



**OPTIMASI DESAIN *MOLD* UNTUK MEREDUKSI CACAT *FLASH* DAN
SHRINKAGE PADA PRODUK PAKU KOTAK DENGAN MENGGUNAKAN
SOFTWARE SIMULASI MOLDFLOW
(STUDI KASUS PADA PT. PRIMA SAKTI)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Erfina Ayu Wardhani
NIM 101910101064

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur yang tiada henti penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wa taala atas curahan rahmat, nikmat serta hidayatnya sehingga karya tulis dalam bentuk skripsi ini dapat selesai. Dengan rasa bangga dan kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Temanku Denny Wahyu yang sangat membantu dalam proses menuju kelulusanku ini;
2. Bapak Gatot Hantono dan Ibu Ngesti Rahayu yang menjadi orang tua hebat dalam mendidik, menyayangi, membimbing, serta terus mendukung dan menyemangati dalam perjalanan hidup penulis hingga saat ini;
3. Mas Yudhis, Mbak Dinda, dan Mbak Fanda yang menjadi kakak-kakak yang hebat bagi penulis;
4. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T. dan Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang membimbing penulis hingga memperoleh gelar S.T., terima kasih atas bimbingannya;
5. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T., dan Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang memberikan masukan serta arahan dalam pengerjaan skripsi ini, terima kasih;
6. Semua dosen dan staff Teknik Mesin Universitas Jember yang membimbing penulis dalam menyelesaikan studi S1;
7. Almamater yang kebanggakan;
8. Teman-teman seperjuangan 'Mech-X' Teknik Mesin 2010, teman-teman dari bangku SDN 03 Sumberporong, SMPN 01 Lawang, SMKN 01 Singosari, teman-teman kos centhil 4D 11B, hingga saat ini, terima kasih untuk semua bantuan dan dukungannya;

MOTTO

Eat Failure, and you will know the taste of success.
(Anonim)

Men often become what they believe themselves to be, if I believe I cannot do something, it makes me incapable of doing it, but when I believe I can, then I acquire the ability to do it even I didn't have it in the beginning.
(MOHANDAS GANDHI)

The important thing is not to stop questioning. Curiosity has its own reason for existing.
(ALBERT EINSTEIN)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Erfina Ayu Wardhani**

NIM : **101910101064**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “*optimasi desain mold untuk mereduksi cacat flash dan shrinkage pada produk paku kotak dengan menggunakan software simulasi moldflow (studi kasus pada pt. prima sakti)*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Mei 2015
Yang menyatakan,



Erfina Ayu Wardhani
NIM. 101910101064

SKRIPSI

**OPTIMASI DESAIN *MOLD* UNTUK MEREDUKSI CACAT *FLASH* DAN
SHRINKAGE PADA PRODUK PAKU KOTAK DENGAN MENGGUNAKAN
SOFTWARE SIMULASI MOLDFLOW
(STUDI KASUS PADA PT. PRIMA SAKTI)**

Oleh

Erfina Ayu Wardhani

NIM 101910101064

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Hari Arbiantara, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “optimasi desain mold untuk mereduksi cacat flash dan shrinkage pada produk paku kotak dengan menggunakan software simulasi moldflow (studi kasus pada pt. prima sakti)” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Hari Arbiantara B., S.T., M.T.
NIP. 19670924 199412 1 001

Anggota I,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP.19670123 199702 1 001

Sekretaris,

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.
NIP. 19691201 199602 1 001

Anggota II,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP. 19681207 199512 1 002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP. 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Optimasi Desain Mold untuk Mereduksi Cacat Flash dan Shrinkage pada Produk Paku Kotak dengan Menggunakan Software Simulasi Moldflow (Studi Kasus pada PT. Prima Sakti)

Erfina Ayu Wardhani, 101910101064; 2015; 115 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Plastik adalah suatu polimer yang mempunyai sifat-sifat unik dan luar biasa. Proses yang umum digunakan dalam memproduksi produk berbahan baku plastik adalah *blow molding*, *injection molding*, dan ekstrusi. Penggunaan material plastik yang semakin berkembang, menuntut usaha untuk mengurangi waktu dan biaya produksi. Pada produk hasil *injection molding* sering terjadi cacat produk, seperti keretakan, penyusutan pada bagian-bagian tertentu, bentuk tidak sempurna, pelubangan material plastik, dimensi produk diluar dari toleransi yang ditentukan dan lain sebagainya yang diakibatkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor yang paling penting adalah desain *mold*.

PT. Prima Sakti merupakan perusahaan yang bergerak dibidang *injection molding*. Dalam melakukan pendesainan, perusahaan ini mengacu pada perhitungan manual dan trial yang berulang-ulang sampai didapatkan *setting* yang sempurna tanpa melalui simulasi. Dari produk yang dihasilkan, terdapat salah satu produk yang berupa paku kotak yang memiliki cacat. Terutama cacat *flash* dan *shrinkage*, yang tentunya merugikan perusahaan, karena perlu dilakukan *after work* berupa pengguntingan pada produk yang memiliki cacat *flash*.

Penelitian ini dimulai dengan survey lapangan pada PT. Prima Sakti yang memproduksi produk paku kotak untuk mendapatkan data serta parameter-parameter yang digunakan dalam memproduksi produk paku kotak. Data yang sudah didapat akan diolah untuk menghasilkan setting parameter yang lebih baik untuk mereduksi cacat pada produk paku kotak dan disimulasikan untuk mengetahui hasil akhir. Penelitian ini akan dilakukan di Divisi Desain PT. Prima Sakti dan Laboratorium

Desain Universitas Jember. Waktu pelaksanaan penelitian mulai Oktober 2014 sampai Januari 2015. Variabel yang digunakan dalam mendesain mold yaitu variasi orientasi *gating system* dan penempatan saluran pendingin dengan jarak 18 mm dan 23 mm. Sedangkan untuk analisis simulasi menggunakan Software Autodesk Simulation Moldflow 2013 dengan variasi *cylinder temperature* sebesar 250° C, 240° C, 241,1° C, dan 230° C, dan variasi tekanan injeksi sebesar 60 Mpa, 69,14 Mpa, 98,56 Mpa, dan 128 Mpa. Parameter yang diamati adalah *fill time* dan *shrinkage ratio*.

Dari hasil analisis simulasi, pada penelitian ini diketahui pada desain 1, produk dengan nilai rasio *shrinkage* terendah yaitu 15,87% dihasilkan dengan parameter *cylinder temperature* 230°C dengan tekanan injeksi sebesar 60 Mpa dan 98,56 Mpa. Sedangkan pada desain 2, produk dengan nilai rasio *shrinkage* terendah yaitu 15,68% dihasilkan dengan parameter *cylinder temperature* 230°C dengan tekanan injeksi sebesar 60 Mpa dan 98,56 Mpa. Dapat dikatakan bahwa desain 2 menghasilkan produk dengan rasio *shrinkage* yang lebih rendah, hal ini dikarenakan desain 2 yang memiliki jarak lubang saluran pendingin yang lebih dekat daripada desain 1 sehingga pendinginan terjadi lebih cepat dan merata, Dan juga *cylinder temperature* yang tinggi akan menghasilkan rasio *shrinkage* yang besar, sebaliknya, *cylinder temperature* yang rendah akan menghasilkan rasio *shrinkage* yang kecil.

Dari analisis simulasi *fill time* dapat diketahui bahwa desain 2 menghasilkan produk dengan *fill time* yang rendah, berkisar antara 0,38 detik. Sedangkan dari hasil analisis pada simulasi desain 1, menghasilkan produk dengan rata-rata *fill time* sebesar 0,52 detik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain 2 lebih baik daripada desain 1, karena memiliki keunggulan untuk meminimalkan *fill time* dari proses produksi paku kotak.

SUMMARY

Mold Design Optimization to Reduce Flash and Shrinkage Defects in Product Rectangle Nail Using Simulation Moldflow Software (Case Study on PT. Prima Sakti)

Erfina Ayu Wardhani, 101910101064; 2015; 115 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Jember University.

Plastic is a polymer that has unique properties and exceptional. Common process used in producing the raw material is plastic blow molding, injection molding, and extrusi. The use of plastic materials is growing, demanding efforts to reduce the time and cost of production. In the injection molding products common product defects, such as cracks, shrinkage in certain parts, the shape is not perfect, overtopping plastic material, the dimensions of the product outside of the specified tolerance and so forth are caused by several factors. One of the most important factors are mold design.

PT. Prima Sakti is a company engaged in injection molding. In doing designing, the company is referring to the manual calculations and trial were repeated to obtain the perfect setting without going through the simulation. Of products produced, there is one product in the form of rectagle nail that has a disability. Especially defect flash and shringkage, which certainly hurt the company, as it needs to be done after work in the form of shearing of the product which has a defective flash.

The study began with a field survey on PT.Prima Sakti are producing rectangle nail to get the data and parameters used in producing rectangle nail. The data that has been obtained will be processed to produce a better parameter settings to reduce defects in the product rectangle nail and simulated to determine the final result. This study will be conducted in the Design Division PT. Prima Sakti and Design Laboratory University of Jember. The timing of the study began in October 2014 to January 2015. Variabel used in designing the mold is a variation orientation

of gating system and placement of the cooling channels with a distance of 18 mm and 23 mm. As for the simulation analysis using Autodesk Simulation Moldflow 2013 software with cylinder temperature variations at 250° C, 240° C, 241,1° C, and 230° C, and the variation of the injection pressure of 60 MPa, 69.14 MPa, 98.56 MPa and 128 MPa. The parameters measured were the fill time and the shrinkage ratio.

From the results of simulation analysis, the study showed the first design, the product with the lowest shrinkage value ratio is 15.87% generated by the cylinder temperature 230°C parameters with an injection pressure of 60 MPa and 98.56 MPa. While on the design 2, the product with the lowest shrinkage value ratio is 15.68% generated by the cylinder temperature 230°C parameters with injection pressure of 60 MPa and 98.56 MPa. It can be said that the design of two products with a lower shrinkage ratio, this is due to the design of two who has a heat sink drain hole distance closer than the design one that cooling occurs more quickly and evenly, and is also high cylinder temperatures will produce shrinkage ratio large, on the contrary, the low temperature cylinder will produce a small shrinkage ratio.

From the analysis of the simulation fill time can be seen that the design of two products to fill time low, ranging between 0.38 seconds. While the results of the analysis on the design of simulation 1, yielding a product with an average fill time of 0.52 seconds. It can be concluded that the design of two is better than one design, because it has the advantage to minimize the fill time of the production process rectangle nail.

PRAKATA

Segala puji dan syukur kehadirat ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Optimasi Desain Mold untuk Mereduksi Cacat Flash dan Shrinkage pada Produk Paku Kotak dengan Menggunakan Software Simulasi Moldflow (Studi Kasus pada PT. Prima Saki)*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayahanda tercinta Gatot Hantono dan Ibunda tercinta Ngesti Rahayu atas segala do'a, dukungan semangat dan materil. Kakak-kakakku Hendro Yudhis Pramono, Eurika Adinda, dan Erfanda Puspita yang tak henti-hentinya memberi semangat dan motivasi, serta saudara-saudaraku semua yang telah memberikan doa kepada saya.
2. Bapak Hari Arbiantara B., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen penguji I, dan Bapak Aris Zainul Muttaqqin, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.

5. Semua teman-teman teknik mesin 2010 (MECHANICAL – X), terimakasih untuk motivasi, dukungan serta kebersamaannya.
6. Teman-teman yang selalu memberi dukungan, Silvia Pratiwi, Hilmi Fathiya, anak kos Jawa 4D 11B terimakasih untuk motivasi dan kebersamaannya.
7. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
1.3.1 Tujuan.....	3
1.3.2 Manfaat.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Polimer	5
2.1.1 Thermoplastik	6
2.1.2 Thermosetting Plastik	8
2.2 Karakteristik Material Polypropylene	10
2.2.1 Karakteristik.....	10
2.2.2 Penggunaan	10
2.2.3 Persyaratan Produksi.....	11

2.3 Teknologi Pemrosesan Plastik	12
2.3.1 Injection Molding.....	12
2.3.2 Ekstrusi.....	12
2.3.3 Thermoforming	13
2.3.4 Blow Molding	13
2.4 Injection Molding	13
2.4.1 Mold Clamp Unit	14
2.4.2 Injection Unit	16
2.5 Parameter Saluran Masuk dan Mesin Injeksi	20
2.5.1 Karakteristik Sistem Saluran Masuk.....	20
2.5.2 Sprue	21
2.5.3 Runner.....	22
2.5.4 Gate	25
2.5.5 Ukuran Mesin Injection Molding.....	25
2.6 Defect	26
2.7 Mekanisme Mold/Cetakan	30
2.7.1 Konstruksi Mold	30
2.8 Hipotesa	42
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	43
3.1 Tempat dan Waktu	43
3.2 Alat dan Bahan	43
3.2.1 Bahan	43
3.2.2 Alat.....	43
3.3 Prosedur Penelitian	43
3.4 Diagram Alir Penelitian	44
3.5 Metode Penyajian Data	45
BAB 4. PEMBAHASAN	48
4.1 Spesifikasi Produk	48
4.2 Analisis Perencanaan Cavity	49

4.2.1 Rancangan Cavity	49
4.2.2 Rancangan Sprue	50
4.2.3 Rancangan Runner	51
4.2.4 Rancangan Gate	51
4.3 Analisis Perencanaan Parameter Proses	52
4.3.1 Ukuran Molding Machine.....	52
4.3.2 Clamping Force.....	53
4.3.3 Injection Time.....	53
4.3.4 Perhitungan Cooling Time.....	54
4.3.5 Perhitungan Cycle Time	55
4.4 Validasi Eksperimen.....	56
4.4.1 Hasil Simulasi dengan Software Moldflow 2013	58
4.5 Analisis Hasil Simulasi dengan Parameter Terbaik	63
BAB 5. PENUTUP.....	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Temperature Titik Peleburan dan Temperature Pengerasan	7
2.2 Contoh Pengaplikasian Thermoplastik	8
2.3 Penggunaan Thermosetting Plastik	9
2.4 Temperature Kering dan Tekanan Injeksi <i>Polypropylene</i>	11
2.5 Rasio Peyusutan dan Berat Jenis <i>Polypropylene</i>	11
2.6 Kekuatan Tarik dan Kekuatan Keju/ <i>Impact Polypropylene</i>	12
2.7 Tabel Rekomendasi Diameter <i>Runner</i>	23
3.1 Pengujian Desain 1	46
3.2 Pengujian Desain 2	47
4.1 Data Spesifikasi Produk	48
4.2 Karakteristik <i>Polypropylene</i>	48
4.3 Data Spesifikasi Mesin	48
4.4 Data Spesifikasi Cetakan	49
4.5 Parameter Analisis <i>Molding Window</i>	58
4.6 Pengujian Desain 1	59
4.7 Pengujian Desain 2	60
4.8 Perbedaan Antara Produk Hasil Simulasi dan Hasil Produksi	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Klasifikasi Polimer.....	6
2.2 Grafik Reaksi Thermosetting dan Waktu Pengerasan	9
2.3 Skema Proses <i>Injection Molding</i>	13
2.4 Mekanisme Mesin Injeksi	14
2.5 Pendistribusian Material.....	21
2.6 Perhitungan <i>Sprue</i>	21
2.7 <i>Circular Cross-section</i>	23
2.8 <i>Parabolic Cross-section</i>	24
2.9 <i>Trapezoidal Cross-section</i>	24
2.10 Cacat <i>Flash</i>	29
2.11 Cacat <i>Shrinkage</i>	30
2.12 Konstruksi Cetakan 2 Komposisi.....	32
2.13 Bagian-bagian Produk Plastik	33
2.14 Konstruksi Cetakan 3 Komposisi.....	35
2.15 Sistem <i>Hot-Runner</i>	37
2.16 Produk dengan <i>Undercut</i>	38
2.17 Konstruksi <i>Slider Mold</i>	39
2.18 Konstruksi <i>Split Cavity Mold</i>	40
2.19 <i>Worm Gear</i> dan <i>Helical Gear</i>	40
2.20 Konstruksi <i>Screw Mold</i>	41
2.21 Konstruksi <i>Stripper Ejector Mold</i>	41
3.1 Diagram Alir Penelitian	45
4.1 Penampang <i>Gate</i>	52
4.2 Dimensi <i>Gate</i> yang Direferensikan.....	52
4.3 Analisis <i>Gate Suitability</i>	56
4.4 Analisis <i>Molding Window</i> Desain 1	57

4.5 Analisis <i>Molding Window</i> Desain 2.....	57
4.6 Grafik Analisis <i>Fill Time</i>	61
4.7 Grafik Analisis <i>Shrink Ratio</i>	62
4.8 <i>Fill Time</i> pada Desain 1	63
4.9 <i>Fill Time</i> ada Desain 2	64
4.10 <i>Volumetric Shrinkage at Ejection</i> pada Desain 1.....	65
4.11 <i>Volumetric Shrinkage at Ejection</i> pada Desain 2.....	66
4.12 Penimbangan Berat <i>Insert</i>	68
4.13 Penimbangan Berat Produk.....	68
4.14 Hasil Simulasi dengan Parameter Produksi	69

BAB 1 LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang

Plastik adalah suatu polimer yang mempunyai sifat-sifat unik dan luar biasa. Polimer adalah suatu bahan yang terdiri dari unit molekul yang disebut monomer. Jika monomernya sejenis disebut homopolimer, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan kopolimer. (Mujiarto, 2005)

Industri yang menggunakan bahan plastik sangat erat hubungannya dengan perkembangan teknologi khususnya pada mesin-mesin yang digunakan untuk memproses bahan plastik tersebut. Proses yang umum digunakan dalam memproduksi produk berbahan baku plastik adalah *blow molding*, *injection molding*, dan ekstrusi.

Penggunaan material plastik yang semakin berkembang, menuntut usaha untuk mengurangi waktu dan biaya produksi. Pada produk hasil *injection molding* sering terjadi cacat produk, seperti keretakan, penyusutan pada bagian-bagian tertentu, bentuk tidak sempurna, pelubangan material plastik, dimensi produk diluar dari toleransi yang ditentukan dan lain sebagainya yang diakibatkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor yang paling penting adalah desain *mold*.

Kesalahan desain dapat mengakibatkan cacat produk seperti *shrinkage*, *flash*, *jetting*, *short shot*, *sink mark*, dan lain sebagainya. Hal ini tentu sangat merugikan bagi perusahaan baik dari segi waktu maupun biaya.

Untuk mengestimasi waktu dan biaya, dengan berkembangnya teknologi komputer, telah banyak software-software yang dihadirkan untuk mempermudah dan membantu industri dalam bidang *injection molding*. Dengan adanya software ini, maka seorang desainer dapat mensimulasikan hasil rancangan *mold*nya dan mengetahui apakah desain yang dirancang menghasilkan produk yang baik atau tidak.

Software komputer Autodesk Simulation Moldflow 2013 adalah salah satu program simulasi *injection molding* yang dapat melakukan analisis mendalam terhadap desain benda plastik dan cetaknya. Software ini mampu menganalisis letak *gate* yang paling efisien, waktu yang diperlukan untuk satu kali proses injeksi, tekanan injeksi, temperatur, dan lain sebagainya. Selain itu software ini

juga dapat melakukan simulasi selama proses injeksi berlangsung sesuai dengan input parameter proses yang dimasukkan dan menampilkan hasil akhir dari keseluruhan proses. Simulasi dapat dilakukan dengan metode *single cavity* maupun *multi cavity*. Dari simulasi ini, dapat digunakan sebagai suatu acuan dalam mendesain suatu *injection molding*, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan dalam pembuatan *mold*.

Penelitian mengenai minimalisasi cacat dengan pengaturan tekanan terhadap kualitas produk *injection molding* dengan menggunakan simulasi pernah dilakukan oleh Sugondo (2007). Dalam penelitiannya, Sugondo (2007) mensimulasikan proses *injection molding* pada produk chasing handphone yang menggunakan material ABS, dengan temperature leleh yang divariasikan sebesar 265°C dan 300°C dan temperature *mold* 75°C. Pada percobaan yang dilakukan, tekanan injeksi di variasi antara 50 MPa, 60 MPa, 70 MPa, 80 MPa, dan 90 MPa. Kemudian setelah diinjeksikan, material ditahan pada tekanan yang diturunkan sebesar 80% dari tekanan injeksi yang digunakan. Pada hasil percobaan, didapatkan pada temperature 265°C menghasilkan hasil produk yang lebih baik. Hal ini ditunjang pula dengan tekanan injeksi max sebesar 90 MPa. Kemudian saat *holding time*, tekanan diturunkan sebesar 80% menjadi 36,99 MPa. Hasilnya, produk mengalir lebih baik sehingga produk yang dihasilkan lebih baik pula. Maka dapat disimpulkan tekanan injeksi min hanya berpengaruh pada temperature leleh yang tinggi.

PT. Prima Sakti merupakan perusahaan yang bergerak dibidang *injection molding*. Dalam melakukan pendesainan, perusahaan ini mengacu pada perhitungan manual dan trial yang berulang-ulang sampai didapatkan *setting* yang sempurna tanpa melalui simulasi. Dari produk yang dihasilkan, terdapat salah satu produk yang berupa paku kotak yang memiliki cacat. Terutama cacat *flash* dan *shrinkage*, yang tentunya merugikan perusahaan, karena perlu dilakukan *after work* berupa pengguntingan pada produk yang memiliki cacat *flash*.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini berjudul “Optimasi Desain untuk Mereduksi Cacat *Flash* dan *Shrinkage* pada Produk Paku Kotak dengan Menggunakan Software Simulasi Moldflow (Studi Kasus pada PT. Prima Sakti)”.

Pada penelitian ini, dihitung perhitungan manual untuk parameter-parameter proses dalam perencanaan desain paku kotak, kemudian di simulasikan. Hasilnya diproses dan dibandingkan dengan 3 kondisi yang menggunakan parameter standar dari software Autodesk Simulation Moldflow 2013, parameter yg digunakan sewaktu proses produksi paku kotak, dan parameter yang divariasikan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang sering timbul pada proses *injection molding* adalah pengaruh temperatur dan tekanan injeksi. Tanpa melakukan simulasi terlebih dahulu, maka dibutuhkan proses *trial* yang berulang-ulang hingga mendapatkan setting yang sempurna untuk suatu produk *injection molding*. Hal ini tentunya akan mengakibatkan kerugian pada perusahaan akibat kegagalan percobaan dalam mencari parameter mesin dan parameter proses yang terbaik.

Pada produk paku kotak yang diproduksi oleh PT. Prima Sakti pada tahun 2012, terdapat beberapa cacat pada semua hasil produksinya, yaitu *flash* pada seluruh bagian parting line dan *shrinkage* pada sisi-sisi produk. Cacat *flash* dan *shrinkage* dapat diakibatkan oleh suhu material yang terlalu tinggi sehingga viskositasnya rendah, apabila diinjeksikan akan meluber melebihi *parting line* dan menyebabkan *flash*. Setting tekanan injeksi yang terlalu tinggi dan *clamping force* yang terlalu rendah juga menyebabkan cacat *flash*. Sedangkan cacat *shrinkage* bisa diakibatkan oleh saluran pendinginan yang kurang optimal. Oleh sebab itu, pada penelitian ini, dilakukan perhitungan ulang untuk mendapatkan setting parameter proses yang optimal untuk mereduksi cacat pada produk paku kotak kemudian disimulasikan dengan berdasar pada parameter-parameter proses yang digunakan pada waktu memproduksi paku kotak seperti, material plastik, temperatur leleh, dan tekanan injeksi yang masih tercatat dalam data perusahaan.

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

- a. Untuk mendapatkan *setting* parameter temperatur leleh, tekanan injeksi, dan pendinginan yang efisien dan optimal untuk produk paku kotak.

- b. Untuk mengetahui hasil simulasi dan mendapatkan produk dengan hasil terbaik dan cacat yang seminimal mungkin.

1.3.2 Manfaat

- a. Mendapatkan *setting* parameter temperatur leleh, tekanan injeksi, dan pendinginan yang efisien dan optimal untuk produk paku kotak.
- b. Mengetahui hasil simulasi dari parameter proses yang terbaik dengan rejection rate yang rendah.
- c. Mendapatkan desain *mold* yang optimal untuk meminimalisir cacat dan *cycle time*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah:

1. Bentuk dan material produk sudah ditentukan sesuai pesanan.
2. Modifikasi dilakukan pada bagian saluran pendingin, variasi temperatur leleh, dan variasi tekanan injeksi.
3. Hasil penelitian berupa simulasi.
4. Hasil simulasi dengan desain dan parameter proses terbaik dari produk paku kotak tidak diproduksi ulang.
5. Hasil desain *mold* dan parameter proses yang optimal, tidak bisa dilakukan percobaan dengan mesin injeksi mengingat pembuatan *mold* membutuhkan biaya yang relatif mahal dan beresiko apabila *mold* yang dibuat tidak beroperasi dengan baik.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

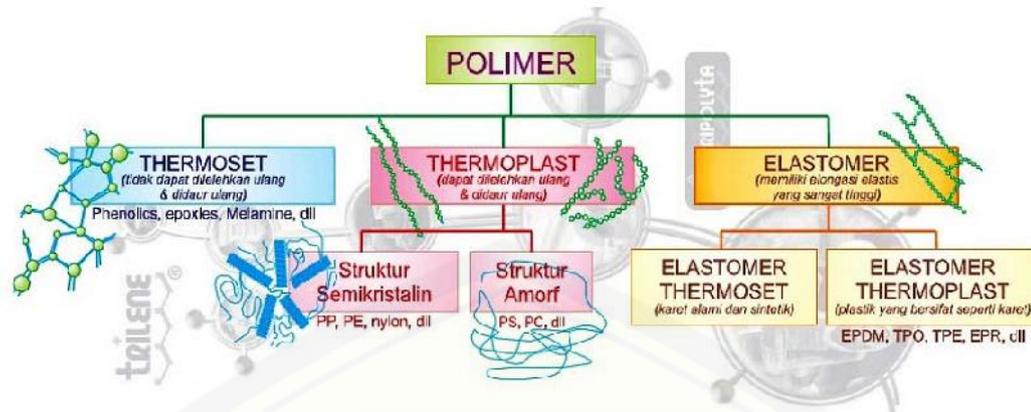
2.1 Definisi Polimer

Polimer merupakan molekul besar yang terbentuk dari unti-unit berulang sederhana. Nama ini diturunkan dari bahasa Yunani '*poly*', yang berarti 'banyak', dan '*mer*', yang berarti 'bagian'. Makromolekul merupakan istilah yang sinonim dengan polimer (Stevens, 2001).

Pada dasarnya polimer secara umum digolongkan ke dalam 3 (tiga) macam, yakni: (Stevens, 2001)

1. Bahan Thermoplastik (*Thermoplastic*), yaitu akan melunak bila dipanaskan dan setelah didinginkan akan dapat mengeras. Thermoplastik disebut juga plastik komoditi dan sering dipakai dalam bentuk barang yang bersifat pakai-buang (*disposable*) seperti lapisan pengemas (Stevens, 2001). Contoh bahan thermoplastik adalah: *polystyrene*, *polyethylene*, *polypropylene*, *nilon*, dan lain sebagainya.
2. Bahan Thermoseting (*Thermosetting*), yaitu plastik dalam bentuk cair dan dapat dicetak sesuai dengan yang diinginkan serta akan mengeras jika dipanaskan dan tetap tidak dapat dibuat menjadi plastik lagi. *Thermosetting* disebut juga plastik teknik, memiliki sifat mekanik yang unggul, dan daya tahan yang lebih baik (Stevens, 2001). Contoh bahan *thermosetting* adalah *epoxy putty* dan *phenol-formaldehyde*.
3. Karet/*Elastomer* yaitu polimer yang memperlihatkan resiliensi (daya pegas) atau kemampuan meregang dan kembali ke keadaan semula dengan cepat (Stevens, 2001). Contoh elastomer, yaitu: karet sintetis.

Berikut pembagian polimer secara umum:



Gambar 2.1 Klasifikasi Polimer

(sumber: Pengetahuan Dasar Plastik, penerbit: PT. Tri Polyta Indonesia, tbk)

2.1.1 Thermoplastik

Thermoplastik adalah jenis plastik yang apabila dipanaskan, akan melunak dan mencair. Berbeda dengan thermoseting plastik, thermoplastik sangat cocok untuk proses injeksi plastik, karena *cycle timenya* lebih pendek dibandingkan dengan thermoseting plastik. Bahan thermoplastik mempunyai titik leleh sendiri-sendiri karena setiap bahan plastik mempunyai karakteristik yang berbeda-beda (Hermawan dan Astika, 2009).

Terdapat 2 jenis thermoplastik yaitu:

- *crystal plastic*
- *non-crystal plastic.*

Crystal plastik memiliki distribusi molekul secara beraturan sewaktu terjadi pengerasan sehingga terbentuk *crystal*. Kelemahan dari *crystal* plastik adalah penentuan kepresisian ukuran yang sulit. *Crystal* plastik dapat diklasifikasikan lagi menjadi:

- *Polyethylene (PE)*
- *Polypropylene (PP)*
- *Polyamide atau Nylon (PA)*

Non-crystal plastik memiliki distribusi molekul yang tidak beraturan, tidak membentuk *crystal* sewaktu terjadi pengerasan, hanya mengeras saja. Proses kepresisian ukurannya lebih mudah ditentukan dibandingkan *crystal* plastik. Dalam area titik perubahan kaca $+100^{\circ}\text{C}$, kekentalannya akan berubah dan

memungkinkan untuk dialirkan. *Non-crystal* plastik dapat diklasifikasikan lagi menjadi:

- *Polyvinyl Chloride* atau *Vinyl ((PVC)*
- *Polystyrene (PS)*
- *Polycarbonate (PC)*
- *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*

Tabel 2.1 Temperature titik peleburan dan temperature pengerasan

	Nama Plastik	Titik Lebur (°C)	Temperature Silinder (°C)	Temperature Pendinginan (°C)	Temperature <i>Mold</i> (°C)
Crystal Plastik	Polyethylene (PE)	110~141	200~300	100~200	15~75
	Polypropylene (PP)	168~186	200~300	100~200	15~90
	Polyamide atau Nylon (PA)	215~265	220~350	145~170	20~90
Non-crystal Plastik	Polyvinyl Chloride atau Vinyl (PVC)	87~212	140~210	87	35~65
	Polystyrene (PS)	170~310	170~310	100	20~60
	Polycarbonate (PC)	150~250	270~380	150	85~125
	Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	80~255	200~300	80~125	40~85

Berikut adalah tabel contoh penggunaan thermoplastik.

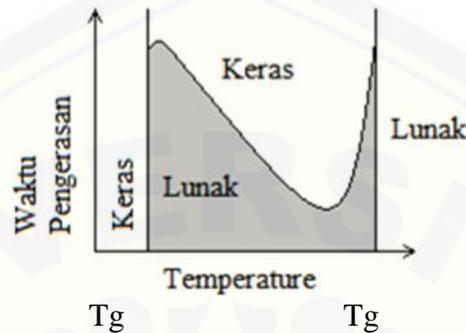
Tabel 2.2 Contoh pengaplikasian thermoplastic

Nama Plastik	Penggunaan	
Polyethylene (PE)	(Presisi Rendah) Pembungkus Makanan, Minuman, Obat Film Cover Cable Cover Barang Kebutuhan Sehari-hari	(Presisi Tinggi) Kantong Plastik Plastik Sampah Wadah Sabun Pipa air Pipa Gas
Polypropylene (PP)	Exterior/Interior mobil Pembungkus makanan Tempat sabun pada mesin cuci Container Kotak pakaian, topi, gelas/piring plastik	
Polyvinyl Chloride or vinyl (PVC)	(Keras) Pipa untuk pertanian, saluran air, listrik Alat-alat untuk pekerjaan konstruksi Valve	(Lunak) Lantai, dinding Tempat Makanan Selang
Polystyrene (PS)	Tempat makanan transparan (HIPS) Parts ukuran besar: TV, Kulkas, AC, dsb Produk tahan panas Container	
Polycarbonate (PC)	Housing computer, printer, mesin fax, HP, dsb Piringan CD, DVD, dsb Lensa headlamp, meteran mobil Material konstruksi bangunan, genteng plastic Peredam suara ruangan	
Acrylonitrile Butadiene (ABS)	Housing computer, printer, mesin fax Housing kulkas, AC, Mesin penyedot sampah Part untuk game machine, sport pheriperal, dsb	
Polyarnide atau nylon (PA)	Part yang bergerak (shaft, gear, cam, dsb) Fastner, bold	

2.1.2 Thermosetting Plastik

Perbedaan thermoplastik dengan thermosetting plastik adalah apabila *Thermosetting* plastik dipanaskan, maka akan menjadi lunak (tetapi tidak mencair). Dalam kondisi seperti ini akan diinjeksikan ke dalam *mold* dan

dilakukan pembentukkan produk. Selanjutnya dilakukan penurunan temperature dan dikeraskan dengan persenyawaan kimia. Sekali mengeras, meskipun dipanaskan tidak akan menjadi lunak lagi. Seluruhnya berjenis *non-crystal* plastik, dan banyak yang tidak sesuai untuk proses injeksi plastik. *Cycle timenya* cenderung panjang



T_g : temperatur awal mulainya persenyawaan

T_g : persenyawaan tetap berlangsung, tetapi tidak mengeras

Gambar 2.2 Grafik reaksi thermosetting dan waktu pengerasan

Apabila dilakukan pemanasan diatas temperatur standar (T_g), maka *thermosetting* plastik akan melunak. Untuk mengeraskannya maka kalau tidak di bawah temperature persenyawaan kimia (T_g), meskipun terjadi reaksi kimia, tetapi plastik tidak mengeras. Berikut ini tabel contoh penggunaan thermosetting plastik.

Tabel 2.3 Penggunaan thermosetting plastik

Nama Plastik	Penggunaan
Epoxy Plastic (EP)	Tempat obat, pipa, container Dudukan IC, connector Bahan pelek, cat, coating
Fenol Plastic (PF)	Komponen elektronik dan elektrik Part mesin mobil, listrik, sliding part, drive part, switch, asbak, oil cap, float Peralatan dapur, piring, dsb

2.2 Karakteristik Material Polypropylene

Karakteristik material merupakan persyaratan dalam pemilihan material. Temperature dan kelembaban proses injeksi sangat mempengaruhi karakteristik plastik (Nakazawa, tanpa tahun). *Polypropylene* merupakan salah satu jenis thermoplastik yang banyak digunakan pada industri *injection molding*, karena *polypropylene* memiliki keunggulan antara lain:

- Berat jenis yang ringan.
- Ketahanan gores dan kekerasan yang baik.
- Mempunyai ketahanan atau stabilitas yang baik.
- Tangguh pada temperatur 15°F sampai 105°F tetapi getas pada temperatur 0°F.
- Mempunyai ketahanan kimia yang baik

2.2.1 Karakteristik

Secara umum, *polypropylene* memiliki berat jenis paling ringan diantara jenis plastik lainnya. Aliran materialnya sangat bagus, dan karena tidak mengandung air, tidak diperlukan proses pengeringan sebelum proses injeksi.

Perubahan rasio penyusutan tergantung dari temperature *mold*. *Polypropylene* memiliki sifat tahan aus dan kekuatan pelengkungan produk (*bending*) yang baik, dan juga memiliki kekuatan tarik yang tinggi.

2.2.2 Penggunaan

Polypropylene sering digunakan untuk pembuatan produk dengan ukuran sangat besar, dan produk dengan ketebalan minim (sangat tipis). Karena ulet, sering digunakan sebagai engsel/hinge (area yang ditekuk-tekuk).

- Hal-hal yang perlu diperhatikan:

Polypropylene memiliki angka penyusutannya besar, maka apabila pendinginannya kurang akan timbul tegangan (*strain*). Untuk mendapatkan kepresisian produk yang diinginkan, perlu dilakukan penyesuaian temperature. *Polypropylene* memiliki sifat mudah timbul cekungan (*curve*) dan juga gelembung (*bubble*), sehingga tekanan injeksi perlu *disetting*.

2.2.3 Persyaratan produksi:

Umumnya, apabila menggunakan material ini, temperature *mold* berkisar antara 40°C-60°C. Standar tekanan injeksi adalah 800-1200 kgf/cm². Apabila tidak timbul *flash* (kebocoran material plastik), lebih tinggi tekanan lebih bagus. Temperatur silinder dalam area 200 °C-300 °C, dan apabila memungkinkan bisa dibuat sedikit lebih tinggi.

Tabel 2.4 Temperature kering dan tekanan injeksi polypropylene

Nama Plastik	Grade	Mat. Pengisian	Simbol	Dry Temp. (°C)	Dry time (jam)	Cylinder temp. (°C)	Mold temp. (°C)	Tekanan Injeksi (kg/cm ²)
Polypropylene (PP)	Standar	-	PP	-	-	180~300	20~90	600~1410
	-	Fiber glass 40 %	PP	-	-	200~300	20~90	703~1410

Tabel 2.5 Rasio penyusutan dan berat jenis polypropylene

Nama Plastik	Grade	Mat. Pengisian	Simbol	Sweel Ratio (%)	Shrink Ratio (%)	Continue Heat-resist temp. (°C)	Heat Deform temp. (°C)	Berat Jenis
Polypropylene (PP)	Standar	-	PP	100~800	1.0~2.5	88~115	103~130	0.90~0.91
	-	Fiber glass 40 %	PP	2.4~4.0	0.2~1.8	121~138	110~161	1.22~1.23

Tabel 2.6 Kekuatan tarik dan kekuatan kejut/impact polypropylene

Nama Plastik	Grade	Mat. Pengisian	Simbol	Kekuatan Tarik (kg/cm ²)	Compress Strength (kg/cm ²)	Curve Strength (kg/cm ²)	Impact Strength (kg/cm ²)
Polyethylene (PE)	Standar	-	PP	210~400	260~562	352~492	1.5~110
	-	Fiber glass 40 %	PP	560~1000	387~492	492~1000	6~11

2.3 Teknologi Pemrosesan Plastik

2.3.1 Injection molding

Injection molding adalah metode pembentukan material termoplastik dimana material yang meleleh karena pemanasan diinjeksikan oleh plunger ke dalam cetakan yang didinginkan oleh air sehingga mengeras.

Meskipun banyak variasi dari proses dasar ini, 90 persen *injection molding* adalah memproses material termoplastik. *Injection molding* mengambil porsi sepertiga dari keseluruhan resin yang dikonsumsi dalam pemrosesan termoplastik. Sekarang ini bisa dipastikan bahwa setiap kantor, kendaraan, rumah, pabrik terdapat barang-barang dari plastik yang dibuat dengan cara *injection molding*, misalnya pesawat telepon, printer, keyboard, mouse, rumah lampu mobil, dashboard, reflektor, dan masih banyak lagi yang lain.

2.3.2 Ekstrusi

Ekstrusi adalah proses untuk membuat benda dengan penampang tetap. Keuntungan dari proses ekstrusi adalah bisa membuat benda dengan penampang yang rumit, bisa memproses bahan yang rapuh karena pada proses ekstrusi hanya bekerja tegangan tekan, sedangkan tegangan tarik tidak ada sama sekali. Aluminium, tembaga, kuningan, baja dan plastik adalah contoh bahan yang paling banyak diproses dengan ekstrusi. Khusus untuk ekstrusi plastik, proses pemanasan dan pelunakan bahan baku terjadi di dalam barrel akibat adanya pemanasan dan gesekan antar material akibat putaran screw.

2.3.3 Thermoforming

Thermoforming adalah proses pembentukan lembaran plastik termoset dengan cara pemanasan kemudian diikuti pembentukan dengan cara pengisapan atau penekanan ke rongga *mold*. Contoh produk yang diproses secara thermoforming adalah nampan biskuit dan piring yang terbuat dari plastik.

2.3.4 Blow Molding

Blow molding adalah proses manufaktur plastik untuk membuat produk-produk berongga (botol) dimana parison yang dihasilkan oleh proses ekstrusi dikembangkan dalam cetakan oleh tekanan gas. Pada dasarnya *blow molding* adalah penyusutan dari proses ekstrusi pipa dengan penambahan mekanisme cetakan dan peniupan.

2.4 Injection molding

Proses *injection molding* merupakan proses dengan kecepatan tinggi dan otomatis yang dapat digunakan untuk memproduksi produk plastik dengan geometri yang kompleks. Proses ini merupakan proses yang kompleks dengan melibatkan serangkaian langkah kerja, dimulai dari pemasukan biji plastik ke dalam *hopper*, setelah itu menuju *barrel* yang didalamnya terdapat *screw* yang berfungsi untuk mengalirkan material leleh yang telah dipanasi didalam *barrel* menuju *nozzle* (Malloy, 1994). Material yang sudah dipanasi dan berubah menjadi lunak ini akan terus didorong melalui *nozzle* dengan *injector* dan melewati *plunger* ke dalam rongga cetak (*cavity*) dari cetakan yang sudah tertutup.



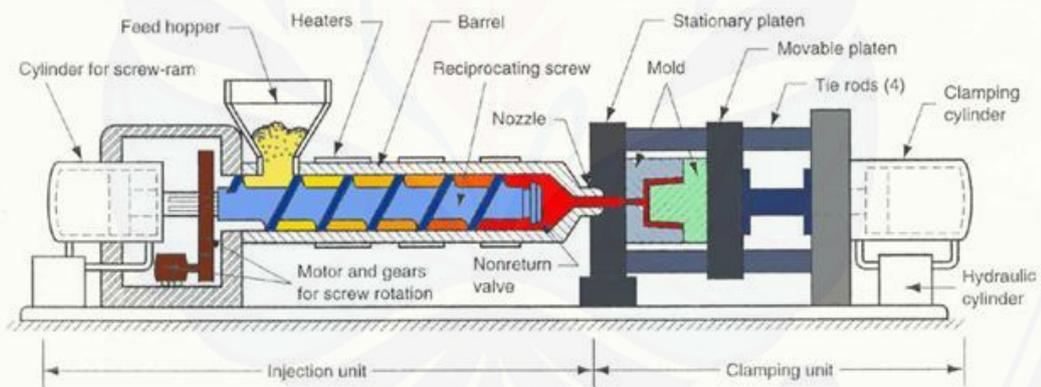
Gambar 2.3 Skema proses injection molding

Keterangan skema Gambar 2.3:

1. Biji plastik yang sudah dicampur dimasukkan ke dalam *hopper*. Kemudian biji plastik akan turun dan masuk ke dalam *plunger*.

2. *Plunger* tersebut bergerak mundur dan butiran-butiran biji plastik ke *barrel* untuk dipanasi hingga biji plastik meleleh.
3. Bila *plunger* mundur hingga mencapai batas yang telah ditentukan, maka *plunger* bergerak maju untuk mendorong biji plastik yang sudah meleleh masuk ke dalam *mold* melalui *nozzle* (proses injeksi).
4. Setelah melakukan penginjeksian, *plunger* akan berhenti untuk melakukan *holding pressure* dan setelah itu dilakukan proses pendinginan *mold* .
5. Setelah proses pendinginan *mold* selesai, *plunger* akan mundur untuk melakukan pengisian *barrel* . Pada saat itu *clamping unit* akan bergerak untuk membuka *mold* dan produk dikeluarkan oleh *ejector* yang telah terpasang didalam *mold* .
6. Setelah produk keluar dari *mold* , maka *clamping unit* akan menutup *mold* dan *plunger* melakukan pengisian lagi.

Secara umum mesin injeksi plastik terdiri dari beberapa bagian unit dan sistem (Jamaludin, 2007), antara lain:



Gambar 2.4 Mekanisme mesin injeksi

2.4.1 *Mold Clamp Unit* (Unit Pencekam Cetakan).

Unit ini berfungsi untuk menggerakkan *mold* dengan gerakan membuka dan menutup. Gerakan ini terbagi dalam 3 *setting* kecepatan dan 1 *setting* tambahan, baik untuk gerakan menutup maupun gerakan membuka. Gerakan menutup terdiri atas gerakan:

1. Perlahan
2. Cepat
3. Perlahan
4. Mencekam *mold*

Gerakan membuka terdiri atas gerakan:

1. Melepas cekam *mold*
2. Perlahan
3. Cepat
4. Perlahan

Lalu dilanjutkan dengan gerakan *ejector* untuk mendorong produk keluar dari *mold* dari sisi *core*.

Pada saat mencekam *mold*, mesin harus mampu menahan gaya membuka (*open force*) ketika proses injeksi berlangsung. Karena proses injeksi menggunakan kekuatan hidrolik yang cukup besar. Jika mesin tidak mampu menahan, maka *mold* akan sedikit terbuka sehingga material cair plastik akan luber dari cetakannya. Ada 2 tipe *mold clamp unit*, yaitu *straight hydrolic type* (tipe hidrolik langsung) dan *toggle type* yang terdiri dari rangkaian batang, baik yang *disupport* oleh sistem hidrolik maupun sistem servo motor (*mechatronic*).

Dengan menggunakan dasar rumus yang sama, yaitu:

$$F = P \times A$$

Dimana:

F : Gaya (*force*) dalam satuan kg atau ton

P : Tekanan hidrolik (*hydrolic pressure*) dalam satuan kg/cm²

A : Luas penampang (*area*) dalam satuan cm².

Maka kita bagi 2 menjadi: F1 dan F2. Sehingga:

$$F1 = P1 \times A1$$

Untuk:

F1 : Gaya cekam *mold*

P1 : *Setting* tekanan hidrolik

A1 : Luas penampang batang silinder hidrolik mesin.

Dan:

$$F2 = P2 \times A2$$

Untuk:

F2 : Gaya membuka *mold* ketika proses injeksi berlangsung

P2 : *Setting* tekanan injeksi

A2 : Luas penampang produk secara keseluruhan dengan arah tekanan yang mengakibatkan membuka *mold*.

Maka hasil perhitungan F1 harus lebih besar dari hasil perhitungan F2. Umumnya angka tipe mesin mengacu pada perhitungan maksimum F1. Misalnya mesin Nissei FV860, maka angka 860 adalah maksimum F1 dalam satuan ton (dimana 1 ton : 1000 kg). Demikian juga untuk mesin Toshiba IS850E atau IS850GT, maka angka 850 adalah maksimum F1-nya.

2.4.2 *Injection Unit* (Unit Injeksi).

Disinilah pengolahan plastik berlangsung, yang dimulai dengan masuknya plastik dalam bentuk pelet (*granule*), kemudian dipanaskan didalam tungku (*barrel*) dengan suhu lumer plastik yang bersangkutan sambil diaduk (*mixing*) oleh *screw* di dalam tungku. *Screw* ini berfungsi sebagai *feeder* dan sebagai *mixer* plastik cair agar pencampuran warna plastik menjadi rata dan seimbang (*constant*).

Kemudian dari unit inilah material plastik diinjeksikan atau disuntikkan ke dalam cetakan (*mold*) dengan *setting* yang melibatkan tekanan hidrolik (*hydrolic pressure*) dalam satuan kg/cm², kecepatan (*velocity*) dalam satuan %, posisi (*limit switches*) dalam satuan mm, waktu (*time*) dalam satuan detik, dan suhu (*temperature*) dalam satuan °C.

Pada unit injeksi terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam proses *injection molding*, antara lain:

a) Tekanan Injeksi

Tekanan injeksi adalah tekanan yang timbul di area sekitar ujung *screw* pada waktu penginjeksian cairan plastik. Tekanan injeksi yang digunakan untuk memasukkan cairan material ke dalam *mold* adalah tekanan injeksi ke-1, dan tekanan injeksi ke-2 adalah tekanan yang digunakan untuk mencegah timbulnya cekungan (*shrink mark*) akibat penyusutan. Tekanan injeksi ke-2 ini sering disebut dengan *holding pressure*. Semakin kecil diameter *screw*, semakin tinggi pula tekanan injeksinya. Apabila kita analisa terhadap mesin injeksi saat ini, pada masing-masing proses terdapat perubahan kecepatan injeksi, tekanan injeksi, posisi perubahan kecepatan yang digunakan untuk mengontrol kualitas produk.

Perhitungan dan pengukuran tekanan injeksi di dalam *cavity* berubah-ubah tergantung dari jenis material plastik, konstruksi maupun instalasi *clamping*, bentuk *cavity*, persyaratan produksi, dsb. Sebagai patokan, tekanan injeksi yang sampai pada *cavity* turun 30%-50% karena pelambatan tekanan/*pressure loss*.

b) Kecepatan Injeksi

Merupakan kecepatan injeksi cairan material ke dalam *cavity*. Artinya sama dengan rasio injeksi (kemampuan untuk melakukan injeksi dalam 1 jam). Semakin tinggi kecepatan injeksi, semakin bagus pengisian cairan plastik ke dalam *mold*. Tetapi apabila udara, dsb yang tersisa tidak dikeluarkan dari *mold*, suhu cairan plastik akan naik dan menimbulkan “kebakaran” dari produk yang dihasilkan. Selain itu, apabila kecepatan injeksi terlalu cepat, maka akan menghasilkan cacat pada produk.

Semakin tinggi kecepatan injeksi, maka produk akan semakin bagus dengan *cycle time* yang semakin pendek. Hal ini tentunya berpengaruh baik terhadap proses produksi. Namun apabila terlalu cepat, juga dapat menghasilkan masalah seperti dibawah ini:

- Waktu injeksi material ke dalam *cavity*, udara yang terkandung dalam material akan terjebak di dalam *mold*. Udara yang diakibatkan tekanan yang tinggi akan menghalangi masuknya material ke dalam *mold*.
- Temperature material menjadi sangat panas seperti terbakar, yang menyebabkan tanda (*mark*) pada produk.
- Apabila udara yang terdapat dalam *cavity* tidak dikeluarkan, cairan plastik terlanjur diisikan ke dalam *cavity* akan menyebabkan permukaan produk menjadi tidak bagus dan cacat.

Penyesuaian kecepatan injeksi dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi produk yang dihasilkan. Secara umum apabila ketebalan produk kecil (tipis), maka semakin tinggi pula kecepatan injeksinya.

c) Waktu Injeksi (*Injection Time*)

Yaitu kecepatan lajunya bahan plastik yang telah meleleh keluar dari *nozzle* untuk mengisi rongga cetak. Untuk mesin-mesin injeksi tertentu kecepatan ini dapat terukur, tetapi untuk mesin-mesin injeksi sederhana terkadang tidak dilengkapi dengan pengukur kecepatan ini. Waktu *inject time* yang terlalu singkat mengakibatkan volume material lelehan plastik yang dibutuhkan untuk membuat produk tidak terpenuhi akibatnya tidak utuh/cacat yang dapat mengurangi kekuatan dari material yang dicetak. Sedangkan waktu *inject time* yang terlalu lama akan mengakibatkan material terlalu padat dan dapat menurunkan elastisitas material.

Untuk memperkirakan waktu injeksi maka terlebih dahulu harus diketahui material yang akan diproses, volume dari *cavity* serta jenis dan kapasitas mesin *injection molding* yang digunakan. Untuk mengetahui waktu injeksi, maka terlebih dahulu harus memperhitungkan kecepatan alir/debit cairan yang melalui *nozzle*.

$$V_f = \frac{P_c (\text{gr}/\text{sec})}{B_{j_m} (\text{gr}/\text{cm}^3)}$$

Dimana:

V_f : *Volumetric Flow* (cm^3/sec)

B_{jm} : berat jenis material

P_c : *Plasticizing Capacity*

Kemudian dapat dihitung prediksi waktu injeksi menggunakan persamaan.

$$F_t = \frac{V_{\text{plast}}}{V_f}$$

Dengan:

V_{plast} : *Cavity volume* (cm³)

F_t : *Filling time* (sec)

d) Waktu Pendinginan (*Cooling Time*)

Waktu pendinginan perlu diperhitungkan untuk mendapatkan kualitas produk yang maksimal. Fase pendinginan dari proses *injection molding* mencakup hingga 75% dari waktu siklus keseluruhan. Oleh karena itu, pengurangan waktu pendinginan pada akhirnya akan mengurangi waktu siklus keseluruhan dan meningkatkan produktivitas dari proses *injection molding*.

Menurut Kimerling (2002), dalam menentukan waktu pendinginan pada proses *injection molding*, ada beberapa metode yang bisa diterapkan, antara lain:

- Ballman and Shusman method

$$t = \frac{s^2}{2\pi\alpha} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{T_i - T_m}{T_x - T_m} \right) \right]$$

- Busch, Field and Rosato method

$$t = 1,35 \frac{s^2}{2\pi\alpha} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_i - T_m}{T_x - T_m} \right) \right] + 0,0151 \times W_p \times N_{\text{cavity}}$$

- Kirch and Menges method

$$t = \frac{s^2}{\pi^2\alpha} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_i - T_m}{T_x - T_m} \right) \right]$$

- J.Z. Liang and J.N. Ness method

$$t = \frac{4s^2}{\pi^2\alpha} \ln \left[\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \left(\frac{T_i - T_m}{T_x - T_m} \right) \right]$$

Keterangan:

- () = Difusi termal polypropylene (mm^2/det)
- (Ti) = Temperatur silinder ($^{\circ}\text{C}$)
- (Tx) = Temperatur mold ($^{\circ}\text{C}$)
- (Tm) = Temperatur pendingin ($^{\circ}\text{C}$)
- (Ncavity) = Jumlah cavity
- (s) = Tebal produk maksimal (mm)
- (Wp) = Total berat produk (g)
- (L) = Panjang sprue (mm)

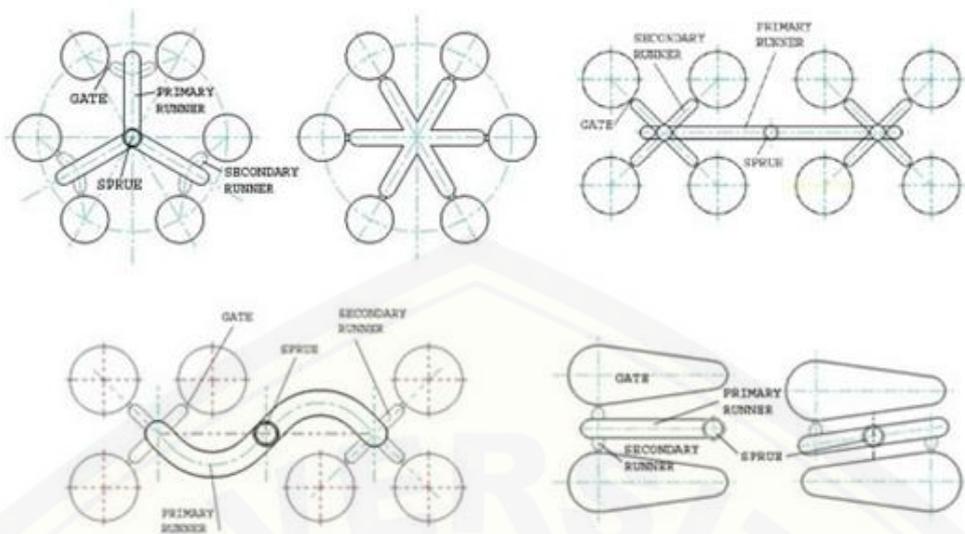
2.5 Parameter Saluran Masuk dan Mesin Injeksi

2.5.1 Karakteristik Sistem Saluran Masuk

Sistem saluran masuk mengakomodasi material plastik yang meleleh yang masuk dari *barrel* dan membawanya ke dalam rongga cetakan. Konfigurasi, ukuran, dan hubungan dengan cetakan mempengaruhi proses pengisian cetakan dan kualitas dari produk. Sebuah desain yang dibuat dengan sudut pandang ekonomis (pembekuan secara dan siklus yang pendek) biasanya tidak sesuai dengan permintaan akan kualitas khususnya dipandang dari segi teknik (Syaifi, 2012).

Sebuah sistem saluran masuk material umumnya terdiri dari beberapa komponen. Ini dapat dengan mudah ditemui pada *multi-cavity molds*. Komponen-komponen tersebut antara lain: *sprue*, *runner*, dan *gate*.

Pendistribusian material dari *sprue* sampai mengisi *cavity* dapat dilihat pada gambar 2.5

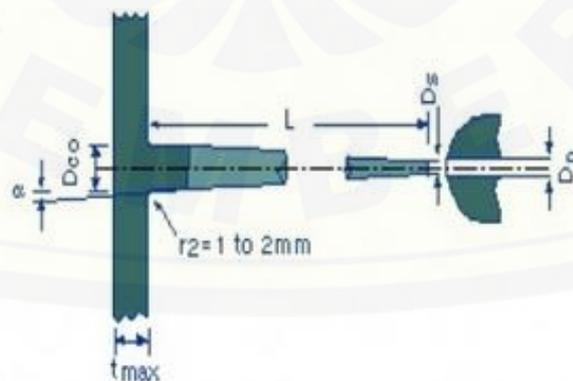


Gambar 2.5 Pendistribusian material

2.5.2 Sprue

Sprue umumnya dibentuk oleh *sprue-bushing*, *sprue-bushing* menerima bahan plastik dari *nozzle barrel* dan membawanya ke *plate* melalui *parting line*, yang umumnya sejajar dengan *sprue*. *Sprue* adalah saluran masuk pertama yang dilalui oleh material plastik cair setelah diinjeksikan dari *nozzle*. Melalui *sprue*, material akan didistribusikan menuju *runner*. Ukuran dari *sprue* ditentukan dari ketebalan maksimum produk yang diinginkan. *Sprue* menjadi bagian terakhir yang membeku, untuk menjaga tekanan penahanan (*holding pressure*) dapat bekerja dengan efektif.

Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung dimensi *sprue* adalah:

Gambar 2.6 Perhitungan *sprue*

$$\begin{aligned}
 D_{co} &\geq t_{max} + 1,5 m \\
 D_s &\geq D_n + 1,0 mm \\
 \alpha &\geq 1^\circ - 2^\circ \\
 \tan \alpha &= \frac{D_{co} - D_s}{2L}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

D_s : diameter kecil dari *sprue* (mm)

D_{co} : diameter besar dari *sprue* (mm)

D_n : diameter *nozzle* (mm)

: sudut antara D_s dan D_{co}

L : panjang runner (mm)

2.5.3 Runner

Runner menghubungkan *sprue* dengan satu *gate* atau banyak *gate*. Tujuan utama dari sebuah *runner* adalah mendistribusikan material sehingga dapat mengisi semua *cavity* dalam sebuah cetakan pada saat yang sama dan dalam kondisi yang sama pula (tekanan dan temperatur yang seimbang). *Runner* pada *injection molding* memiliki beberapa pola, dimana masing-masing pola memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri-sendiri. Pemilihan pola *runner* banyak ditentukan oleh sukar atau tidaknya proses pengerjaan serta mahal atau tidaknya biaya pengerjaan. Sedangkan panjang dari *runner* harus disesuaikan dengan rongga yang tersedia dari *cavity* yang terpasang pada pelat cetakan. Ukuran profil *runner* sangat bergantung pada ketebalan dinding dari produk yang akan diproduksi.

Rekomendasi diameter *runner* untuk tiap-tiap jenis material plastik dapat dilihat di tabel 2.7

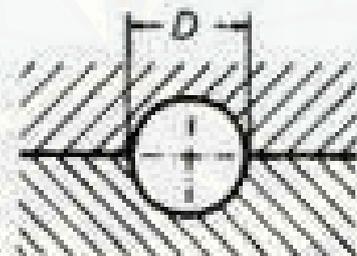
Tabel 2.7 Tabel rekomendasi diameter *runner*

Material Plastik	Range Diameter (inch)		Range Diameter (mm)	
	ABS	0.187	0.375	4.750
Acetal	0.125	0.375	3.175	9.525
Acrylic	0.312	0.375	7.925	9.525
Cellulosics	0.187	0.375	4.750	9.525
Ionomer	0.093	0.375	2.362	9.525
Nylon	0.062	0.375	1.575	9.525
Polycarbonate	0.187	0.375	4.750	9.525
Polyester	0.187	0.375	4.750	9.525
Polyethylene	0.062	0.375	1.575	9.525
Polypropylene	0.187	0.375	4.750	9.525
PPO	0.250	0.375	6.350	9.525
Polysulfone	0.250	0.375	6.350	9.525
Polystyrene	0.125	0.375	3.175	9.525
PVC	0.125	0.375	3.175	9.525

*) dipergunakan pada pemakaian *runner* yang tidak dikalkulasi

Menurut Atmaja (2010), tipe-tipe *runner* antara lain:

a) *Circular cross-section*



Gambar 2.7 *Circular cross-section*

Sistem *runner* tipe *circular cross-section* mempunyai kelebihan yaitu permukaan relatif kecil terhadap laju pemotongan, laju pendinginan rendah, panas yang dihasilkan serta gesekan rendah, *holding pressure* lebih efektif. Sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah proses permesinan yang sulit pada kedua permukaan *plate*.

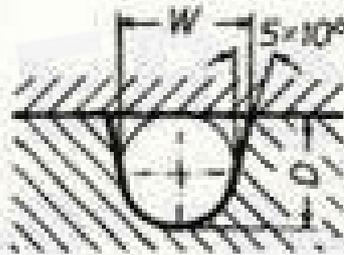
Rumus untuk menghitung diameter *runner* tipe ini yaitu:

$$D = t_{\max} + 1,5 \text{ mm}$$

Keterangan:

t_{\max} = tebal maksimum produk (mm)

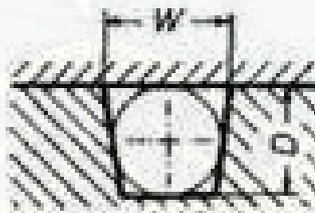
b) *Parabolic cross-section*



Gambar 2.8 *Parabolic cross-section*

Sistem *runner* tipe *parabolic cross-section* mempunyai kelebihan karena proses pemesinan lebih mudah dan hanya dilakukan pada 1 bagian *plate* saja (biasanya pada bagian yang bergerak). Sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah panas yang hilang besar, *scrap* yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan *circular cross-section*.

c) *Trapezoidal cross-section*



Gambar 2.9 *Trapezoidal cross-section*

Alternatif lain dari *parabolic cross-section* adalah *trapezoidal cross-section*. Dimana kelebihan dari *trapezoidal cross-section* sama dengan *parabolic cross-section*. Akan tetapi *scrap* yang dihasilkan lebih banyak dari *parabolic cross-section*.

2.5.4 Gate

Gate adalah saluran yang menghubungkan antara *runner* dan rongga *cavity*. Desain dari *gate* diharapkan sekecil mungkin, agar mudah dipisahkan dari produk yang dihasilkan tetapi harus tetap memenuhi suplai material yang diperlukan dalam rongga *cavity* dengan tepat.

Macam-macam *gate*:

a. Centric *gate*

- Permukaan yang kecil dari circular cross-section akan mengurangi heat loss dan gesekan.
- Membutuhkan proses permesinan yang sulit pada cetakan.
- Centric position menyebabkan sulitnya pemisahan dan membutuhkan penanganan pasca produksi.
- *Gates* menyebabkan jetting.

b. Eccentric *gate*

- Posisi dari *gate* mempermudah proses permesinan
- Proses pengeluaran produk lebih mudah
- Lubang *gate* disejajarkan dengan dinding cetakan untuk mencegah jetting.

2.5.5 Ukuran Mesin *Injection molding*

Penentuan ukuran yang sesuai untuk kebutuhan sebuah mesin *injection molding* berdasarkan pada *clamping force* yang dibutuhkan. Hal ini tergantung pada proyeksi area *cavity* pada cetakan dan tekanan maksimum pada cetakan selama pengisian cetakan. Parameter yang sebelumnya digunakan adalah area bagian, bila cetakan dengan *multy-cavity* digunakan, dari sistem aliran masuk, yaitu area yang diproyeksikan pada permukaan dari *cavity* plate. Nilai parameter ini tidak termasuk lubang-lubang tembus yang dicetak pada bagian bukan cetakan. Karena ini adalah jumlah area dimana tekanan-tekanan polymer akan muncul selama proses pengisian.

Rumus-rumus untuk menghitung ukuran *molding machine*:

$$P_{maxcavity} = 0,5 \times P_j$$

Keterangan:

$P_{max\ cavity}$: tekanan maksimum pada area *cavity* (kg/cm²)

P_j : tekanan injeksi yang direferensikan untuk material (kg/cm²)

A_{total} : luas area injeksi (cm²)

2.6 Defect

Dalam proses produksi plastik dengan *injection molding* tidak sepenuhnya menghasilkan produk dengan kualitas yang baik. Terkadang dalam produksi terdapat produk yang *reject* karena ukuran yang tidak sesuai, permukaan yang kasar, maupun yang lainnya. Hal ini dikarenakan terdapat *defect* (cacat) pada produk hasil *injection molding*. Jenis defect yang umum terjadi antara lain:

1) *Short shot*

Short shot adalah suatu kondisi dimana, plastik leleh yang akan diinjeksikan kedalam *cavity* tidak mencapai kapasitas yang ideal atau sesuai settingan mesin. Sehingga plastik yang diinjeksikan kedalam *cavity* mengeras terlebih dahulu sebelum memenuhi *cavity*.

Penyebab yang memungkinkan antara lain:

- Material terlalu cepat membeku.
- Kurangnya *feeding* (tekanan injeksi dan volume injeksi).
- Adanya gas yang terjebak dalam cetakan.
- Desain cetakan yang kurang tepat (*cooling, gates, runner*).

2) *Warpage*

Warpage atau *twisting* digunakan untuk menjelaskan bagian dari produk yang bengkok atau melengkung, umumnya disebabkan karena ketidakrataan distribusi tekanan pada produk.

Kemungkinan penyebab:

- Produk yang dikeluarkan masih terlalu panas.
- Distribusi temperatur dan kepadatan yang tidak seragam.
- Desain sistem ejsksi yang kurang optimal.

3) *Flow mark*

Kondisi *flow mark* digunakan untuk menggambarkan fenomena dimana terdapat pola bergaris, terbentuk disekitar *gate* pada saat material mengalir memasuki *cavity*.

Kemungkinan penyebab:

- Material terlalu cepat membeku.
- *Gate* terlalu kecil.
- Ketebalan produk yang tidak seragam.
- Penghalusan permukaan cetakan yang kurang sempurna.

4) *Weld line*

Weld line dikatakan ketika dua atau lebih aliran lelehan material yang digambarkan dengan garis “V” sempit yang bertemu pada kedua ujung aliran lelehan material. Fenomena ini biasanya terjadi pada saat menggunakan sisipan, atau *multi-point gate*.

Kemungkinan penyebab:

- Material cepat membeku.
- Lokasi *gate* yang salah.
- Temperatur *mold* yang kurang.
- Kecepatan injeksi yang kurang.
- Adanya gas yang terperangkap.

5) *Bubbles*

Bubbles bisa disebut juga sebagai melepuh atau gelembung udara yang terperangkap dalam produk. Biasanya terjadi pada saat proses injeksi material kedalam *cavity*.

Kemungkinan penyebab:

- Desain *venting* (salurang buang udara) yang kurang optimal.
- *Clamping force* yang kurang.
- Pengeringan material plastik (*granule*) yang kurang sehingga material plastik lembab dan mengandung air.
- Temperatur cetakan yang tidak seragam.

6) *Jetting*

Garis semburan dipermukaan produk dimulai dari sisi *gate point* dikarenakan aliran turbulen material. Plastik yang dengan suhu yang relatif rendah diinjeksikan kedalam *nozzle* selama tahap awal molding, setelah bersentuhan dengan cetakan material ini menjadi sangat kental. Kemudian plastik panas terus diinjeksikan kedalam cetakan, material dengan suhu yang lebih rendah tadi terdorong terus kedalam dan meninggalkan bekas aliran.

Kemungkinan penyebab:

- Temperatur leleh material yang kurang.
- Diameter *gate* yang terlalu kecil.
- Temperatur *mold* yang kurang.

7) *Black spot*

Black spot atau bintik hitam atau goresan pada permukaan produk, biasanya disebabkan oleh kerusakan thermal.

Kemungkinan penyebab:

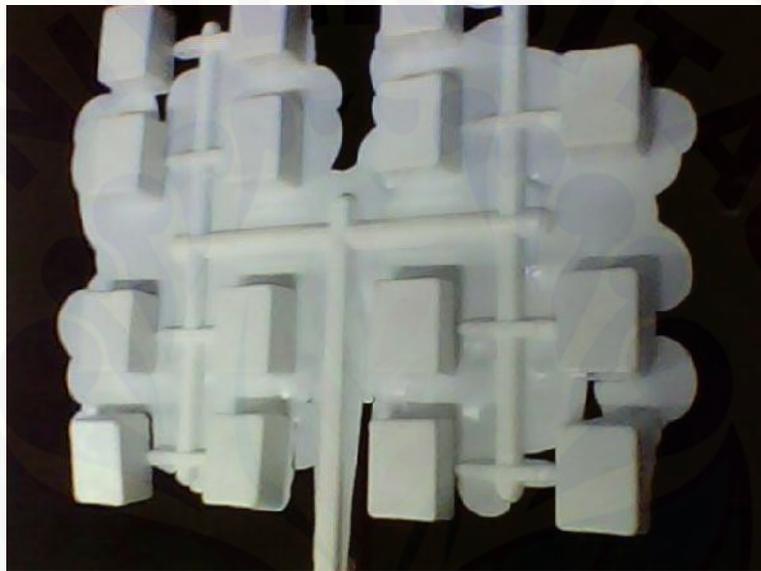
- Kecepatan injeksi yang terlalu tinggi.
- *Setting cylinder temperature* terlalu tinggi.

- Desain *venting* yang kurang optimal.

Sedangkan cacat yang terjadi pada produk paku kotak yang diproduksi oleh PT. Prima Sakti antara lain:

1) *Flash*

Flashing adalah jenis minor defect pada material, artinya material masih bisa dikatakan bagus dan memenuhi syarat produk tetapi harus dilakukan pembersihan pada produk. *Flashing* sendiri berarti terdapat material lebih yang ikut membeku di pinggir-pinggir produk.



Gambar 2.10 Cacat *flash*

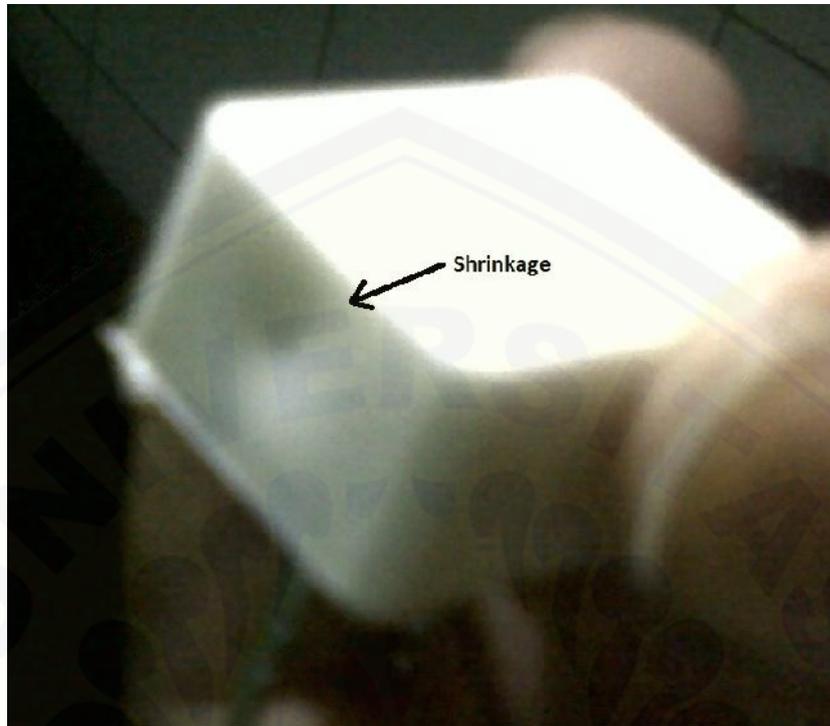
Cacat *flash*, bisa diakibatkan oleh:

- Suhu material yang terlalu tinggi sehingga material plastik memiliki viskositas rendah dan mudah meluber di area *parting line* saat proses penginjeksian.
- Tekanan injeksi yang terlalu besar.
- *Clamping force* yang terlalu rendah
- Tingkat kehalusan *mold* yang kurang bagus.

2) *Shrinkage*

Shrinkage merupakan cekungan atau lengkungan yang terjadi pada permukaan luar pada komponen yang dibentuk (Anggono dan Dwi, 2005).

Terjadinya perbedaan ketebalan pada permukaan benda sehingga penyusutan material pada saat pendinginan tidak terjadi secara merata.



Gambar 2.11 Cacat *shrinkage*

Penyebab cacat *shrinkage* bisa disebabkan oleh:

- Letak saluran pendingin yang kurang optimal.
- Suhu fluida pendingin yang terlalu rendah.
- Desain *mold* yang kurang baik.

2.7 Mekanisme Mold/Cetakan

2.7.1 Konstruksi *Mold*

Mold memiliki konstruksi sendiri yang berbeda di tiap *plate*. Setiap *plate* memiliki fungsi dan kegunaannya masing-masing. Macam-macam *mold* berbeda sesuai kebutuhannya, tapi secara umum terdapat 3 macam *mold* (<http://alexrh2010.wordpress.com/>). Berikut akan dijelaskan secara lebih terperinci.

a) *Two/Double Plate Mold* (Cetakan 2 Komposisi)

Disebut dengan cetakan 2 komposisi karena *mold* hanya terdiri atas 2 bagian yaitu *cavity* dan *core* . *Parting line* (garis pemisah) dari *mold* ini hanya 1. Kelemahan dari cetakan 2 komposisi ini adalah penggunaan *side gate* dan *direct gate* memerlukan penanganan lanjutan untuk *runner* yang digunakan, sehingga tidak cocok untuk otomatisasi dan penghematan tenaga kerja. *Gate* adalah pintu masuk bagi material cair dari *runner* ke area produk. Sedangkan *runner* adalah saluran yang digunakan untuk mendistribusikan cairan material ke dalam masing-masing area produk. *Sprue* adalah pintu masuk bagi cairan material dari instalasi injeksi ke dalam *mold* .

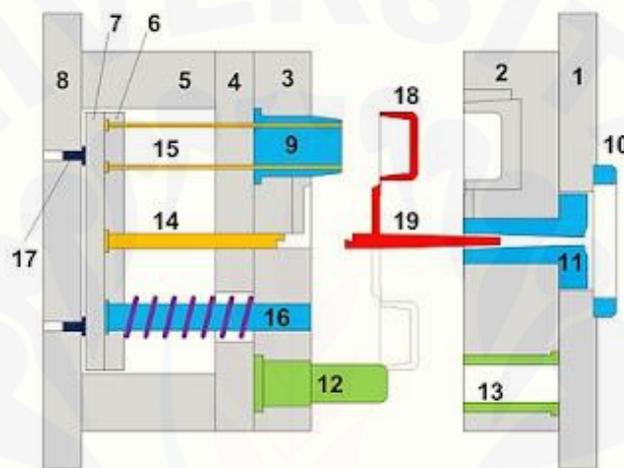
Pada cetakan 2 komposisi, *cavity plate* digabung dengan *mold mounting plate* , dan diantara keduanya terdapat *sprue bush* , dan pada *mold mounting plate* terdapat *locating ring* . *Mold mounting plate* akan diikat dengan baut (*bolt*) kepada *stationery platen* (plate tetap) dari mesin injeksi. *Locating ring* harus dapat dipasang secara pas (tidak kocak) pada *stationery platen* , sehingga ketika *nozzle* mesin bersentuhan dengan *sprue bush* , lubang *nozzle* dan lubang *sprue bush* berada pada garis tengah yang sama. Terdapat beberapa ketentuan tertentu antara *sprue bush* dan *nozzle* mesin yang harus dipenuhi selain lubang *nozzle* dan lubang *sprue bush* yang harus segaris. *Sprue bush* sendiri berfungsi sebagai lubang awal ketika material plastik pertama kali mengalir ke dalam *mold* .

Umumnya sisi *cavity plate* adalah sisi bagian terbaik pada pembentukan produk, sehingga permukaan yang membentuk produk diperlakukan secara khusus, seperti *polishing* sehingga permukaannya sangat licin setara dengan cermin, atau diperlakukan *etching* dan *sand blasting* sehingga membentuk permukaan yang memiliki kontur, atau juga dibuat motif tertentu misalnya *dashboard* kendaraan. Sehingga tidak heran bila *cavity plate* diperlakukan secara istimewa dan sangat hati-hati ketika kita menanganinya, sedikit saja tergores maka akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.

Pada sisi *core plate* terdapat susunan *ejector* yang mengikuti lekuk dan bentuk *core plate* sesuai dengan produk yang akan dibuat. Susunan *ejector* ini berfungsi untuk mendorong produk ketika selesai proses injeksi, dengan demikian desain *core plate* dan *cavity plate* harus dibuat sedemikian rupa sehingga ketika

mold terbuka, produk harus melekat pada sisi *core plate*. Karena harus mengikuti bentuk produk maka bentuk *ejector*-pun bermacam-macam, terdapat *ejector* yang berpenampang pipih (*blade ejector*), bulat (*pin ejector*), dan bulat selongsong (*sleeve ejector*). Namun ada juga yang dibentuk secara khusus mengikuti permukaan luar produk seperti bentuk *stripper plate ejector*.

Umumnya cetakan 2 komposisi menghasilkan produk yang masih menyatu dengan *runner* (aliran material dari *sprue bush* dan setelahnya), sehingga kita harus memisahkan antara produk dan *runner* dengan *nipper cutting* atau tang potong untuk mendapatkan hasil potongan yang halus dan rapi.



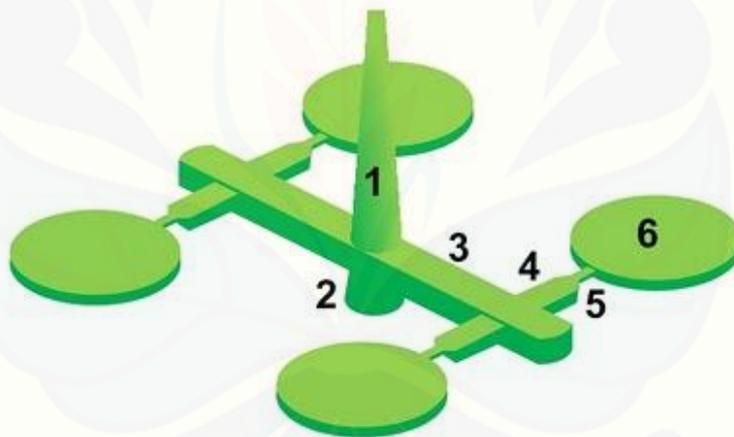
Gambar 2.12 Konstruksi cetakan 2 komposisi

Keterangan gambar 2.12:

1. *Mold mounting plate*, yang diikat dengan baut dengan *injection machine stationery platen*
2. *Cavity plate*
3. *Core plate*
4. *Core back-up plate (support plate)*
5. *Spacer block*
6. *Ejector plate*
7. *Ejector retainer plate*
8. *Mold mouting plate*, yag diikat dengan baut dengan *injection machine moving platen*

9. *Core block*, jumlah tergantung jumlah produk yang akan dibuat
10. *Locating ring*
11. *Sprue bush*
12. *Guide pin (leader pin)*, minimal berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris
13. *Guide pin bushing*, mengikuti jumlah dan posisi *guide pin*
14. *Sprue puller (sprue lock pin)*
15. *Ejector*, jumlah dan bentuk tergantung kebutuhan dan desain produk
16. *Return pin (push back pin)*, jumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris
17. *Stoper pin*, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris
18. Produk
19. *Runner*

Cetakan 2 komposisi memiliki karakter dasar terhadap produk yang dihasilkan, yaitu *runner* yang menempel pada produk, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Bagian-bagian produk plastik

Keterangan gambar 2.13:

1. *Sprue runner*
2. *Cold slug well*
3. *Main runner*
4. *Branch gate*
5. *Gate*
6. Produk

Keterangan Gambar:

1. *Sprue Runner*

Disinilah pertama kali material plastik cair masuk ke dalam bagian *mold* . Bentuk *sprue runner* itu sendiri harus kecil diawal yang bersentuhan dengan *nozzle* mesin dan besar diakhir. *Sprue runner* umumnya memiliki *taper* dengan sudut maksimal 5° dengan tujuan agar mudah ditarik oleh sisi *core (release point)*.

2. *Cold Slug Well*

Berfungsi untuk menahan material plastik cair yang lebih dingin dengan tujuan untuk memperlancar aliran material. Material ini umumnya terdapat pada ujung *nozzle* , selain bersentuhan dengan *mold* yang lebih dingin dari suhu *nozzle* itu sendiri, material ini juga bersentuhan dengan udara bebas yang juga lebih dingin dari suhu *nozzle* .

3. *Main Runner*

Main runner adalah saluran yang pada setiap ujungnya dibuat jebakan material plastik yang suhunya lebih rendah karena bersentuhan dengan *mold* dengan alasan yang sama pada poin no.2.

4. *Branch Gate*

Branch gate adalah bagian *runner* yang lebih pendek sebelum *gate* . Lebar/diameter *branch gate* harus lebih besar daripada *gate* untuk menjamin pasokan material yang melalui *gate* dapat mengisi *cavity* .

5. *Gate*

Gate memiliki bentuk yang kecil dan harus dipastikan bahwa material yang melewati area ini masih dalam keadaan cair dan dapat mengalir dengan baik. Bentuk *gate* didesain lebih kecil dengan tujuan bagian yang pertama membeku adalah *gate* , dan material plastik cair yang berada di area inipun lebih cepat mengeras daripada area lainnya. Hal ini umumnya disebut *gate sealing time* , yaitu waktu dimana bagian *gate* telah mengeras sehingga material plastik yang telah masuk ke dalam bagian pembentukan produk tidak akan bisa balik lagi.

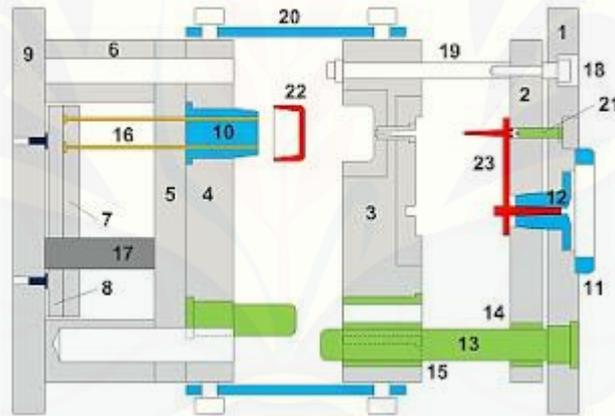
6. Produk

Bagian yang dihasilkan dan diutamakan baik dalam bentuk maupun ukuran.

b) *Three/Triple Plate Mold* (Cetakan 3 Komposisi)

Dalam cetakan 3 komposisi terdapat 2 *parting line*, 1 untuk mengeluarkan *runner*, dan 1 untuk mengeluarkan produk. *Mold* jenis ini terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *cavity*, *core*, dan *runner stripper plate*. *Mold* sangat cocok untuk otomatisasi karena *mold* ini otomatis mengeluarkan *runner* beserta produk, dan dapat digunakan dalam skala produksi yang besar. Kelemahan dari *mold* ini adalah konstruksinya yang lebih rumit serta biaya pembuatannya yang mahal.

Secara umum cetakan 3 komposisi menghasilkan produk yang sudah terpisah dengan *runner* (aliran material dari Sprue Bush dan setelahnya) dengan aplikasi *gate* yang biasa disebut *pin point gate*. Pada saat *mold* terbuka, posisi *runner* harus tetap melekat pada *runner plate* dengan *runner lock pin* pada setiap *gatenya* sebagai pengunci.



Gambar 2.14 Konstruksi cetakan 3 komposisi

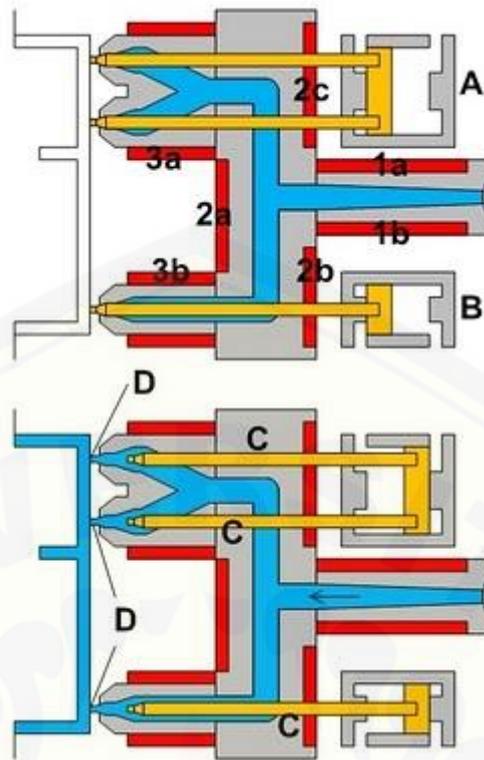
Keterangan gambar 2.14:

- 1) *Mold mounting plate*, yang diikat dengan baut kepada *injection machine stationary plate*
- 2) *Runner stripper plate*
- 3) *Cavity plate*
- 4) *Core plate*
- 5) *Core back-up plate*
- 6) *Spacer block*

- 7) *Ejector plate*
- 8) *Ejector retainer plate*
- 9) *Mold mounting plate*, yang diikat dengan baut kepada *injection machine moving platen*
- 10) *Core block*, tergantung jumlah produk yang akan dibuat
- 11) *Locating ring*
- 12) *Sprue bush*
- 13) *Support pin*, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris
- 14) *Guide pin bushing*, mengikuti jumlah *support pin*
- 15) *Guide pin bushing*, mengikuti jumlah *support pin*
- 16) *Ejector*, jumlah dan bentuk sesuai kebutuhan dan desain produk
- 17) *Support*, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris
- 18) *Stopper bolt*, mengikuti jumlah *puller bolt*
- 19) *Puller bolt*, berjumlah 4 buah pada posisi diagonal simetris
- 20) *Chain*, berjumlah 4 buah pada posisi seimbang
- 21) *Runner lock pin*, mengikuti jumlah *gate* yang digunakan
- 22) Produk
- 23) *Runner*

c) *Runnerless Mold / Hot Runner System*

Cetakan 2 komposisi memiliki keunggulan *mold open* yang lebih pendek dibandingkan dengan cetakan 3 komposisi. Untuk mendapatkan produk yang terpisah dari *runner* tidak harus mengaplikasikan cetakan 3 komposisi. Namun bisa juga dengan cetakan 2 komposisi yang mengeluarkan produk tanpa disertai *runner*, yang menggunakan pengaplikasian sistem *hot runner*. Pertimbangan penggunaan sistem *hot runner* dibandingkan dengan penggunaan cetakan lainnya adalah untuk mengurangi biaya daur ulang untuk mengolah *runner* dan pemisahan *runner* secara manual oleh manusia.



Gambar 2.15 Sistem hot runner

Keterangan gambar 2.15:

- 1) 1a dan 1b adalah *sprue heater*. Bentuk *heater* ini melingkar mengikuti bentuk silindris dari *sprue* dan terpasang *thermocouple* didalamnya yang berfungsi mendeteksi besaran suhu sebenarnya (*actual*) dan menunjukkan angka suhu pada *hot runner controller box* secara digital.
- 2) 2a, 2b, dan 2c adalah *manifold heater*. *Heater* ini bisa berbentuk pelat, dan juga berbentuk stik. Bentuk stik ini fleksibel mengikuti bentuk dan ukuran *manifold* itu sendiri. Didalam *manifold heater* dilengkapi dengan pemasangan *thermocouple*, sehingga kita dapat mengetahui suhu yang dicapai dengan memperhatikan monitor pada *control box*.
- 3) 3a dan 3b adalah *gate heater*. Bentuknya melingkar dan menyerupai pegas yang mengikuti bentuk silindris dari *gate* itu sendiri. Pada *gate heater* juga dengan dilengkapi *thermocouple* sebagai sensor panas. Karena konstruksinya yang unik, dimana semua *heater* berada di dalam *mold*, maka *cooling system* harus disesuaikan dengan jumlah *heater* yang terpasang.

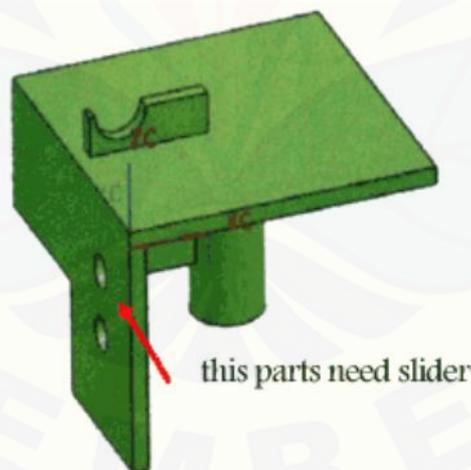
- 4) A dan B adalah silinder. Silinder ini bisa menggunakan media oli (*hydraulic system*) atau dengan media angin (*pneumatic system*). Silinder ini berfungsi untuk menggerakkan *pin gate* (C) maju sebagai *gate close*, dan mundur sebagai *gate open* dan D adalah *gate* tersebut.

Pada saat *mold open*, *pin gate* berada pada posisi maju sehingga menutupi lubang *gate*. Ketika *mold clamping* dan sesaat sebelum *injection start*, posisi *pin gate* bergerak mundur, sehingga lubang *gate* terbuka, maka material plastik dapat melaluinya (ditunjukkan oleh area berwarna biru) dan memenuhi bentuk cetakan produk didalam *mold*. Setelah proses *holding*, seketika itu pula posisi *pin gate* kembali maju untuk menutup lubang *gate*. Maka hasilnya hanya produk saja yang keluar dari *mold*.

Semua sistem *hot runner* ini terpusat pada *hot runner controller box*, baik suhu, *timer*, dan *solenoid valve*, maupun pompa hidroliknya.

d) *Slider Mold*

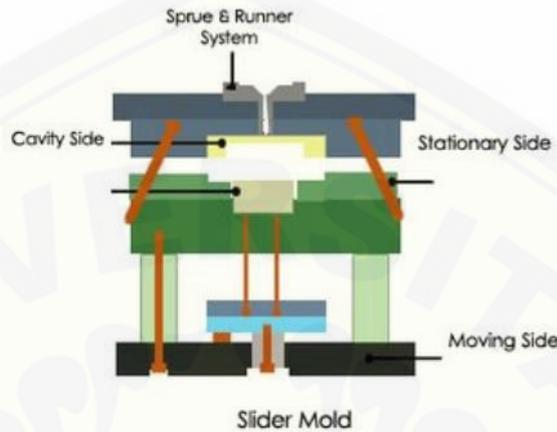
Slider mold adalah konstruksi *mold* ketika produk yang dibuat mempunyai *undercut*. *Undercut* adalah bagian yang tidak dapat di bentuk dengan hanya *core* dan *cavity*, misalnya produk yang mempunyai lubang diarea samping produk.



Gambar 2.16 Produk dengan *undercut*

Pada gambar 2.16, dapat kita lihat terdapat lubang pada samping *part*, lubang ini tidak dapat dibentuk baik di *cavity* maupun *core*, karena itulah bagian tersebut membutuhkan *slider*, konstruksi dasar dari *slider mold* dapat dilihat pada

gambar. *Slider* akan bergerak karena ada batang pin yang dibuat menyudut, bagian ini akan memindah arah gaya bukaan 90 derajat, misalnya bukaan *core* dan *cavity* adalah secara vertikal, maka dengan adanya pin yang membentuk sudut, *slider* dapat bergerak secara horizontal, sehingga bagian samping dari produk yang terdapat *undercut* bisa dibentuk.



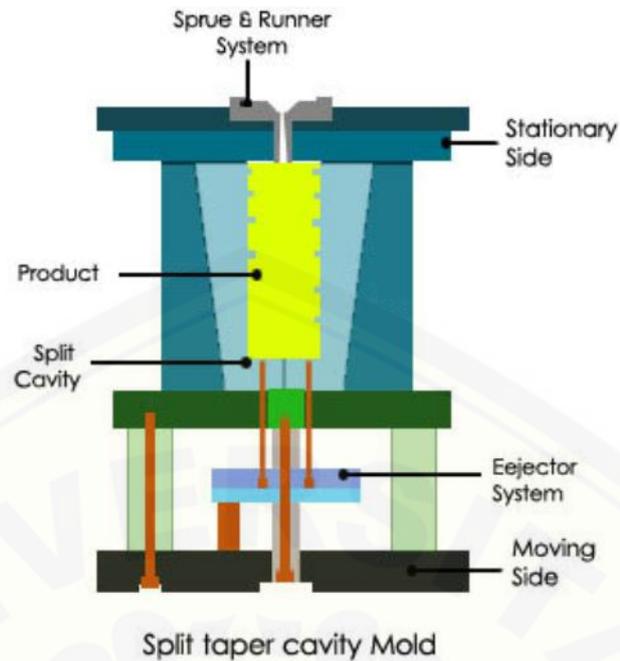
Gambar 2.17 Konstruksi *slider mold*

Pin yang membentuk sudut pada gambar 2.17 disebut juga dengan *angular pin*. Pada gambar 2.17 terdapat dua buah angular pin di samping kiri dan kanan. Jumlah angular pin yang digunakan bergantung pada bentuk produk yang dibuat, dari letaknya slider dibedakan menjadi dua, yaitu *inner slider* dan *outer slider*. *Inner slider* digunakan apabila *undercut* pada produk hanya bisa dibentuk dari sisi dalam produk itu sendiri.

e) *Split Cavity Mold*

Bagaimanakah konstruksi *mold* apabila bentuk produk mempunyai *undercut* sepanjang produknya sedangkan bentuk produknya memanjang? Misalnya sebuah timba yang mempunyai lubang disepanjang sisinya, atau tempat sampah yang sisinya berlubang, untuk kasus seperti ini *split mold cavity* dapat digunakan. Konstruksi *mold* pada sistem ini mirip dengan *slider* namun semua bagian sampingnya bergerak membuka saat melepas produk setelah diinjeksi.

Bagian-bagian dasar lainnya seperti *ejector system*, *sprue*, *runner* masih sama dengan konstruksi *mold* sebelumnya.



Gambar 2.18 Konstruksi *split cavity mold*

f) *Screw Device Mold*

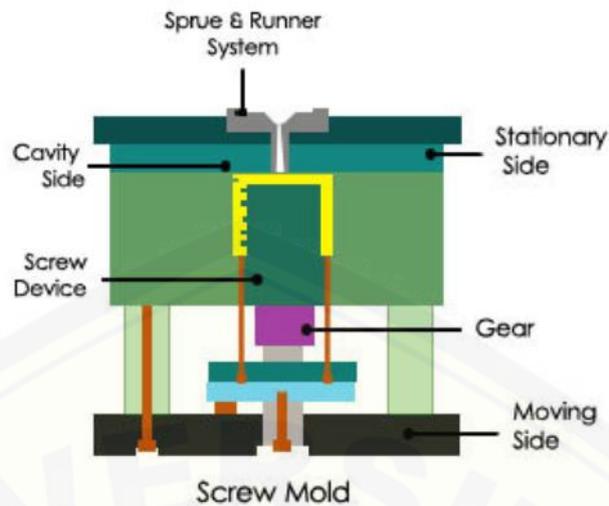
Mold dengan konstruksi ini banyak diaplikasikan untuk pembuatan *worm gear* dan *helical gear* berbahan plastik.



Gambar 2.19 *Worm gear* dan *helical gear*

Konstruksi khusus pada jenis *mold* ini adalah terdapat *screw device* yaitu bagian yang berputar ketika *mold* dibuka, bagian ini dihubungkan khusus dengan motor. Konstruksi *mold* jenis ini sering juga dipakai untuk membuat bentuk alur pada pensil sebelah dalam dan juga ulir pada tutup botol.

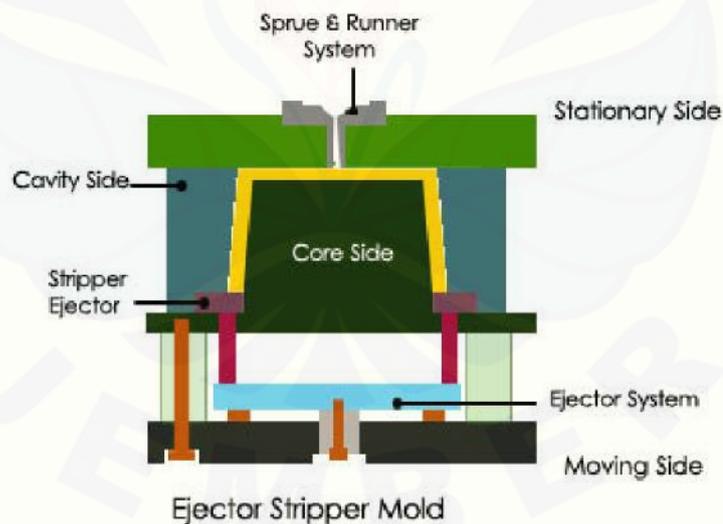
Konstruksi ini banyak digunakan apabila pada bagian yang berulir tidak dikehendaki adanya *parting line* atau bekas bentuk plastik.



Gambar 2.20 Konstruksi *screw mold*

g) *Stripper Ejector Mold*

Stripper ejector mold mempunyai bentuk spesial pada *ejector* yang digunakan yaitu *ejector* yang terbuat dari plat yang dibuat melingkar sepanjang sisi dari produk yang akan dikeluarkan. Contoh produk yang mudah ditemukan adalah bak dan timba. Bentuk dasar pada hasil produk dapat dilihat pada gambar 2.21 yang ditunjukkan dengan area berwarna kuning.

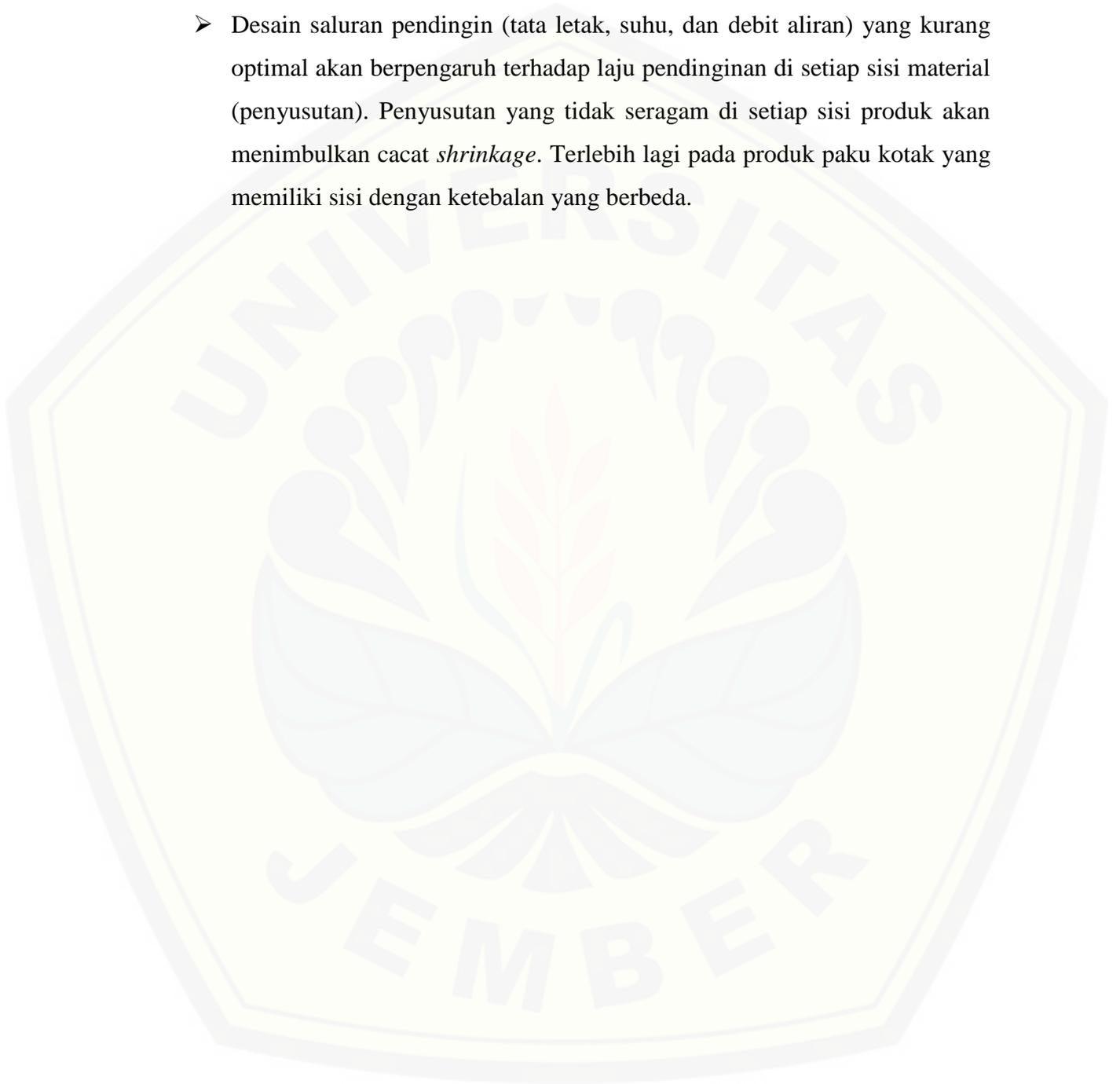


Gambar 2.21 Konstruksi *stripper ejector mold*

2.8 Hipotesa

Hipotesa yang digunakan pada penelitian ini:

- *Cylinder temperature* berpengaruh terhadap rasio *shrinkage* yang dihasilkan pada produk.
- Desain saluran pendingin (tata letak, suhu, dan debit aliran) yang kurang optimal akan berpengaruh terhadap laju pendinginan di setiap sisi material (penyusutan). Penyusutan yang tidak seragam di setiap sisi produk akan menimbulkan cacat *shrinkage*. Terlebih lagi pada produk paku kotak yang memiliki sisi dengan ketebalan yang berbeda.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dimulai dengan survey lapangan pada PT.Prima Sakti yang memproduksi produk paku kotak untuk mendapatkan data serta parameter-parameter yang digunakan dalam memproduksi produk paku kotak. Data yang sudah didapat akan diolah untuk menghasilkan setting parameter yang lebih baik untuk mereduksi cacat pada produk paku kotak dan disimulasikan untuk mengetahui hasil akhir. Penelitian ini akan dilakukan di Divisi Desain PT. Prima Sakti dan Laboratorium Desain Universitas Jember yang akan dimulai pada Oktober 2014 sampai Januari 2015.

3.2 Alat dan bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang dibutuhkan sebagai berikut:

- a) Jangka Sorong
- b) Timbangan digital
- c) Perangkat komputerisasi
- d) Software Autodesk Simulation Moldflow 2013
- e) Software Inventor Fusion 2013

3.2.2 Bahan

Bahan yang dibutuhkan selama proses penelitian antara lain:

Produk paku kotak berukuran 16×22

3.3 Prosedur Penelitian

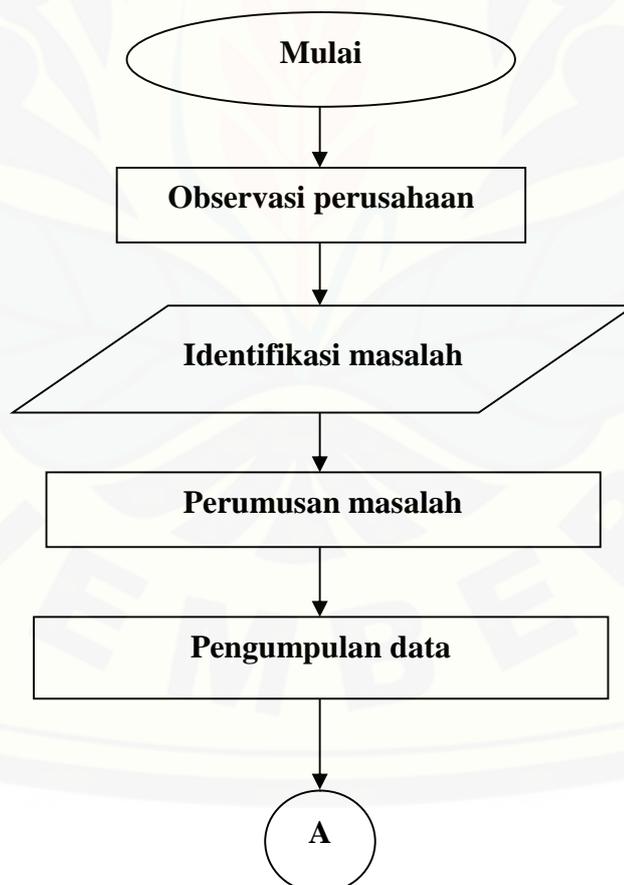
Pengerjaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, tahap-tahapnya antara lain:

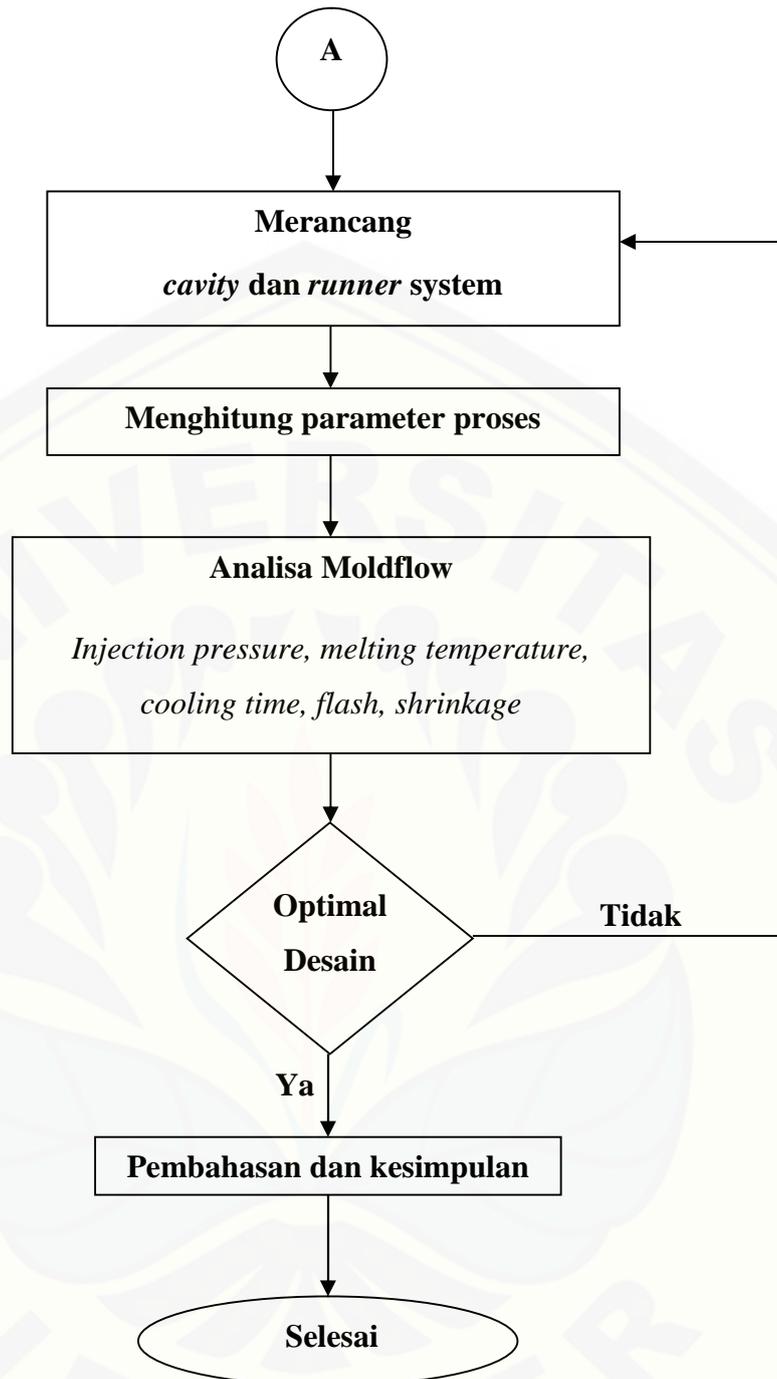
1. Mencari dan mengumpulkan data serta menentukan spesifikasi produk yang akan dicetak, termasuk profil dan karakteristik dari bahan yang akan digunakan.

2. Mencari dan mempelajari referensi yang berhubungan dengan perancangan desain dan simulasi.
3. Menganalisa data dengan referensi yang ada.
4. Visualisasi desain rancangan dan melakukan perhitungan manual mengenai desain tersebut.
5. Menggunakan software Autodesk Simulation Moldflow 2013 untuk melakukan simulasi dari data perhitungan manual, parameter yang disarankan oleh software, parameter yang divariasikan, dan parameter yang digunakan oleh PT. Prima Sakti pada saat memproduksi paku kotak.
6. Memeriksa dan membandingkan hasil simulasi.
7. Memutuskan kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian

3.4 Diagram Alir Penelitian

Adapun urutan kerja yang dilakukan dari awal sampai akhir penelitian sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Metode Penyajian Data

Metode dasar dalam penyajian data penelitian ini adalah dengan menampilkan tabel dan grafik hasil persentase cacat yang ditimbulkan setelah

dilakukan simulasi dari parameter perhitungan manual, parameter standar dari software Autodesk Simulation Moldflow 2013, parameter yg digunakan sewaktu proses produksi paku kotak, dan parameter yang divariasikan, menggunakan 2 variasi desain, yaitu desain yang digunakan pada saat proses produksi paku kotak (desain 1) dan desain dari hasil perhitungan (desain 2), dengan parameter temperatur mold, materi pendingin yang digunakan, debit aliran pendingin, dan temperatur aliran pendingin yang dibuat seragam. Penjelasan mengenai perbedaan desain 1 dan desain 2 ditampilkan dalam lampiran.

Tabel 3.1 Pengujian desain 1

Parameter				Fill time (s)	Shrink Ratio (%)
Cylinder Temperatur (°C)		Injection Pressure (Mpa)			
Proses	Nilai	Proses	Nilai		
PS 12		PS 12			
		Manual			
		Advice			
Variasi		PS 12			
		Manual			
		Advice			
Manual		PS 12			
		Manual			
		Advice			
Advice		PS 12			
		Manual			
		Advice			
Variasi		PS 12			
		Manual			
		Advice			
Variasi		PS 12			
		Manual			
		Advice			
Variasi		PS 12			
		Manual			
		Advice			
Variasi		PS 12			
		Manual			
		Advice			

*) untuk parameter proses variasi diambil setelah mendapatkan hasil dari parameter proses PS 12, manual, dan advice

Tabel 3.2 Pengujian desain 2

Parameter				Fill time (s)	Shrink Ratio (%)
Cylinder Temperatur (°C)		Injection Pressure (Mpa)			
Proses	Nilai	Proses	Nilai		
PS 12		PS 12			
		Manual			
		Advice			
Manual		Variasi			
		PS 12			
		Manual			
Advice		Advice			
		Variasi			
		PS 12			
Variasi		Manual			
		Advice			
		Variasi			

*) untuk parameter proses variasi diambil setelah mendapatkan hasil dari parameter proses PS 12, manual, dan advice.

Keterangan tabel 3.1 dan tabel 3.2:

- PS 12 : Parameter yang digunakan PT. Prima Sakti pada saat memproduksi produk paku kotak
- Manual : Parameter yang dihasilkan dari perhitungan manual
- Advice : Parameter yang disarankan oleh Software Autodesk Simulation Moldflow 2013
- Variasi : Parameter yang dipilih dengan mengacu pada hasil simulasi yang dilakukan dengan parameter PS 12, manual, dan advice.

BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Produk

Jenis produk yang akan dianalisa adalah paku kotak dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Spesifikasi Produk

Nama Produk		Paku kotak
Dimensi	mm	16×22×10
Luas Area	mm ²	352
Volume	mm ³	3520
Massa	g	2,25
Bahan Baku		Polypropylene

Tabel 4.2 Karakteristik Polypropylene

Berat Jenis	gr/cm ²	0,90-0,91
<i>Cylinder temperature</i>	°C	180-300
<i>Mold Temperature</i>	°C	20-90
<i>Injection pressure</i>	kg/cm ²	600-1410

Tabel 4.3 Data Spesifikasi Mesin

Nama		Nissei 150NG
<i>Clamping Force</i>	ton	150
Diameter Meja	mm	4500
Langkah Meja	mm	3600
Langkah <i>Inject</i>	mm	1500
Langkah <i>Clamping</i>	mm	650
Langkah <i>Eject</i>	mm	350
Max <i>Mold Dimension</i>	mm	520×320×600
Diameter <i>Screw</i>	mm	44
<i>Plasticizing Capacity</i>	kg/jam	77
<i>Shot Weight</i>	g	250
<i>Injection pressure</i>	kg/cm ²	2171

Tabel 4.4 Data Spesifikasi Cetakan

<i>Partlist</i>	Ukuran (mm)	Material	Jumlah	Keterangan
<i>Top Plate</i>	25×250×300	ST	1	-
<i>Upper Spacer</i>	30×200×250	ST	1	-
<i>Female Plate</i>	37×200×250	SLD	1	
<i>Male Plate</i>	42×200×250	SLD	1	
<i>Ejector Plate</i>	15×126×250	ST	1	-
<i>Ejector Clamp Plate</i>	22×126×250	ST	1	-
<i>Spacer Block</i>	35×75×250	ST	2	-
<i>Clamp Plate</i>	25×50×250	ST	2	-
<i>Guide Bush</i>	GBWS 20-35	Standart	4	-
<i>Guide Pin</i>	SPWS 20-70	Standart	4	-
<i>Coil Spring</i>	CSF 30-60	Standart	4	-
<i>Return Pin</i>	MERP4TH 15-100	Standart	4	-
<i>Ejector Pin</i>	EPC 5-100	Standart	6	-
<i>Ejector Pin</i>	EPC 1.7-100	Standart	32	-
<i>Bolt</i>	M12×80	Standart	4	-
<i>Bolt</i>	M12×60	Standart	4	-
<i>Bolt</i>	M8×25	Standart	6	-
<i>Neeples</i>	R1/4	Standart	16	-

4.2 Analisis Perencanaan Cetakan

4.2.1 Rancangan *Cavity*

Mengingat produk paku kotak yang berdimensi 16×22×10 mm dan dimensi maksimal *mold* pada mesin yang berukuran 520×320×600 mm, maka memungkinkan dilakukan perencanaan *multy cavity*, dengan mempertimbangkan bentuk dan dimensi dari sistem *runner* sehingga diperoleh desain cetakan yang paling efektif.

Dengan data spesifikasi produk dan data spesifikasi mesin, didapatkan rancangan jumlah *cavity* yaitu:

$$\text{Shot weight (Sw)} = 250 \text{ gr}$$

$$\text{Berat produk beserta runner sistem (Wm)} = 12,25 \text{ gr}$$

Maka:

$$\frac{0,8 \times Sw}{Wm} = \text{Qty cavity}$$

$$\frac{0,8 \times 250}{12,25} = 16,32 \approx 16 \text{ pcs}$$

Jadi jumlah *cavity* = 16

Pemilihan dalam penentuan bentuk dan sistem saluran masuk didasari beberapa hal berikut, yaitu:

- Kemudahan dalam pengeluaran produk
- Penyebaran yang merata pada sistem saluran masuk material
- Penggunaan material cetakan paling efektif
- *Rejection rate* yang kecil

4.2.2 Rancangan *Sprue*

Untuk perhitungan ukuran dari *sprue*, diperlukan data-data tentang diameter lubang *nozzle* dan ketebalan maksimum dari produk yang akan dibuat. Informasi tersebut digunakan untuk menentukan dimensi *cavity* minimum, pemakaian cetakan kondisi produksi, dan kualitas permintaan dengan mengacu pada dimensi dan permukaan cetakan.

Data-data dari spesifikasi mesin dan produk:

Diameter lubang *nozzle* (D_n) = 4 mm

Ketebalan maksimum produk (t_{max}) = 4 mm

Panjang *sprue* (L) = 97 mm

Dimana:

$$D_{co} \geq t_{max} + 1,5 \text{ m}$$

$$D_s \geq D_n + 1,0 \text{ mm}$$

$$\alpha \geq 1^\circ - 2^\circ$$

$$\tan \alpha = \frac{D_{co} - D_s}{2L}$$

Maka perhitungan diameter *runner* adalah:

$$D_s \geq 4 + 1$$

$$D_s \geq 5 \text{ mm}$$

$$D_{co} \geq t_{max} + 1,5$$

$$D_{co} \geq 4 + 1,5$$

$$D_{co} \geq 5,5 \text{ mm (diambil 7)}$$

$$\tan \alpha = \frac{D_{co} - D_s}{2L}$$

$$\tan \alpha = \frac{7-5}{97} = 0,021$$
$$= 1,2^\circ \text{ (memenuhi karena nilainya antara } 1^\circ \text{-} 2^\circ \text{)}$$

4.2.3 Rancangan *Runner*

Penentuan desain *runner* menyesuaikan jumlah *cavity* dan ruang yang tersedia, profil yang dipilih untuk *runner* adalah *circular cross section*. Pemilihan tipe ini dikarenakan faktor jumlah *cavity*, pengerjaan yang mudah, dan distribusi material yang lebih merata. *Runner* dengan tipe *circular cross section* dikerjakan pada sisi *male* dan *female* dengan dimensi yang sama.

Desain untuk *runner* ada 2, yaitu:

Runner 1 : yang menghubungkan antara *runner 2* dan *sprue*.

Runner 2 : yang menghubungkan antara *runner 1* dan *gate*.

Untuk perhitungan *runner 2* diperlukan data ketebalan maksimum dari produk.

Ketebalan maksimum produk (t_{max}) = 4 mm

Maka perhitungan diameter *runner* adalah:

$$D = t_{max} + 1,5 \text{ mm}$$

$$D = 4 \text{ mm} + 1.5 \text{ mm}$$

$$D = 5,5 \text{ mm}$$

Jadi diameter *runner 2* adalah 5,5 mm.

Untuk perhitungan *runner 1*, maka ketebalan maksimum diambil dari diameter *runner 2*. Diameter *runner 2* = 5,5 mm

Perhitungan untuk diameter *runner 1* adalah:

$$D = t_{max} + 1,5 \text{ mm}$$

$$D = 5,5 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}$$

$$D = 7 \text{ mm}$$

Jadi perhitungan untuk diameter *runner 1* adalah 7 mm.

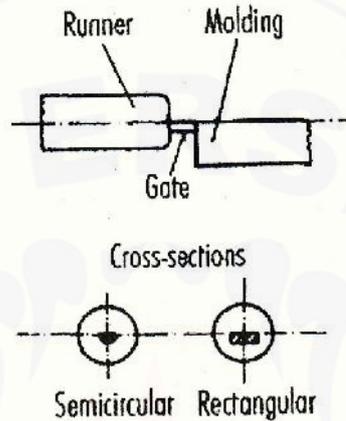
4.2.4 Rancangan *Gate*

Penentuan desain dan dimensi *gate* menggunakan referensi dari teori dasar, dimana penampang dari *gate* menggunakan tipe *eccentric gate* dengan bentuk penampang *semicircular*. Pemilihan tipe *semicircular cross section* karena

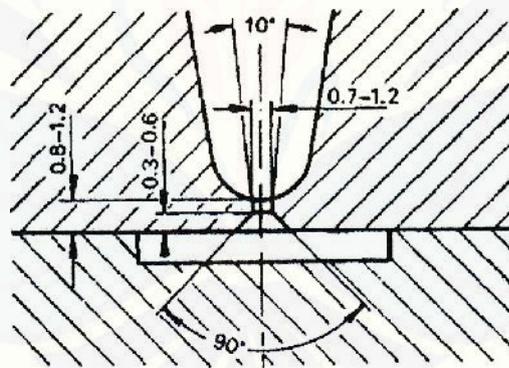
proses pengerjaan yang mudah dan kemudahan dalam pengeluaran produk. Dimensi *gate* yang direferensikan sebesar 0,2 sampai 0,5 mm, dan diameter yang direferensikan sebesar 0,7 sampai 1,2 mm. Maka ukuran *gate* yang dipakai dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

Diameter penampang *gate* adalah 1,2 mm

Tebal dari *gate* adalah 0,5 mm



Gambar 4.1 Penampang *gate*



Gambar 4.2 Dimensi *gate* yang direferensikan

4.3 Analisis Perencanaan Parameter Proses

4.3.1 Ukuran *Molding Machine*

Untuk perhitungan *molding machine*, diperlukan data mengenai tekanan injeksi maksimal dari material plastik yang digunakan selama proses produksi paku kotak yaitu *polyphropylene*. Dari tabel 2.4, didapatkan:

$$\text{Tekanan injeksi (Pj)} = 1410 \text{ kg/cm}^2$$

Maka, tekanan injeksi maksimum pada *cavity*:

$$P_{\max \text{ cavity}} = 0,5 \times P_j$$

$$P_{\max \text{ cavity}} = 0,5 \times 1410 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\max \text{ cavity}} = 705 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\max \text{ cavity}} = 69,136 \text{ Mpa}$$

Jadi, tekanan injeksi maksimum pada *cavity* sebesar 69,136 Mpa.

4.3.2 Clamping Force

Untuk perhitungan *clamping force* diperlukan data luasan area *clamping force* dari *summary* analisis *fill+pack* pengujian 1 pada pengujian desain 1 dan tekanan injeksi maksimum pada *cavity*, dimana:

Tekanan injeksi maksimum pada *cavity* ($P_{\max \text{ cavity}}$) = 705 kg/cm²

Luasan area *clamping force* (A) = 78,6576 cm² (Lampiran 4)

Maka, *clamping force* maksimal (CF) yang diijinkan adalah:

$$CF = \frac{A \times P_{\max \text{ cavity}}}{1000}$$

$$CF = \frac{78,6576 \times 705}{1000}$$

$$CF = 55,4536 \text{ ton}$$

Jadi, *clamping force* maksimal yang diijinkan sebesar 55,4536 ton.

4.3.3 Injection time

Untuk menentukan *injection time* dari produk paku kotak, diperlukan data berat jenis material plastik yang digunakan (Tabel 2.5), kemampuan plastisitas dari mesin injeksi, serta shot volume yang dapat dilihat dari *summary* pengujian 1 pada pengujian desain 1, dimana:

Berat jenis polypropylene (B_{jm}) = 0,9 g/cm³

Plasticizing capacity (P_c) = 77 kg/jam
= 21,389 g/det

Cavity volume (V_{plast}) = 41,8713 cm³

Perhitungan untuk *injection time* adalah sebagai berikut:

$$V_f = \frac{P_c}{B_{jm}}$$

$$V_f = \frac{21,389}{0,9}$$

$$V_f = 23,765432 \text{ cm}^3/\text{dt}$$

Kemudian *injection time* dapat dihitung dengan:

$$F_t = \frac{V_{plast}}{V_f}$$

$$F_t = \frac{41,8713}{23,765432}$$

$$F_t = 1,76 \text{ s}$$

Jadi waktu injeksi adalah 1,76 detik

4.3.4 Perhitungan *cooling time*

Agar mendapatkan nilai *cooling time* yang lebih efisien, perhitungan *cooling time* dilakukan dengan metode yaitu:

- Ballman and Shusman method
- Busch, Field and Rosato method
- Kirch and Menges method
- J.Z. Liang and J.N. Ness method

Untuk itu diperlukan data:

Difusi termal polypropylene () = 0,10 mm²/det

Temperatur silinder (Ti) = 240°C (berdasarkan tabel 2.4)

Temperatur *mold* (Tx) = 42,2°C

Temperatur pendingin (Tm) = 30°C

Jumlah *cavity* (Ncavity) = 16

Tebal produk maksimal (S) = 4 mm

Total berat produk (Wp) = 2,25 g

Maka perhitungan *cooling time*:

- a) Ballman and Shusman method

$$t = \frac{S^2}{2\pi\alpha} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{T_i - T_m}{T_x - T_m} \right) \right]$$

$$t = \frac{4^2}{2\pi 0,10} \ln \left[\frac{4}{\pi} \left(\frac{240 - 30}{42,2 - 30} \right) \right]$$

$$t = 6,369 \ln[21,92]$$

$$t = 78,41 \text{ s}$$

- b) Busch, Field and Rosato method

$$t = 1,35 \frac{S^2}{2\pi\alpha} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_i - T_m}{T_x - T_m} \right) \right] + 0,0151 \times W_p \times N_{cavity}$$

$$t = 1,35 \frac{4^2}{2\pi \cdot 0,10} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{240-30}{42,2-30} \right) \right] + 0,0151 \times 2,25 \times 16$$

$$t = 34,38 \ln[13,978] + 0,5436$$

$$t = 91,15 \text{ s}$$

c) Kirch and Menges method

$$t = \frac{s^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_i - T_m}{T_x - T_m} \right) \right]$$

$$t = \frac{4^2}{\pi^2 \cdot 0,10} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{240-30}{42,2-30} \right) \right]$$

$$t = 16,32 \ln[13,978]$$

$$t = 43,03 \text{ s}$$

d) J.Z. Liang and J.N. Ness method

$$t = \frac{4s^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left[\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \left(\frac{T_i - T_m}{T_x - T_m} \right) \right]$$

$$t = \frac{4 \times 4^2}{\pi^2 \cdot 0,10} \ln \left[\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \left(\frac{240-30}{42,2-30} \right) \right]$$

$$t = 16,227 \ln[48,67]$$

$$t = 253,69 \text{ s}$$

Hasil perhitungan yang dipilih adalah hasil perhitungan dengan metode Busch, Field and Rosato method mengingat persamaannya mempertimbangkan berat produk serta jumlah *cavity*. Jadi *cooling time* adalah 91,15 detik.

4.3.5 Perhitungan *cycle time*

Perhitungan *cycle time* pada cetakan paku kotak menggunakan acuan parameter proses yang digunakan saat memproduksi produk paku kotak di PT.

Prima Sakti, yaitu:

Mold opening = 5 detik

Injection time = 1,76 detik

Holding time = 10 detik

Cooling time = 23,22 detik

Mold Closing = 2 detik

Maka perhitungan *cycle time*:

$$\begin{aligned} \text{Cycle time} &= t_{inj} + t_{cool} + t_{mo} + t_{mc} + t_{hold} \\ &= 1,76 + 91,15 + 5 + 2 + 10 \end{aligned}$$

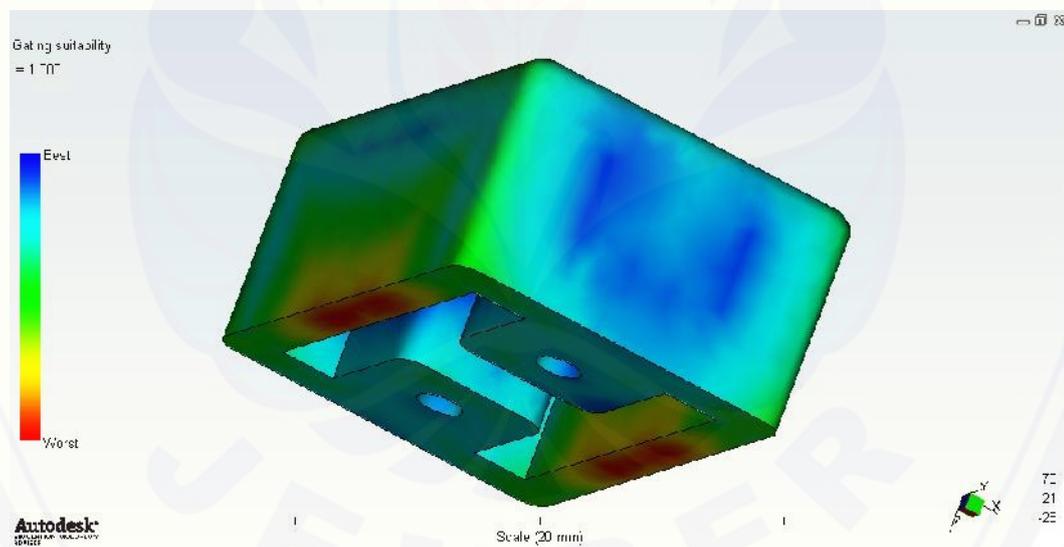
$$= 109,91 \text{ s}$$

Jadi waktu yang diperlukan untuk menghasilkan satu produk jadi adalah 109,91 detik.

4.4 Validasi Eksperimen

Analisis dari produk dilandasi atas dasar perhitungan manual dari parameter proses produksi yang dibandingkan dengan parameter sewaktu memproduksi paku kotak, parameter hasil advice dari simulasi Autodesk MoldflowAdviser 2013, dan parameter variasi yang ditentukan setelah menilai hasil simulasi analisis dari parameter parameter sebelumnya.

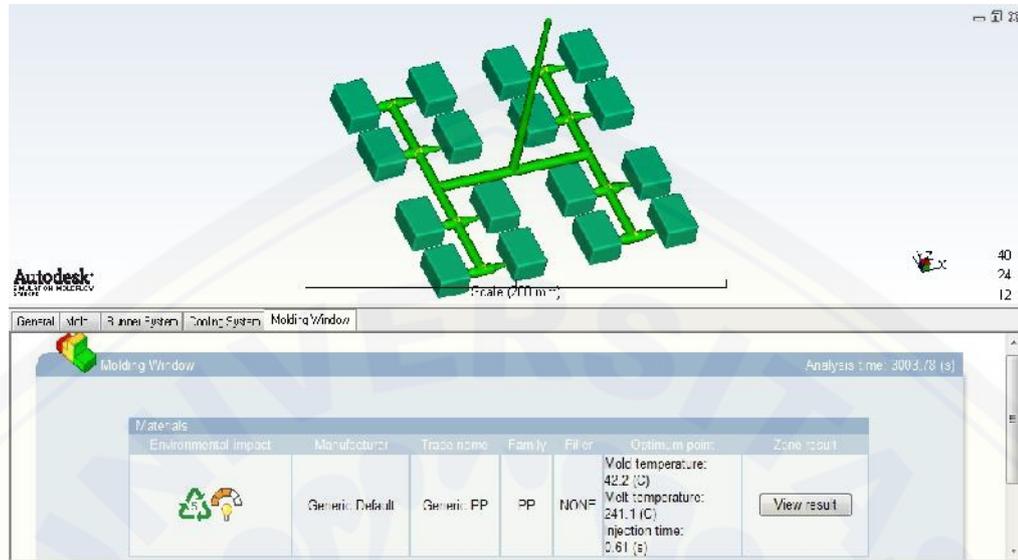
Setelah mendesain produk, dilakukan analisis *gate* location dan *gate* suitability untuk mendapatkan titik injeksi terbaik, kemudian dilakukan analisis *molding* window dimana dihasilkan temperatur silinder, temperatur *mold*, dan tekanan injeksi yang direkomendasikan oleh software Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2013.



Gambar 4.3 Analisis *gate* suitability

Hasil analisis *gate* suitability pada produk paku kotak menunjukkan hasil dengan warna biru tua sebagai titik injeksi terbaik, maka pada desain 2, titik injeksi berada pada sisi samping kanan atau sisi samping kiri dari produk paku kotak, yang berbeda dengan desain original PT. Prima Sakti pada saat

memproduksi paku kotak dimana titik injeksi berada pada sisi samping atas atau sisi samping bawah.



Gambar 4.4 Analisis *molding window* desain 1



Gambar 4.5 Analisis *molding window* 2

Dari hasil analisis *molding window* desain 1 dan desain 2 terdapat perbedaan yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Parameter analisis *molding window*

No	Parameter	Desain 1	Desain 2
1	<i>Melt Temperature</i> (°C)	241,1	241,1
2	<i>Hose diameter</i> (mm)	10	8
3	Jarak <i>hose</i> dengan <i>parting line</i> (mm)	23	18
4	Jenis <i>coolant</i>	Air	Air
5	Suhu <i>coolant</i> (°C)	30	30
6	Debit <i>coolant</i> (lt/min)	10	10

4.4.1 Hasil Simulasi dengan *Software Autodesk Moldflow Adviser 2013*

Parameter proses yang didapat dari perhitungan manual, data parameter PT. Prima Sakti maupun hasil analisis *molding window* dari desain 1 dan desain 2 disimulasikan dengan *Software Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2013*, kemudian hasilnya dibandingkan untuk mendapatkan tingkat cacat yang paling kecil. Parameter proses pengujian desain 1 dan desain 2 disajikan dalam bentuk tabel, yang dapat dilihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7.

Tabel 4.6 Pengujian desain 1

Pengujian	Parameter				Fill time (s)	Shrink ratio (%)
	Cylinder Temperature (°C)		Injection pressure (Mpa)			
	Proses	Nilai	Proses	Nilai		
1	PS 12	250	PS 12	60	0,5160	16,82
2			Manual	69,14	0,5164	16,82
3			Advice	98,56	0,5160	16,82
4			Variasi	128	0,5160	16,82
5	Manual	240	PS 12	60	0,5153	16,44
6			Manual	69,14	0,5153	16,44
7			Advice	98,56	0,5176	16,33
8			Variasi	128	0,5162	16,44
9	Advice	241,1	PS 12	60	0,5142	16,48
10			Manual	69,14	0,5142	16,48
11			Advice	98,56	0,5161	16,44
12			Variasi	128	0,5175	16,44
13	Variasi	230	PS 12	60	0,5151	15,87
14			Manual	69,14	0,5137	15,92
15			Advice	98,56	0,5149	15,87
16			Variasi	128	0,5137	15,92

*) untuk parameter proses variasi diambil setelah mendapatkan hasil dari parameter proses PS 12, manual, dan advice.

Tabel 4.7 Pengujian desain 2

Pengujian	Parameter				Fill time (s)	Shrink ratio (%)
	Cylinder Temperature (°C)		Injection pressure (Mpa)			
	Proses	Nilai	Proses	Nilai		
1	PS 12	250	PS 12	60	0,3878	16,56
2			Manual	69,14	0,3878	16,56
3			Advice	98,56	0,3878	16,56
4			Variasi	128	0,3878	16,56
5	Manual	240	PS 12	60	0,3873	16,08
6			Manual	69,14	0,3873	16,08
7			Advice	98,56	0,3873	16,08
8			Variasi	128	0,3873	16,09
9	Advice	241,1	PS 12	60	0,3875	16,14
10			Manual	69,14	0,3875	16,14
11			Advice	98,56	0,3875	16,14
12			Variasi	128	0,3890	16,20
13	Variasi	230	PS 12	60	0,5194	15,68
14			Manual	69,14	0,5172	15,76
15			Advice	98,56	0,5194	15,68
16			Variasi	128	0,5172	15,76

*) untuk parameter proses variasi diambil setelah mendapatkan hasil dari parameter proses PS 12, manual, dan advice.

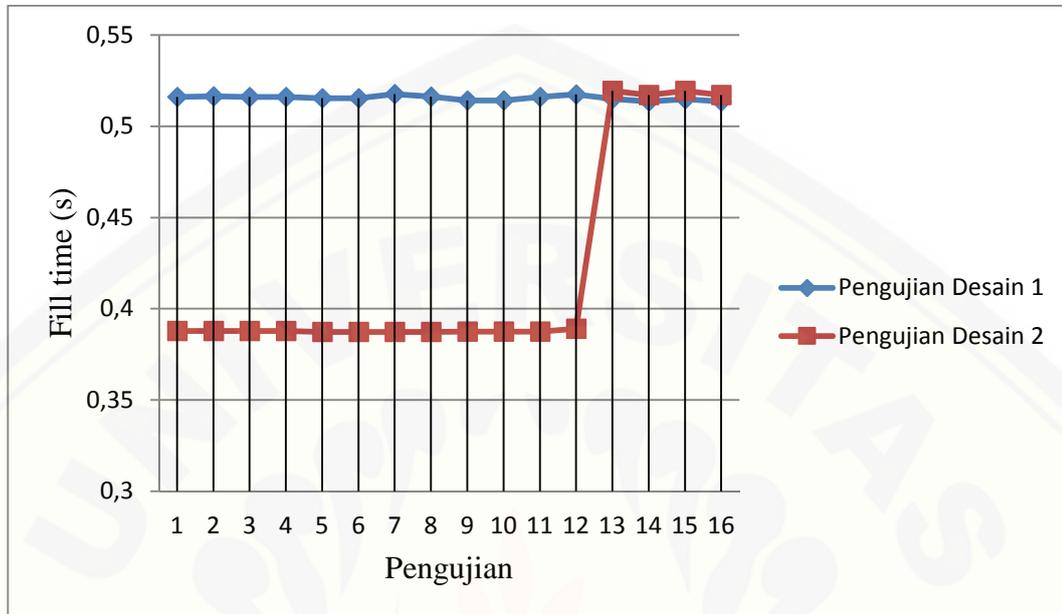
Pada hasil simulasi desain 1 dan desain 2 dengan menggunakan 4 parameter yaitu:

- a. PS 12 : Parameter yang digunakan PT. Prima Sakti pada saat memproduksi produk paku kotak
- b. Manual : Parameter yang dihasilkan dari perhitungan manual
- c. Advice : Parameter yang disarankan oleh Software Autodesk Simulation Moldflow 2013
- d. Variasi : Parameter yang dipilih dengan mengacu pada hasil simulasi yang dilakukan dengan parameter PS 12, manual, dan advice.

didapatkan *fill time* dan rasio *shrinkage* yang berbeda pada tiap pengujian, yang akan dibandingkan dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mengetahui hasil simulasi dengan parameter terbaik

1) *Fill time*

Hasil simulasi pada desain 1 dan desain 2, memiliki interval waktu yang cukup tinggi, terutama pada pengujian 1 sampai pengujian 12. Hasilnya ditampilkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Analisis *Fill time*

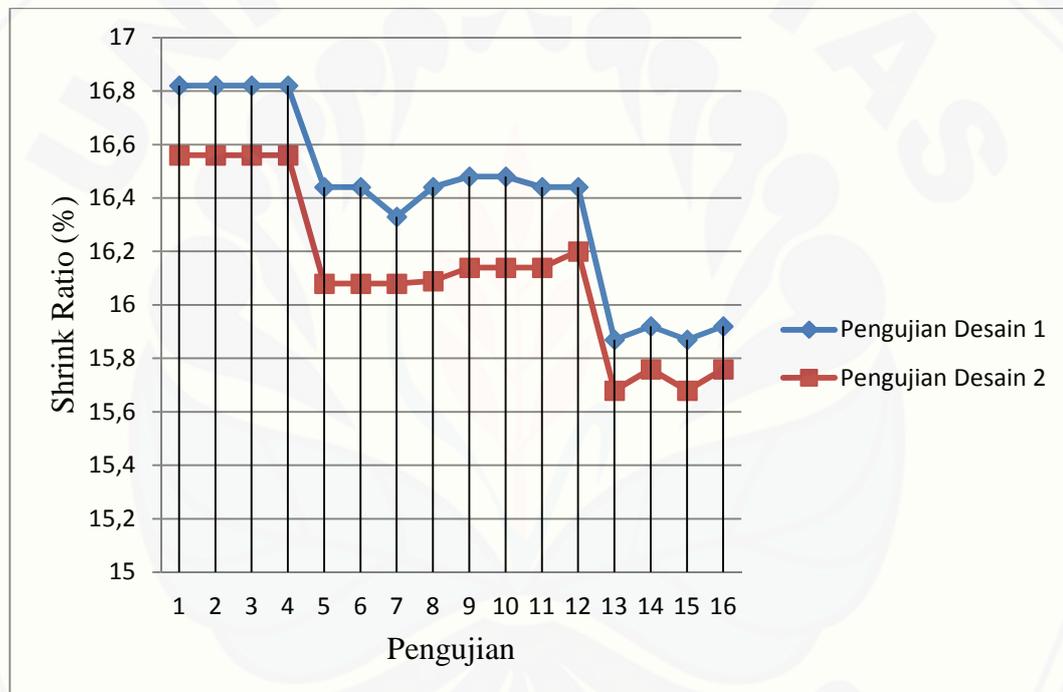
Dari gambar 4.6, diketahui bahwa desain 2 menghasilkan produk dengan *fill time* yang rendah, berkisar antara 0,38 detik. Sedangkan dari hasil analisis pada simulasi desain 1, menghasilkan produk dengan rata-rata *fill time* sebesar 0,52 detik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain 2 lebih baik daripada desain 1, karena memiliki keunggulan untuk meminimalkan *fill time* dari proses produksi paku kotak. Hal ini dikarenakan letak gate pada desain 2 lebih efisien daripada letak gate pada desain 1, sehingga pendistribusian material lebih cepat dan merata keseluruhan rongga *cavity*.

Pada gambar 4. hasil simulasi pengujian 13-16 menunjukkan perbedaan *fill time* yang cukup berbeda dengan pengujian 1-15, hal ini dapat dilihat dengan , meningkatnya garis grafik dari pengujian 12 ke pengujian 13 pada gambar 4. Sesuai dengan tabel 4.6, pengujian 13-16 dilakukan dengan setting cylinder *temperature* terendah sebesar 230°C. Rendahnya temperatur mengakibatkan viskositas dari material plastik leleh menjadi tinggi, kerapatan antar molekul material juga tinggi, sehingga massanya tinggi pula. Dengan kerapatan yang

tinggi, aliran material plastik lambat menjadi lebih lambat ketika diinjeksikan, hasilnya *fill time* menjadi lebih lama. Berbeda dengan pengujian 1-13, yang disimulasikan dengan setting parameter *cylinder temperature* lebih tinggi daripada pengujian 13-16, dengan temperatur lebih tinggi, viskositas dan kerapatan antar molekulnya rendah, dan massanya lebih rendah daripada material yang dilelehkan dengan temperature 230°C. Viskositas yang rendah mempermudah aliran material, sehingga *fill time* lebih rendah.

2) Shrinkage Ratio

Hasil analisis *shrink ratio* pada desain 1 dan desain 2 ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Analisis *Shrink ratio*

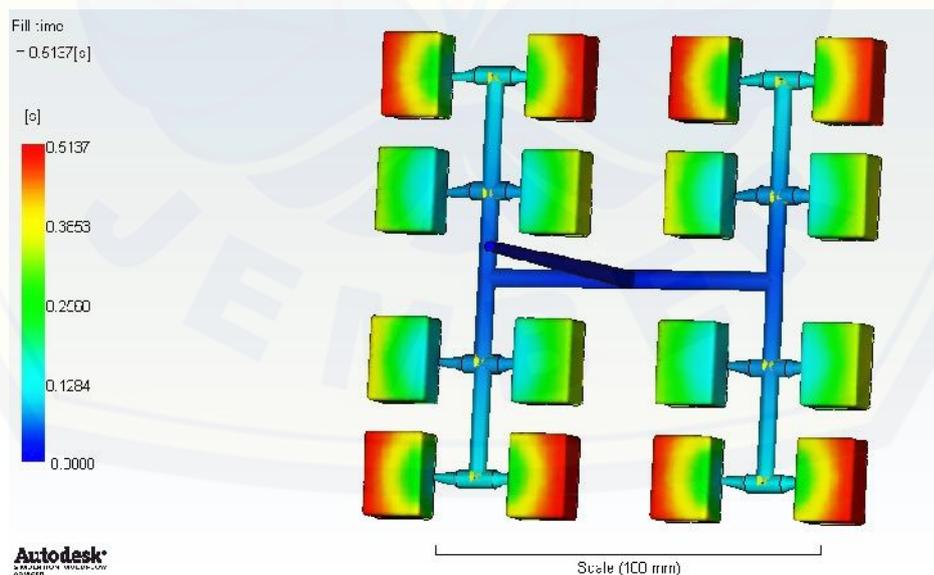
Gambar 4.7 menunjukkan bahwa desain 2 memiliki nilai *shrink ratio* lebih rendah daripada desain 1. Nilai *shrink ratio* terendah pada desain 1 memiliki nilai sebesar 15,87% pada pengujian 13 dan pengujian 15 dengan *cylinder temperature* sebesar 230°C, sedangkan nilai *shrink ratio* terendah pada desain 2 memiliki nilai sebesar 15,68% pada pengujian 13 dan pengujian 15 dengan *cylinder temperature* sebesar 230°C. Mengacu pada hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa *cylinder temperature* berpengaruh terhadap cacat *shrinkage* yang dihasilkan pada

produk. *Cylinder temperature* yang tinggi akan menghasilkan rasio *shrinkage* yang besar, sebaliknya, *cylinder temperature* yang rendah akan menghasilkan rasio *shrinkage* yang kecil. Hal ini dikarenakan, material plastik yang dilelehkan dengan temperatur tinggi mempunyai kerapatan antar molekul dan massa yang lebih rendah daripada material yang dilelehkan dengan temperatur rendah, sehingga ketika membeku, material dengan temperatur tinggi memiliki tingkat penyusutan lebih besar daripada material dengan temperatur lebih rendah. Selain itu perbedaan letak dan diameter saluran pendingin, juga berpengaruh terhadap laju pembekuan dari material plastik leleh. Semakin dekat jarak antara lubang saluran pendingin dengan *cavity*, akan mengoptimalkan distribusi suhu pada *cavity*, sehingga laju pembekuan berlangsung secara merata dan meminimalkan timbulnya cacat *shrinkage*.

4.5 Analisis Hasil Simulasi dengan Parameter Terbaik

a. Analisis *Fill time*

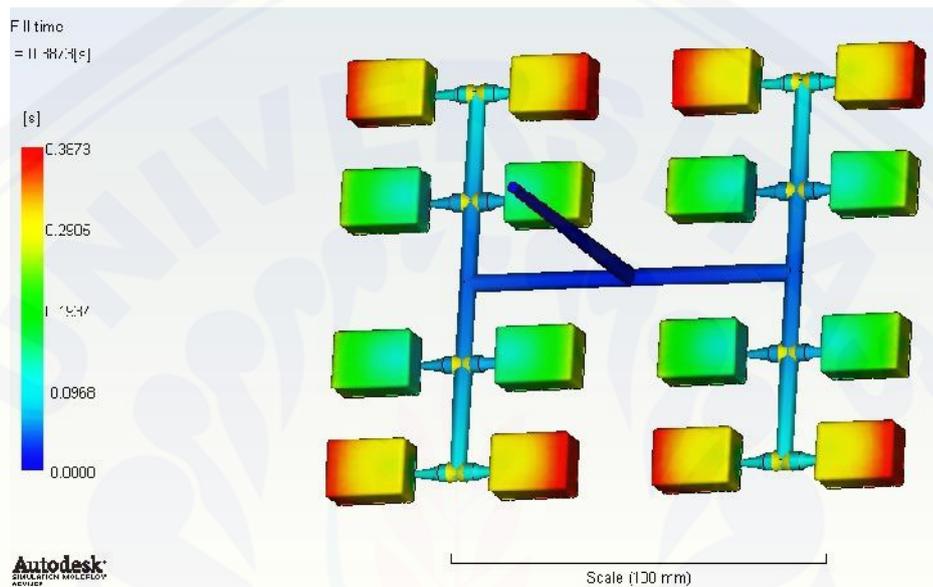
Hasil simulasi filling time dengan menggunakan parameter data yang disajikan dalam tabel 4.6 dan tabel 4.7 menunjukkan bahwa pada desain 1 waktu tercepat 0,5137 detik dengan *cylinder temperature* sebesar 230°C dan *injection pressure* sebesar 69,14 Mpa yang ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 *Fill time* pada desain 1

Dimana proses pengisian ke seluruh rongga mold terjadi secara bertahap yang ditunjukkan dengan perbedaan warna. Distribusi material plastik leleh terjadi secara merata disetiap sisi, hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya indikasi *overpacking* dari hasil simulasi.

Pada hasil pengujian desain 2 menunjukkan waktu tercepat proses pengisian rongga *cavity* 0,3873 detik pada parameter *cylinder temperature* sebesar 240°C yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. *Fill time* pada desain 2

Sama halnya dengan hasil simulasi pada desain 1, hasil simulasi pada desain 2 menunjukkan pengisian rongga *cavity* berlangsung secara bertahap yang dapat dilihat pada perbedaan warna pada rongga *cavity*. Pendistribusian material pada desain 2 juga tidak mengindikasikan adanya *overpacking*, yaitu bagian yang sudah terisi dan terkompresi lebih sementara ada bagian lain yang masih mengalir.

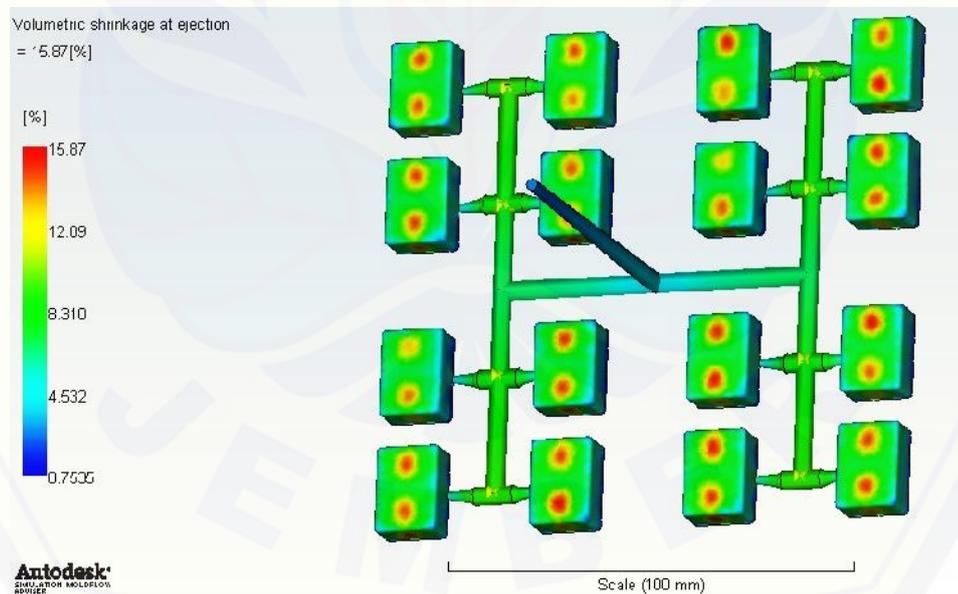
Dari hasil simulasi pada desain 1, menunjukkan *fill time* tercepat 0,5137 detik, sedangkan pada desain 2 menunjukkan *fill time* tercepat 0,3873 detik. Perbedaan waktu yang terjadi menunjukkan bahwa pada desain 1, penentuan lokasi gating system kurang tepat sehingga menyebabkan *fill time* yang lebih lama dibandingkan pada desain 2. Hal ini tentunya berpengaruh terhadap *cycle time* yang tentunya akan menyebabkan efisiensi waktu yang dibutuhkan untuk proses produksi menjadi kurang atau lebih lama.

Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan mempertimbangkan kembali penentuan lokasi gate dari produk paku kotak. Penentuan lokasi gate yang tepat akan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk *fill time*, yang nantinya akan meningkatkan efisiensi waktu dari proses produksi. Pada penelitian yang dilakukan Kimerling (2002), menunjukkan bahwa penempatan saluran pendingin yang lebih dekat dengan permukaan *cavity* menghasilkan produk dengan *cooling time* yang lebih cepat. Sehingga menghasilkan *cycle time* yang lebih cepat dan produktivitas dapat ditingkatkan.

b. Analisis *Shrinkage*

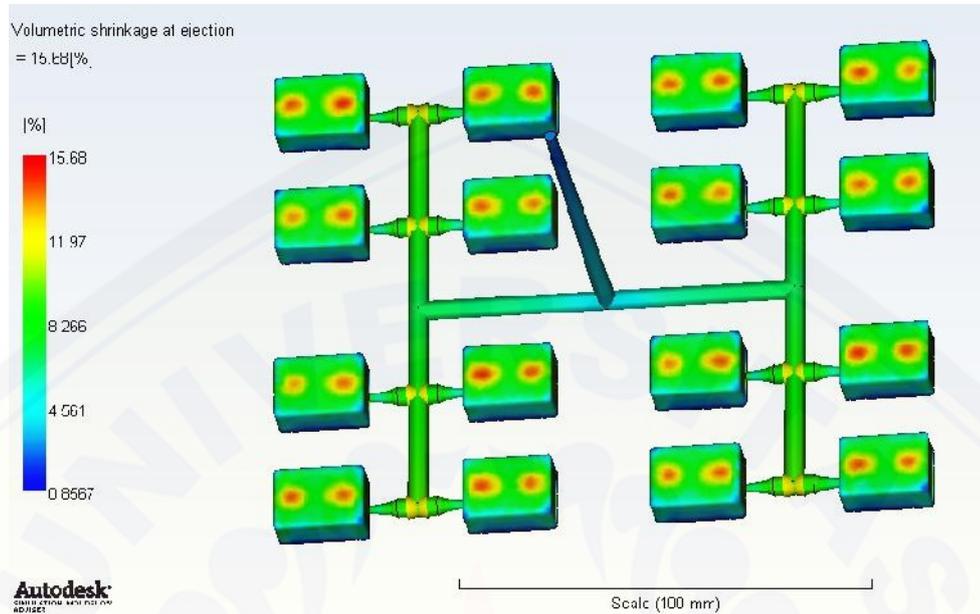
Hasil simulasi pada desain 1 dan desain 2 pada 32 kali pengujian menunjukkan hasil yang berbeda-beda yang dapat dilihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7. Hasil ini menjadi acuan parameter proses terbaik yang menghasilkan produk dengan rasio *shrinkage* terendah.

Dari hasil simulasi pada desain 1 menunjukkan rasio *shrinkage* terendah sebesar 15,87% dengan *cylinder temperature* sebesar 230°C, yang dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 *Volumetric shrinkage at ejection* pada desain 1

Sedangkan hasil simulasi pada desain 2, menunjukkan rasio *shrinkage* terendah sebesar 15,68% pada *cylinder temperature* 230°C yang ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 *Volumetric shrinkage at ejection* pada desain 2

Dari tabel 4.6 dan tabel 4.7 menunjukkan bahwa *injection pressure* tidak berpengaruh terhadap rasio *shrinkage*. Hal ini dibuktikan dengan nilai rasio *shrinkage* yang tidak memiliki selisih yang jauh, seperti pada nilai rasio *shrinkage* pada tabel 1 dengan variasi *injection pressure* sebesar 60 Mpa, 69,14 Mpa, 98,56 Mpa, dan 128 Mpa dengan *cylinder temperature* sebesar 250°C, yang menghasilkan rasio *shrinkage* yang seragam sebesar 16,82%. Rasio *shrinkage* dengan nilai seragam yaitu 16,56% juga terjadi pada hasil simulasi desain 2 dengan variasi *injection pressure* sebesar 60 Mpa, 69,14 Mpa, 98,56 Mpa, dan 128 Mpa dengan *cylinder temperature* sebesar 250°C.

Namun terjadi perbedaan nilai rasio *shrinkage* yang cukup besar dari hasil simulasi dengan mengacu pada perbedaan *cylinder temperature*. Sebagai contoh pada hasil simulasi desain 1, rasio *shrinkage* pada hasil simulasi dengan *cylinder temperature* sebesar 250°C memiliki nilai 16,82%, sedangkan dengan *cylinder temperature* sebesar 230°C memiliki nilai rasio *shrinkage* sebesar 15,87%. Hal serupa juga terjadi pada hasil simulasi desain 2, dengan *cylinder temperature* sebesar 250°C memiliki nilai 16,56%, sedangkan dengan *cylinder temperature*

sebesar 230°C memiliki nilai rasio *shrinkage* sebesar 15,68%. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang sudah dilakukan Sugondo (2007) yang membuktikan bahwa *cylinder temperature* yang lebih rendah, menghasilkan produk dengan hasil yang lebih baik.

Mengacu pada nilai rasio *shrinkage* yang berbeda pada tiap setting parameter *cylinder temperature*, maka dapat disimpulkan bahwa setting *cylinder temperature* berpengaruh terhadap cacat *shrinkage* yang dihasilkan pada produk. *Cylinder temperature* yang tinggi akan menghasilkan rasio *shrinkage* yang besar, sebaliknya, *cylinder temperature* yang rendah akan menghasilkan rasio *shrinkage* yang kecil. Hal ini dikarenakan dengan *cylinder temperature* yang tinggi, maka viskositas aliran *melt* akan menurun. Sehingga pada saat holding, proses pembekuan pada produk akan menjadi lebih lama dan lebih terpusat pada center dari produk. Dengan produk paku kotak yang memiliki sisi dengan ketebalan yang berbeda, maka resiko cacat *shrinkage* menjadi lebih besar, terutama pada bagian yang memiliki perbedaan ketebalan cukup tinggi tersebut.

c. Analisis Cacat *Flash*

Hasil produksi paku kotak di PT. Prima Sakti mempunyai cacat *flash* yang tampak jelas hampir disetiap produk, namun pada saat dilakukan simulasi dengan mengacu pada parameter yang digunakan selama proses produksi, terdapat perbedaan yang jelas. Hasil simulasi mengindikasikan tidak terjadinya cacat *flash*, hal ini dikarenakan software Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2013 juga menganalisis clamping force yang paling optimal, namun berat total produk antara hasil produksi dan hasil simulasi berbeda jelas. Perbedaan antara produk hasil simulasi dan hasil produksi ditampilkan pada table 4.8.

Gambar 4.12 Penimbangan berat *insert*

Gambar 4.13 Penimbangan berat produk

$$\text{Berat produk} = 3,09 \text{ g}$$

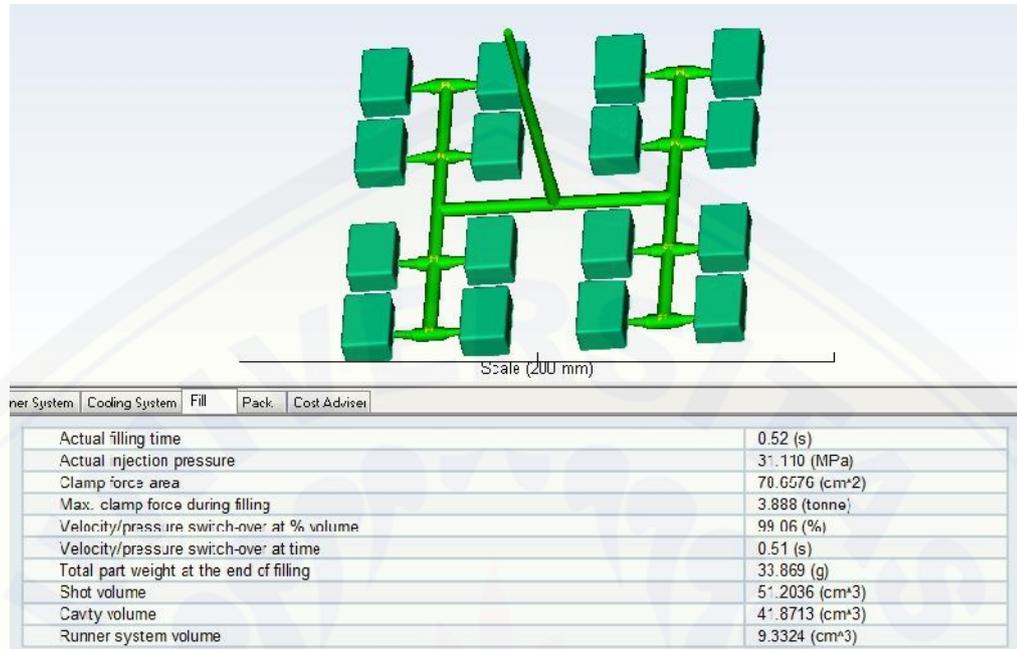
$$\text{Berat insert} = 0,42 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat bersih produk} &= 3,09 - (0,42 \times 2) \\ &= 2,25 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total produk dalam 1 kali } \textit{cycle time} = 2,25 \times 16 = 36 \text{ g}$$

$$\text{Volume } \textit{cavity} = 41,8713 \text{ cm}^3$$

Berat produk tanpa cacat = $41,8173 \text{ cm}^3 \times 0,9 \text{ g/cm}^3 = 37,636 \text{ g}$



Gambar 4.14 Hasil simulasi dengan parameter produksi

Tabel 4.8 Perbedaan antara produk hasil simulasi dan hasil produksi

No	Hasil	Produksi	Simulasi
1	Berat total (g)	36	33,896
2	Rasio <i>Shrinkage</i> (%)	4,3	16,86
3	<i>Clamp Force</i> (ton)	1	3,8
4	<i>Flash</i> (g)	12,8	0

Desain produk yang memiliki ketebalan ekstrem pada sisi dalam mengindikasikan terjadinya cacat *shrinkage* pada area yang memiliki ketebalan ekstrem tersebut. Hal ini dikarenakan pembekuan material cair yang tidak seragam. Pada hasil simulasi *clamping force* optimum 3,8 ton namun menghasilkan rasio *shrinkage* sebesar 16,86%, namun tidak menghasilkan cacat *flash*. Pada hasil produksi *clamping force* yang digunakan sebesar 1 ton, namun

memiliki rasio *shrinkage* yang lebih kecil yaitu 4,3%, dengan berat cacat *flash* sebesar 12,8 gram. Dengan demikian, produk paku kotak dengan desain perbedaan ketebalan yang ekstrem memang berpotensi menghasilkan produk dengan rasio *shrinkage* yang tinggi. Hal ini bisa diatasi dengan mendesain ulang produk agar tidak memiliki perbedaan ketebalan yang ekstrem. Namun pada hal ini, PT. Prima Sakti selaku produsen, mengatasinya dengan memperkecil *clamping force*. Tujuannya agar sisi produk dengan ketebalan yang ekstrem dapat mengurangi rasio *shrinkage* dengan mengambil asupan material cair yang sengaja dibuat *flash* tersebut.



BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian simulasi dengan menggunakan data parameter perhitungan manual, parameter standar dari software Autodesk Simulation Moldflow 2013, parameter yg digunakan sewaktu proses produksi paku kotak, dan parameter yang divariasikan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dari hasil simulasi, pada desain 1, produk dengan nilai rasio *shrinkage* terendah yaitu 15,87% dihasilkan dengan parameter *cylinder temperature* 230°C dengan tekanan injeksi sebesar 60 Mpa dan 98,56 Mpa. Sedangkan pada desain 2, produk dengan nilai rasio *shrinkage* terendah yaitu 15,68% dihasilkan dengan parameter *cylinder temperature* 230°C dengan tekanan injeksi sebesar 60 Mpa dan 98,56 Mpa.
- b. Dari hasil simulasi diketahui bahwa desain 2 menghasilkan produk dengan *fill time* yang rendah, berkisar antara 0,38 detik. Sedangkan dari hasil analisis pada simulasi desain 1, menghasilkan produk dengan rata-rata *fill time* sebesar 0,52 detik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain 2 lebih baik daripada desain 1, karena memiliki keunggulan untuk meminimalkan *fill time* dari proses produksi paku kotak
- c. Untuk produk paku kotak, hasil terbaik didapatkan pada simulasi desain 2 dengan *setting* temperatur leleh sebesar 230°C, tekanan injeksi sebesar 60 Mpa dan 98,56 Mpa, yang menghasilkan rasio *shrinkage* sebesar 15,68% dengan *fill time* sebesar 0,38 detik.
- d. Pemilihan penempatan *gating system* yang kurang tepat, berakibat pada semakin lamanya waktu yang dibutuhkan untuk filling pada area *cavity*. Hal ini tentunya berakibat pada semakin lamanya *cycle time*, sehingga proses produksi menjadi kurang optimal.
- e. *Cylinder temperature* berpengaruh terhadap cacat *shrinkage* yang dihasilkan pada produk. *Cylinder temperature* yang tinggi akan menghasilkan rasio *shrinkage* yang besar, sebaliknya, *cylinder temperature* yang rendah akan menghasilkan rasio *shrinkage* yang kecil.

- f. Perbedaan letak dan diameter saluran pendingin, berpengaruh terhadap laju pembekuan dari material plastik leleh. Semakin dekat jarak antara lubang saluran pendingin dengan *cavity*, akan mengoptimalkan distribusi suhu pada *cavity*, sehingga laju pembekuan berlangsung secara merata dan meminimalkan timbulnya cacat *shrinkage*.
- g. Optimasi parameter proses *injection molding* dari produk paku kotak baik pada desain 1 dan desain 2 belum dapat meminimalisir cacat *flash* yang timbul selama proses produksi, hal ini dikarenakan profil dari produk paku kotak itu sendiri yang memiliki perbedaan ketebalan yang cukup tinggi pada sisinya yang berakibat pada timbulnya cacat *shrinkage* yang cukup besar. Untuk meminimalisir hal tersebut, selama proses produksi, produk paku kotak sengaja dikurangi *clamping forcenya* sehingga timbul *flash*. Namun hal ini dapat mengurangi cacat *shrinkage* yang timbul karena selama proses pembekuan, pasokan material plastik dapat diambil dari sisi yang sengaja dibuat *flash*.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti sampaikan agar penelitian berikutnya dapat menghasilkan produk yang lebih baik lagi adalah sebagai berikut:

- a. Dalam mendesain cetakan produk plastik, sebaiknya dilakukan simulasi terlebih dahulu, dengan tujuan meminimalisir timbulnya cacat. Sehingga proses produksi lebih optimal dan tidak memakan waktu yang lebih lama.
- b. Sebelum memulai proses produksi, sebaiknya mempertimbangkan terlebih dahulu profil dari produk yang akan dibuat. Hindari pendesainan produk dengan sisi yang memiliki perbedaan ketebalan cukup tinggi karena akan menghasilkan cacat *shrinkage* yang cukup besar.
- c. Untuk melakukan simulasi, lebih baik dengan menggunakan perangkat komputerisasi dengan kriteria tinggi, agar proses simulasi tidak memakan waktu yang cukup lama.
- d. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan perhitungan biaya pembuatan cetakan dan biaya produksi dengan berdasar

kepada ilmu ekonomi teknik, sehingga keseluruhan total biaya dapat diprediksi dan dipilih yang terbaik.



DAFTAR PUSTAKA

- Alexrh2010's Blog, 2011. (1) *DASAR KALKULASI DESIGN PRODUK PLASTIK DAN MOLDING (Bagian – 1)*. <http://alexrh2010.wordpress.com/2011/04/24/1-dasar-kalkulasi-design-produk-plastik-dan-molding-bagian-1/> [15 September 2014]
- Alexrh2010's Blog, 2011. (2) *DASAR KALKULASI DESIGN PRODUK PLASTIK DAN MOLDING (Bagian – 2)*. <http://alexrh2010.wordpress.com/2011/04/24/1-dasar-kalkulasi-design-produk-plastik-dan-molding-bagian-2/> [15 September 2014]
- Alexrh2010's Blog, 2011. (3) *DASAR KALKULASI DESIGN PRODUK PLASTIK DAN MOLDING (Bagian – 3)*. <http://alexrh2010.wordpress.com/2011/04/24/1-dasar-kalkulasi-design-produk-plastik-dan-molding-bagian-3/> [15 September 2014]
- Alexrh2010's Blog, 2011. (4) *DASAR KALKULASI DESIGN PRODUK PLASTIK DAN MOLDING (Bagian – 4)*. <http://alexrh2010.wordpress.com/2011/04/24/1-dasar-kalkulasi-design-produk-plastik-dan-molding-bagian-4/> [15 September 2014]
- Alexrh2010's Blog, 2011. (5) *DASAR KALKULASI DESIGN PRODUK PLASTIK DAN MOLDING (Bagian – 5)*. <http://alexrh2010.wordpress.com/2011/04/24/1-dasar-kalkulasi-design-produk-plastik-dan-molding-bagian-5/> [15 September 2014]
- Anggono, Dwi A. 2005. *Prediksi Shrinkage untuk Menghindari Cacat Produk pada Plastic Injection*. MEDIA MESIN Vol. 6 No. 2. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Atmaja, B. 2010. *Optimasi Desain Injection Molding dengan Menggunakan Software Simulasi Moldflow*. Teknik Mesin Universitas Jember.
- Hermawan, Yuni dan Astika, Made. 2009. *Optimasi Waktu Siklus Pembuatan Kemasan Produk Chamomile 120 Ml pada Proses Blow Molding*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram Vol. 3 No. 1. Teknik Mesin. Universitas Udayana.
- Jamaludin, A. 2007. *Injection Molding dan Penerapannya di Industri Manufaktur*. Bandung: Politeknik Manufaktur Bandung.
- Kimerling, T. 2002. *Injection Molding Cooling Time Reduction and Thermal Stress Analysis*. Amhrest: University of Massachusetts.

Malloy, Robert A. 1994. *Plastic Part Design For Injection Molding*. New York: Hanser Publisher, Munich Vienna New York.

Mujiarto, I. 2005. *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*. Traksi Vol. 3 No. 2. Semarang: AMNI.

Nakazawa, M. tanpa tahun. “*Mold Basic Design Text Book*” . Indonesia Mold & Dies Industry Association (IMDIA), JETRO (Japan External Trade Organization).

Sugondo, A. 2007. *Minimalisasi Cacat dengan Pengaturan Tekanan Terhadap Kualitas Produk pada Proses Injection Molding dengan Menggunakan Simulasi*. TEKNO SIM 2007. Yogyakarta: UGM.

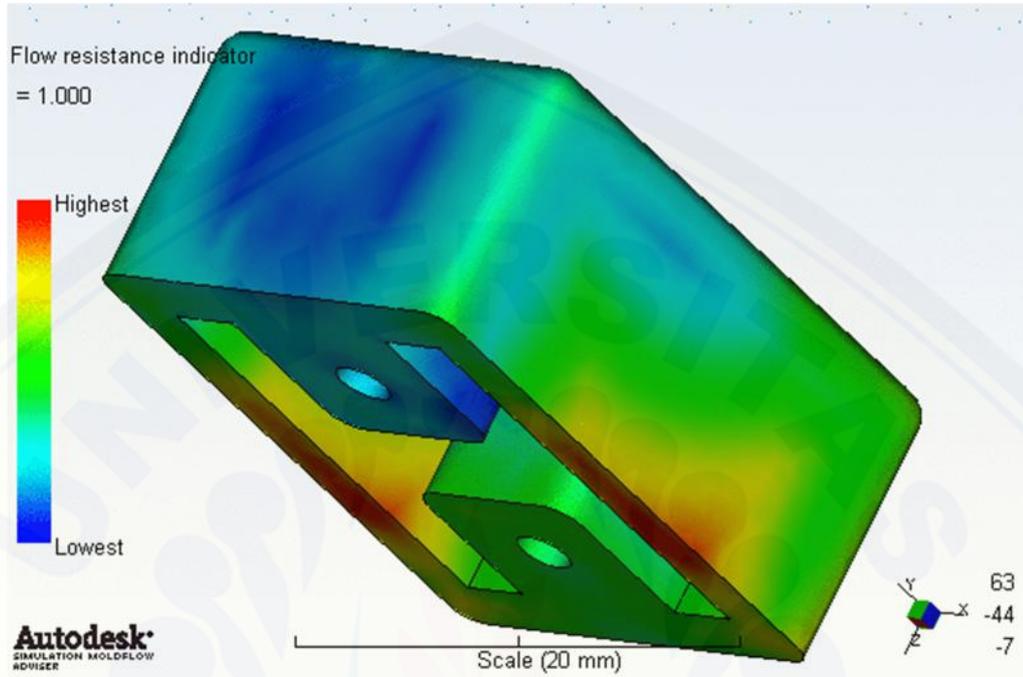
Syaifi, A. 2012. *Analisis Pengaruh Variasi Waktu Proses (Cycle Time) Terhadap Cacat Berat Tutup Ekan Plastik pada Proses Injection Molding*. Teknik Mesin Universitas Jember.

Stevens, Malcolm P. 2001. *Kimia Polimer*. Jakarta : Pradnya Paramita.

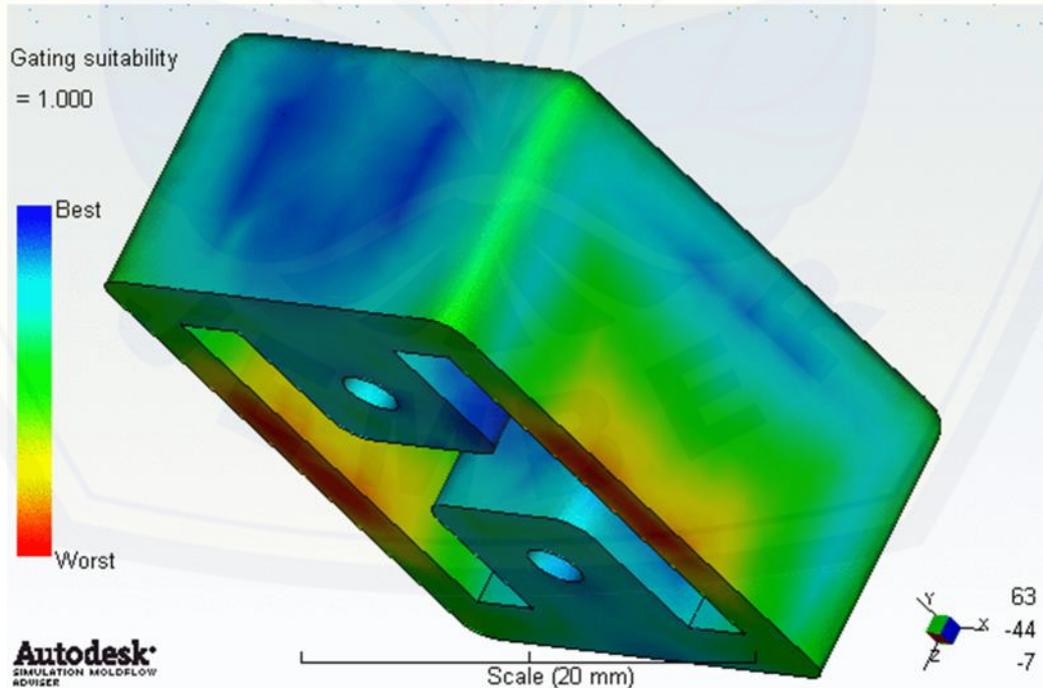
LAMPIRAN HASIL ANALISIS

1. GATE ANALYSIS

Analysis Flow Resistance Indicator



Analysis Gate Suitability



2. MOLDING WINDOW DESAIN 1



Molding Window						Analysis time: 3003.78 (s)
Materials						
Environmental impact	Manufacturer	Trade name	Family	Filler	Optimum point	
	Generic Default	Generic PP	PP	NONE	Mold temperature: 42.2 (C) Melt temperature: 241.1 (C) Injection time: 0.61 (s)	

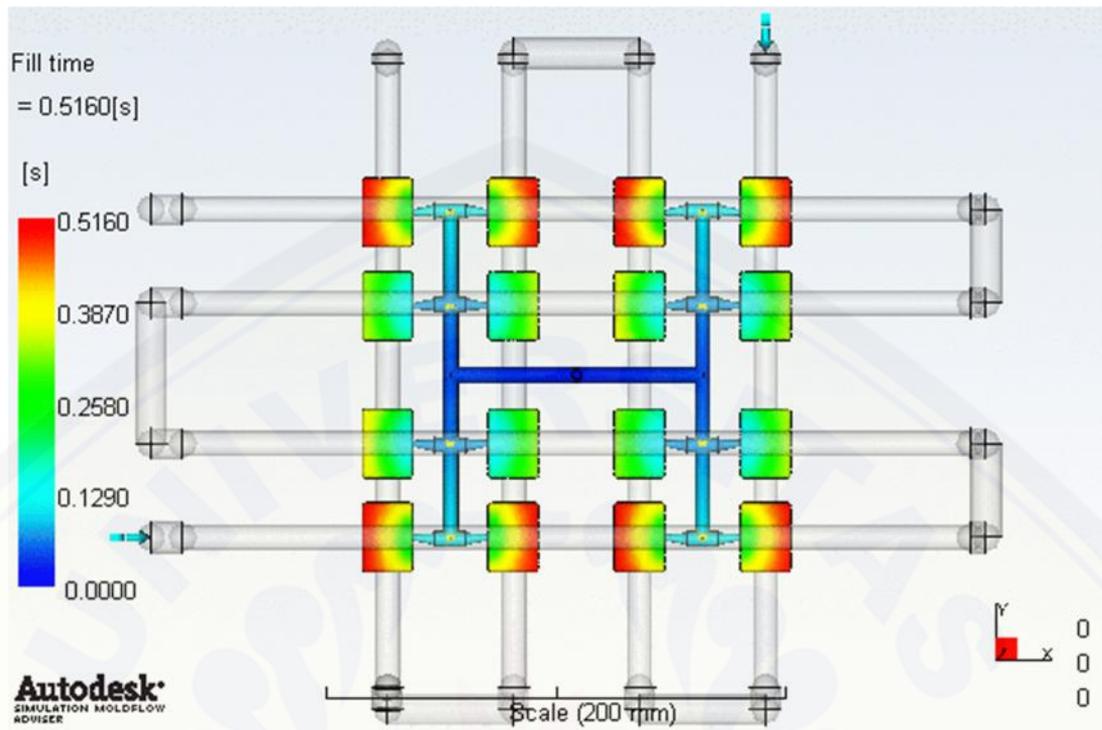
3. MOLDING WINDOW DESAIN 2



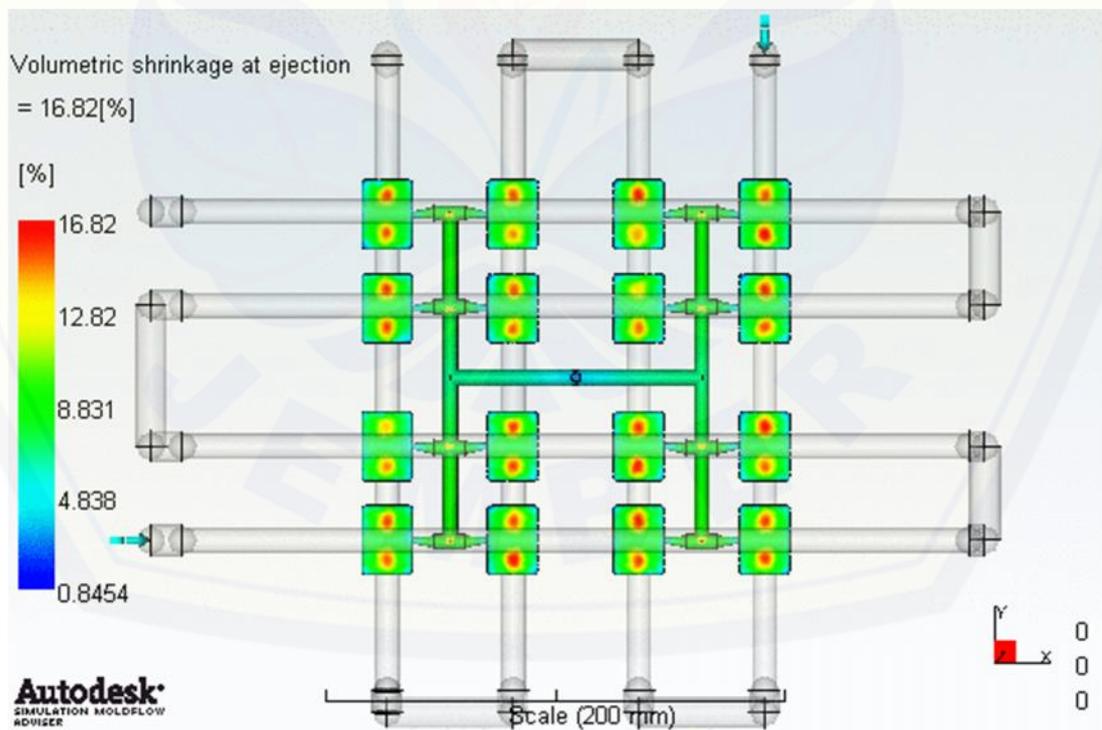
Molding Window						Analysis time: 427.89 (s)
Materials						
Environmental impact	Manufacturer	Trade name	Family	Filler	Optimum point	
	Generic Default	Generic PP	PP	NONE	Mold temperature: 51.1 (C) Melt temperature: 241.1 (C) Injection time: 0.59 (s)	

4. PENGUJIAN 1 PADA DESAIN 1

Analisis Fill time



Analisis Shrinkage



Summary Hasil Pengujian 1



General

Material	
Material manufacturer	Generic Default
Material trade name	Generic PP
Environmental impact	 

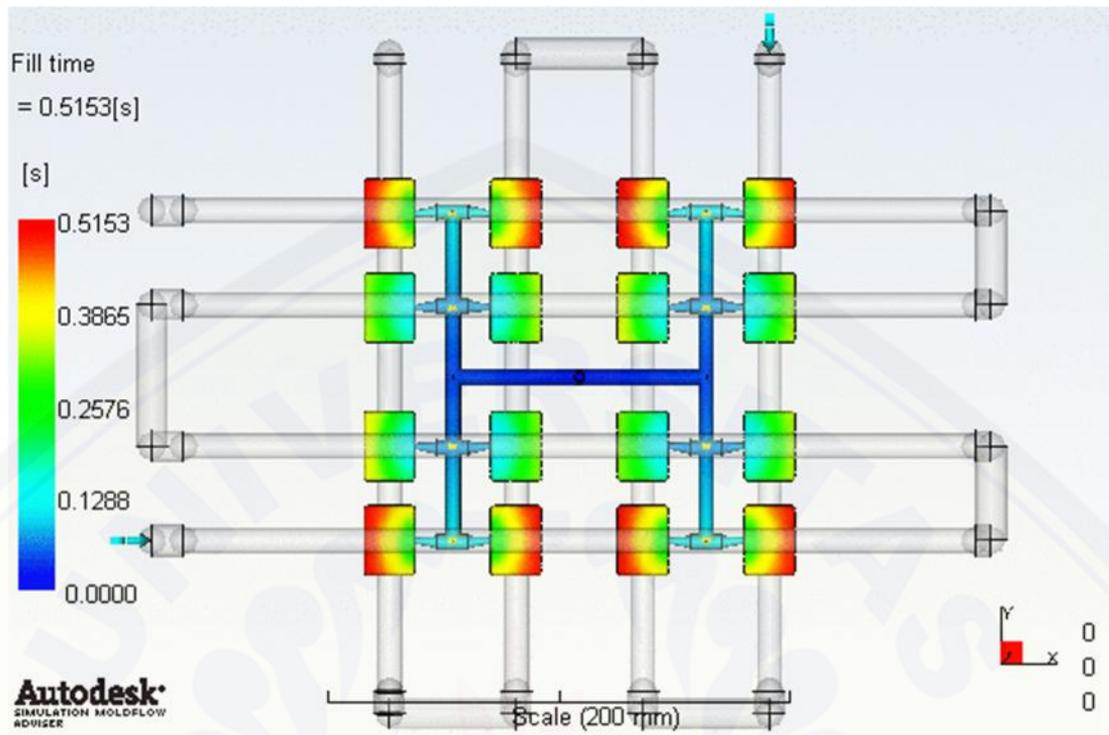
Melt temperature	250.0 (C)
Mold temperature	42.2 (C)
Injection locations	16
Max. machine injection pressure	60.000 (MPa)
Injection time selected	Automatic
Velocity/pressure switch-over	Automatic

Actual filling time	0.52 (s)
Actual injection pressure	31.110 (MPa)
Clamp force area	78.6576 (cm ²)
Max. clamp force during filling	3.888 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.06 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	0.51 (s)
Total part weight at the end of filling	33.869 (g)
Shot volume	51.2036 (cm ³)
Cavity volume	41.8713 (cm ³)
Runner system volume	9.3324 (cm ³)

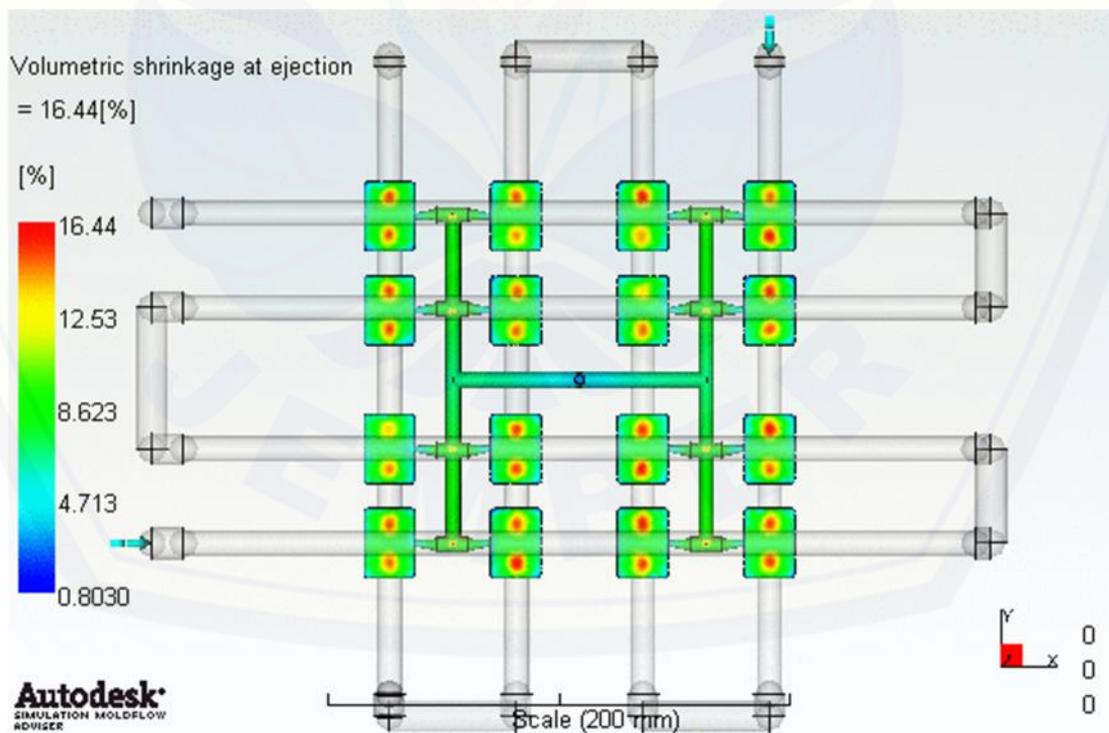
Maximum clamp force during cycle	14.255 (tonne)
Max. wall shear stress	0.222 (MPa)
Total part weight	33.869 (g)
Cooling time	54.66 (s)
Cycle time	70.17 (s)

5. PENGUJIAN 5 PADA DESAIN 1

Analisis Fill Time



Analisis Shrinkage



Summary Hasil Pengujian 5



General

Material	
Material manufacturer	Generic Default
Material trade name	Generic PP
Environmental impact	 

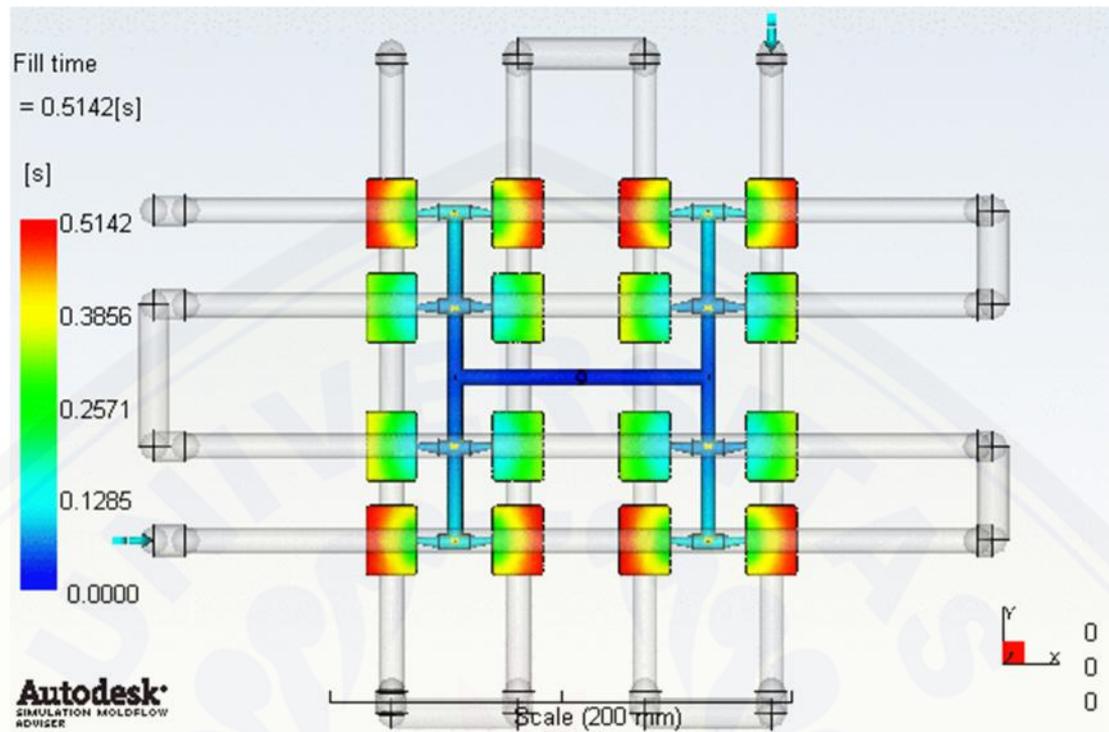
Melt temperature	240.0 (C)
Mold temperature	42.2 (C)
Injection locations	16
Max. machine injection pressure	60.000 (MPa)
Injection time selected	Automatic
Velocity/pressure switch-over	Automatic

Actual filling time	0.52 (s)
Actual injection pressure	31.971 (MPa)
Clamp force area	78.6576 (cm ²)
Max. clamp force during filling	4.033 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.07 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	0.51 (s)
Total part weight at the end of filling	33.963 (g)
Shot volume	51.2036 (cm ³)
Cavity volume	41.8713 (cm ³)
Runner system volume	9.3324 (cm ³)

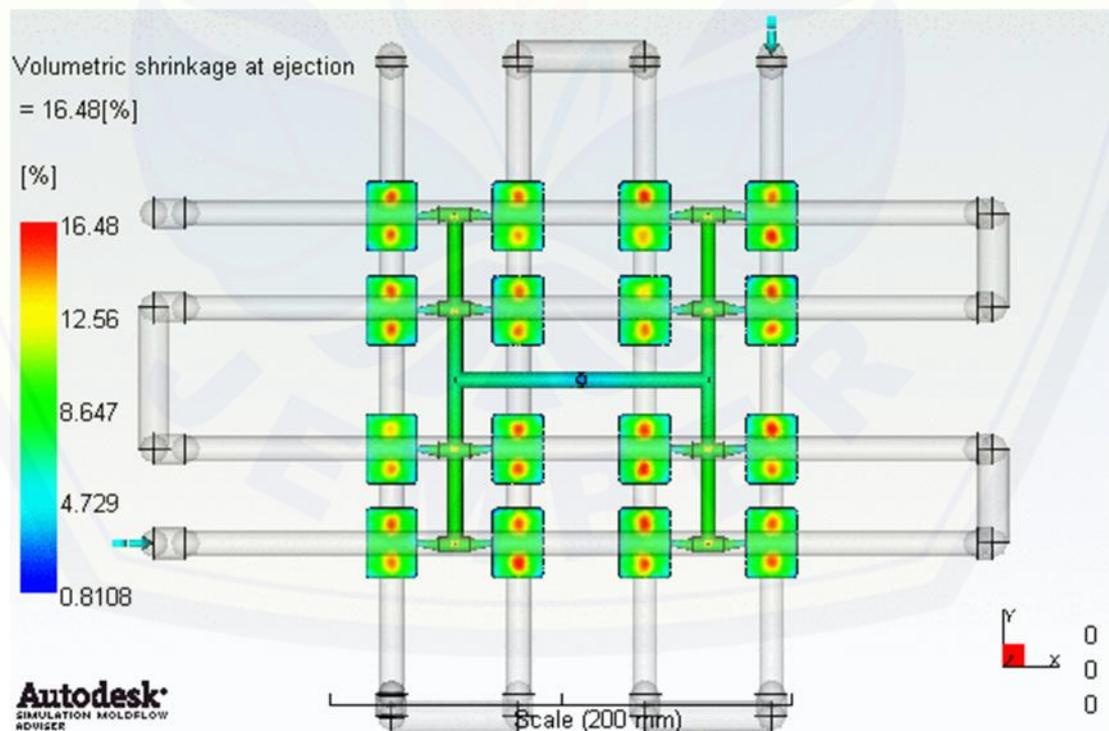
Maximum clamp force during cycle	14.745 (tonne)
Max. wall shear stress	0.230 (MPa)
Total part weight	33.963 (g)
Cooling time	52.97 (s)
Cycle time	68.48 (s)

6. PENGUJIAN 9 PADA DESAIN 1

Analisis Fill Time



Analisis Shrinkage



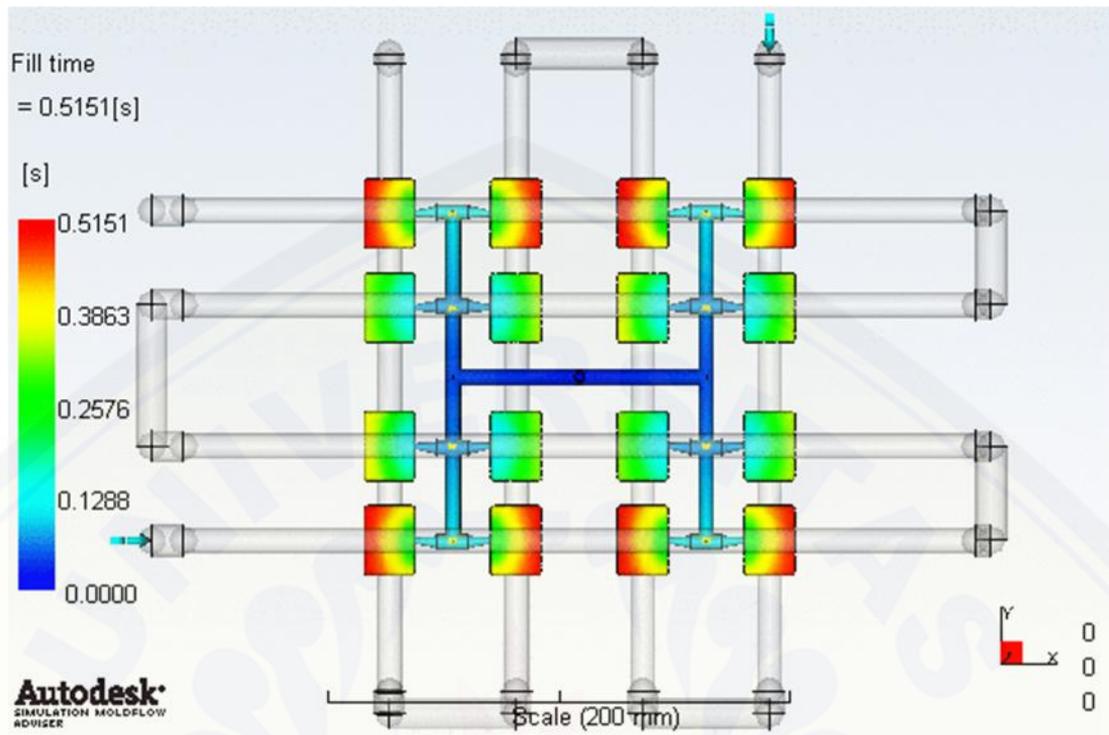
Summary Hasil Pengujian 9



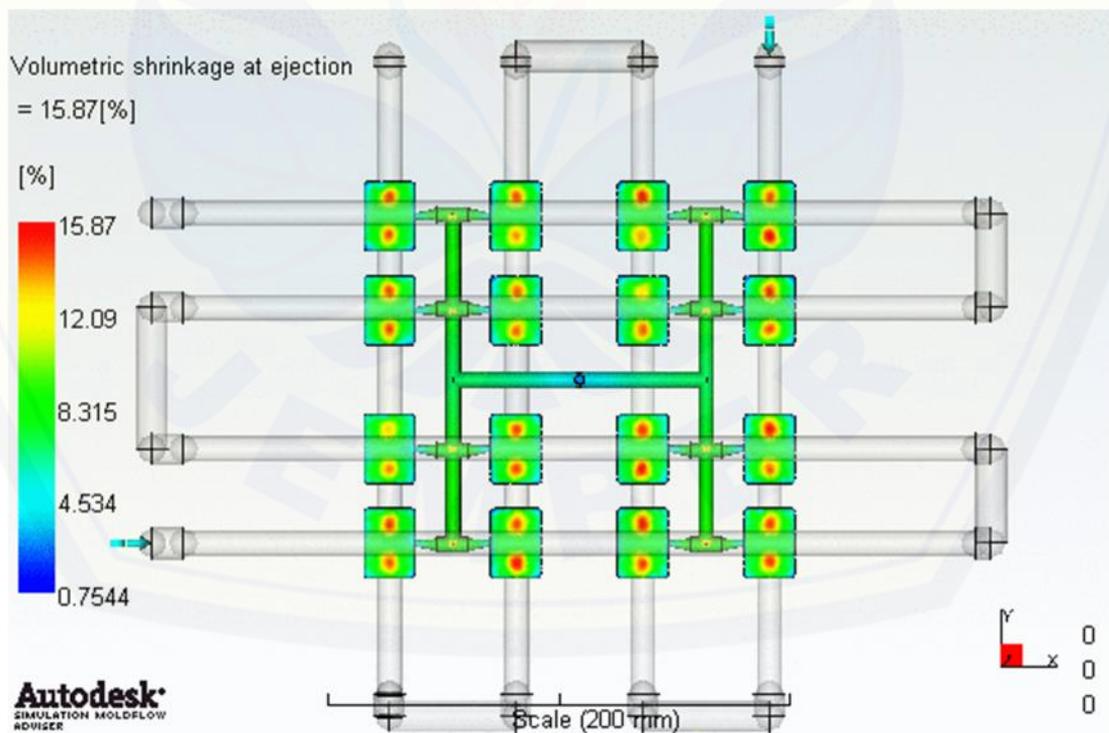
General	
Material	
Material manufacturer	Generic Default
Material trade name	Generic PP
Environmental impact	 
Melt temperature	241.1 (C)
Mold temperature	42.2 (C)
Injection locations	16
Max. machine injection pressure	60.000 (MPa)
Injection time selected	Automatic
Velocity/pressure switch-over	Automatic
Actual filling time	0.51 (s)
Actual injection pressure	31.911 (MPa)
Clamp force area	78.6576 (cm ²)
Max. clamp force during filling	4.059 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.14 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	0.51 (s)
Total part weight at the end of filling	33.956 (g)
Shot volume	51.2036 (cm ³)
Cavity volume	41.8713 (cm ³)
Runner system volume	9.3324 (cm ³)
Maximum clamp force during cycle	14.697 (tonne)
Max. wall shear stress	0.229 (MPa)
Total part weight	33.956 (g)
Cooling time	52.97 (s)
Cycle time	68.48 (s)

7. PENGUJIAN 13 PADA DESAIN 1

Analisis Fill Time



Analisis Shrinkage



Summary Hasil Pengujian 13



General

Material	
Material manufacturer	Generic Default
Material trade name	Generic PP
Environmental impact	

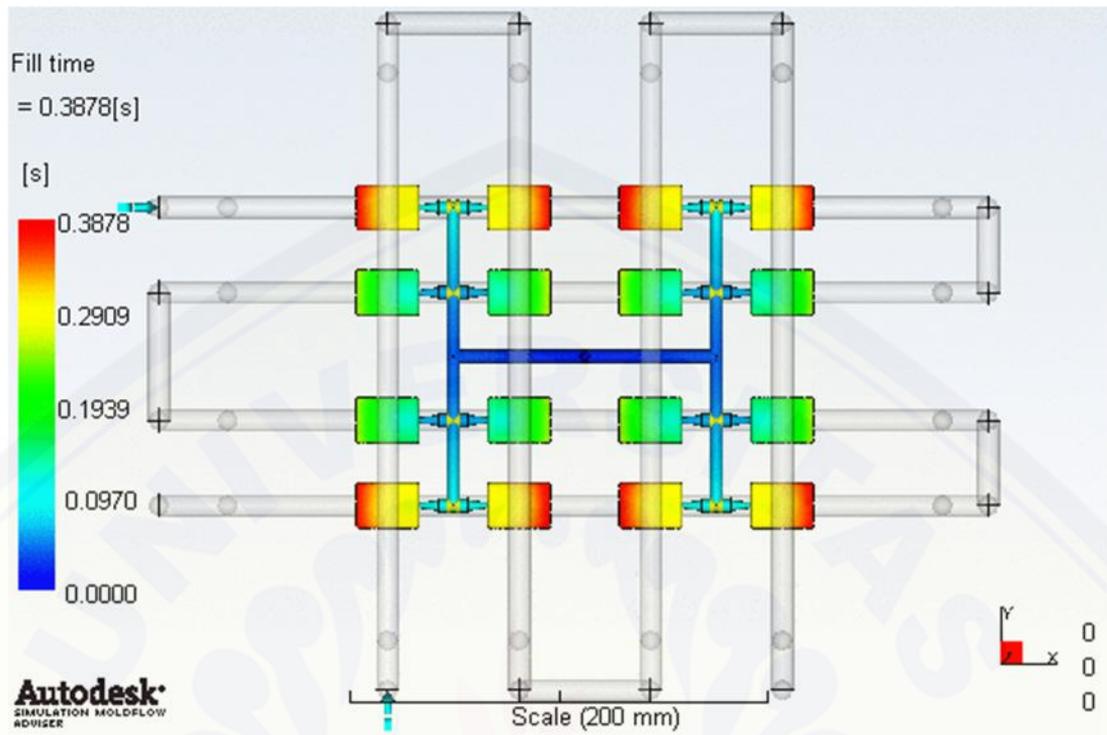
Melt temperature	230.0 (C)
Mold temperature	42.2 (C)
Injection locations	16
Max. machine injection pressure	60.000 (MPa)
Injection time selected	Automatic
Velocity/pressure switch-over	Automatic

Actual filling time	0.52 (s)
Actual injection pressure	33.476 (MPa)
Clamp force area	78.6576 (cm ²)
Max. clamp force during filling	4.539 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.11 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	0.51 (s)
Total part weight at the end of filling	34.070 (g)
Shot volume	51.2036 (cm ³)
Cavity volume	41.8713 (cm ³)
Runner system volume	9.3324 (cm ³)

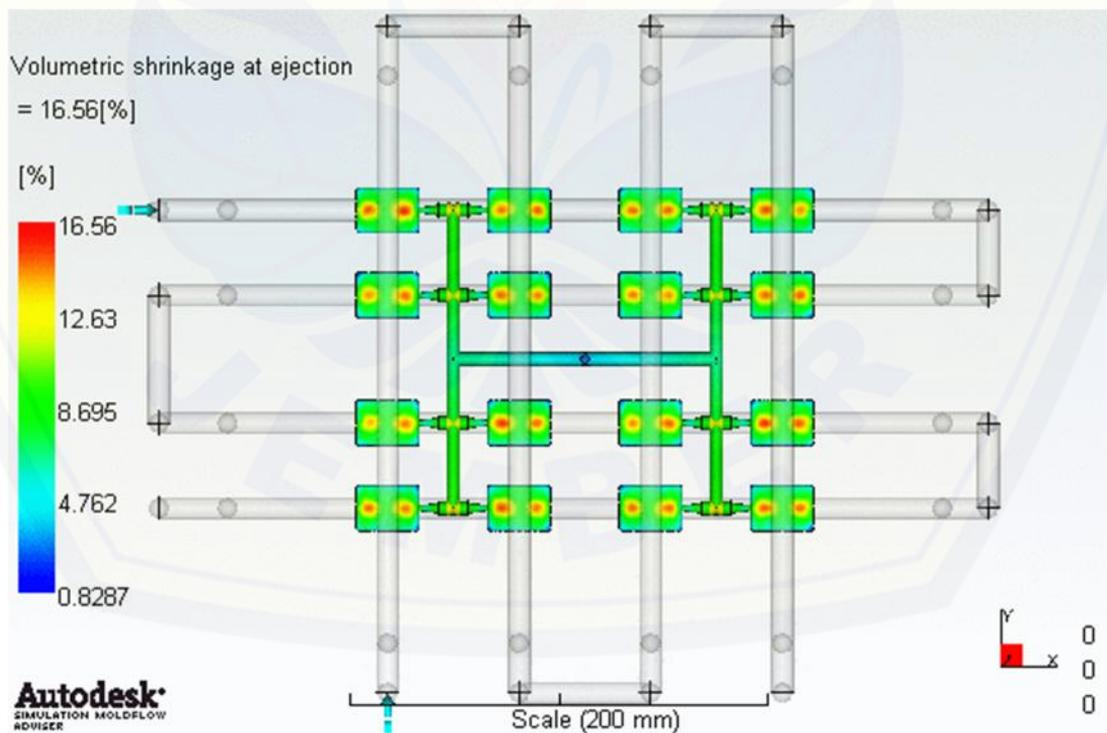
Maximum clamp force during cycle	15.170 (tonne)
Max. wall shear stress	0.238 (MPa)
Total part weight	34.070 (g)
Cooling time	51.06 (s)
Cycle time	66.57 (s)

8. PENGUJIAN 1 PADA DESAIN 2

Analisis Fill Time



Analisis Shrinkage



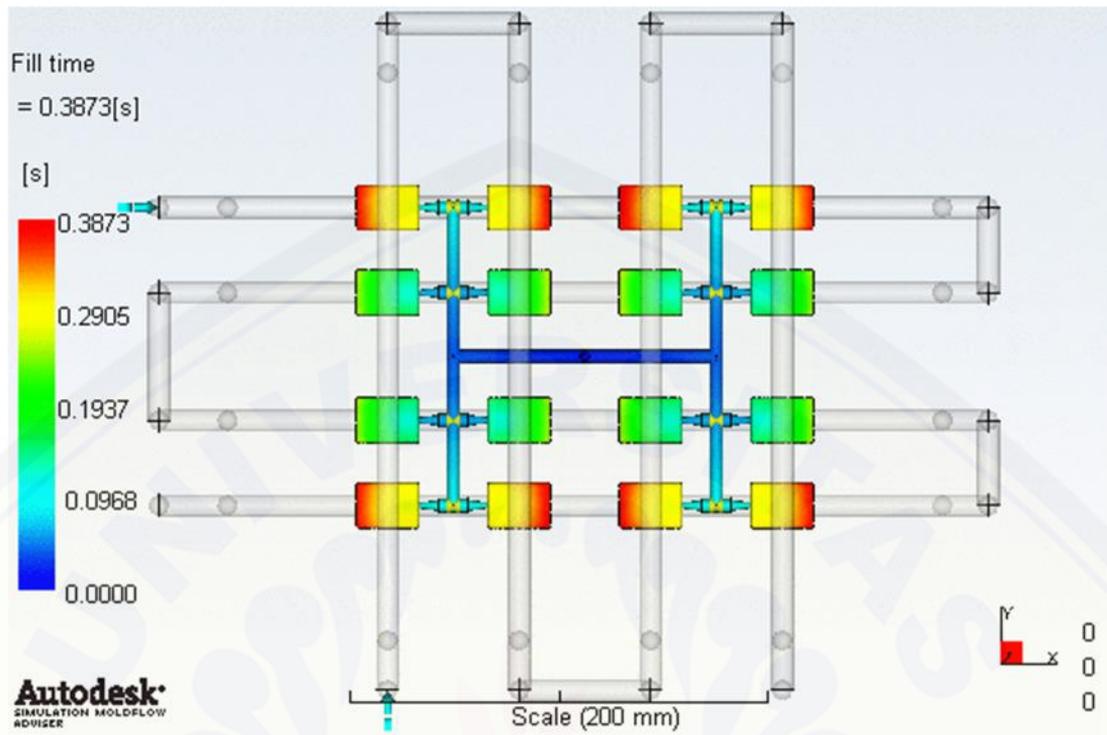
Summary Hasil Pengujian 1



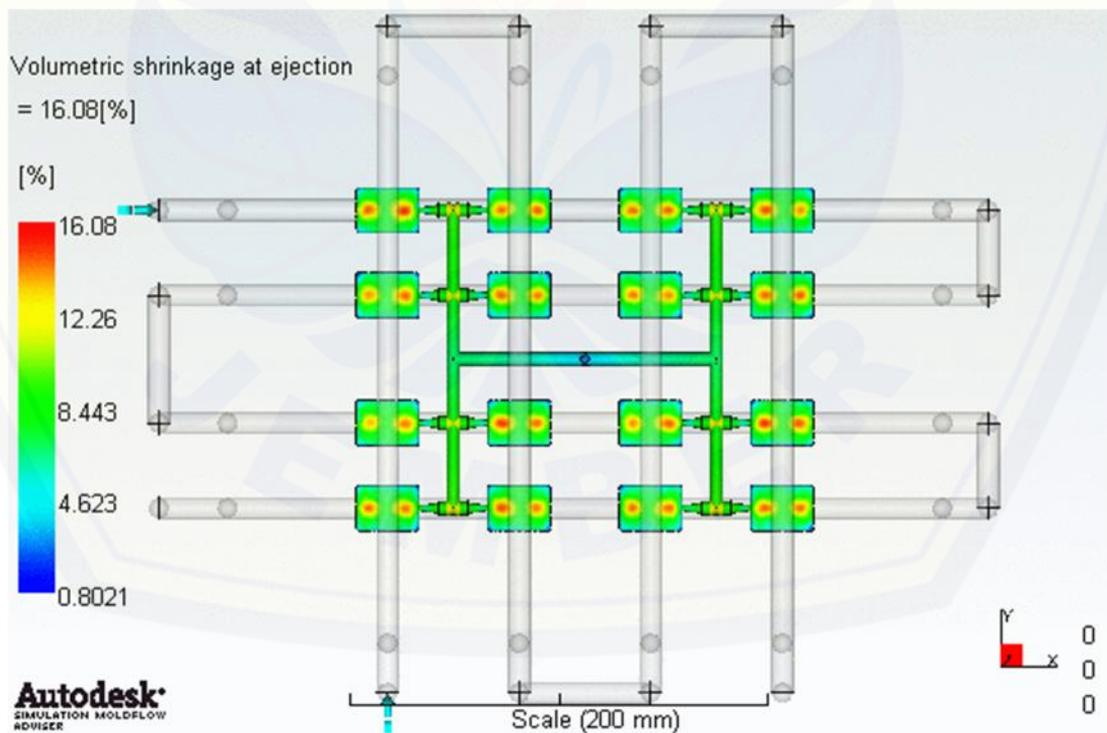
General	
Material	
Material manufacturer	Generic Default
Material trade name	Generic PP
Environmental impact	 
Melt temperature	250.0 (C)
Mold temperature	51.1 (C)
Injection locations	16
Max. machine injection pressure	60.000 (MPa)
Injection time selected	Automatic
Velocity/pressure switch-over	Automatic
Actual filling time	0.39 (s)
Actual injection pressure	33.390 (MPa)
Clamp force area	79.2562 (cm ²)
Max. clamp force during filling	4.050 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.08 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	0.38 (s)
Total part weight at the end of filling	33.963 (g)
Shot volume	51.4377 (cm ³)
Cavity volume	41.8718 (cm ³)
Runner system volume	9.5659 (cm ³)
Maximum clamp force during cycle	16.132 (tonne)
Max. wall shear stress	0.239 (MPa)
Total part weight	33.963 (g)
Cooling time	58.13 (s)
Cycle time	73.52 (s)

9. PENGUJIAN 5 PADA DESAIN 2

Analisis Fill Time



Analisis Shrinkage



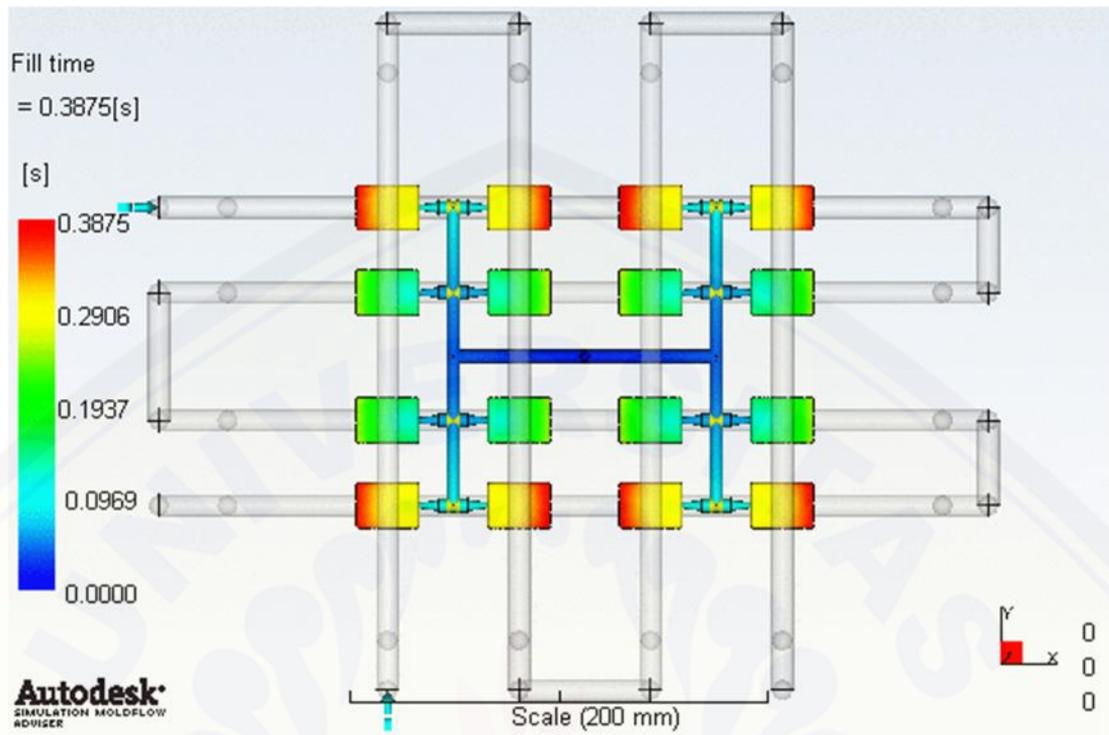
Summary Hasil Pengujian 5



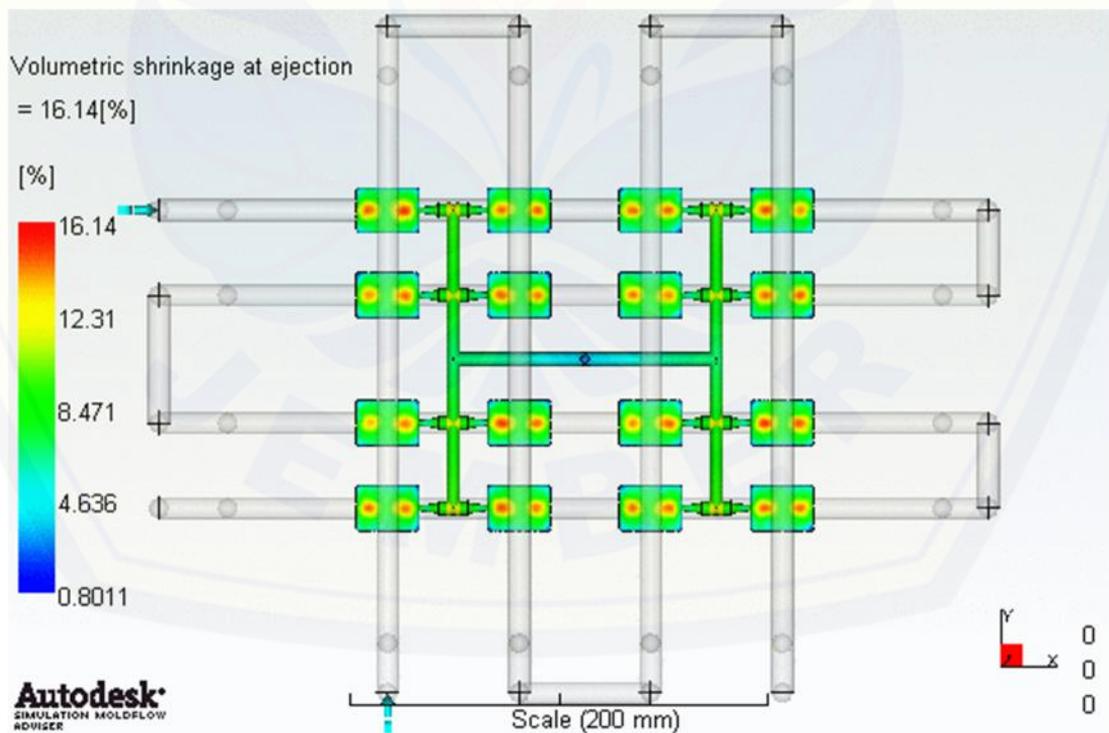
General	
Material	
Material manufacturer	Generic Default
Material trade name	Generic PP
Environmental impact	 
Melt temperature	240.0 (C)
Mold temperature	51.1 (C)
Injection locations	16
Max. machine injection pressure	60.000 (MPa)
Injection time selected	Automatic
Velocity/pressure switch-over	Automatic
Actual filling time	0.39 (s)
Actual injection pressure	34.253 (MPa)
Clamp force area	79.2562 (cm ²)
Max. clamp force during filling	4.185 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.07 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	0.38 (s)
Total part weight at the end of filling	34.059 (g)
Shot volume	51.4377 (cm ³)
Cavity volume	41.8718 (cm ³)
Runner system volume	9.5659 (cm ³)
Maximum clamp force during cycle	16.466 (tonne)
Max. wall shear stress	0.248 (MPa)
Total part weight	34.059 (g)
Cooling time	56.15 (s)
Cycle time	71.53 (s)

10. PENGUJIAN 9 PADA DESAIN 2

Analisis Fill Time



Analisis Shrinkage



Summary Hasil Pengujian 9



General

Material	
Material manufacturer	Generic Default
Material trade name	Generic PP
Environmental impact	 

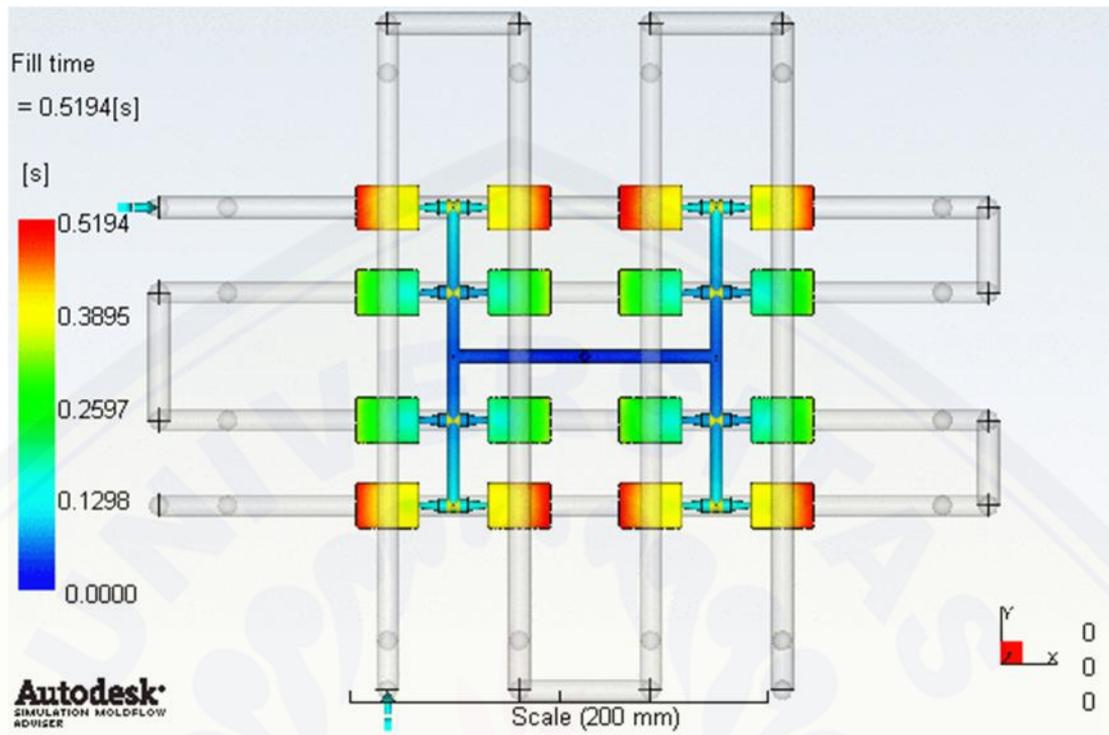
Melt temperature	241.1 (C)
Mold temperature	51.1 (C)
Injection locations	16
Max. machine injection pressure	60.000 (MPa)
Injection time selected	Automatic
Velocity/pressure switch-over	Automatic

Actual filling time	0.39 (s)
Actual injection pressure	34.130 (MPa)
Clamp force area	79.2562 (cm ²)
Max. clamp force during filling	4.159 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.05 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	0.38 (s)
Total part weight at the end of filling	34.047 (g)
Shot volume	51.4377 (cm ³)
Cavity volume	41.8718 (cm ³)
Runner system volume	9.5659 (cm ³)

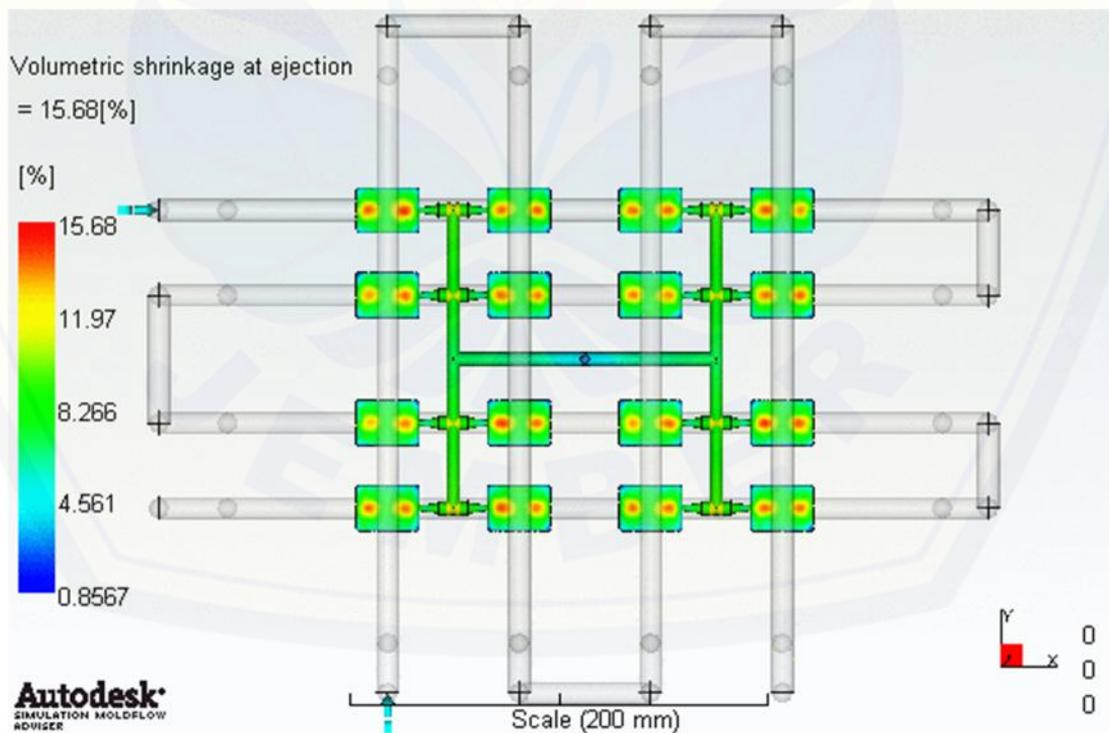
Maximum clamp force during cycle	16.231 (tonne)
Max. wall shear stress	0.247 (MPa)
Total part weight	34.047 (g)
Cooling time	56.26 (s)
Cycle time	71.64 (s)

11. PENGUJIAN 13 PADA DESAIN 2

Analisis Fill Time



Analisis Shrinkage



Summary Hasil Pengujian 13



General

Material	
Material manufacturer	Generic Default
Material trade name	Generic PP
Environmental impact	 

Melt temperature	230.0 (C)
Mold temperature	51.1 (C)
Injection locations	16
Max. machine injection pressure	60.000 (MPa)
Injection time selected	Automatic
Velocity/pressure switch-over	Automatic

Actual filling time	0.52 (s)
Actual injection pressure	33.042 (MPa)
Clamp force area	79.2562 (cm ²)
Max. clamp force during filling	5.045 (tonne)
Velocity/pressure switch-over at % volume	99.12 (%)
Velocity/pressure switch-over at time	0.51 (s)
Total part weight at the end of filling	34.090 (g)
Shot volume	51.4377 (cm ³)
Cavity volume	41.8718 (cm ³)
Runner system volume	9.5659 (cm ³)

Maximum clamp force during cycle	15.218 (tonne)
Max. wall shear stress	0.239 (MPa)
Total part weight	34.090 (g)
Cooling time	55.03 (s)
Cycle time	70.54 (s)

LAMPIRAN TABEL

Tabel Spesifikasi Mesin Injeksi

型號		Model	Unit	KT-400-R			
射出系統	螺桿直徑	Screw Diameter	mm	35	40	45	50
	射出壓力	Injection Pressure	kg/cm ²	2171	1663	1314	1064
	理論射出容量	Theoretical Shot Volume	cm ³	135	176	223	275
	射出量 (PS)	Max. Shot Weight (PS)	g	123	160	203	250
			oz	4.3	5.7	7.2	8.9
	射出率	Injection Rate	cm ³ /sec	118	154	195	241
	螺桿行程	Screw Stroke	mm		140		
	螺桿轉數	Screw Speed Max.	rpm		0-250		
	射嘴接觸力	Nozzle Contact Force	tons		2.9		
	射嘴行程	Nozzle Retraction Stroke	mm		220		
鎖模系統	溫度控制段數	Number of Temperature Control	-		4		
	料斗容量	Material Hopper Capacity	ℓ		30		
	鎖模力	Clamping Force	tons		85		
	開模力	Opening Force	tons		10.5		
	模板尺寸	Platen Size	mm		-		
	柱內間距	Distance Between Tie Bars	mm		-		
	最小模厚	Min. Mold Height	mm		200/250		
	開模行程	Opening Stroke	mm		250		
	最大開模距離	Max. Open Daylight	mm		450/500		
	頂出力	Ejector Force	tons		2.1		
滑模系統	頂出行程	Ejector Stroke	mm		75		
	滑模行程	Slide Stroke	mm		1000		
	圓盤站數	Rotary Station	-		2-4		
	最大模具重量	Max. Mold Weight	kg		150x2/100x3		
	滑模定位精度	Station Accuracy	mm		±0.02		
油壓電力系統	最大液壓壓力	Max. Hydraulic Pressure	kg/cm ²		140		
	泵浦吐出量	Pump Output	liters/min		110-20		
	作動油量	Oil Reservoir Capacity	liters		230		
	冷却水用量	Cooling Water Consumption	liters/hr		2000-2800		
	油壓馬達電力	Pump Motor Power	kw		15		
	電熱管量	Barrel Heating Power	kw		5.6		
其他	總用電量	Total Wattage	kw		20.6		
	機器重量	Machine Weight	tons		4.1		
	機器外型尺寸	Machine Dimensions (L x W x H)	m		2750 x 1600 x 2730/2780		
	付船重量	Shipping Weight	tons				
	付船尺碼	Shipping Measurements (L x W x H)	m				

©機床自設計變更之權利，恕不另行通知。

Tabel Pengambilan Data Parameter Produksi produk paku kotak

Produk	Paku Kotak PP 16×22×10	
Tanggal Produksi	mulai	Juni 2012
	selesai	September 2012
Jumlah Produksi	pcs	60.000
	kg	-
Bahan	Polypropylene	
Mesin	MV NISSEI-150NG	
Temperatur Leleh	250°C	
Tekanan Injeksi	60 Mpa	
Tekanan Clamping	1 ton	
Temperatur Mold	42° C	
Waktu Injeksi	-	
Waktu Hold	5-8 detik	
Waktu Cooling	35-40 detik	
Pendingin	Air	
Suhu Pendingin	30	
Debit Pendingin	10 liter/detik	

LAMPIRAN FOTO

Mesin injeksi vertikal Nissei-150NG di PT. Prima Sakti



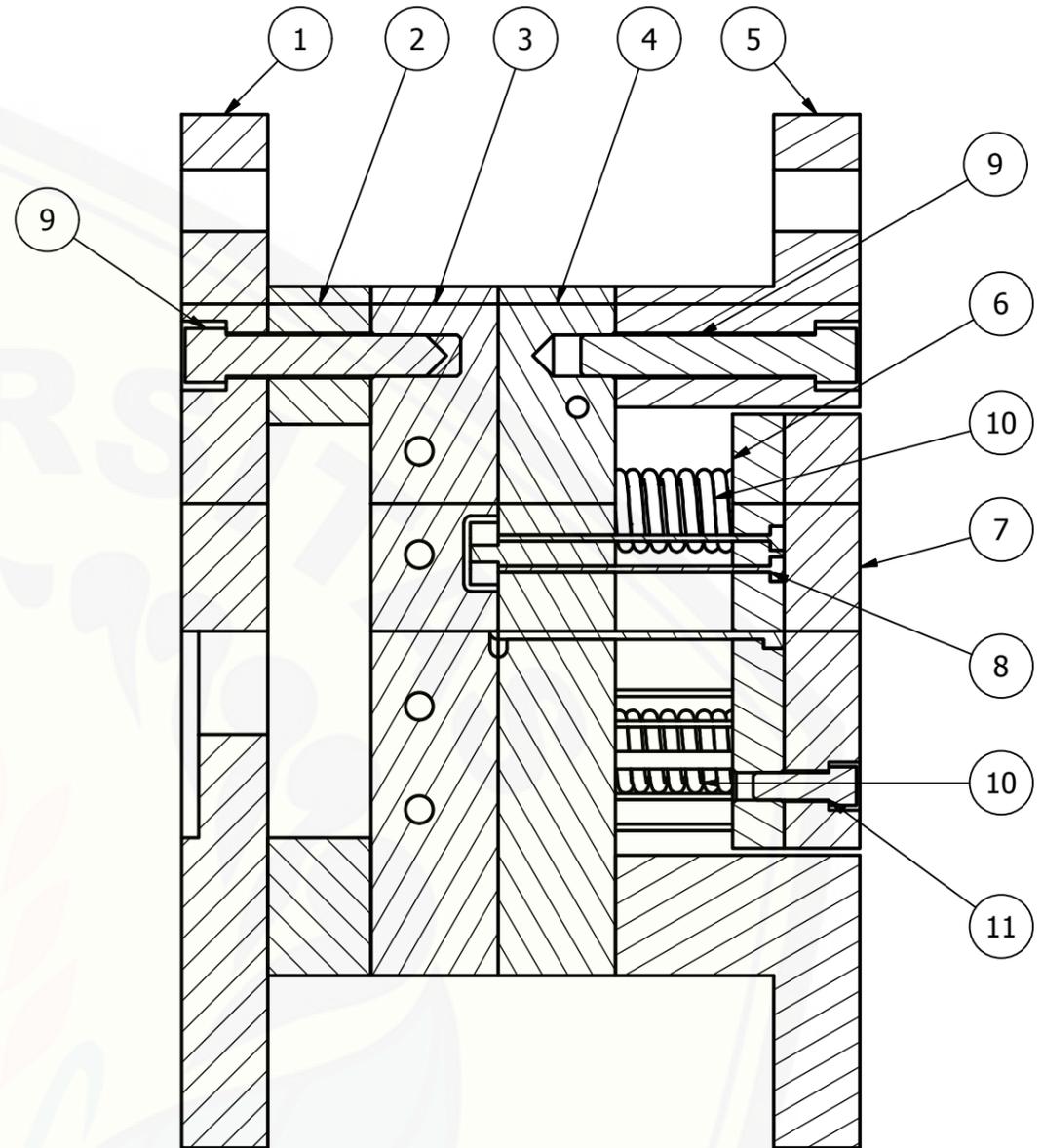
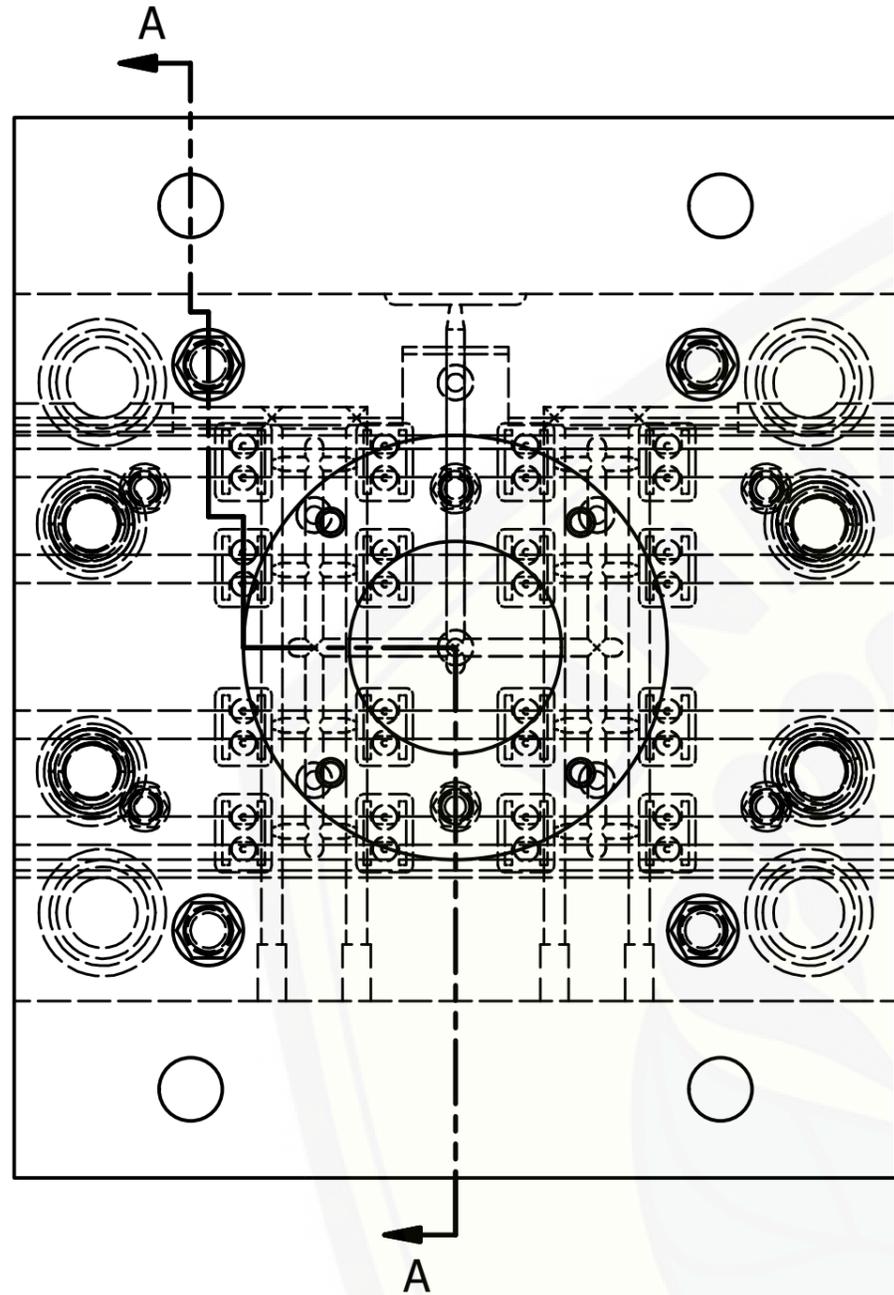


LAMPIRAN DESAIN

Tabel Perbedaan Desain 1 (Mold Original) dan Desain 2 (Mold Variasi)

No	Parameter	Desain 1	Desain 2
1	<i>Hose diameter</i> (mm)	10	8
2	Jarak <i>hose</i> dengan <i>parting line</i> (mm)	23	18
3	Jumlah <i>cavity</i>	16	16
4	Diameter awal <i>sprue</i> (mm)	5	5
5	Diameter akhir <i>sprue</i> (mm)	7	7
6	Diameter <i>runner 1</i> (mm)	7	7
7	Diameter <i>runner 2</i> (mm)	5,5	5,5
8	Diameter <i>gate</i> (mm)	1,2	1,2

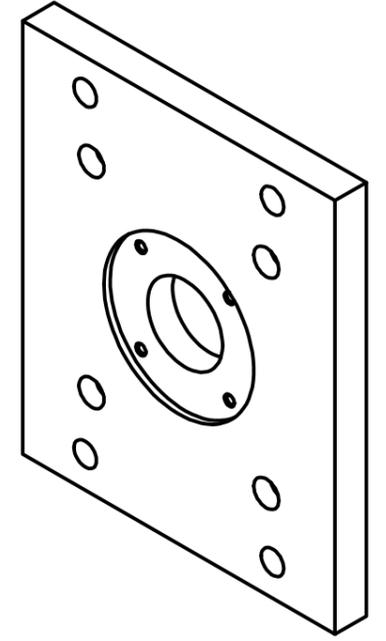
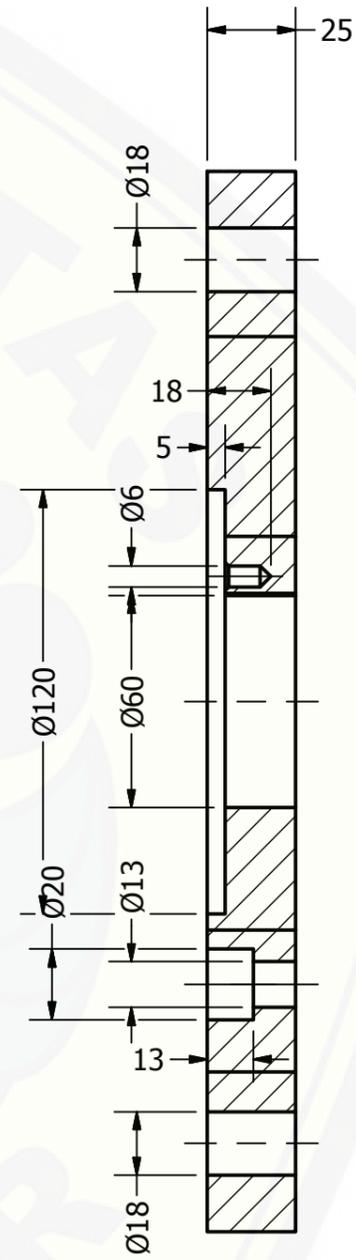
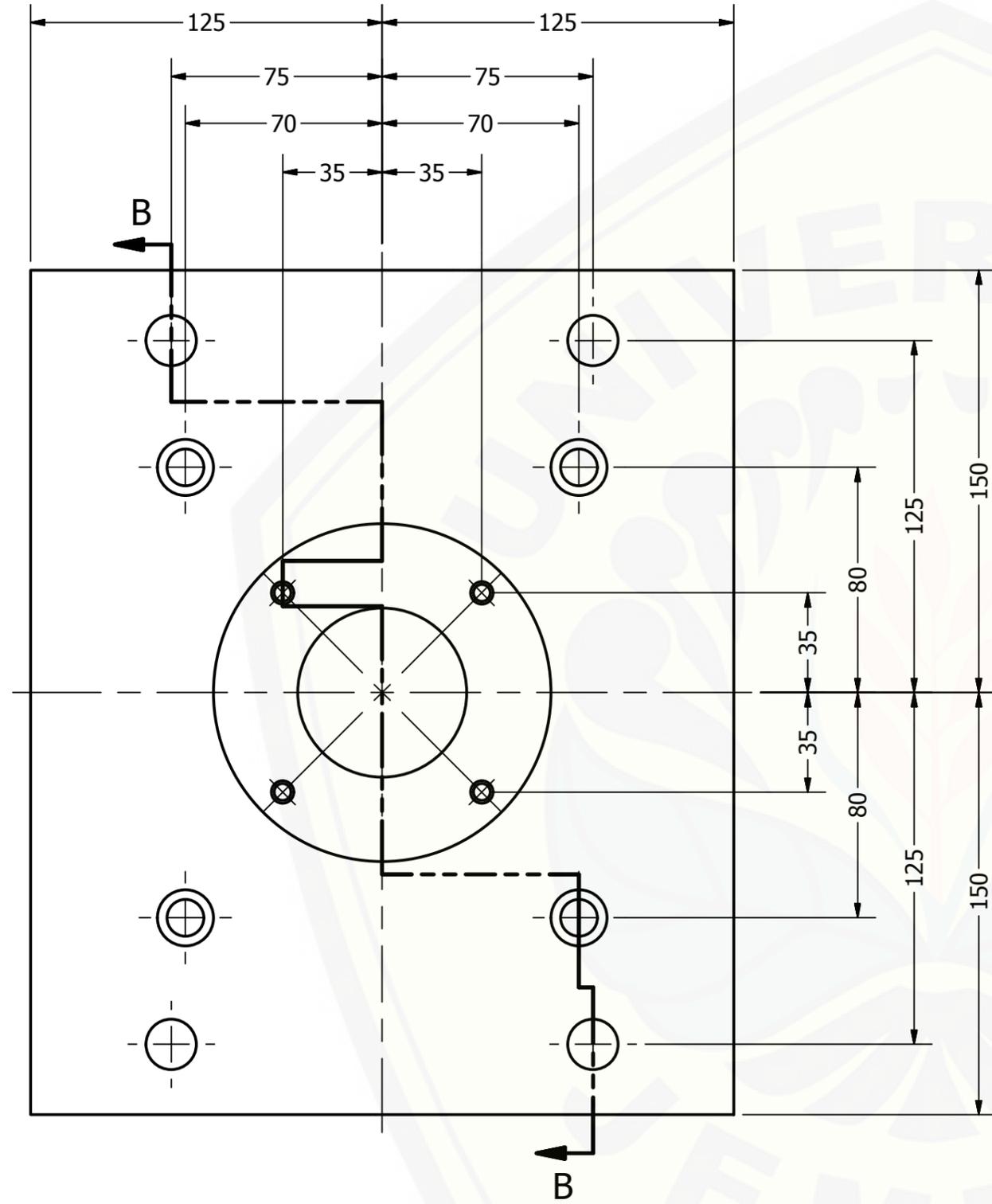
Untuk penjabaran desain 1 (mold original) dan mold 2 (mold variasi) yang lebih detail mengenai ukuran dan perbedaannya, akan ditampilkan di halaman berikutnya.



SECTION A-A

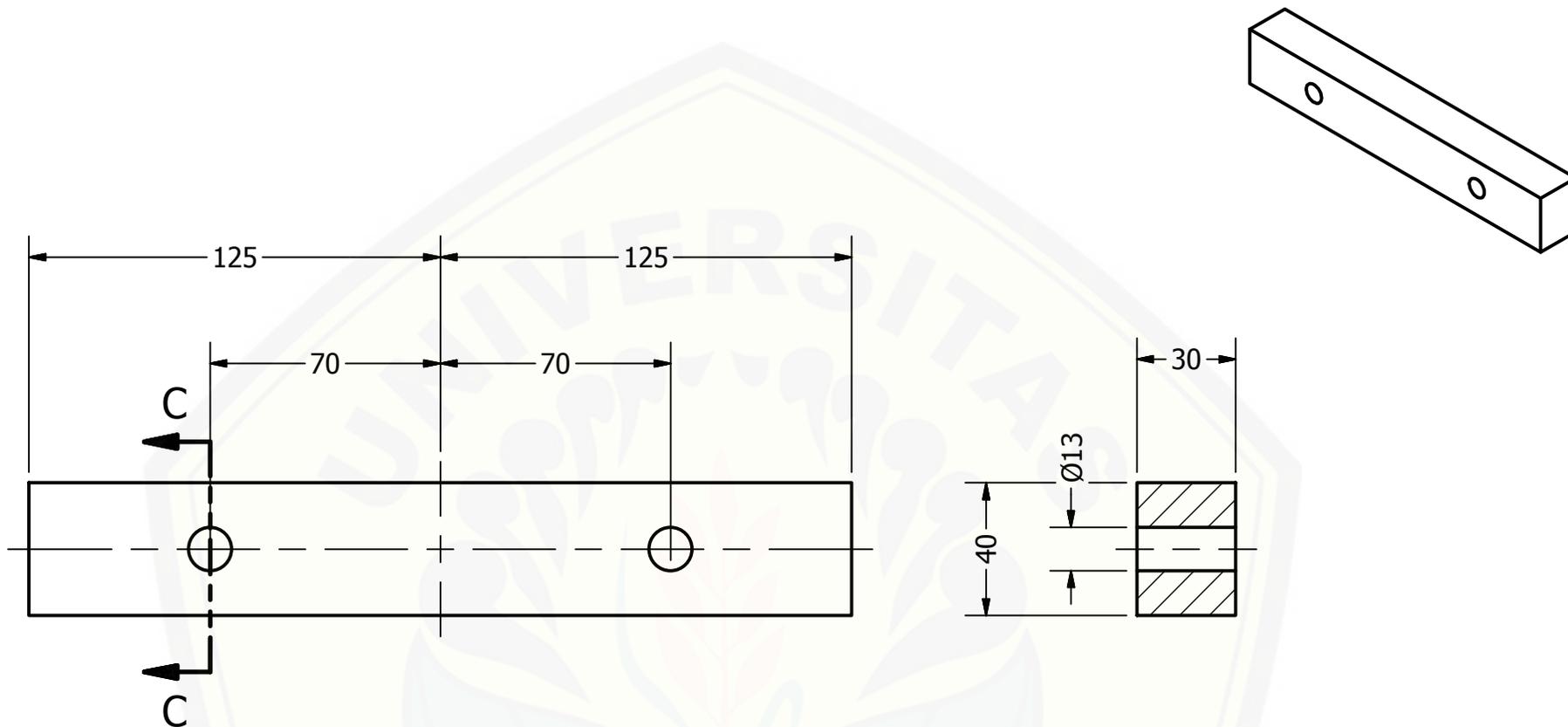
11	4	BOLT	STANDART	M12x40	-
10	4	COIL SPRING	STANDART	CSF 30-60	-
9	4	GUIDE PIN	STANDART	SPWS 20-70	-
8	32	EJECTOR PIN	STANDART	EPC 1.7-100	-
7	1	EJECTOR CLAMP PLATE	ST	22x126x250	-
6	1	EJECTOR PLATE	ST	15x126x250	-
5	1	SPACER BLOCK	ST	35x75x250	-
4	1	MALE PLATE	SLD	42x200x250	DIHARDENING SAMPAI 52 HRC
3	1	FEMALE PLATE	2311/2760	37x200x250	DIHARDENING SAMPAI 52 HRC
2	2	UPPER SPACER	ST	30x200x250	-
1	1	TOP PLATE	ST	25x250x300	-
NO	JUMLAH	NAMA	BAHAN	UKURAN	KETERANGAN

MATERIAL : -	UKURAN : -	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		ASSEMBLY	
		NO	A3



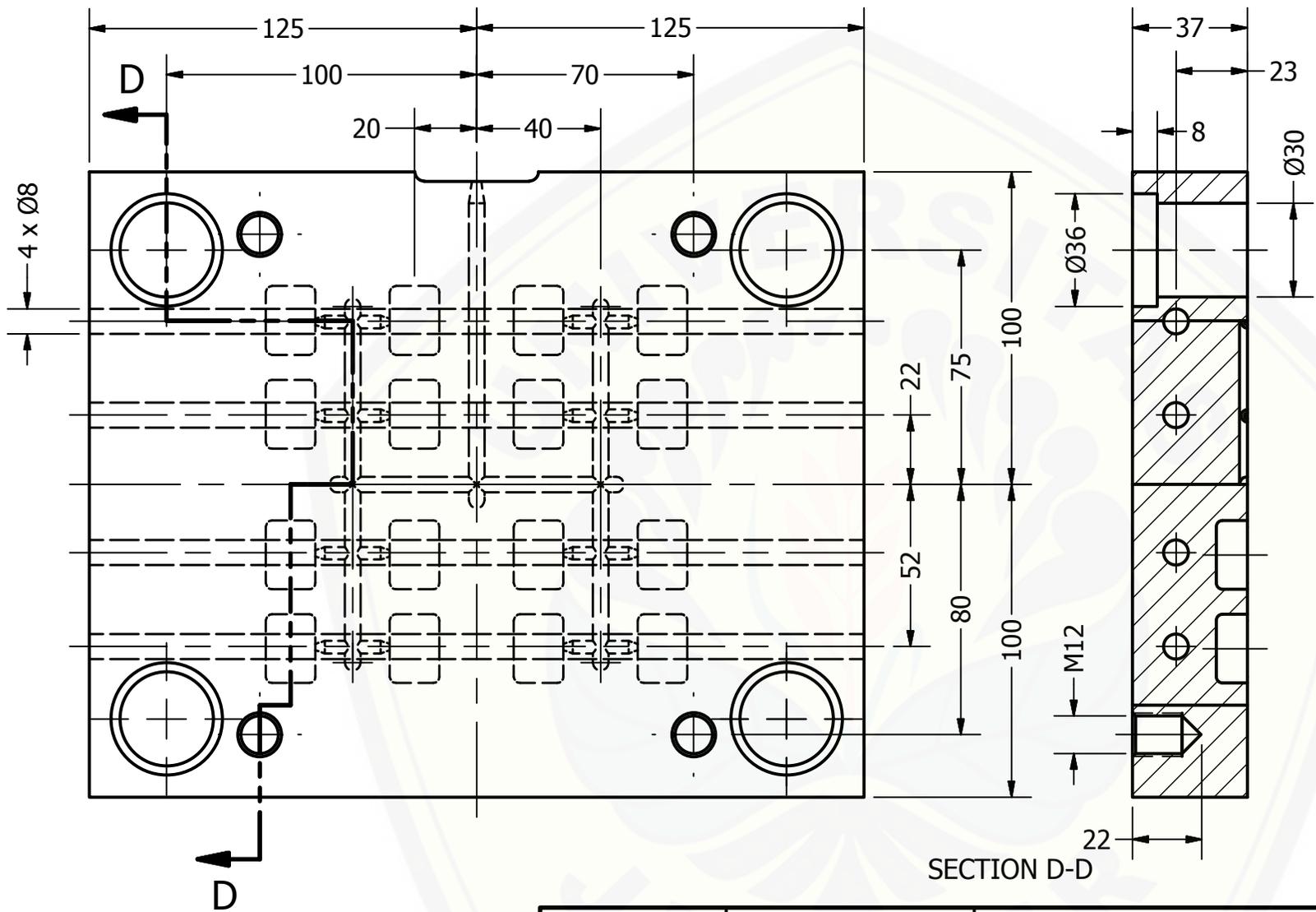
SECTION B-B

MATERIAL : ST	UKURAN : 25x250x300	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		TOP PLATE	
		NO	A3



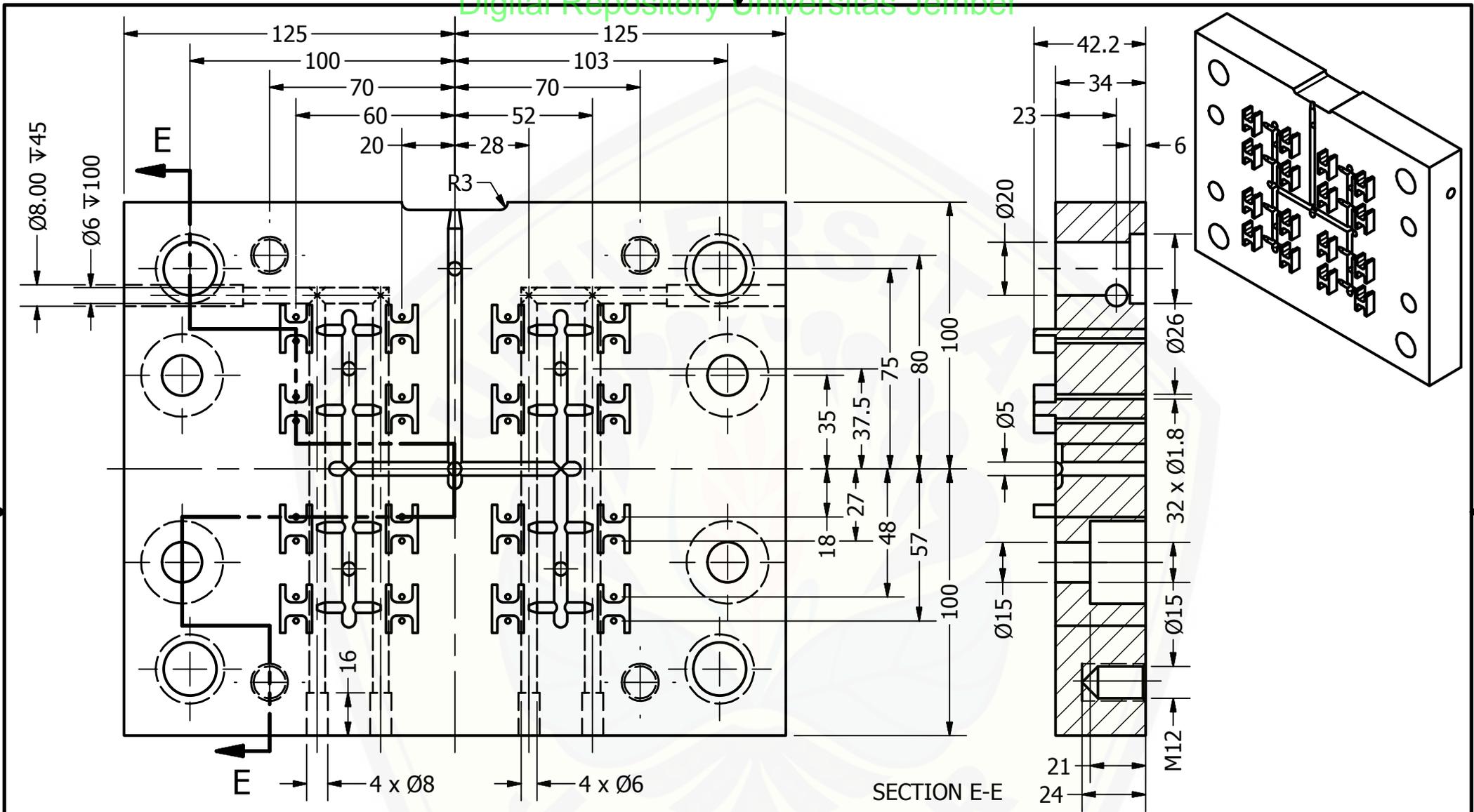
SECTION C-C

MATERIAL : ST	UKURAN : 30x40x250	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		UPPER SPACER	
		NO	A4

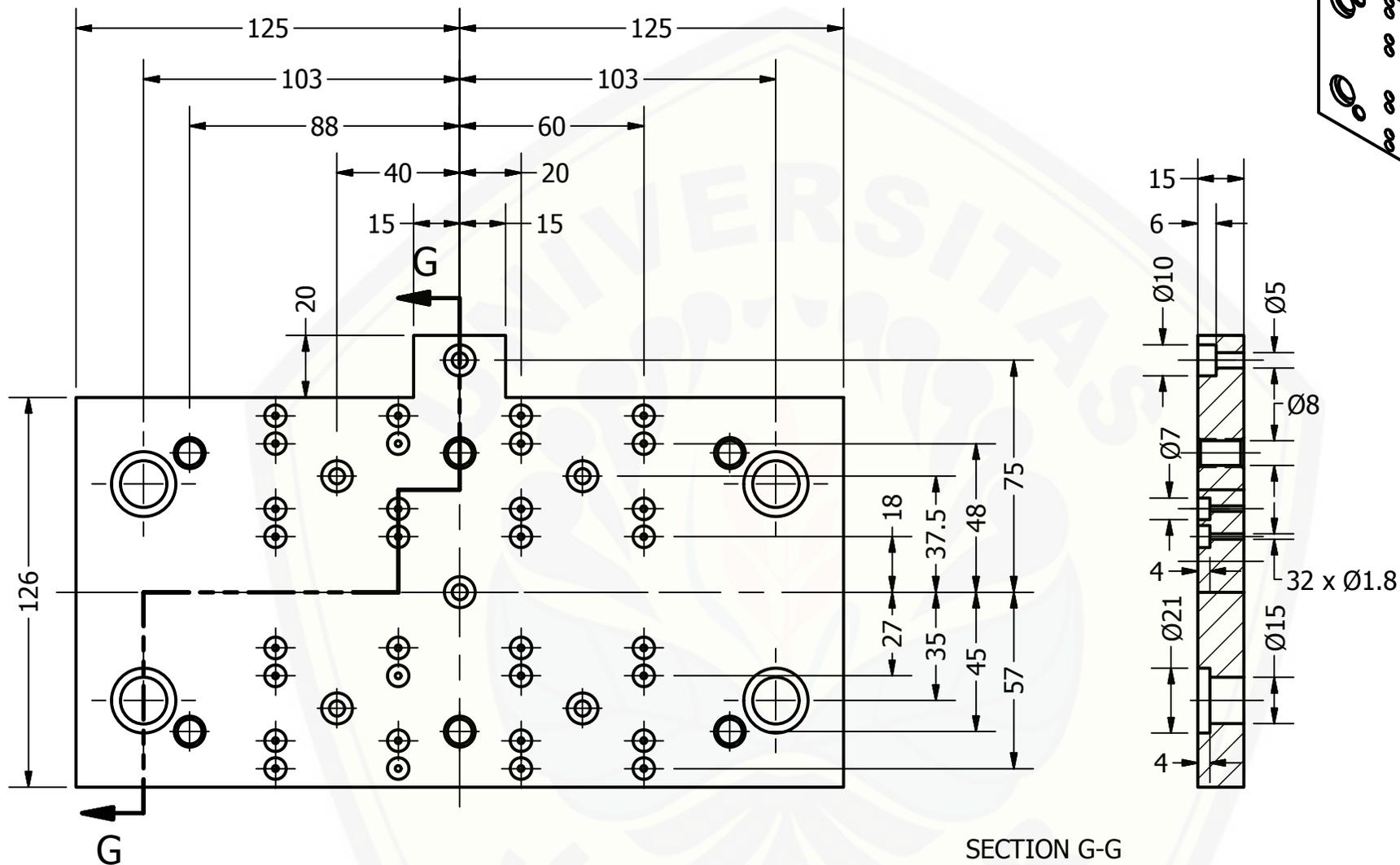


SECTION D-D

MATERIAL : 2311/2760	UKURAN : 37x200x250	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		FEMALE PLATE	
		NO	A4

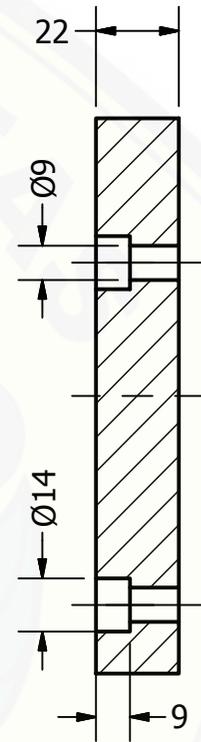
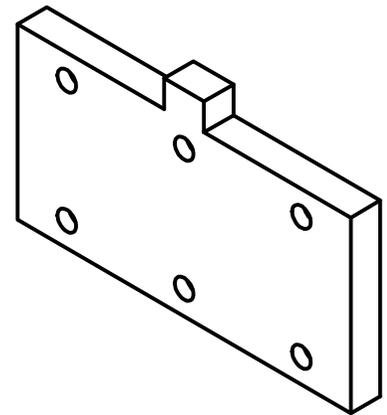
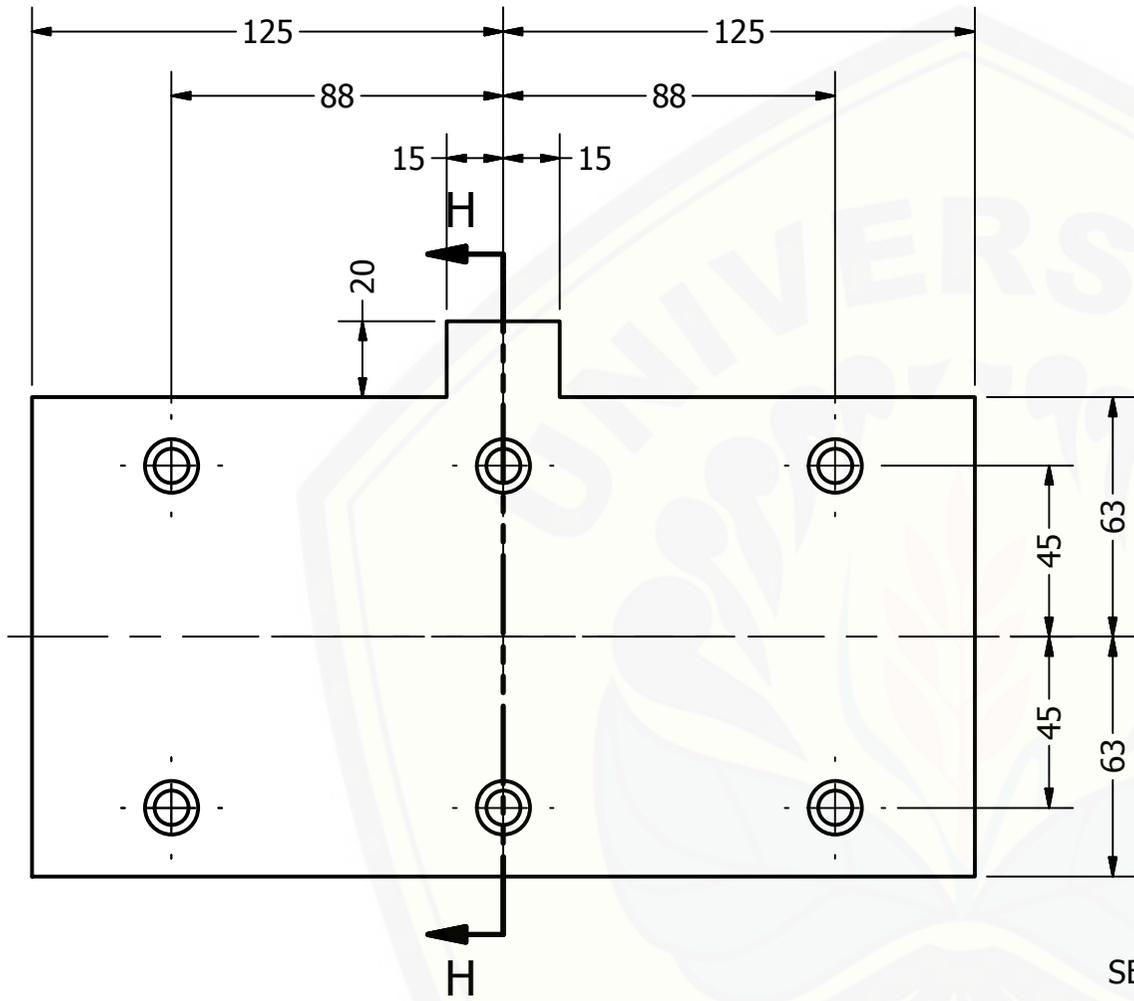


MATERIAL : SLD	UKURAN : 42x200x250	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		MALE PLATE	
		NO	A4



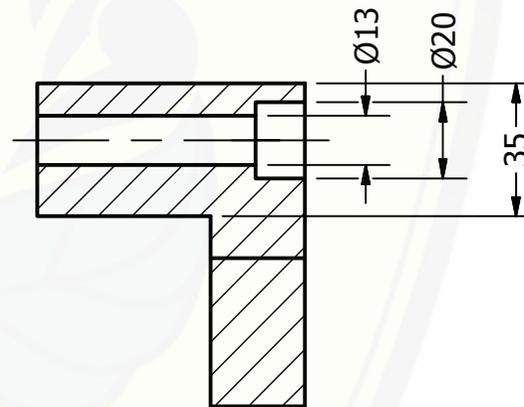
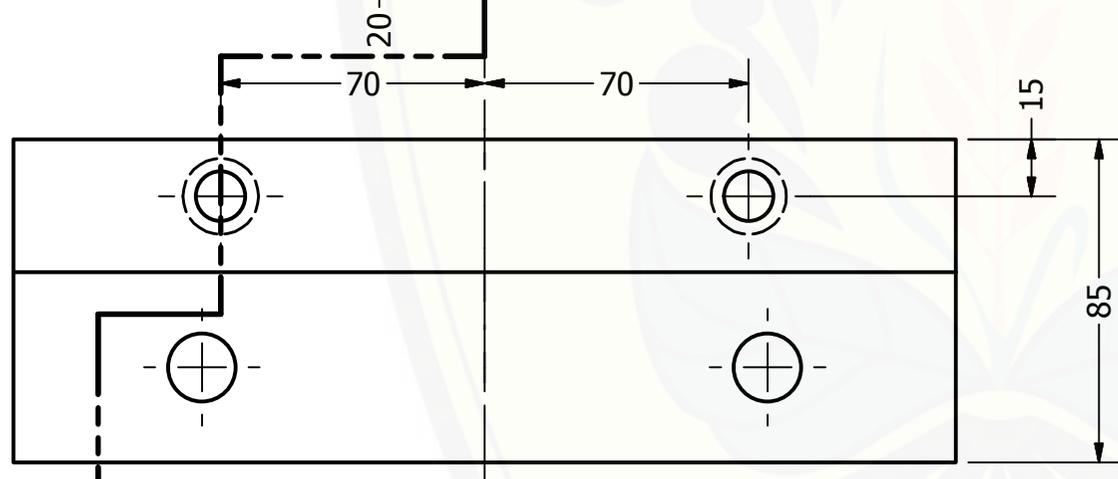
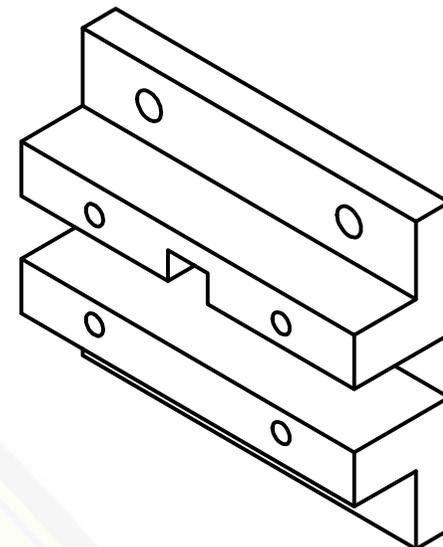
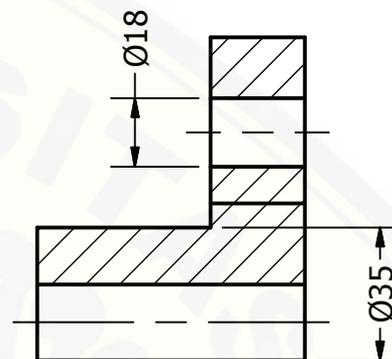
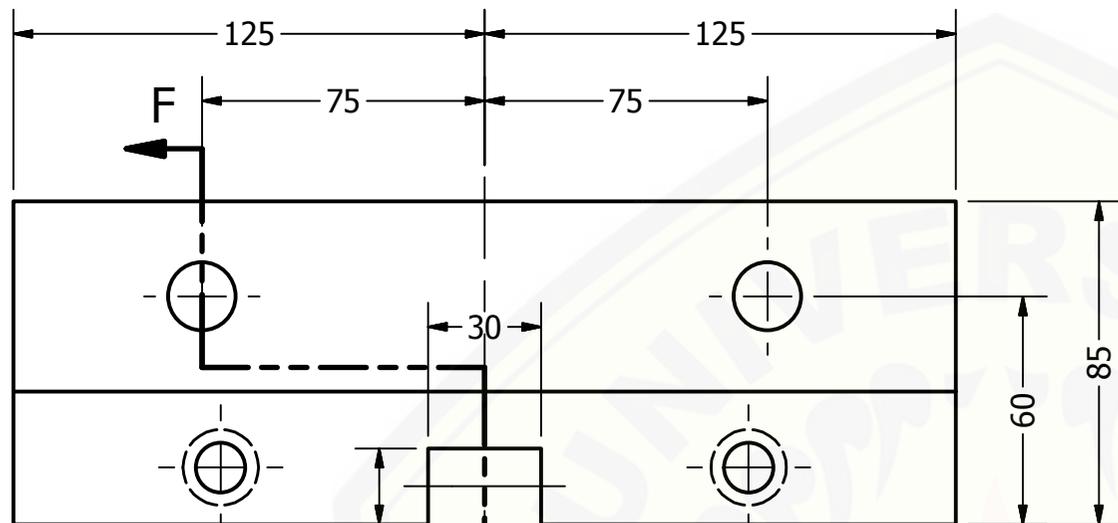
SECTION G-G

MATERIAL : ST	UKURAN : 15x126x250	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		EJECTOR PLATE	
		NO	A4



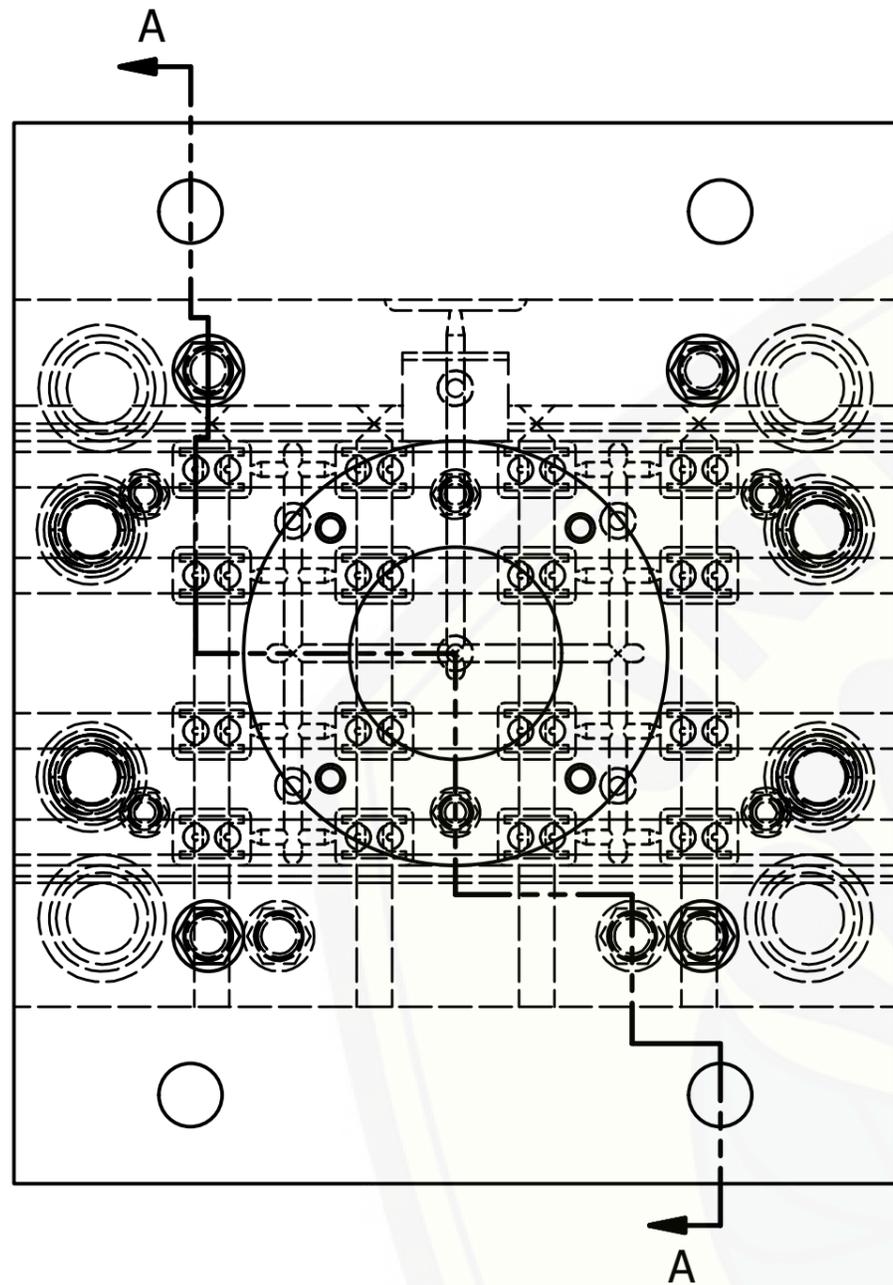
SECTION H-H

MATERIAL : ST	UKURAN : 22x126x250	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		EJECTOR CLAMP PLATE	
		NO	A4

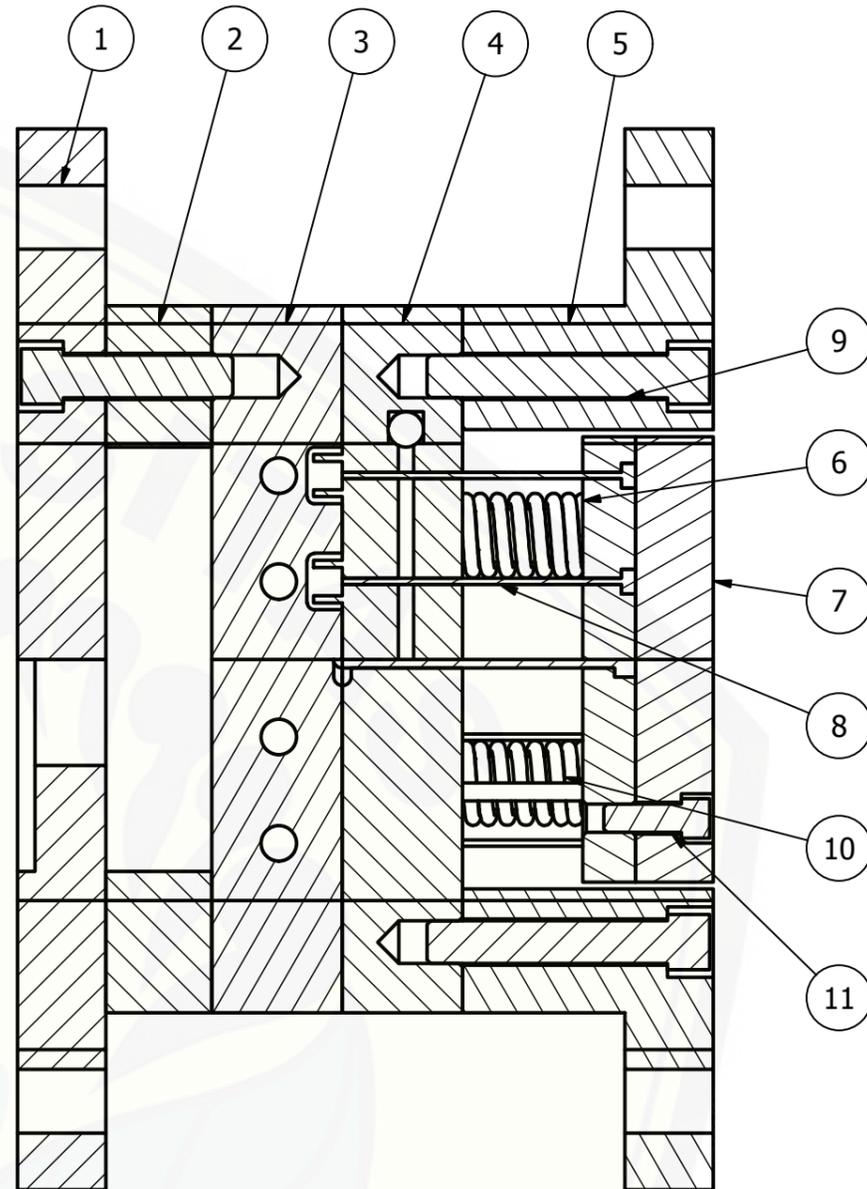


SECTION F-F

MATERIAL : ST	UKURAN : 35x75x250	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		SPACER BLOCK PLATE	
		NO	A4

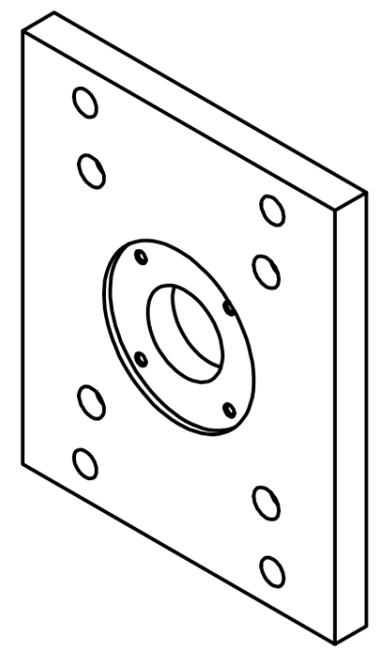
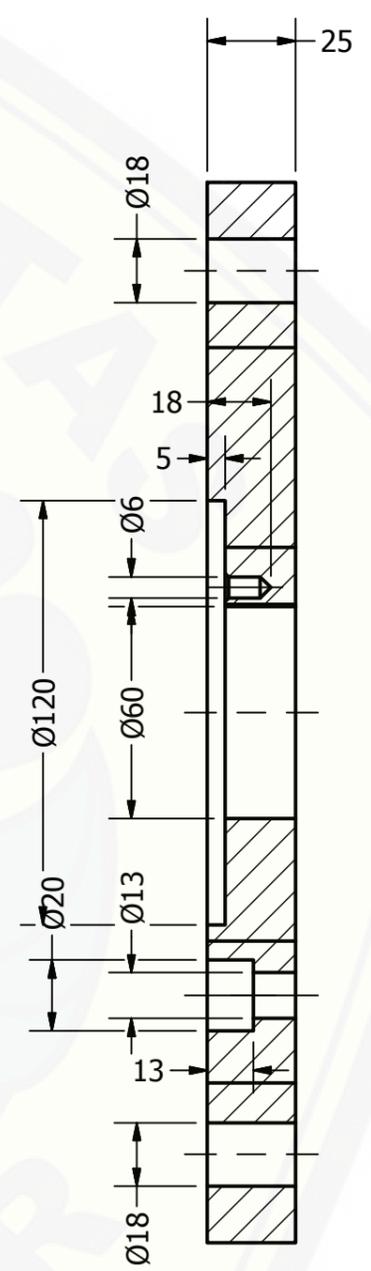
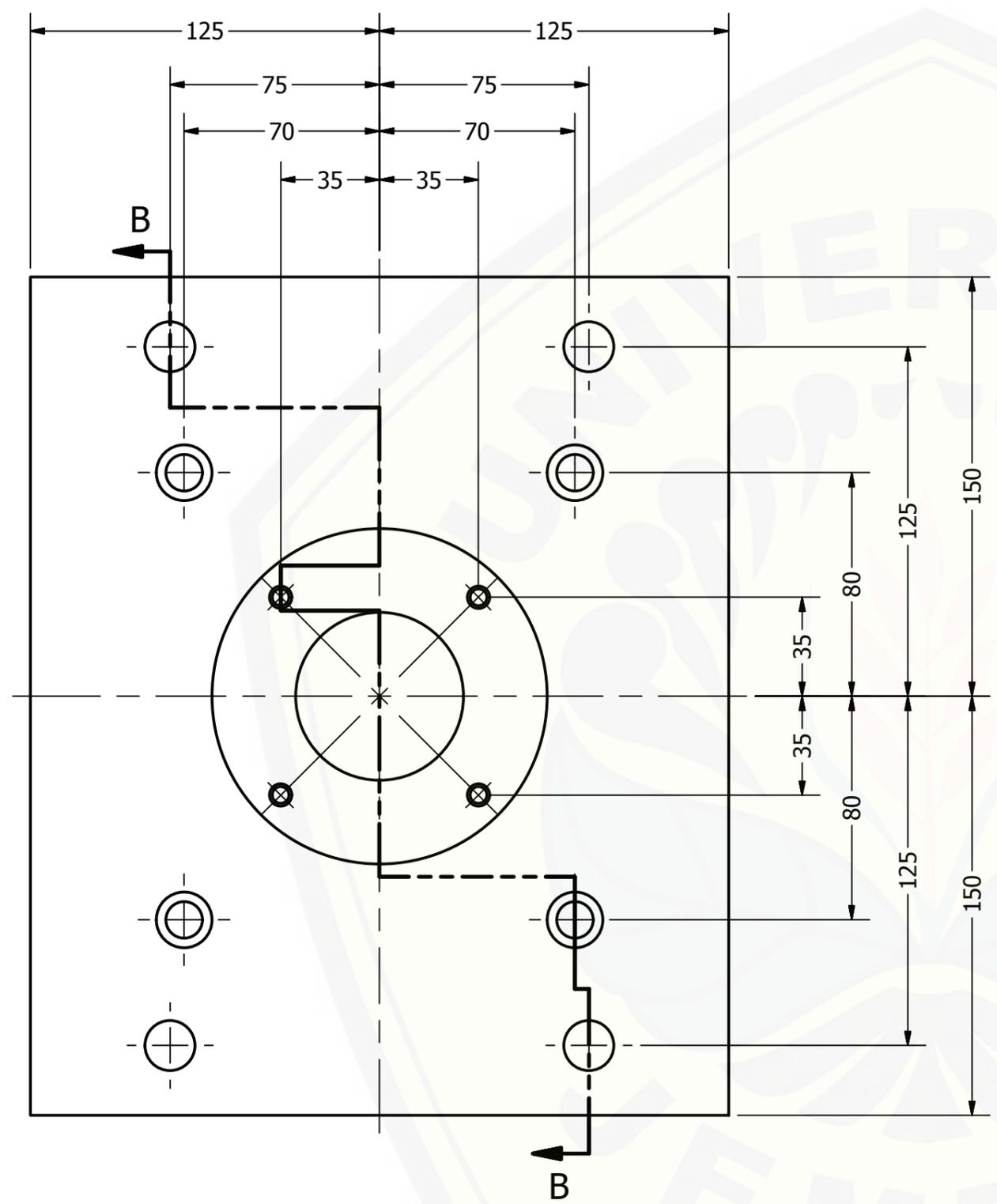


SECTION A-A



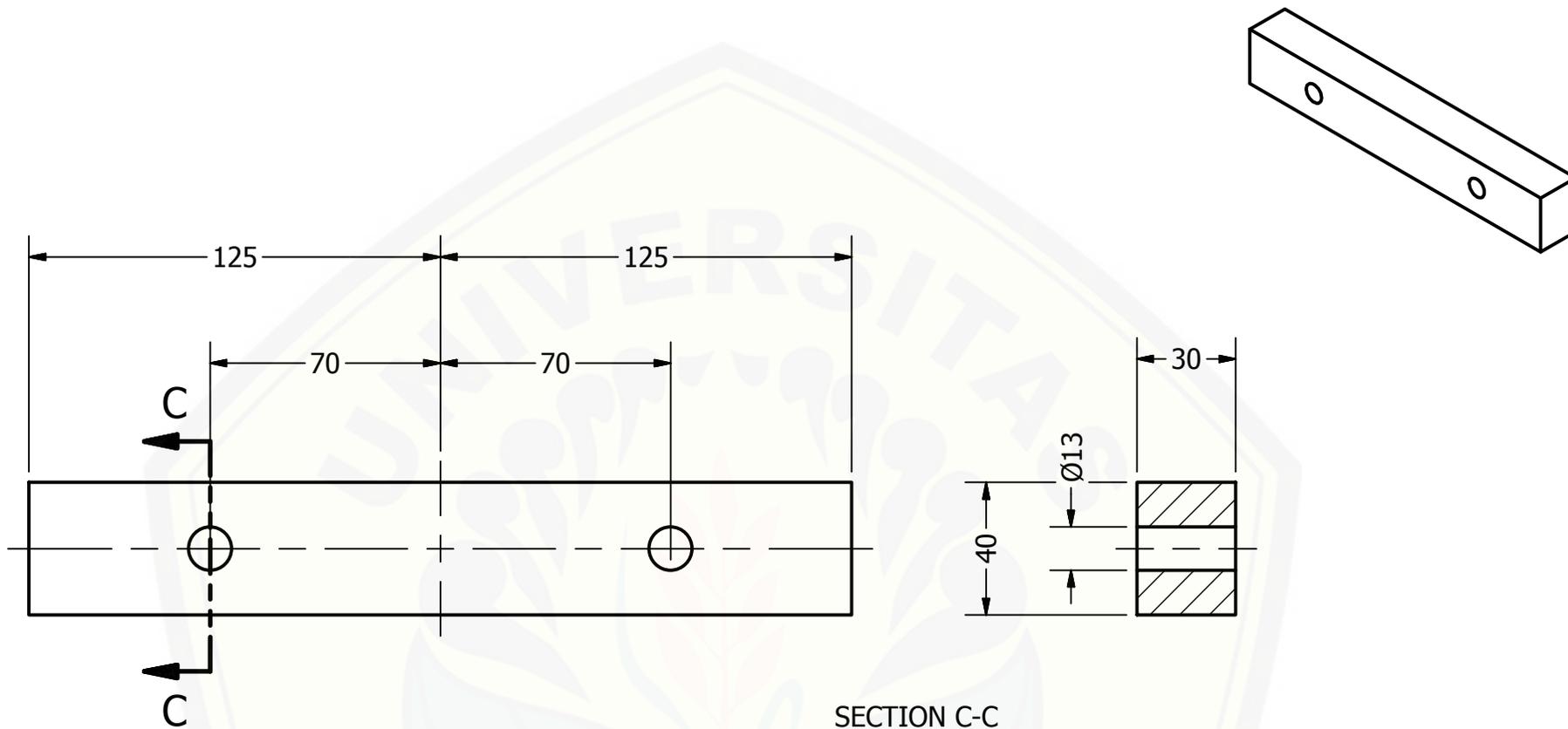
11	4	BOLT	STANDART	M12x40	-
10	4	COIL SPRING	STANDART	CSF 30-60	-
9	4	GUIDE PIN	STANDART	SPWS 20-70	-
8	32	EJECTOR PIN	STANDART	EPC 1.7-100	-
7	1	EJECTOR CLAMP PLATE	ST	22x126x250	-
6	1	EJECTOR PLATE	ST	15x126x250	-
5	1	SPACER BLOCK	ST	35x75x250	-
4	1	MALE PLATE	SLD	42x200x250	DIHARDENING SAMPAI 52 HRC
3	1	FEMALE PLATE	2311/2760	37x200x250	DIHARDENING SAMPAI 52 HRC
2	2	UPPER SPACER	ST	30x200x250	-
1	1	TOP PLATE	ST	25x250x300	-
NO	JUMLAH	NAMA	BAHAN	UKURAN	KETERANGAN

MATERIAL : -	UKURAN : -	MOLD VARIASI	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		ASSEMBLY	
		NO	A3

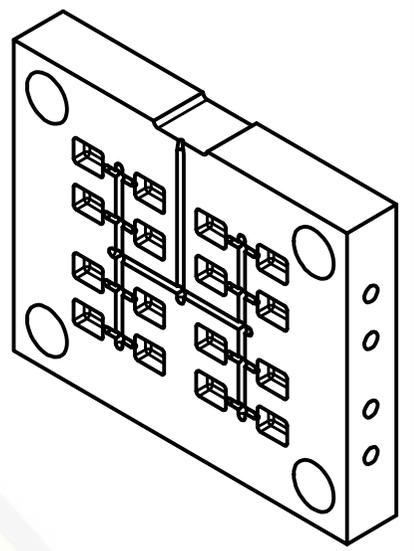
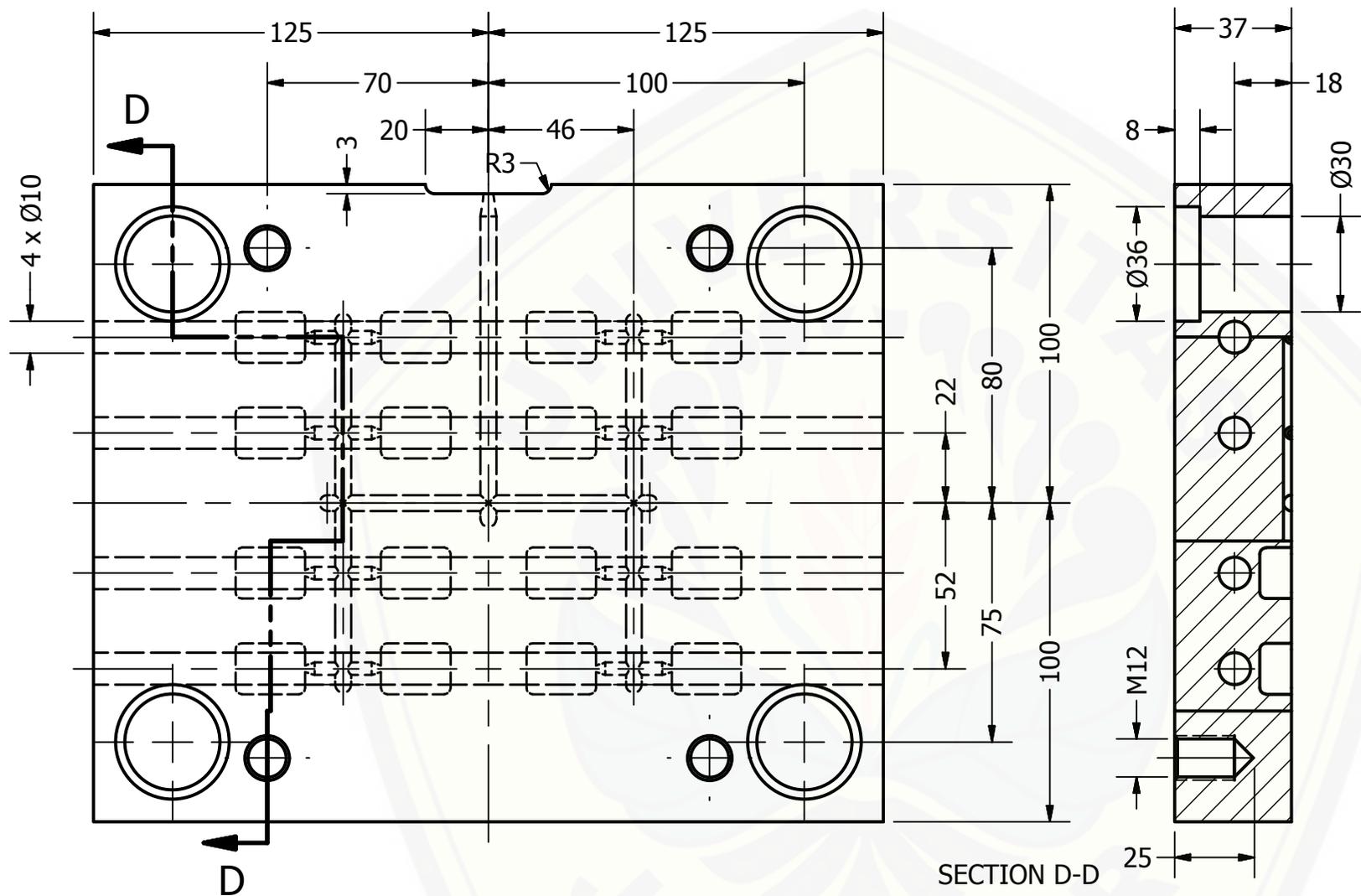


SECTION B-B

MATERIAL : ST	UKURAN : 25x250x300	MOLD VARIASI	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		TOP PLATE	
		NO	A3

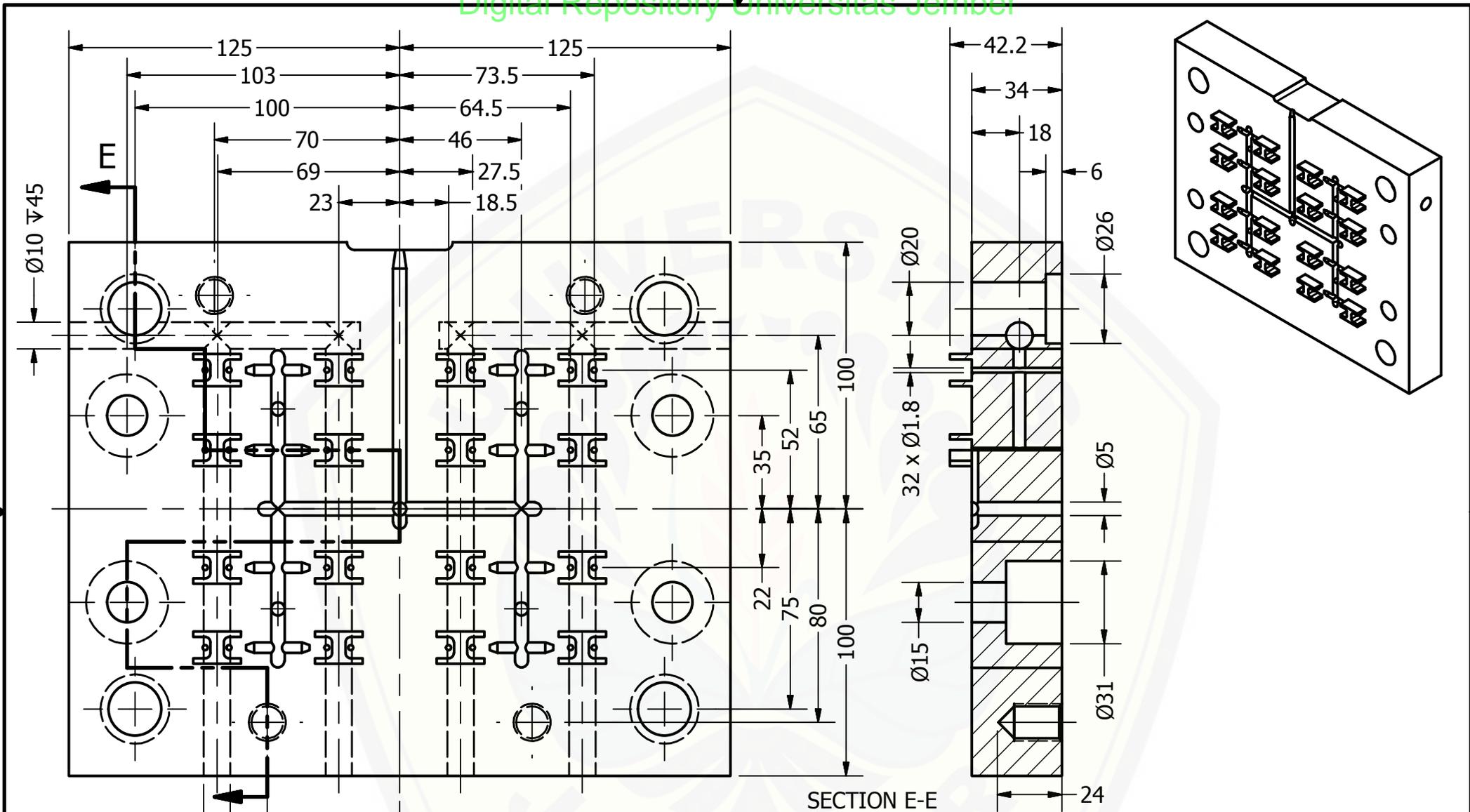


MATERIAL : ST	UKURAN : 30x40x250	MOLD VARIASI	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		UPPER SPACER	
		NO	A4



SECTION D-D

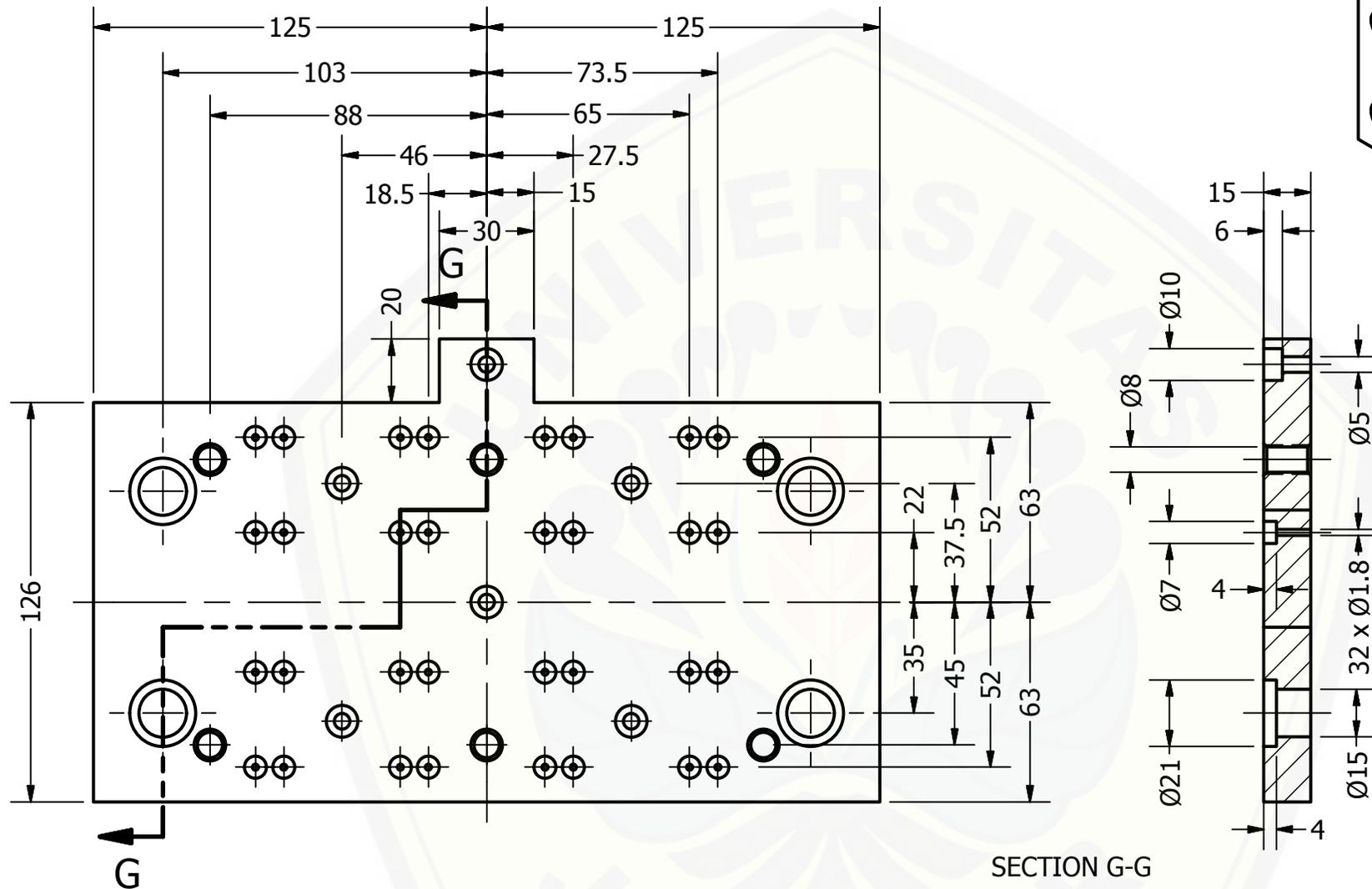
MATERIAL : 2311/2760	UKURAN : 37x200x250	MOLD VARIASI	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		FEMALE PLATE	
		NO	A4



4 x Ø10 ∇ 170 50

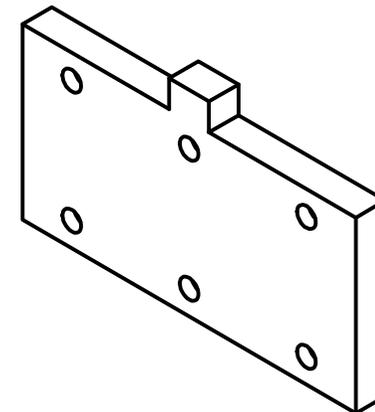
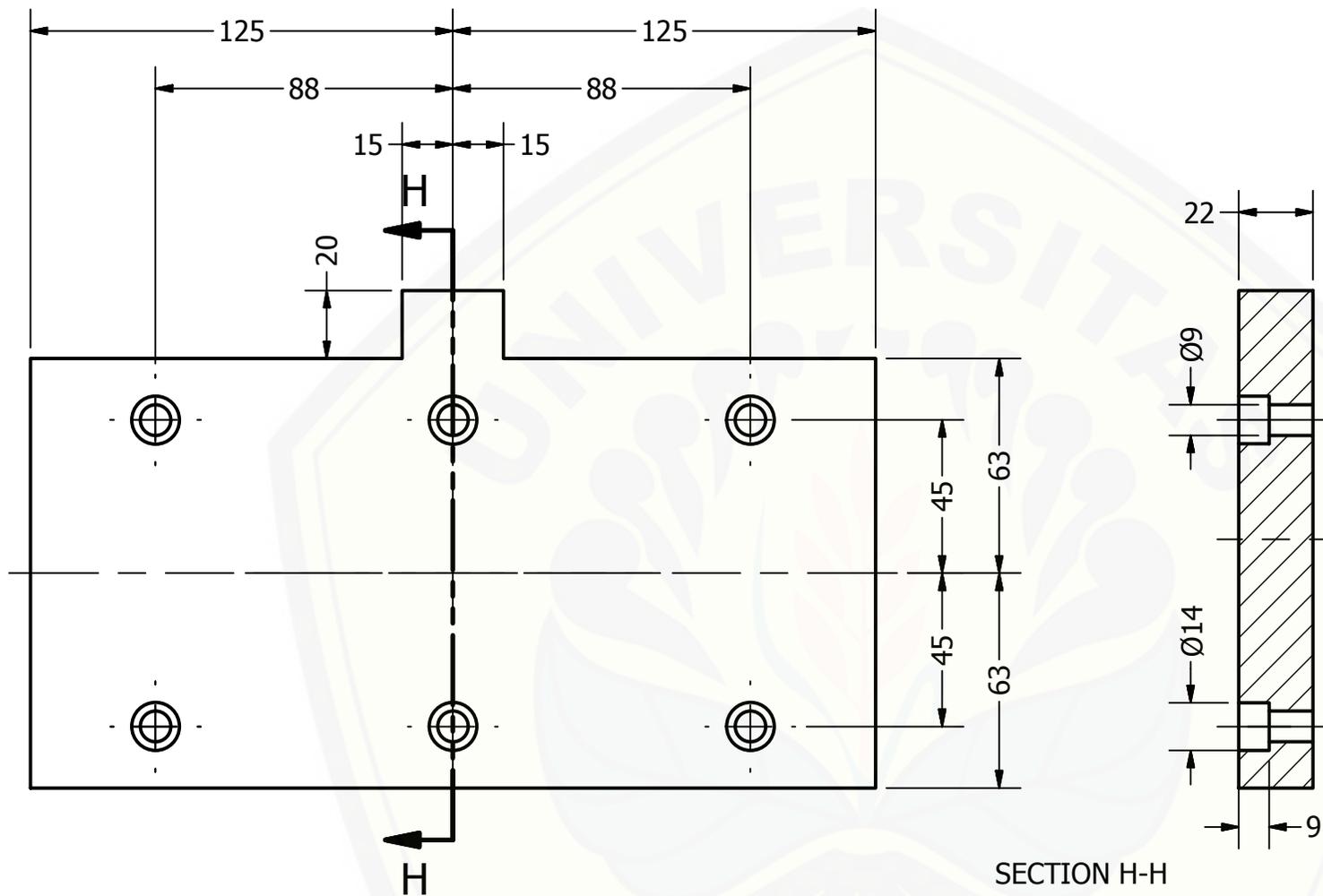
SECTION E-E

MATERIAL : SLD	UKURAN : 42x200x250	MOLD VARIASI	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		MALE PLATE	
		NO	A4



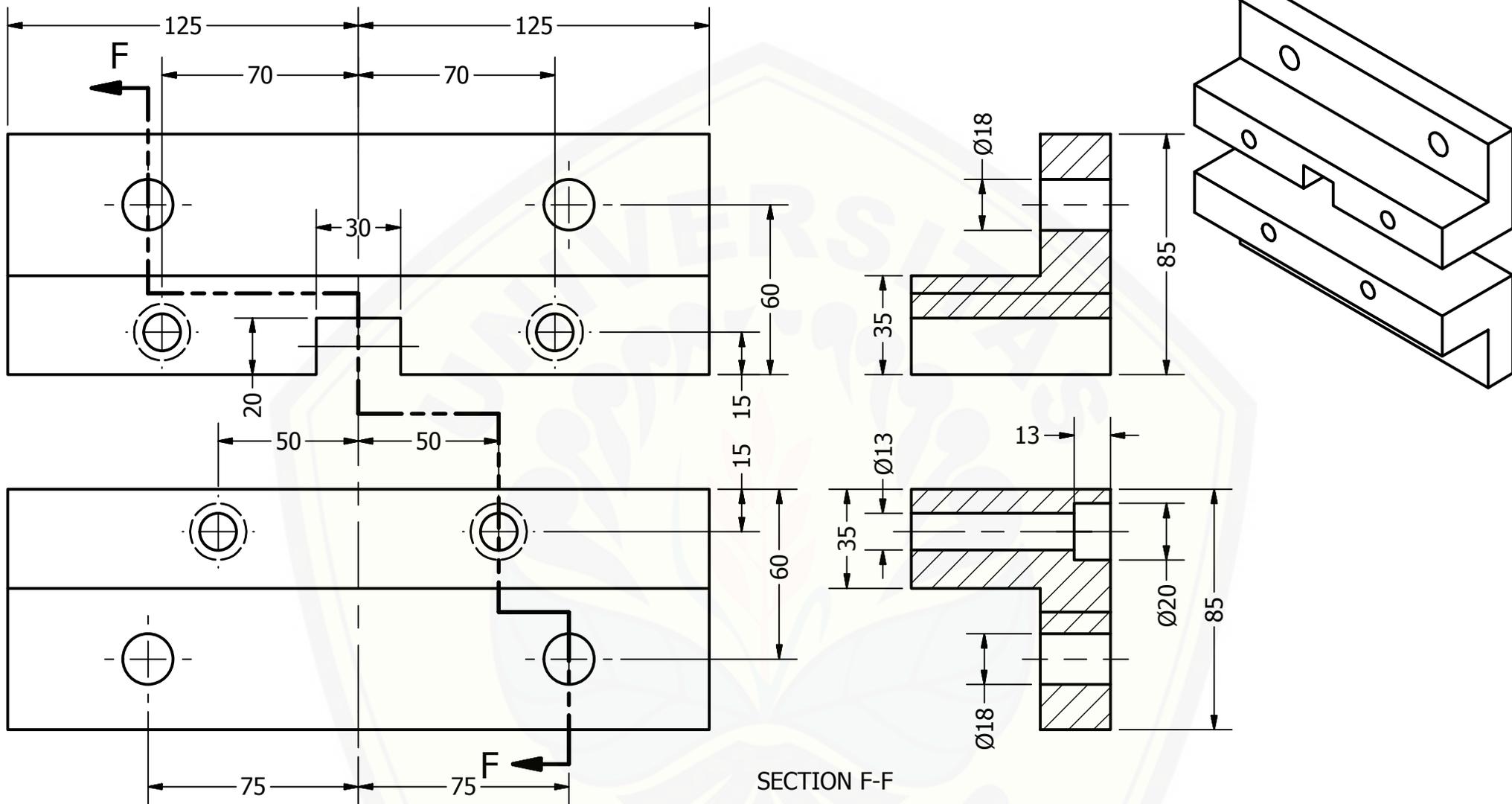
SECTION G-G

MATERIAL : ST	UKURAN : 15x126x250	MOLD VARIASI	PT. PRIMA SAKTI	
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:	
	SATUAN : MM	DILIHAT :		
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :		
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		EJECTOR PLATE		NO
				A4

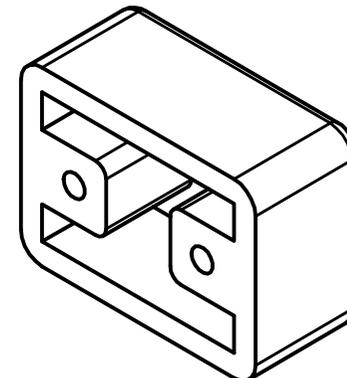
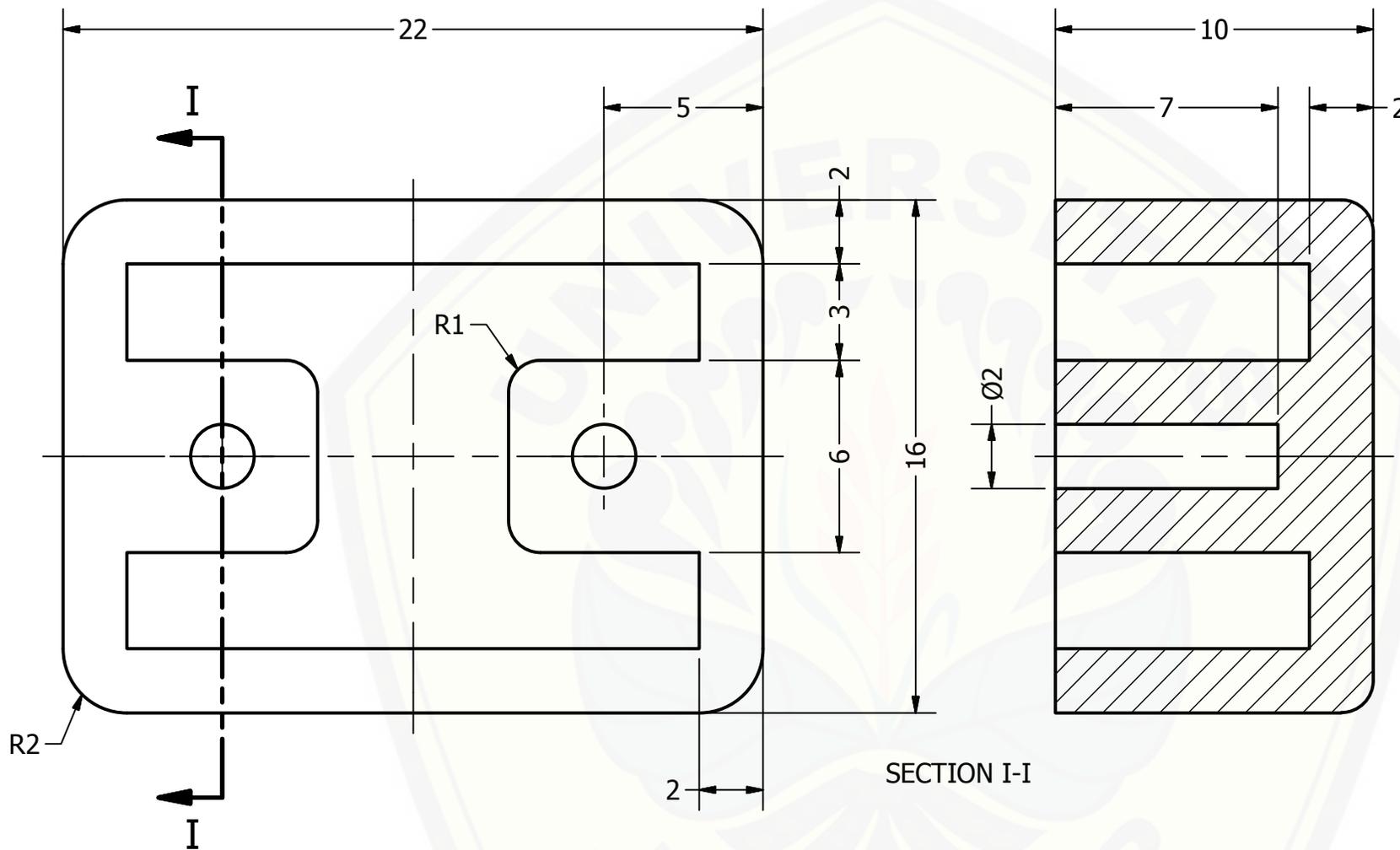


SECTION H-H

MATERIAL : ST	UKURAN : 22x126x250	MOLD VARIASI	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		EJECTOR CLAMP PLATE	
		NO	A4

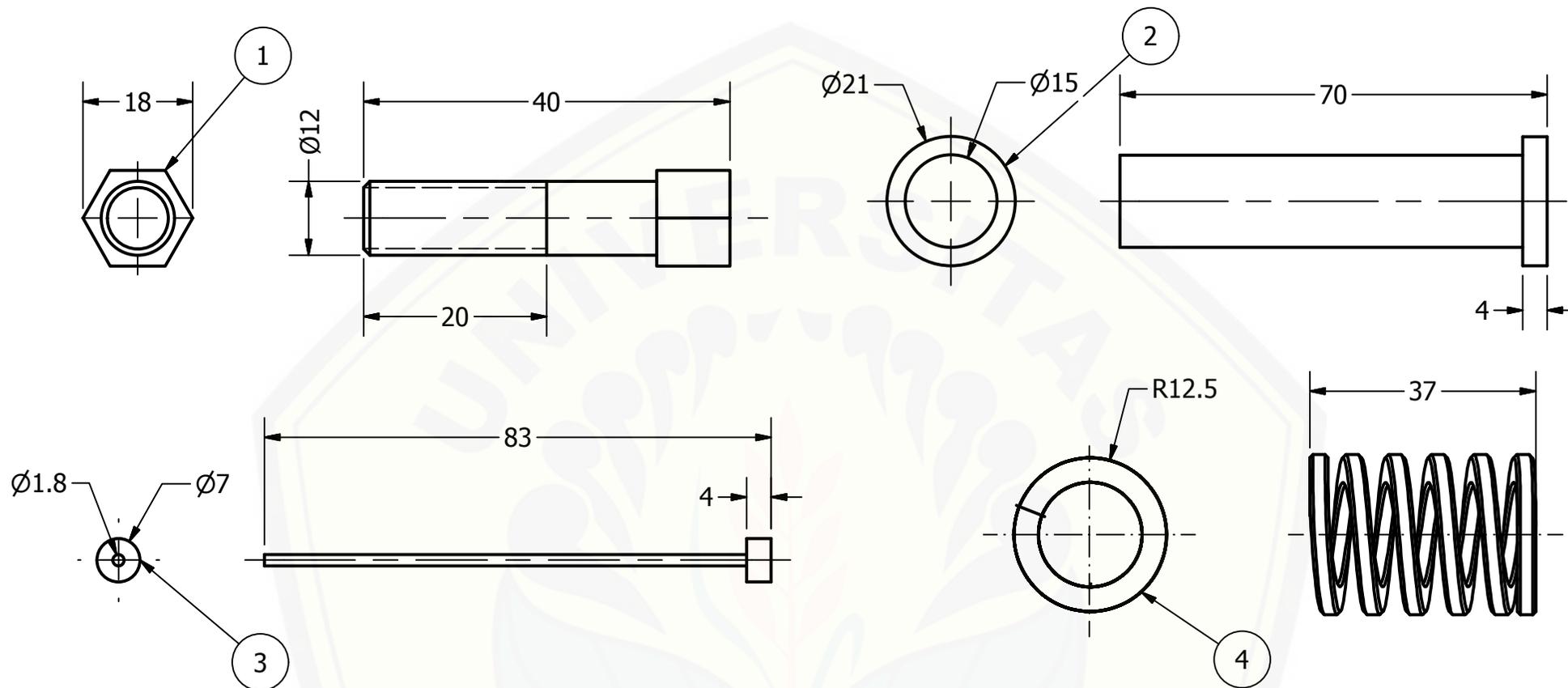


MATERIAL : ST	UKURAN : 35x75x250	MOLD VARIASI	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		SPACER BLOCK PLATE	
		NO	A4



SECTION I-I

MATERIAL : POLYPROPYLENE	UKURAN : 10x16x22	MOLD ORIGINAL	PT. PRIMA SAKTI
	SKALA : 5:1	DIGAMBAR : ERFINA AYU W.	PERINGATAN:
	SATUAN : MM	DILIHAT :	
	TGL : 27/04/15	DIPERIKSA :	
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER		PAKU KOTAK	
		NO	A4



4	4	COIL SPRING	STANDART	CSF 30-60	-
3	4	EJECTOR PIN	STANDART	EPC 1.7-100	-
2	4	GUIDE PIN	STANDART	SPWS 20-70	-
1	32	BOLT	STANDART	M12x40	-
NO	JUMLAH	NAMA	BAHAN	UKURAN	KETERANGAN
	SKALA : 1:1		DIGAMBAR : ERFINA AYU W.		PERINGATAN:
	SATUAN : MM		DILIHAT :		
	TGL : 27/04/15		DIPERIKSA :		
TEKNIK MESIN UNIV. JEMBER			PART PEMBANTU		NO
					A4