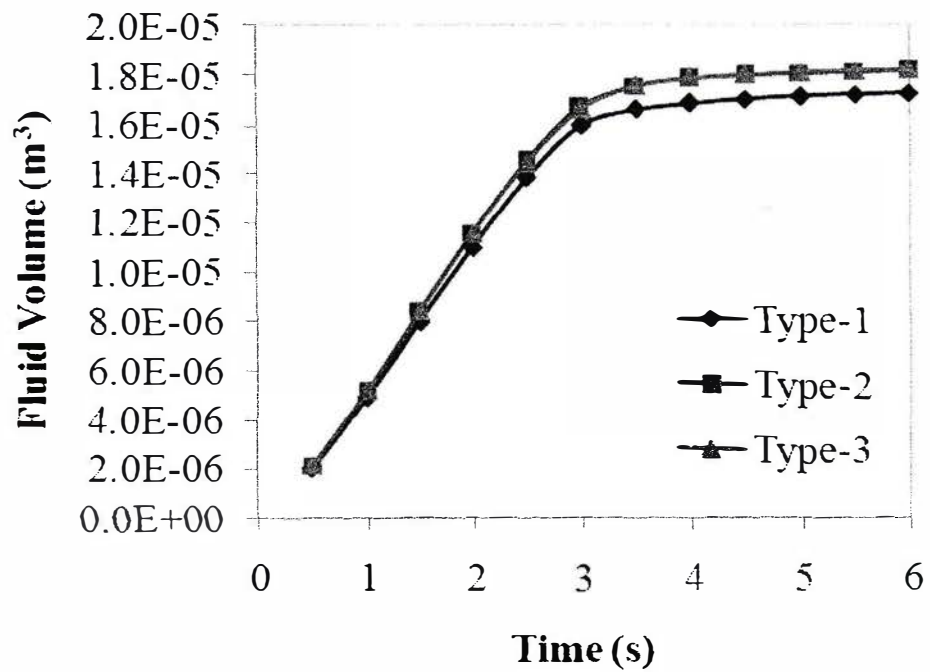


Figure 11

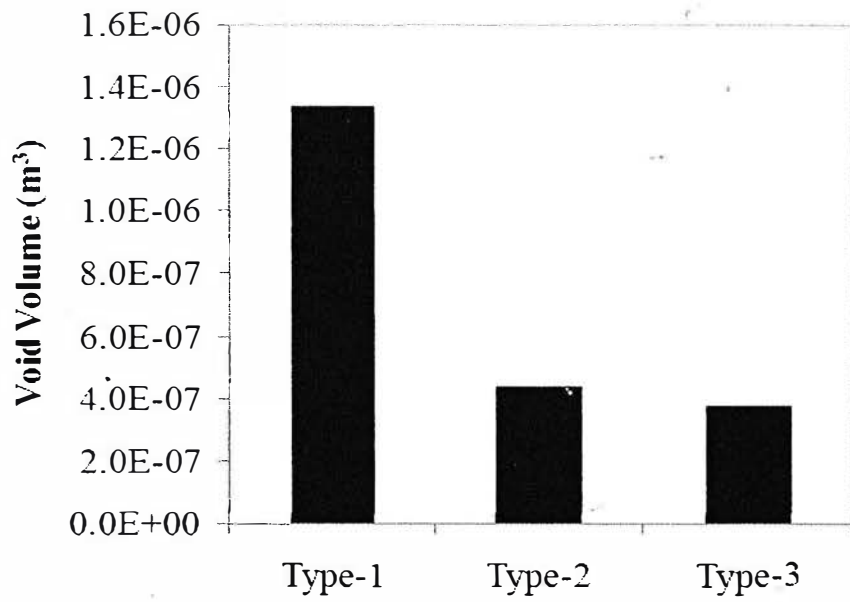


Figure 12

SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN

Penelitian lanjutan pada tahun II yang telah direncanakan, diantaranya adalah:

1. Merancang alat eksperimen *injection molding otomatis*.
2. Melakukan simulasi dan eksperimen dengan tiga nilai tekanan input yaitu:
 - a. 70 kPa
 - b. 113 kPa
 - c. 161 kPa
3. Membuat sejumlah grafik atau gambar untuk menjelaskan hubungan antara:
 - a. Distribusi tekanan di dalam cetakan pada posisi tertentu dalam perubahan waktu untuk setiap tekanan input yang berbeda dan Tipe cetakan yang berbeda.
 - b. Volumen udara terperangkap dengan perubahan tekanan input untuk setiap Tipe cetakan.
 - c. Bentuk profil aliran fluida dalam cetakan dengan perubahan tekanan input.
 - d. Perubahan volume fluida yang masuk ke cetakan dalam perubahan waktu untuk setiap tekanan input yang berbeda untuk semua Tipe cetakan.
 - e. Membandingkan profil kontur tekanan untuk setiap Tipe cetakan dari tekanan input yang berbeda.
4. Membuat draft artikel.
5. Mengirim artikel ke jurnal terakreditasi atau jurnal internasional yang sesuai dengan bidang dan skop penelitian.
6. Membuat laporan akhir dan laporan keuangan serta logbook.