

REKAYASA

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



**MODEL DAN KENDALI GELOMBANG LIQUID
SAAT PUTAR BALIK DENGAN MENGATUR
POSISI TITIK PUTAR DAN KECEPATAN PUTAR
TUNGKU PADA PROSES PENGECORAN**

**DRS. DADAN RAMDAN, MENG., MSC.
IR. AMRU SIREGAR, MT
IR. ZULKIFLI BAHRI**

**Dibiayai Oleh :
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional
Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian
Nomor : 078/SP2H/PP/DP2M/III/2008**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

DESEMBER 2008

elitian
08

REKAYASA

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



MODEL DAN KENDALI GELOMBANG LIQUID SAAT PUTAR BALIK DENGAN MENGATUR POSISI TITIK PUTAR DAN KECEPATAN PUTAR TUNGKU PADA PROSES PENGECORAN

**DRS. DADAN RAMDAN, MENG., MSC.
IR. AMRU SIREGAR, MT
IR. ZULKIFLI BAHRI**

**Dibiayai Oleh :
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional
Surat Perjanjian Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian
Nomor : 078/SP2H/PP/DP2M/III/2008**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA
DESEMBER 2008**

1. Judul Penelitian : Model dan Kendali Gelombang Liquid Saat Putar Balik dengan Mengatur Posisi Titik Putar dan Kecepatan Putar Tungku pada Proses Pengecoran

2. Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Drs. Dadan Ramdan, MEng., MSc.
- b. Jenis Kelamin : L
- c. NIP : 131 847 930
- d. Jabatan Struktural : Koordinator Laboratorium
- e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- f. Bidang Keahlian : Teknik Sistem Kontrol
- g. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro
- h. Perguruan Tinggi : Universitas Medan Area
- i. Tim Peneliti

No.	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1.	Ir. Amru Siregar, MT.	Material Produksi	Teknik/T.Mesin	Universitas Medan Area
2.	Ir.Zulkifli Bahri.	Konversi Energi Listrik	Teknik/T.Elektro	Universitas Medan Area

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

- a. Jangka Waktu Penelitian yang diusulkan : 3 tahun
- b. Biaya total yang diusulkan : 149.260.000,-
- c. Biaya yang disetujui tahun II : 45.000.000,-

Medan, 29 Desember 2008

Mengetahui,
Pembantu Dekan I



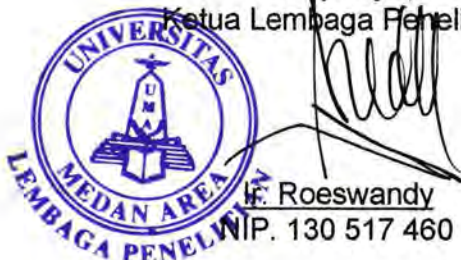
M.S.H. Haniza, MT.
NIP. 131 667 983

Ketua Peneliti,



Drs. Dadan Ramdan, MEng., MSc.
NIP. 131 847 930

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian



F. Roeswandy
NIP. 130 517 460

Ringkasan

Pada penelitian ini dirancang model matematik gelombang permukaan liquid pada tungku (ladle) dalam sistem pengecoran. Model matematik yang dirancang menggunakan model pendulum.

Model matematik yang dirancang menjadi acuan simulai komputer untuk menggambarkan perilaku liquid di dalam ladle ketika putar balik setelah proses penuangan pada cetakan.

Simulasi yang dilakukan menggunakan Program MATLAB dan FLOW-3D, kemudian hasil simulasi ini dibandingkan dengan hasil simulasi yang menggunakan metoda SOLA-MAC juga dengan hasil eksperimen.

Pengendalian sistem untuk mengurangi gelombang permukaan yang digunakan adalah input shaping. Hal ini dapat ditunjukkan dengan perbandingan simulasi dan eksperimen dengan hasil yang mendekati.

Summary

This research designed of mathematics model of vibration liquid in ladle of pouring process system. The mathematics model which design using pendulum models.

The mathematics model which design as references of computer simulation for describe of liquid behavior in the ladle in turn backward after pouring to sprue cup process.

The simulation which designed was use MATLAB Program and FLOW-3D. The simulation result compared whit simulation result of simulation which used SOLA-MAC methods.

The controller for reducing vibration liquid is input shaping. The result of the proposed controller is assured by comparison between simulation and experimental results.

PRAKATA

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

Penelitian ini merupakan upaya untuk memberikan kontribusi kepada pembangunan dalam rangka meningkatkan kualitas hasil cetakan pada proses pengecoran logam.

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 penyelesaian penelitian ini terutama kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.

Medan, Desember 2008

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
A. LAPORAN HASIL PENELITIAN	
Ringkasan dan Summery	ii
Prakata	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	v
Daftar Gambar	vi
Daftar Lampiran	viii
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
Bab II Tinjauan Pustaka	3
Bab III Tujuan dan Manfaat Penelitian	7
3.1 Tujuan	7
3.2 Manfaat Penelitian	8
Bab IV Metoda Penelitian	10
Bab V Hasil Penelitian dan Pembahasan	13
5.1 Hasil Penelitian	13
5.2 Pembahasan	21
5.3 Pengendali (Controller)	23
Bab VI Kesimpulan dan Saran	30
6.1 Kesimpulan	30
6.2 Saran	30
Daftar Pustaka	31
Lampiran	33

B. DRAF ARTIKEL ILMIAH

C. SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN

Daftar Tabel

Tabel 5.1	Parameter percobaan pada Simulasi Komputer	21
Tabel 5.2	Parameter Percobaan dengan model SOLA-MAC	22

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Sistem Kontrol Pengecoran Otomatis yang didukung oleh CAE	5
Gambar 4.1	Model gelombang permukaan tipe pendulum untuk tanki (lade) berputar ke belakang (backward-tilting)	11
Gambar 4.2	Ilustrasi model alat eksperimen sistem pengecoran Otomatis	12
Gambar 5.1	(a) Hubungan sudut putar dan waktu, (b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 20$ cm	13
Gambar 5.2	(a) Hubungan sudut putar dan waktu, (b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 16$ cm	13
Gambar 5.3	(a) Hubungan sudut putar dan waktu, (b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 9,5$ cm	14
Gambar 5.4	(a) Hubungan sudut putar dan waktu, (b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 20$ cm	14
Gambar 5.5	Hasil simulasi pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 20$ cm	15
Gambar 5.6	Hasil simulasi pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 20$ cm	15
Gambar 5.7	Hasil simulasi pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 20$ cm	15
Gambar 5.8	Hasil simulasi pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 20$ cm	15
Gambar 5.9	Hasil simulasi pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 16$ cm	16
Gambar 5.10	Hasil simulasi pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 16$ cm	16
Gambar 5.11	Hasil simulasi pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 16$ cm	16
Gambar 5.12	Hasil simulasi pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 16$ cm	16
Gambar 5.13	Hasil simulasi pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 9,5$ cm	17
Gambar 5.14	Hasil simulasi pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 9,5$ cm	17
Gambar 5.15	Hasil simulasi pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 9,5$ cm	17
Gambar 5.16	Hasil simulasi pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 9,5$ cm	17
Gambar 5.17	Hasil eksperimen pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 20$ cm	18
Gambar 5.18	Hasil eksperimen pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 20$ cm	18
Gambar 5.19	Hasil eksperimen pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 20$ cm	18
Gambar 5.20	Hasil eksperimen pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 20$ cm	18
Gambar 5.21	Hasil eksperimen pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 16$ cm	19
Gambar 5.22	Hasil eksperimen pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 16$ cm	19
Gambar 5.23	Hasil eksperimen pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 16$ cm	19
Gambar 5.24	Hasil eksperimen pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 16$ cm	19
Gambar 5.25	Hasil eksperimen pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 9,5$ cm	20
Gambar 5.26	Hasil eksperimen pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 9,5$ cm	20
Gambar 5.27	Hasil eksperimen pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 9,5$ cm	20
Gambar 5.28	Hasil eksperimen pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 9,5$ cm	20
Gambar 5.29	Perbandingan hasil simulasi antara model SOLA-MAC dan Pendulum	20
Gambar 5.30	Penerapan prinsip input shaping pada turunan input kendali kontinu berdasarkan kedua reduksi vibrasi dan kendali sudut putar tungku	24

Gambar 5.31 Prinsip mereduksi vibrasi	25
Gambar 5.32 Sistem kendali fungsi transfer model tipe pendulum	25
Gambar 5.33 Hasil simulasi kendali komputer menggunakan model tipe pendulum dengan masukan shaping	26
Gambar 5.34 Perbandingan Hasil Percobaan Antara Menggunakan Preshaping dan Tanpa Preshaping	27
Gambar 5.35 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Eksperimen Tanpa Preshaping	28
Gambar 5.36 Perbandingan Hasil Eksperimen Antara Tanpa Preshaping dan dengan Preshaping	28

Daftar Lampiran

Lampiran 1. Ukuran Ladle yang Dibuat	33
Lampiran 2. Spesifikasi Alat Eksperimen yang Digunakan	34
Lampiran 3. Personalia Tenaga Peneliti	35

Bab I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dalam 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 adalah : 1) Mampu menuangkan logam cair kedalam cetakan pada titik yang tepat; 2) Mampu menuangkan logam cair sampai level ketinggian 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 menentukan volume logam cair yang masuk ke cetakan dengan tepat; 4) Mampu menggunakan waktu proses yang diperlukan selama proses pencetakan pertama dan proses pencetakan berikutnya 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 Perumusan Masalah

Dari pemaparan di atas, maka penelitian ini mengambil perumusan masalah sebagai berikut : **Apakah dengan mengendalikan kecepatan putar balik dan mengatur gerak posisi titik putar dapat mengurangi atau menghilangkan gelombang permukaan liquid (logam cair) sehingga kesalahan posisi penuangan pada cetakan dapat dihindari dan konsumsi energi dapat dikurangi?.**

Bab II

Tinjauan Pustaka

Kazuhiko TERASIMA, Dadan RAMDAN (2000), telah membuat model dan simulasi komputer untuk perilaku fluida pada tungku dan cetakan pada proses pengecoran untuk penuangan model putar (tilting-type). Paper ini telah menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dan eksperimen yang signifikan. Perilaku fluida dianalisa dengan menggunakan metoda SOLA-MAC. Pertama dilakukan analisa perilaku permukaan fluida pada saat tungku putar balik, kemudian dilakukan analisa fluida di dalam cetakan ketika penuangan dilakukan, lalu hasilnya dibandingkan dengan hasil pengamatan dari eksperimen.

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 kecepatan putar sehingga gelombang permukaan liquid dapat diredam. Pengendalian yang digunakan adalah 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 dihasilkan.

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 kontrol 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 menunjukkan 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.

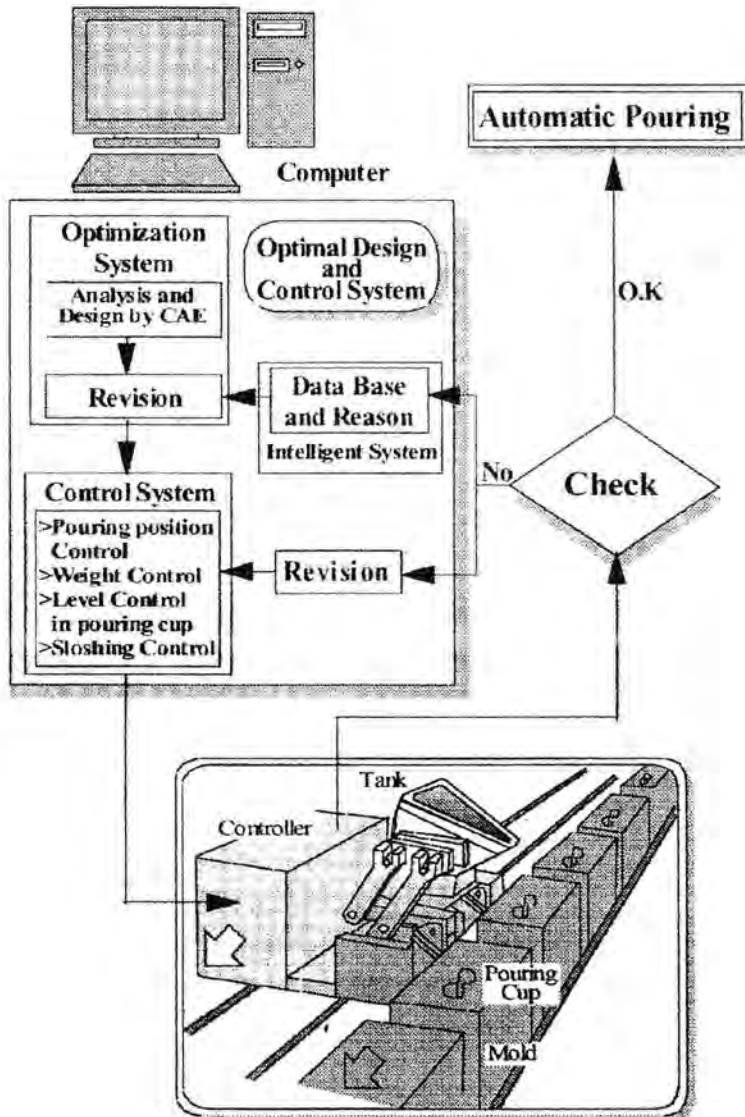
Penelitian ini mengambil fokus pada pendeteksian otomatis dan kendali lintasan untuk gerakan memperoleh target yang posisinya tidak diketahui, juga kendali untuk meredam gelombang permukaan pada suatu lintasan objek. Kendali lintasan untuk target objek tersebut dengan mengeksekusi gelombang permukaan 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 diestimasi. 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 pemeroses citra.

K. Terashima dkk. (2001) pada papernya menunjukkan Sistem Kontrol Pengecoran Otomatis yang didukung oleh CAE yang diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Kontrol Pengecoran Otomatis yang didukung oleh CAE

Dari Gambar 2.1 di atas dapat dilihat bahwa pengendalian dapat difokuskan selain kepada meredam gelombang permukaan juga dapat ditekankan kepada pengendalian posisi titik jatuh pengecoran, pengendalian berat (massa) liquid dan pengendalian ketinggian level liquid pada sprue cup (cetakan) ketika pengecoran dilakukan.

Bab III

Tujuan dan Manfaat Penelitian



3.1 Tujuan

Untuk merealisasikan maksud di atas, maka diperlukan upaya agar perilaku logam cair (liquid) pada saat dilakukan proses penuangan dan pencetakan selama pengecoran dapat diketahui. Hal ini dapat dicapai dengan merancang model dan kendali gelombang liquid sistem pengecoran melalui komputer terutama analisa bentuk dan besar gelombang permukaan selama proses pengecoran, sebab untuk mengetahui perilaku permukaan liquid di dalam tungku dan 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 (zat cair) pada proses pengecoran logam. Hal ini sangat diperlukan untuk upaya proses pengendalian secara otomatis dengan tujuan agar gelombang permukaan liquid (zat cair) pada tungku (ladle) dapat dikurangi atau dihilangkan ketika proses putar balik berlangsung setelah penuangan.

Gelombang permukaan ini akan sangat berpengaruh terhadap proses dan hasil pengecoran karena akan menimbulkan ketidak-tepatan jatuhnya logam cair ke cetakan. Juga getaran yang timbul akan berpengaruh terhadap sistim perangkat pengecorannya.

Telah banyak peneliti yang melakukan upaya di atas namun pengendalian untuk meredam gelombang permukaan hanya melalui pengaturan gerak putar motor dengan titik putar yang tetap. 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 meredam gelombang permukaan liquid (zat cair) melalui pengaturan posisi

titik putar yang berubah serta mengatur gerak putar motor pada tungku (ladle). Hal ini diharapkan akan diperoleh hasil peredaman gelombang permukaan yang lebih baik serta dapat mengurangi konsumsi energi.

3.2 Manfaat 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 gelombang 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. Sehingga penelitian akan mudah dilakukan dengan biaya yang rendah karena cukup dilakukan di laboratorium.

Bab IV

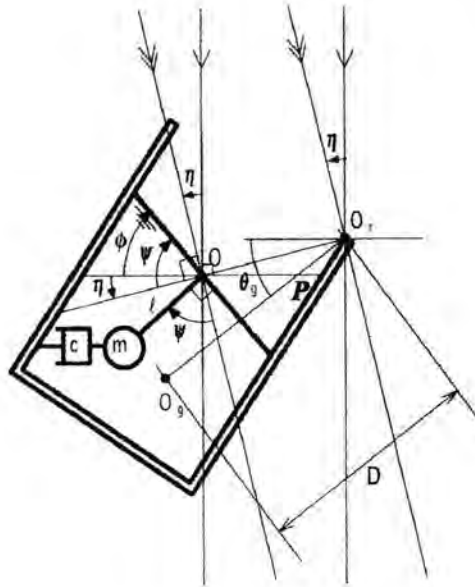
Metoda Penelitian

Metode penelitian yang dipakai pada tahun kedua adalah dengan urutan sebagai berikut :

1. Merancang model matematik dan kendali gelombang permukaan liquid pada sistem pengecoran logam otomatis dengan posisi titik putar yang tetap.
2. Membangun program simulasi komputer dengan model matematik yang diperoleh dari poin 1 dengan menggunakan program MATLAB.
3. Membuat program simulasi komputer dengan menggunakan FLOW-3D untuk mengamati perilaku liquid pada tungku (ladle).
4. Membuat program pengendali sistem dengan program MATLAB
5. Membangun alat eksperimen dengan posisi titik putar yang tetap
6. Melakukan percobaan dengan menggunakan alat eksperimen yang dibuat
7. Membandingkan hasil eksperimen dengan hasil simulasi pada langkah 3 dan langkah 4

Jadi, metode penelitian yang digunakan adalah melalui pendekatan simulasi yang dibandingkan dengan hasil eksperimen. Simulasi diawali dengan membangun model matematik dan algoritma untuk menyusun program pengendali. Program yang digunakan untuk pengendali sistem adalah program MATLAB. Model matematik dikembangkan melalui model bandul matematis (pendulum) berayun yang dipengaruhi oleh tinggi permukaan, gesekan akibat pengaruh viskositas zat cair serta gravitasi yang mempengaruhi massa zat cair yang ada dalam tungku (ladle). Model bandul matematis tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.

Titik O adalah titik pusat perputaran pendulum. Dimana m adalah massa liquid, c adalah ekivalen dengan koefisien fiskositas, l ekivalen dengan panjang pendulum, η = sudut putar dari sudut putar inisialisasi, ψ = sudut vibrasi dari garis permukaan, θ = sudut putar inisialisasi, $\Phi = \psi + \eta$, D = jarak antara O_r dan O_g .



Gambar 4.1 Model gelombang permukaan tipe pendulum untuk tanki (lade) berputar ke belakang (backward-tilting)

Model tipe pendulum akan dengan mudah dapat diturunkan dari kesetimbangan momen pada sekitar titik pusat perputaran O sebagai berikut.

$$J \frac{d^2(\eta + \psi)}{dt^2} = -c \frac{d\{(\eta + \psi)\}}{dt} l \cos(\eta + \psi) - mgl \sin(\eta + \psi) - m \frac{d^2\{D \cos \theta_g\} \eta}{dt^2} l \sin(\eta + \psi) - m \frac{d^2\{D \sin \theta_g\} \eta}{dt^2} l \cos(\eta + \psi) \quad (4.1)$$

$$\ddot{\phi} = -\frac{c}{m} \dot{\phi} - \frac{g}{l} \phi - \frac{D \sin \theta_g}{l} \ddot{\eta}, \quad J = ml^2 \quad (4.2)$$

Fungsi Transfer Q(s) menjadi :

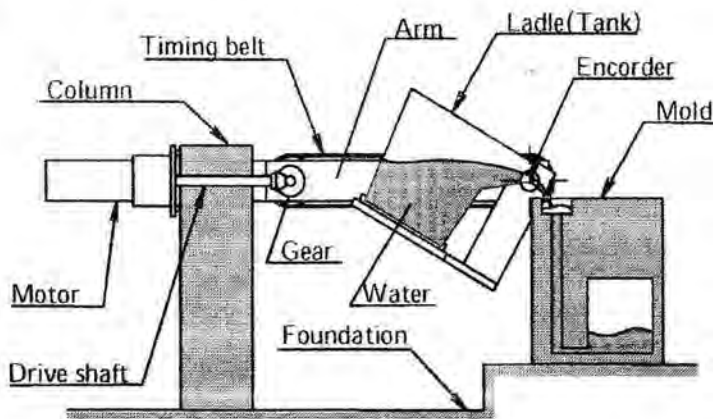
$$Q(s) = \frac{\phi(s)}{\eta(s)} = -\frac{(D \sin \theta_g / l) s^2}{s^2 + (c/m)s + (g/l)} = -\frac{(D \sin \theta_g / l) \omega^2}{-\omega^2 + 2\xi \omega_n \omega + \omega_n^2} \quad (4.3)$$

$$\omega_n = 2\pi f_n = \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad \xi = \frac{c}{2m} \sqrt{\frac{l}{g}}$$

J adalah momen inersia, ω_n adalah frekwensi angular natural, ζ adalah rasio peredam.

Model matematik yang diperoleh disubstitusikan dengan persamaan gerak motor (sistem motor) yang digunakan, kemudian dilakukan pemeriksaan kekontrolan (controllable) dan keteramatan (observable) dari matrik ruang keadaan yang diperoleh. Apabila sudah memenuhi syarat, maka dapat dibangun perangkat keras sistem pengecoran logam.

Ilustrasi model alat eksperimen sistem pengecoran logam otomatis yang dirancang pada tahap II ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini. Pada Gambar 4.2 tersebut terlihat tungku dapat bergerak berputar ke depan dan ke belakang sehingga diharapkan dapat menghilangkan gelombang permukaan liquid (zat cair) yang terdapat di dalam tungku (ladle).



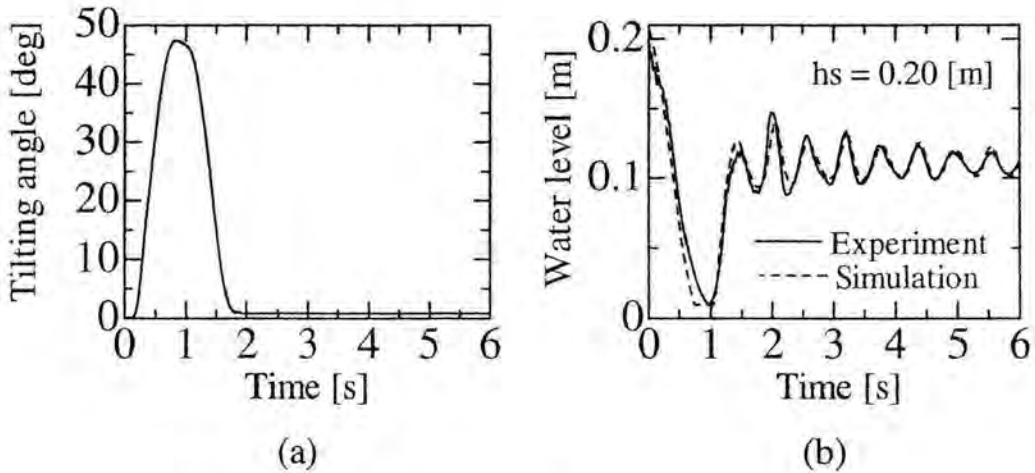
Gambar 4.2 Ilustrasi model alat eksperimen sistem pengecoran otomatis

Bab V

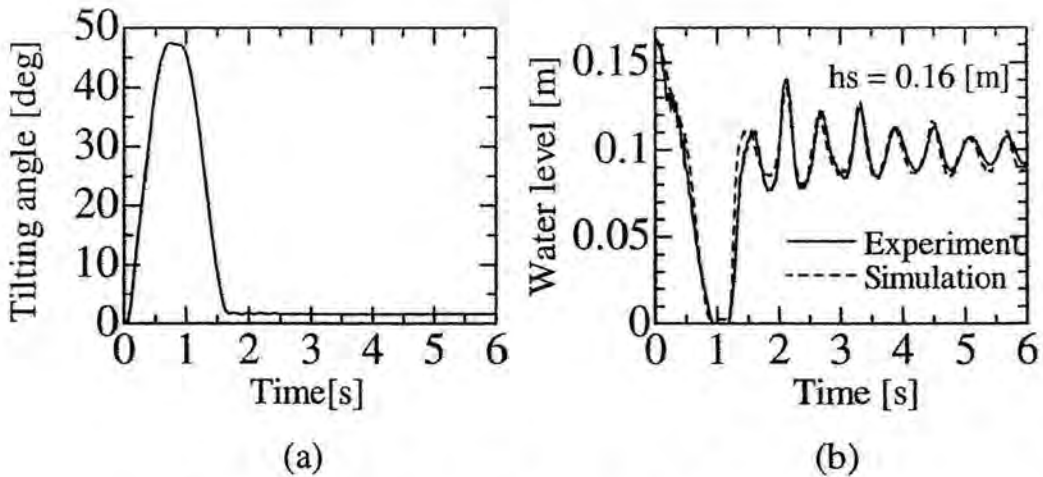
Hasil Penelitian dan Pembahasan

5.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian tahap kedua ini diperoleh data hasil simulasi dan eksperimen seperti grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.4 di bawah ini. Sedangkan dalam bentuk visual hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 5.5 sampai Gambar 5.16 dan eksperimen ditunjukkan pada Gambar 5.17 sampai Gambar 5.28.



Gambar 5.1 (a) Hubungan sudut putar dan waktu
(b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 20$ cm



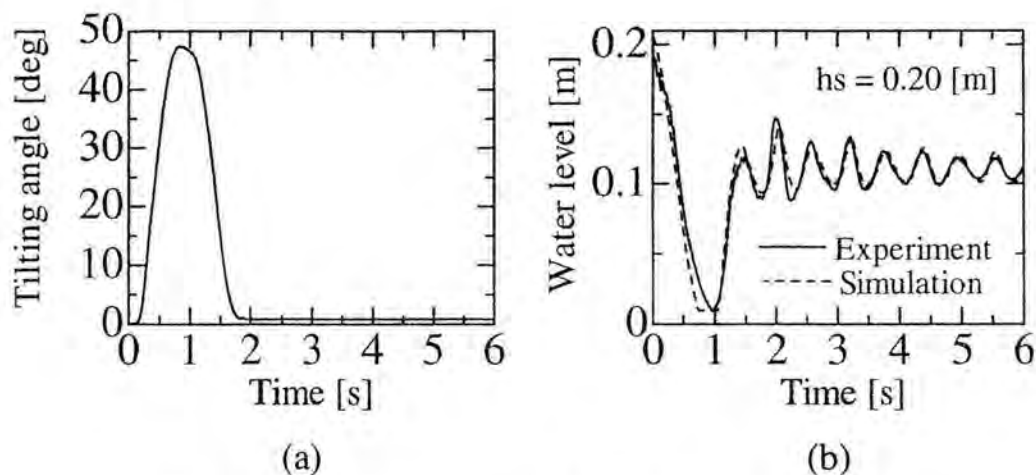
Gambar 5.2 (a) Hubungan sudut putar dan waktu
(b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 16$ cm

Bab V

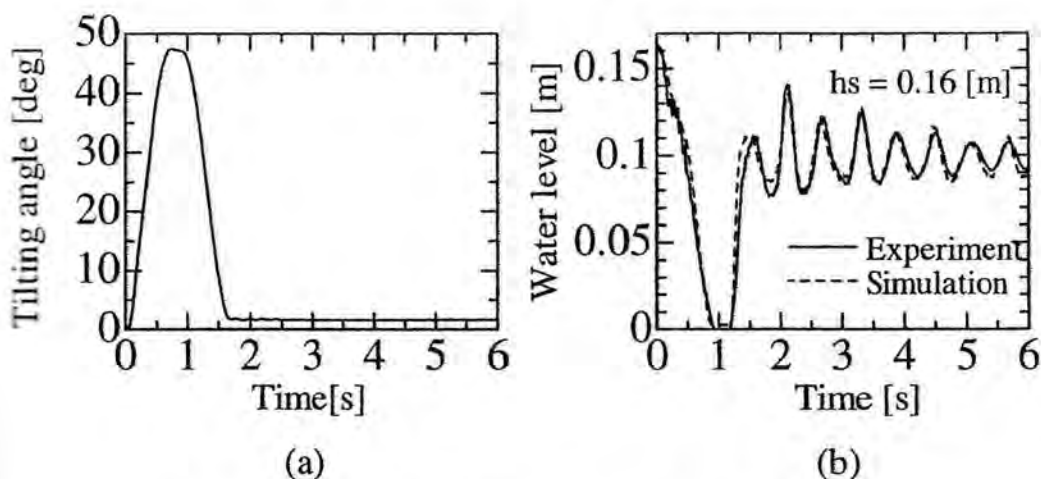
Hasil Penelitian dan Pembahasan

5.1 Hasil Penelitian

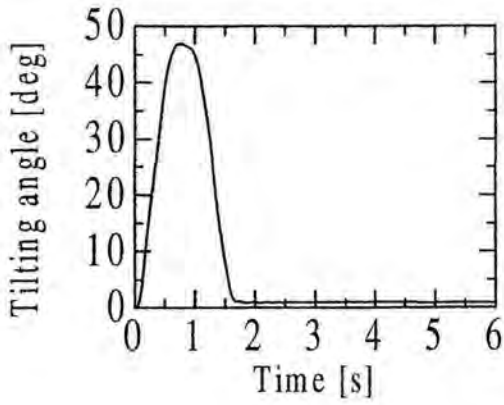
Hasil penelitian tahap kedua ini diperoleh data hasil simulasi dan eksperimen seperti grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.4 di bawah ini. Sedangkan dalam bentuk visual hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 5.5 sampai Gambar 5.16 dan eksperimen ditunjukkan pada Gambar 5.17 sampai Gambar 5.28.



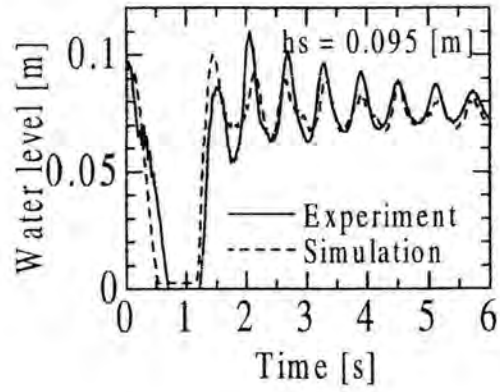
Gambar 5.1 (a) Hubungan sudut putar dan waktu
(b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 20$ cm



Gambar 5.2 (a) Hubungan sudut putar dan waktu
(b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 16$ cm

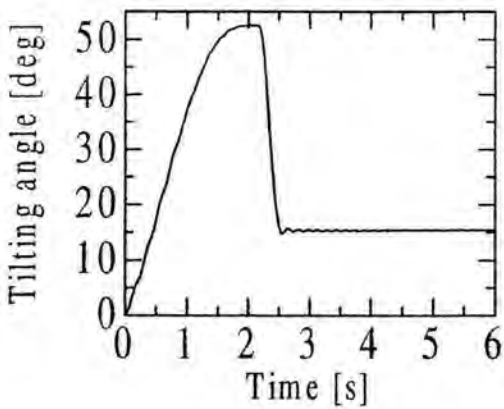


(a)

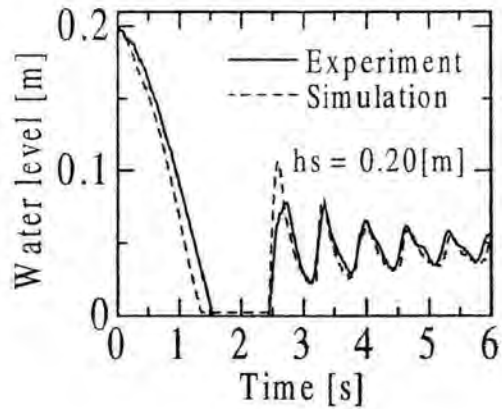


(b)

Gambar 5.3 (a) Hubungan sudut putar dan waktu
(b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 9,5$ cm

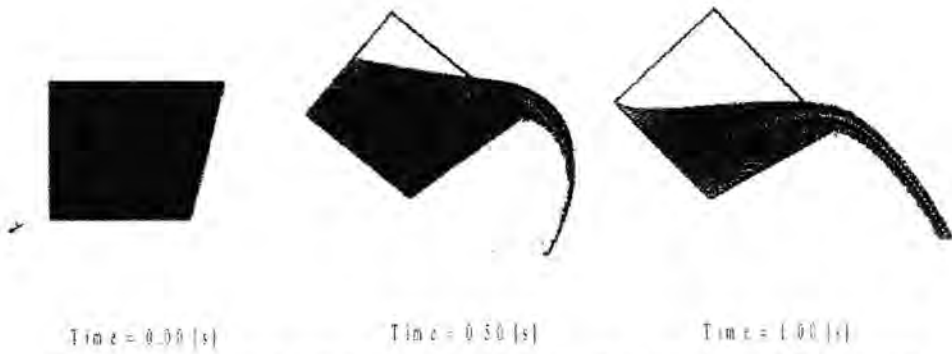


(a)

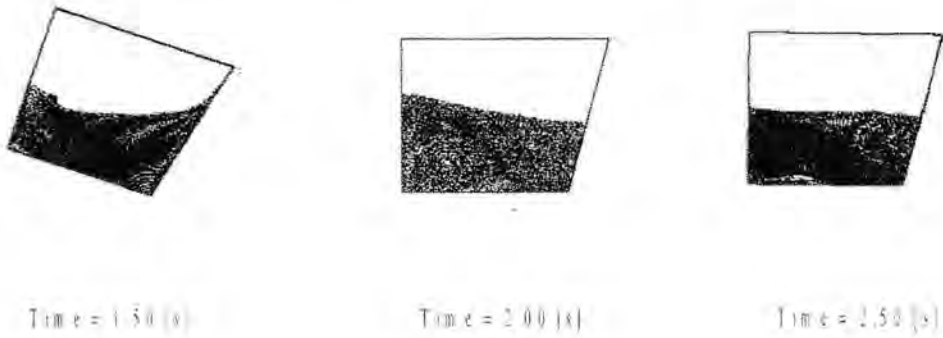


(b)

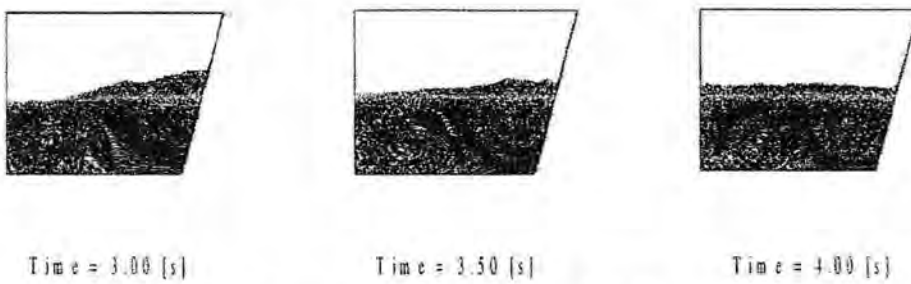
Gambar 5.4 (a) Hubungan sudut putar dan waktu
(b) Hubungan gelombang permukaan liquid dengan waktu hasil simulasi dan eksperimen pada $h_s = 20$ cm



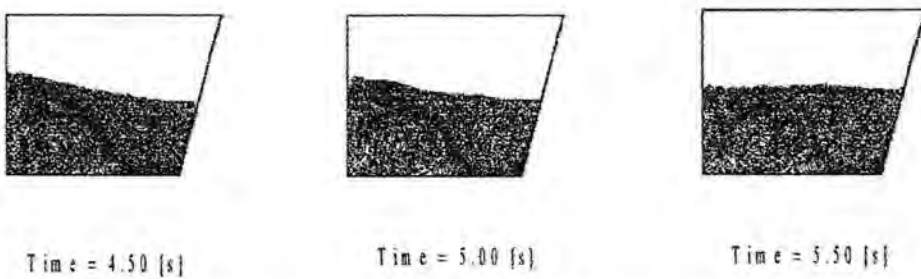
Gambar 5.5 Hasil simulasi pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 20$ cm



Gambar 5.6 Hasil simulasi pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 20$ cm



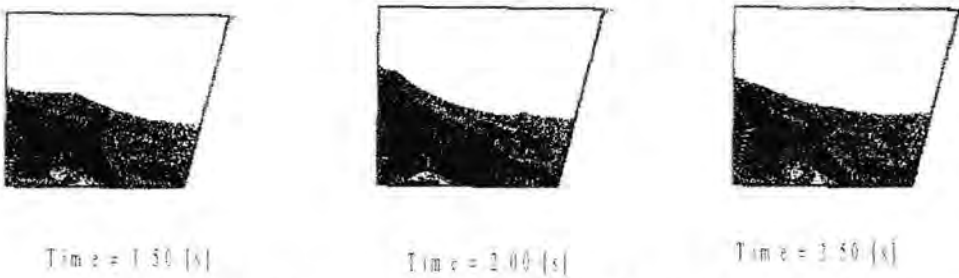
Gambar 5.7 Hasil simulasi pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 20$ cm



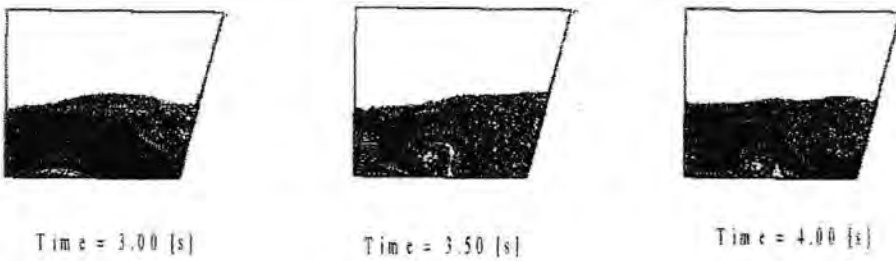
Gambar 5.8 Hasil simulasi pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 20$ cm



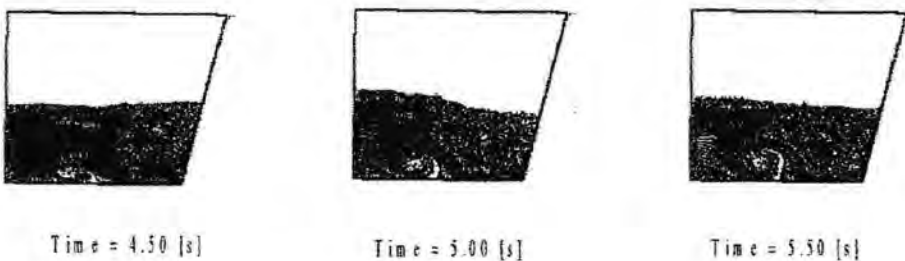
Gambar 5.9 Hasil simulasi pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 16$ cm



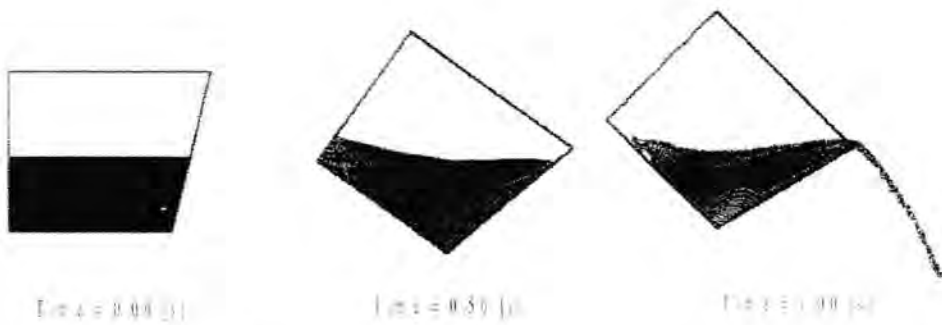
Gambar 5.10 Hasil simulasi pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 16$ cm



Gambar 5.11 Hasil simulasi pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 16$ cm



Gambar 5.12 Hasil simulasi pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 16$ cm



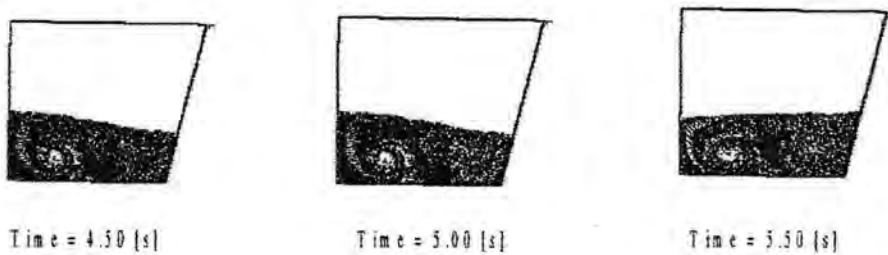
Gambar 5.13 Hasil simulasi pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 9,5$ cm



Gambar 5.14 Hasil simulasi pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 9,5$ cm



Gambar 5.15 Hasil simulasi pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 9,5$ cm



Gambar 5.16 Hasil simulasi pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 9,5$ cm



Gambar 5.17 Hasil eksperimen pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 20$ cm



Gambar 5.18 Hasil eksperimen pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 20$ cm



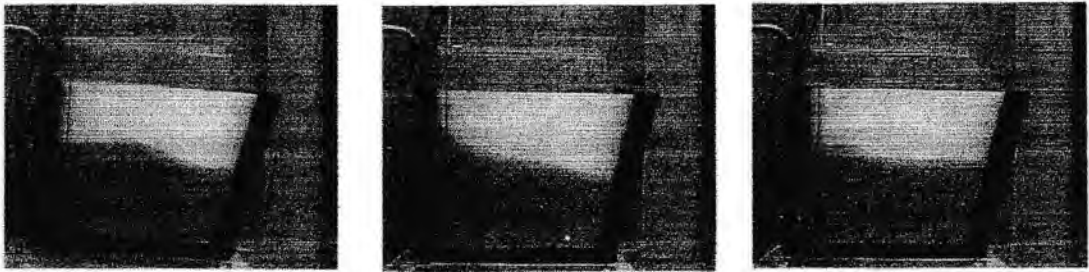
Gambar 5.19 Hasil eksperimen pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 20$ cm



Gambar 5.20 Hasil eksperimen pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 20$ cm



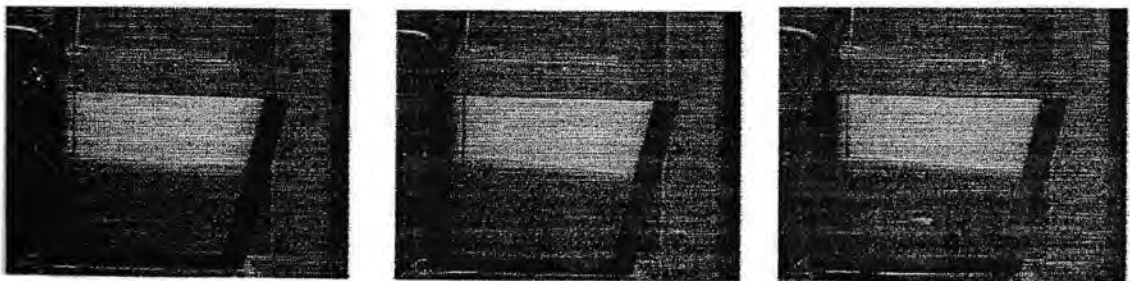
Gambar 5.21 Hasil eksperimen pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 16$ cm



Gambar 5.22 Hasil eksperimen pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 16$ cm



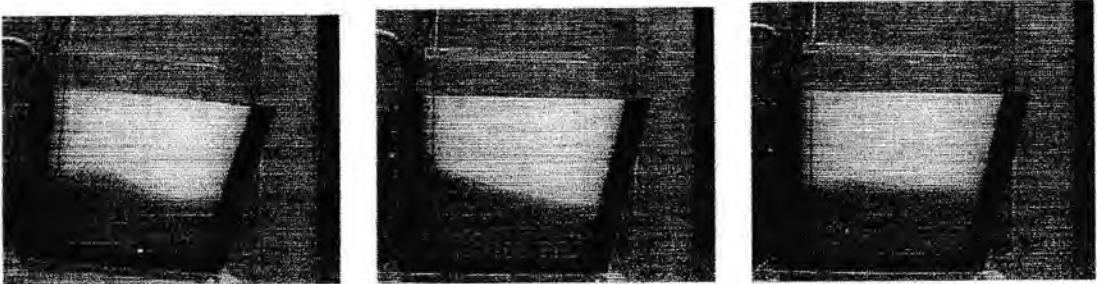
Gambar 5.23 Hasil eksperimen pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 16$ cm



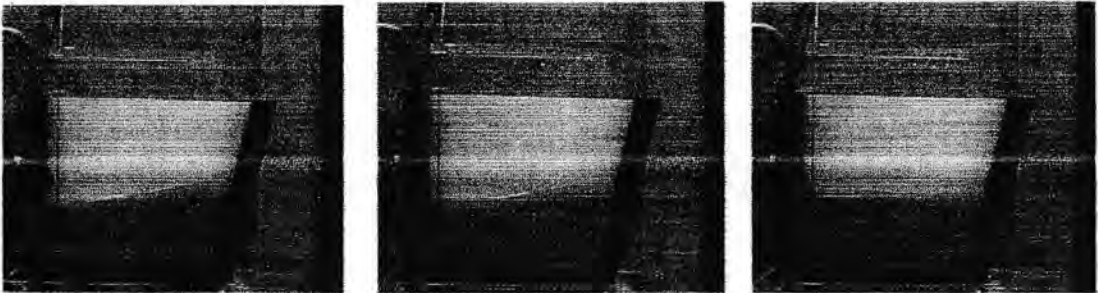
Gambar 5.24 Hasil eksperimen pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 16$ cm



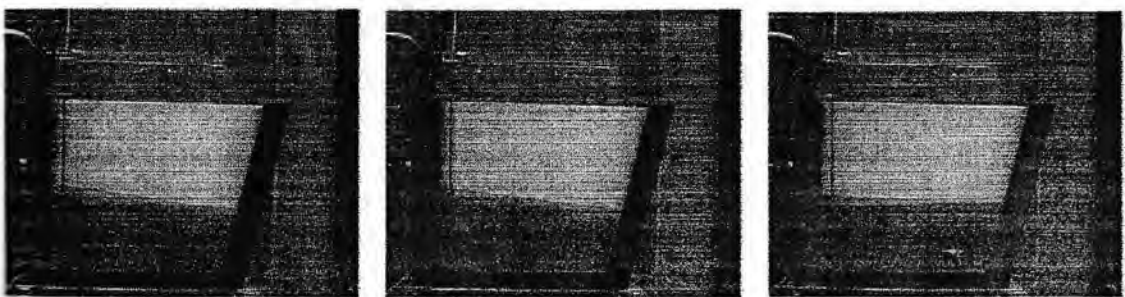
Gambar 5.25 Hasil eksperimen pada saat 0 – 1 detik untuk $h_s = 9,5$ cm



Gambar 5.26 Hasil eksperimen pada saat 1,5 – 2,5 detik untuk $h_s = 9,5$ cm



Gambar 5.27 Hasil eksperimen pada saat 3 – 4 detik untuk $h_s = 9,5$ cm



Gambar 5.28 Hasil eksperimen pada saat 4,5 – 5,5 detik untuk $h_s = 9,5$ cm

5.2 Pembahasan

Data penelitian di atas menggunakan parameter simulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 sebagai berikut :

Tabel 5.1 Parameter percobaan pada Simulasi Komputer

Percobaan	Parameter	Dimensi
Percobaan I	Sudut Putar Mundur	47°
	Kecepatan Putar	31,3°/det
	Tinggi Air dlm. tungku	20 [cm]
Percobaan II	Sudut Putar Mundur	46°
	Kecepatan Putar	30,67°/det
	Tinggi Air dlm. tungku	16 [cm]
Percobaan III	Sudut Putar Mundur	47°
	Kecepatan Putar	31,3°/det
	Tinggi Air dlm. tungku	9,5 [cm]
Percobaan IV	Sudut Putar Mundur	37°
	Kecepatan Putar	74°/det
	Tinggi Air dlm. tungku	20 [cm]

Apabila kita memperhatikan bentuk gelombang permukaan zat cair yang dihasilkan dan dihubungkan dengan parameter yang diberikan maka dapat ditunjukkan bahwa untuk percobaan pertama sampai ke tiga dengan sudut putar mundur dan kecepatan putar yang relatif hampir sama yaitu berturut-turut 31,3°/det dan 47°/det, bila ketinggian air dalam tungku semakin rendah, maka amplitudo gelombang permukaan yang timbul akan semakin rendah. Sedangkan pada percobaan IV dengan parameter tinggi air 20 cm dan kecepatan 74 °/det tinggi gelombang permukaan lebih besar jika dibandingkan dengan ke tiga percobaan sebelumnya. Hal ini diakibatkan oleh massa zat cair yang semakin besar dan kecepatan putar balik semakin tinggi. Hal ini pun terjadi dikarenakan pengereman dilakukan lebih cepat.

Dari semua hasil percobaan secara simulasi komputer di atas menunjukkan bahwa gelombang permukaan muncul ketika tungku diputar mundur hal ini tentu akan mempengaruhi proses penuangan berikutnya. Hal ini dapat dilihat juga pada hasil simulasi secara visual untuk percobaan satu sampai tiga dengan menggunakan program FLOW-3D yang menggunakan metoda SOLA-MAC. Oleh karena itu perlu diupayakan proses pengendalian pada saat putar mundur tersebut agar supaya pada proses penuangan

selanjutnya tidak terjadi percikan pada lubang cetakan dan jatuh pada titik yang tepat sehingga akan mengurangi pemborosan bahan cetakan.

Penelitian ini merekomendasikan pengendali dengan cara menggunakan umpan balik dan tanpa menggunakan umpan balik. Namun untuk tahap kedua ini (Tahun II) terlebih dahulu dilakukan simulasi dan eksperimen dengan menggunakan pengendali tanpa umpan balik yaitu menggunakan metoda *preshaping* (*input shaping*) yaitu metoda pemberian gelombang yang sama namun dilakukan pergeseran fasa dan lalu dijumlahkan dengan gelombang tersebut setelah terlebih dahulu di-inversikan. Keunggulan metoda ini adalah sistem tidak memerlukan sensor sehingga apabila diterapkan pada eksperimen atau kasus yang sebenarnya maka akan mengurangi biaya percobaan dan akan mempermudah pengecekan ketika ada kesalahan.

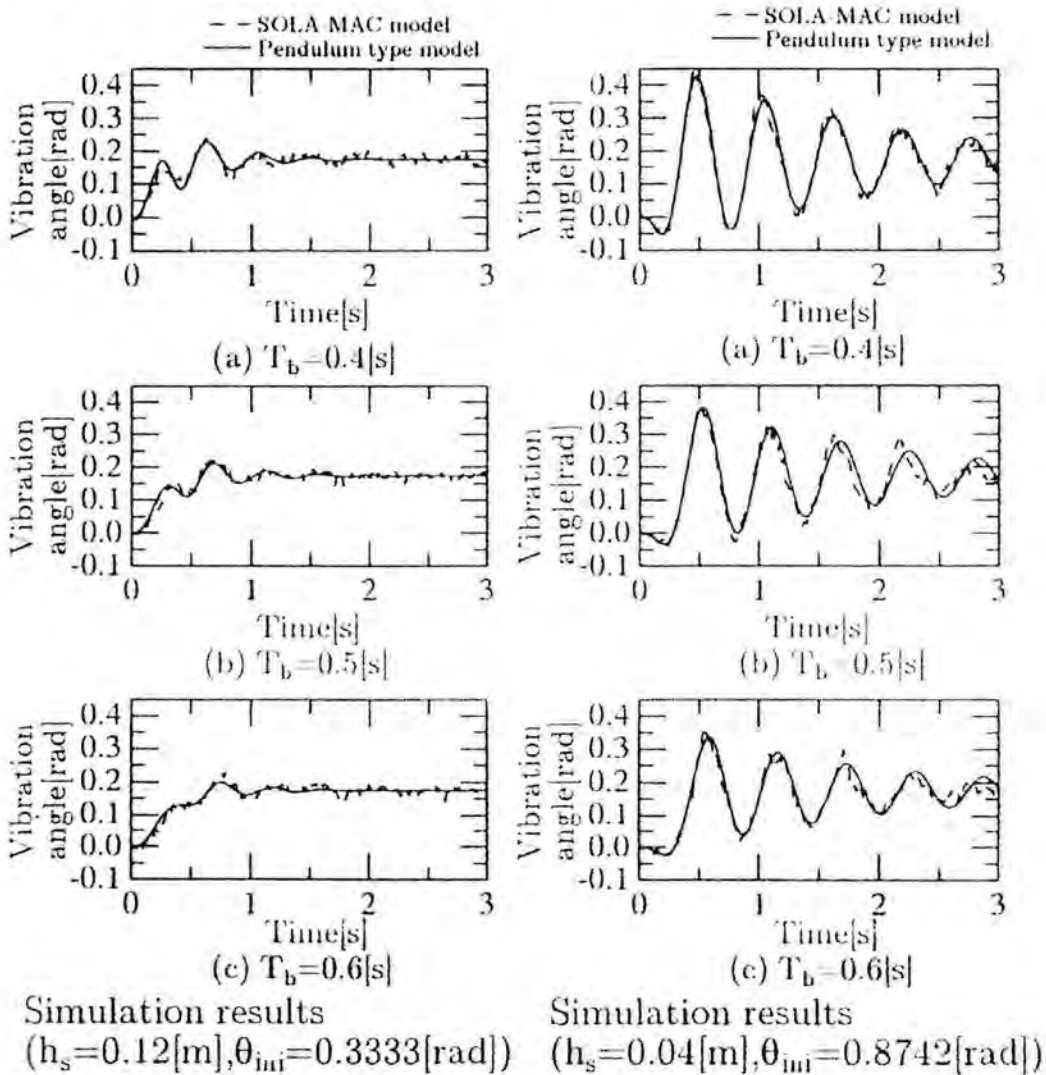
Pada penelitian ini juga dilakukan percobaan dengan metoda lain yaitu dengan model SOLA-MAC (*Solution Algorithm Marker and Cells*) dan hasil yang diperoleh dibandingkan dengan model Pendulum yang ditunjukkan pada Gambar 5.29. Parameter yang digunakan pada simulasi ini adalah ditunjukkan pada Tabel 5.2 sebagai berikut

Tabel 5.2 Parameter simulasi dengan model SOLA-MAC

Percobaan	Parameter	Dimensi
Percobaan I	Waktu Pengamatan	3 det
	Waktu Putar Mundur T_b	0,4; 0,5; 0,6
	Sudut Inisialisasi	0,33 rad
	Tinggi Air dlm. tungku	12 [cm]
Percobaan II	Waktu Pengamatan	3 det
	Waktu Putar Mundur T_b	0,4; 0,5; 0,6
	Sudut Inisialisasi	0,87 rad
	Tinggi Air dlm. tungku	4 [cm]

Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa kedua model yaitu model SOLA-MAC dan model Pendulum memiliki hasil simulasi yang hampir mendekati pada setiap percobaan. Hal ini bisa diperhatikan pada Gambar 5.29. Hasil inipun dapat menunjukkan bahwa dengan kecepatan putar balik semakin besar, diperoleh gelombang permukaan yang semakin besar. Hal ini

sesuai dengan hasil percobaan sebelumnya yaitu dengan kecepatan putar balik yang semakin tinggi diperoleh gelombang permukaan semakin besar.



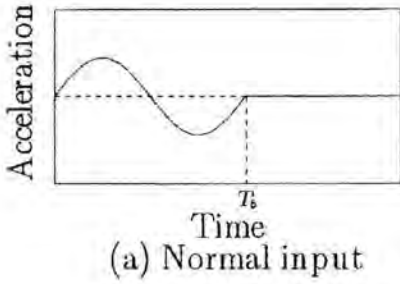
Gambar 5.29 Perbandingan hasil simulasi antara model SOLA-MAC dan Pendulum

5.3 Pengendali (Controller)

Pengendali yang digunakan pada penelitian tahap kedua ini adalah pengendali *Preshaping methods*. Metoda ini digunakan karena tidak memerlukan sensor sebagai umpan balik, sehingga dalam simulasi akan lebih mudah dilakukan dan dalam eksperimen atau percobaan dilaboratorium akan menghemat biaya dan sistem menjadi lebih sederhana. Namun dalam menggunakan metoda ini kita memerlukan penentuan pergeseran waktu

gelombang yang tepat karena hal ini akan sangat berpengaruh kepada hasil pengendaliannya.

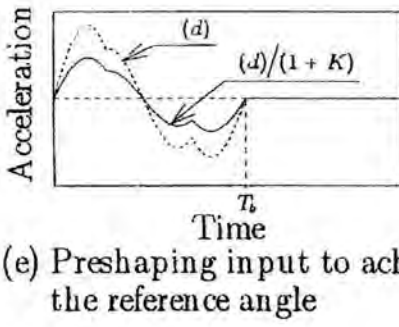
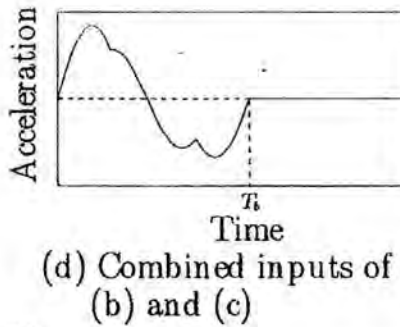
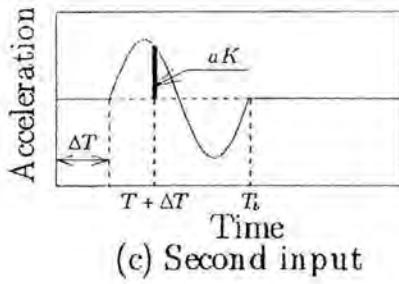
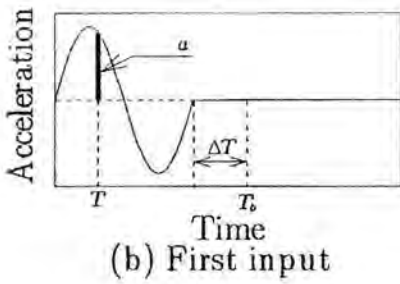
Secara teori model Preshaping ini ditunjukkan pada Gambar 5.30. Input normal, input pertama dan kedua ditunjukkan pada Gambar 5.30 tersebut. Sedangkan gabungan input pertama dan kedua ditunjukkan pada Gambar 5.30 (d). Dan Input Preshaping untuk memperoleh sudut referensi ditunjukkan pada Gambar 5.30 (e).



$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

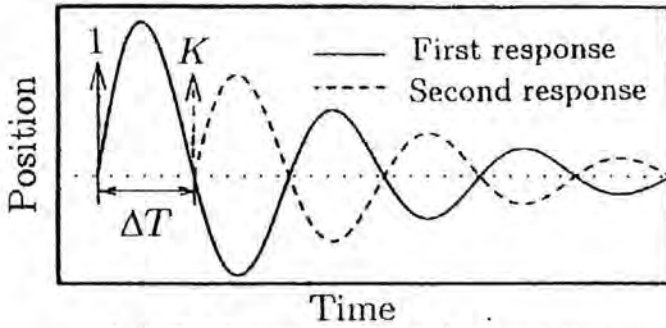
$$K = \exp\left(-\frac{\zeta\omega_n}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}\right)$$

$$\Delta T = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

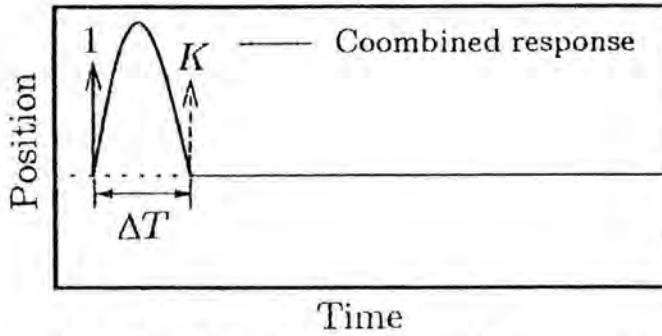


Gambar 5.30 Penerapan prinsip input shaping pada turunan input kendali kontinu berdasarkan kedua reduksi vibrasi dan kendali sudut putar tungku

Gambar 5.31 menunjukkan tentang proses mereduksi vibrasi. Gambar 5.31 (a) menunjukkan respon dan impuls masing-masing sedangkan 5.31 (b) menunjukkan kombinasi impuls dan respon.

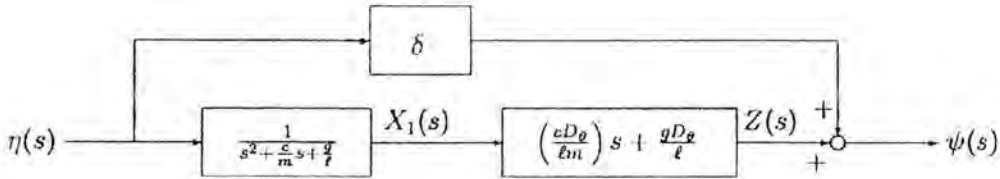


(a) Each impulse and response



(b) Combined impulse and response

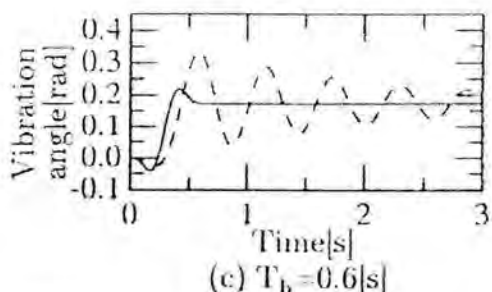
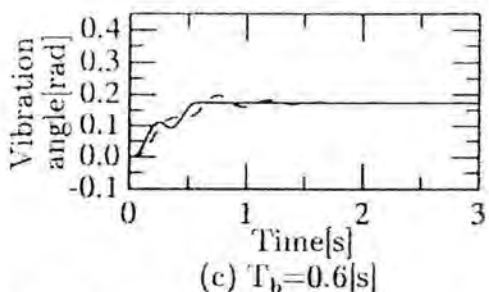
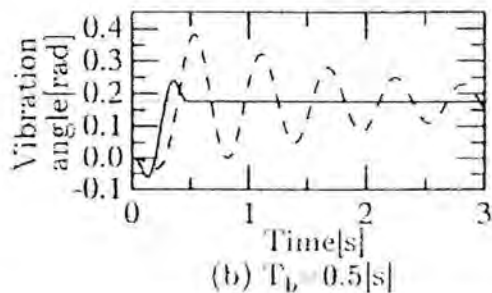
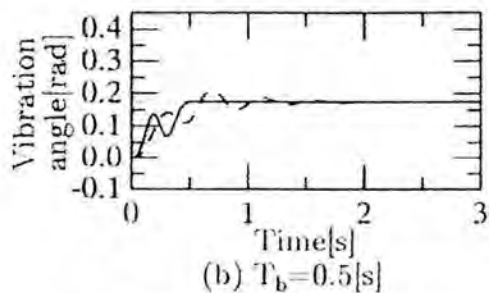
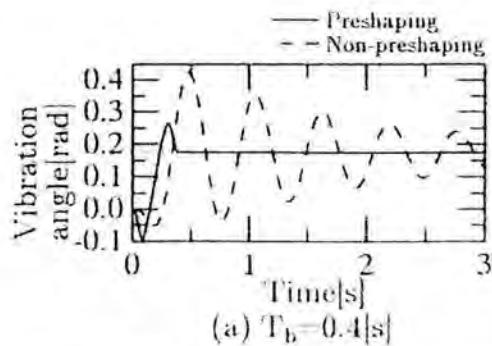
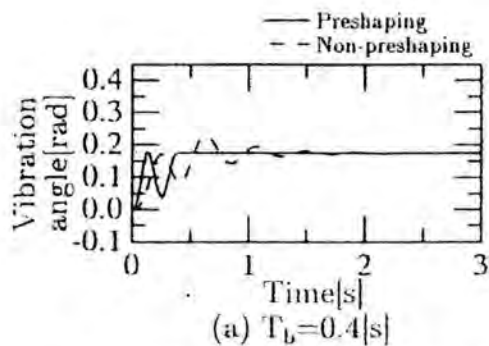
Gambar 5.31 Prinsip mereduksi vibrasi



Gambar 5.32 Sistem kendali fungsi transfer model tipe pendulum

Gambar 5.32 menunjukkan sistem kendali fungsi transfer model pendulum yang digunakan. Model ini menjadi acuan didalam merancang program pengendali yang digunakan dari model yang dirancang sebelumnya dengan memasukkan input preshaping.

Hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut. Gambar 5.33 tersebut menunjukkan perbandingan hasil simulasi antara percobaan dengan menggunakan Preshaping dan tanpa menggunakan Preshaping. Pengamatan dilakukan pada saat $T_b = 0,4; 0,5; \text{ dan } 0,6$ detik untuk ketinggian air $h_s = 12 \text{ cm}$ dan 4 cm .



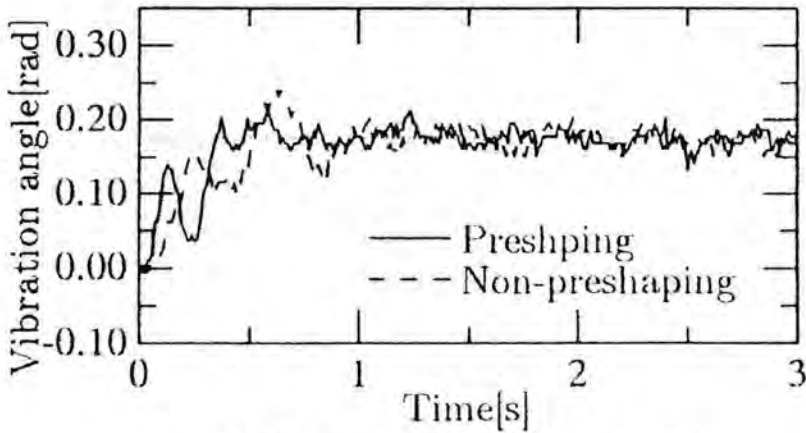
Simulation results
 $(h_s = 0.12[m], \theta_{ini} = 0.3333[rad])$

Simulation results
 $(h_s = 0.04[m], \theta_{ini} = 0.8742[rad])$

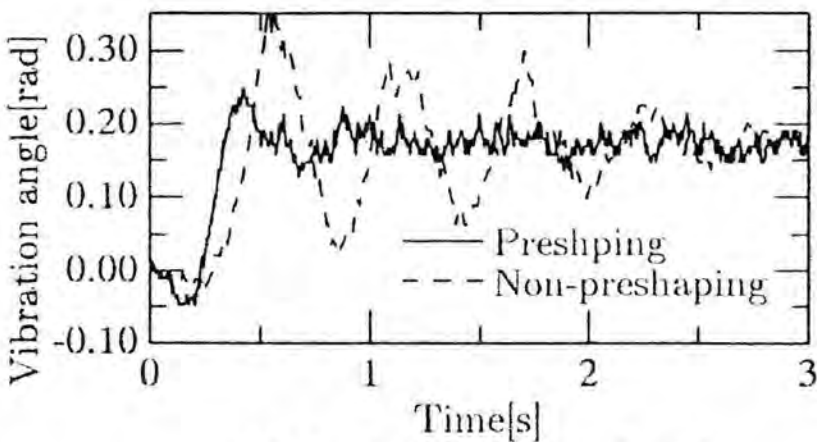
Gambar 5.33 Hasil simulasi kendali komputer menggunakan model tipe pendulum dengan masukan shaping

Dari Gambar 5.33 di atas dapat dilihat bahwa gelombang permukaan ketika putar balik dapat diredam hampir mencapai 90% dengan waktu yang sangat singkat. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi dengan menggunakan input shaping dapat membuktikan bahwa input shaping dapat menghilangkan gelombang permukaan dengan baik. Sehingga hal ini dapat digunakan pada eksperimen.

Gambar 5.34 menunjukkan hasil eksperimen untuk kondisi $h_s = 12$ cm dan $T_b = 0.4$ detik serta $h_s = 4$ cm dan $T_b = 0.6$ detik.



(a) $h_s=0.12$ [m], $T_b=0.4$ [s]

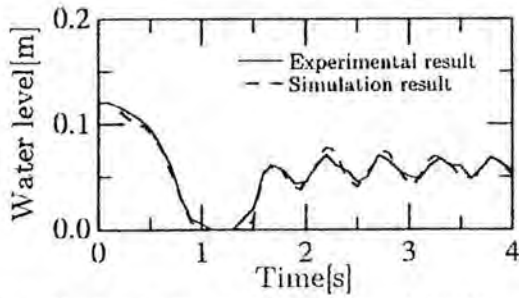


(b) $h_s=0.04$ [m], $T_b=0.6$ [s]

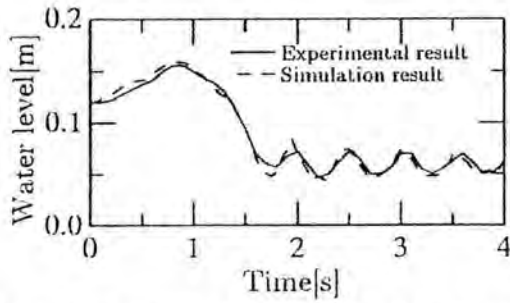
Gambar 5.34 Perbandingan Hasil Percobaan Antara Menggunakan Preshaping dan Tanpa Preshaping

Dari hasil eksperimen yang ditunjukkan pada Gambar 5.34 dapat membuktikan bahwa input shaping dapat meredam gelombang permukaan ketika putar balik dengan cepat.

Gambar 5.35 menunjukkan hasil pengamatan eksperimen dan hasil simulasi tanpa input shaping di bagian kiri dan kanan tanki untuk ketinggian air h_s 12 cm.

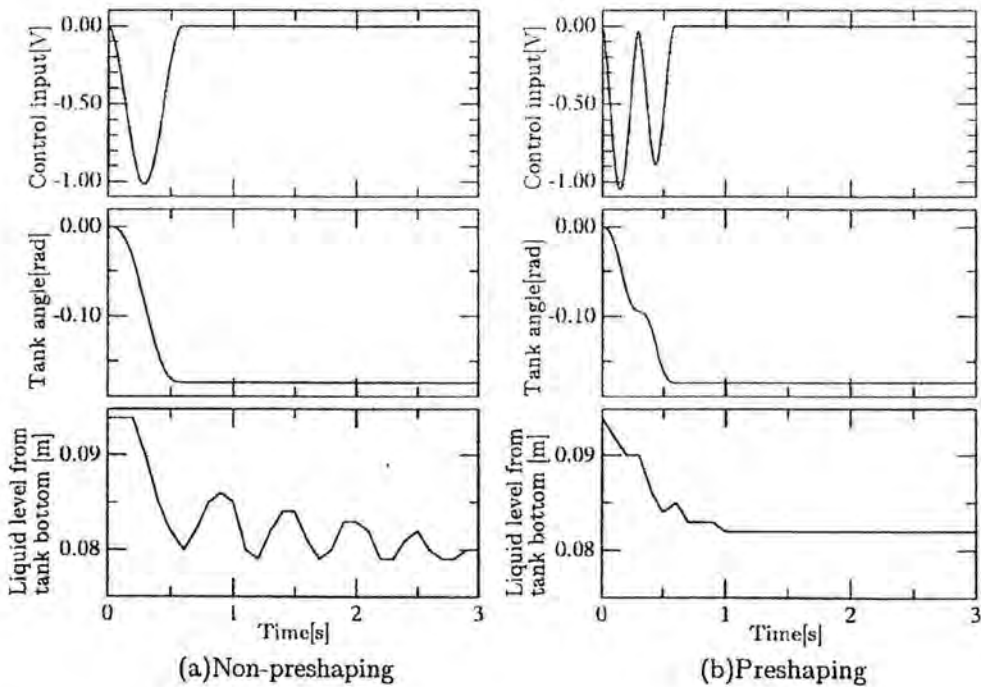


(a) Water level at left position(a) of tank



(b) Water level at right position(b) of tank

Gambar 5.35 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Eksperimen Tanpa Preshaping



(a) Non-preshaping

(b) Preshaping

Gambar 5.36 Perbandingan Hasil Eksperimen Antara Tanpa Preshaping dan dengan Preshaping

Gambar 5.36 menunjukkan secara lengkap perbandingan hasil percobaan atau eksperimen antara tanpa preshaping dan dengan preshaping. Gambar 5.36 tersebut menunjukkan juga tentang kendali input dalam besaran tegangan listrik DC, kemudian sudut putar tanki dalam satuan radial dan bentuk gelombang permukaan air atau likuid dalam meter. Hasil kendali tersebut dapat dilihat bahwa nampak sangat berbeda antara bentuk gelombang permukaan tanpa preshaping dan dengan preshaping. Di mana dengan menggunakan preshaping gelombang permukaan air pada saat putar alik tidak terlihat lagi pada saat setelah satu detik.

Bab 6

Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian di atas dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya adalah :

1. Telah ditunjukkan hasil simulasi komputer dan eksperimen mengenai perilaku fluida pada tungku yang berputar balik (mundur) pada proses pengecoran model tilting.
2. Pada proses tanpa pengendali terlihat bahwa gelombang permukaan fluida semakin besar jika ketinggian fluida bertambah.
3. Identifikasi bentuk gelombang permukaan telah dilakukan dengan menggunakan metoda SOLA-MAC dan model pendulum dengan hasil yang signifikan.
4. Pengendali Preshaping yang digunakan dapat menghilangkan atau mengurangi gelombang permukaan fluida pada saat putar balik.
5. Hasil simulasi antara tanpa dan dengan pengendali telah dibandingkan dengan variasi sudut putar dan ketinggian fluida dengan hasil yang signifikan.

6.2 Saran

Hasil penelitian ini masih dapat dikembangkan diantaranya dengan melakukan lebih banyak variasi variabel yang digunakan, misalnya dengan merubah bentuk dan ukuran tanki (ladle) serta ketinggian fluida dalam ladle. Kecepatan putar maju dan mundurpun dapat diganti dengan nilai yang berbeda sehingga mendekati dengan kasus yang sebenarnya.

Pengendali yang digunakan dapat diganti dengan pengendali lain seperti PID atau Robush Controller sehingga diperoleh hasil yang lebih baik.

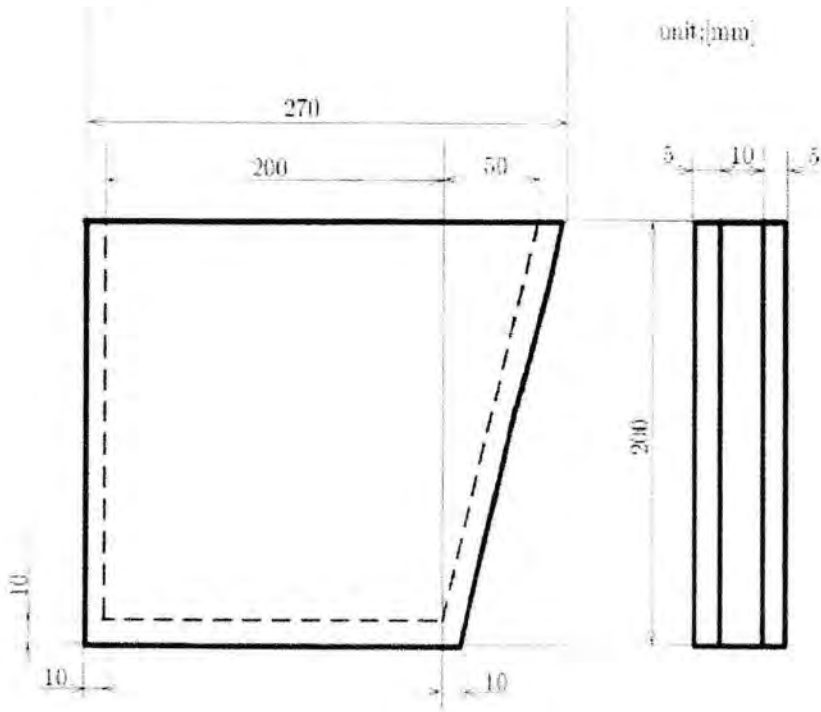
Daftar Pustaka

1. E. Tabatabaei (1998), Automatic Pouring of Molten Metal by Utilizing Real Time Vision Based Control System, AFS Transaction, pp 641-644
2. Kazuhiko Terashima, Dadan Ramdan, Ken'ichi Yano, Takahiro Toda (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
3. Kazuhiko Terashima, Ken'ichi Yano (2001), Sloshing Analysis and Suppression Control of Tilting-type Automatic Pouring Machine, Control Engineering Prctice 9, pp 607-620
4. Kazuhiko Terashima, Ken'ichi Yano (1999), Sloshing Suppression Control of Tilting-Type Automatic Pouring Machine, IFAC World Congress, Beijing, vol O pp 25-30
5. Kazuhiko Terashima and Tomochika Inagaki (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
6. K. Terashima, K. Yano, Y. Sugimoto (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
7. Michael F. Burditt, Paul M. Bralower (1989), Good Pouring Practice Contributor to Quality Castings, Modern Casting, pp 59-63
8. Ugay Sugarmansyah, Dharmawan, Hartaya, Ruki Savianto, Irawan Santoso (2003), Analisis Difusi Inovasi Teknologi Pengecoran Logam di Industri Kecil dan Menengah Klaten-Ceper (Tinjauan dari Aspek Kebijakan), Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri, Volume V, hal. 130-139
9. W. Lindsay (1983), Automatic Pouring and Metal Distribution Systems, Foundry Trade Journal, pp 151-165
10. Y.Noda, K. Yano, K. Terashima (2003), Detection and Tracking Control to Unknown Moving Object Considering Sloshing-Suppression in Pouring Robot, Proceeding Intelligent Systems and Control vol. 388

11. N. C. Singer, W. P. Seering (1990) Preshaping Command Inputs to Reduce System Vibration, Transaction of the ASME, Vol. 12 pp 76-82

Lampiran :

Ukuran Ladle yang Dibuat



Spesifikasi Alat Eksperimen yang Digunakan

D.C. Servo motor	maker : SANYO DENKI CO.LTD model : L511tg2-012 rated output : 110W rated torque : 3.5kg. cm max. tuening velocity : 500rpm gear ratio : 1/30
Driver unit	maker : SANYO DENKI CO.LTD model : PTD-A03-A0 rated current : max. 2.1A
Encoder	maker : OMRON CO.LTD model : E6C-CWZ5C resolution : 720(P/R) × 4 cillent consumption : max. 50mA
A/D,D/A converter	maker : CONTEC CO.LTD model : ADA12-8/2(98) A/D(12bit,8 channel) D/A(2 channel)
Counter bord	maker : CONTEC CO.LTD model : CNT24-4A(98)
I/O expansion unit	maker : ADDTECH model : APE-501
Computer	maker : IBM model : Endeavor CPU : Pentium III 500MHz