

**PENGARUH JUMLAH LUBANG PIN CETAKAN TERHADAP DISTRIBUSI
KETEBALAN CUP PADA PROSES VACUUM FORMING POLYETHYLENE**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

SONY ARDI
NIM. 0410620090-62

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2009**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, juga sholawat dan salam penulis tujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Jumlah Lubang Pin Cetakan Terhadap Distribusi Ketebalan Cup Pada Proses Vacuum Forming Polyethylene”** dapat terselesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu dan mendukung tersusunnya skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc. CSE., selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko M.Eng, M.Sc selaku dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc. CSE selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan meluangkan waktunya untuk berdiskusi
4. Bapak/Ibu dosen Teknik Mesin yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan dan seluruh karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu dalam pengurusan administrasi dan bantuan lainnya.
5. Aba dan Umi, atas cinta dan kasih sayangnya yang tak pernah surut.
6. Teman-teman semua khususnya teman-teman M'04 atas bantuannya dalam penyelesaian skripsi.
7. Semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat serta do'a dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Februari 2009

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya	4
2.2. Bahan Polimer	4
2.2.1. Massa Jenis	5
2.2.2. Sifat-Sifat Mekanik	5
2.2.2.1. Kekuatan Tarik	6
2.2.2.2. Sifat-Sifat Pada Penekanan	10
2.2.3. Sifat-Sifat Termal	10
2.3. <i>Polyethylene</i>	11
2.4. <i>Thermoforming</i>	12
2.5. <i>Vacuum Forming</i>	15
2.5.1. <i>Clamping</i>	15
2.5.2. <i>Heating</i>	15
2.5.3. <i>Shaping</i>	16
2.5.4. <i>Cooling</i>	16
2.5.5. <i>Trimming</i>	16
2.6. Cetakan	17
2.7. Cetakan Kayu	18
2.8. Lubang Pin	18
2.9. Hipotesis	19



BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Metode Penelitian	20
3.2. Variabel Penelitian	20
3.3. Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.4. Alat dan Bahan Yang Digunakan	21
3.5. Dimensi dan Bahan Benda Kerja	25
3.6. Susunan Lubang Pin Pada Cetakan Kayu	27
3.7. Skema Instalasi	28
3.8. Prosedur Penelitian	29
3.8.1. Skema Kerja <i>Vacuum Forming</i>	29
3.8.2. Pengukuran Distribusi Ketebalan	30
3.9. Rencana Pengolahan Data	30
3.10. Diagram Alir Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Data Hasil Pengukuran Ketebalan Produk	34
4.2. Pembahasan	34
4.2.1. Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 25 Lubang Pin pada Cetakan <i>Vacuum Forming</i>	34
4.2.2. Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 35 Lubang Pin pada Cetakan <i>Vacuum Forming</i>	36
4.2.3. Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 45 Lubang Pin pada Cetakan <i>Vacuum Forming</i>	37
4.2.4. Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 55 Lubang Pin pada Cetakan <i>Vacuum Forming</i>	38
4.2.5. Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk antar Variasi Lubang Pin pada Cetakan <i>Vacuum Forming</i>	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Massa jenis resin <i>thermoplastics</i>	
6		
Tabel 3.1	Contoh data nilai ketebalan produk antar variasi jumlah lubang pin	31
Tabel 4.1	Data hasil pengukuran ketebalan tiap-tiap simpul pada produk dengan variasi jumlah lubang pin pada cetakan	34

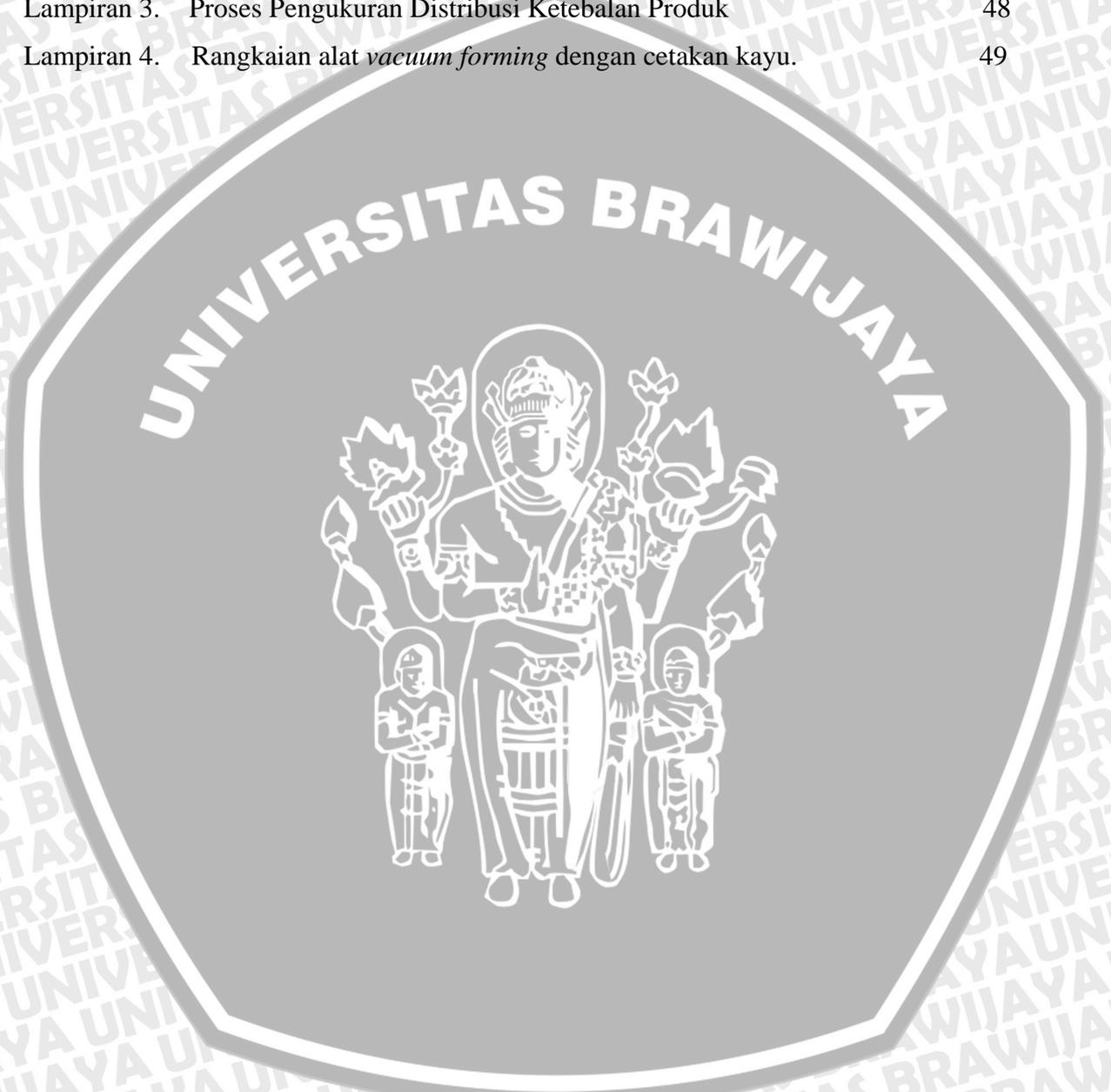


DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Kekuatan tarik bahan polimer	7
Gambar 2.2.	Kelakuan mulur dalam kurva tegangan-regangan bahan polimer	8
Gambar 2.3.	Kurva tegangan-regangan beberapa jenis polimer	9
Gambar 2.4.	Kurva tekan dan tarik bahan polimer	10
Gambar 2.5.	Metode <i>thermoforming</i>	14
Gambar 2.6.	Diagram proses <i>vacuum forming</i>	15
Gambar 2.7.	<i>Male mold</i> dan <i>Female mold</i>	18
Gambar 2.8.	Contoh pemberian lubang pin pada cetakan <i>vacuum forming</i>	19
Gambar 3.1.	Instalasi mesin <i>vacuum forming</i>	21
Gambar 3.2.	Wire Heater pada mesin <i>vacuum forming</i>	21
Gambar 3.3.	<i>Thermocontrol</i> dan <i>Relay</i>	22
Gambar 3.4.	<i>Clamp</i> aluminium	22
Gambar 3.5.	<i>Vacuum source stabilizer</i>	23
Gambar 3.6.	<i>Female mould</i>	24
Gambar 3.7.	Dimensi benda kerja awal	25
Gambar 3.8.	Produk berbentuk <i>cup</i>	26
Gambar 3.9.	Susunan lubang pin pada cetakan kayu	27
Gambar 3.10	Skema instalasi <i>vacuum forming</i>	28
Gambar 3.11	Posisi dan arah simpul	30
Gambar 3.12.	Contoh grafik perbandingan distribusi ketebalan produk antar variasi jumlah lubang pin pada cetakan	32
Gambar 4.1.	Grafik Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 25 Lubang Pin Pada Cetakan	35
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 35 Lubang Pin Pada Cetakan	36
Gambar 4.3.	Grafik Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 45 Lubang Pin Pada Cetakan	37
Gambar 4.4.	Grafik Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 55 Lubang Pin Pada Cetakan	38
Gambar 4.5.	Grafik Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk Antar Variasi Jumlah Lubang Pin Pada Cetakan	39

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Foto Produk Masing-Masing Variasi Jumlah Lubang Pin	43
Lampiran 2.	Desain Cetakan <i>Vacuum Forming</i>	47
Lampiran 3.	Proses Pengukuran Distribusi Ketebalan Produk	48
Lampiran 4.	Rangkaian alat <i>vacuum forming</i> dengan cetakan kayu.	49



RINGKASAN

Sony Ardi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2009, *Pengaruh Jumlah Lubang Pin Cetakan Terhadap Distribusi Ketebalan Cup Pada Proses Vacuum Forming Polyethylene*, Dosen Pembimbing : Rudy Soenoko dan Tjuk Oerbandono.

Proses *vacuum forming* meliputi proses membentuk lembaran plastik (*sheet*) yang telah dipanaskan hingga mencapai temperatur plastis menuju cetakan kemudian terjadi pengevuasian udara pada rongga cetakan sehingga *sheet* tersebut dapat membentuk sesuai alur rongga pada cetakannya. Umumnya proses *vacuum forming* menghasilkan produk yang mempunyai distribusi ketebalan yang berbeda. Banyak faktor yang mempengaruhinya, diantaranya jumlah lubang pin (*pin holes*) pada cetakan dan proses pendinginannya. Seringkali dijumpai kegagalan dalam proses *vacuum forming* yang disebabkan proses pengevuasian udara tidak berjalan dengan baik sehingga produk mengalami kerusakan, misalnya produk sobek atau ketidaksesuaian dimensi dengan cetakan. Permasalahan tersebut sangat mungkin dikarenakan faktor lubang pin. Perlu adanya variasi jumlah lubang pin pada cetakan sebagai usaha untuk menghasilkan produk yang optimal.

Pada penelitian ini dilakukan proses *vacuum forming* dengan menggunakan cetakan yang berbahan dasar kayu jati. Cetakan dari kayu lebih ekonomis bila dibandingkan dengan cetakan dari logam. Mudah dan cepatnya proses permesinan cetakan kayu dapat menjadi alternatif dalam proses pembentukan plastik, khususnya proses *vacuum forming*. Material yang digunakan adalah *Polyethylene* jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*. Pada proses *vacuum forming* ini dilakukan empat variasi jumlah lubang pin pada cetakan (25, 35, 45 dan 55 lubang pin) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap distribusi ketebalan *cup* dengan tekanan vakum sebesar 50 cmHg dan temperatur pemanasan *polyethylene* sebesar 170° C.

Variasi jumlah lubang pin menunjukkan adanya perbedaan distribusi ketebalan pada produk berbentuk *cup*, dimana jumlah lubang pin 55 menunjukkan distribusi ketebalan yang paling baik. Semakin sedikit jumlah lubang pin akan menghasilkan distribusi ketebalan *cup* yang semakin jelek.

Kata kunci : *vacuum forming*, *High Density Polyethylene*, lubang pin, *cup*, distribusi ketebalan *cup*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini terjadi begitu pesat. Tak terkecuali dengan teknologi pembentukan. Bahkan sebagian besar barang-barang hasil produksi telah mengalami proses pembentukan terlebih dahulu. Dalam proses pembentukan tersebut, umumnya menggunakan bahan dasar polimer. Ini disebabkan karena bahan polimer memiliki sifat mekanik yang hampir menyerupai sifat mekanik logam dengan kelebihan lain semisal anti karat, bobot lebih ringan dan yang terpenting adalah harga yang lebih murah.

Polimer dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu *thermoplastics* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* adalah suatu polimer yang membutuhkan panas dalam proses pembentukannya dan setelah didinginkan menjadi bentuk sesuai proses pembentukannya serta dapat dipanasi kembali untuk dibentuk kembali menjadi bentuk yang lain tanpa ada perubahan sifat-sifatnya. Sedangkan *thermosetting* adalah polimer yang dibentuk menjadi bentuk tetap atau permanen dengan menggunakan reaksi kimia. Polimer jenis ini tidak dapat dicairkan dan dibentuk kembali menjadi bentuk lain namun dapat terurai bila dipanasi dengan suhu yang sangat tinggi (Roberts, M.M. 2007).

Salah satu proses manufaktur *thermoplastic* yang umum dan sederhana yaitu dengan proses *thermoforming*. *Thermoforming* merupakan proses memanaskan dan membentuk lembaran plastik (*sheet*) pada rongga cetakan (Sabart, Brian and Gangel, Jeff. 2004). Faktor yang paling utama pada proses *thermoforming* adalah pemilihan bahan cetakan. Cetakan dari kayu merupakan cetakan yang murah dan lebih mudah dibentuk daripada cetakan dari logam. Sebuah cetakan kayu cocok untuk produksi dengan jumlah tidak lebih dari 500 produk (Formech International Ltd, 2008).

Metode *thermoforming* yang paling banyak digunakan dalam manufaktur plastik yaitu *vacuum forming* dan *pressure forming* (Dong, Y. 2005). Proses *vacuum forming* meliputi proses mendorong *sheet* yang telah dipanaskan hingga temperatur plastis menuju cetakan, kemudian terjadi pengevakuasian udara pada rongga cetakan sehingga *sheet* tersebut dapat membentuk sesuai rongga cetakan (Roberts, M. M. 2007).

Umumnya proses *vacuum forming* menghasilkan produk yang mempunyai distribusi ketebalan yang berbeda (Karjust, K. 2008). Pada *female mold*, ketebalan yang paling besar terdapat pada bagian atas dan semakin ke bawah akan semakin tipis (A

Processing Guide For Thermoforming, 2008). Permasalahan tersebut sangat mungkin dikarenakan faktor lubang pin. Karena lubang pin merupakan tempat mengalirnya udara vakum keluar cetakan, perlu memvariasikan jumlah lubang pin tersebut untuk mendapatkan produk yang baik terutama distribusi ketebalannya.

Berdasarkan referensi yang didapat, selama ini belum ada penelitian tentang pengaruh jumlah lubang pin (*pin holes*) pada cetakan terhadap produk yang dihasilkan terutama distribusi ketebalannya. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian tentang pengaruh jumlah lubang pin pada cetakan terhadap distribusi ketebalan *cup* pada proses *vacuum forming*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti, yaitu: *bagaimana pengaruh jumlah lubang pin cetakan terhadap distribusi ketebalan cup pada proses vacuum forming polyethylene?*

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Proses yang digunakan adalah *vacuum forming*.
- Cetakan yang digunakan berbentuk *cup* dan berbahan dasar kayu jati.
- Jenis material plastik yang digunakan adalah *polyethylene* jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*.
- Distribusi ketebalan diwakili beberapa titik yang tersebar pada belahan produk.
- Pengukuran ketebalan produk menggunakan *micrometer digital*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah lubang pin pada cetakan terhadap distribusi ketebalan produk *vacuum forming polyethylene*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

- Mampu menerapkan teori – teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan teknologi pembentukan
- Membantu memecahkan permasalahan-permasalahan yang sering dihadapi dalam pembentukan plastik

3. Dapat digunakan sebagai referensi awal untuk pengembangan penelitian lebih lanjut terutama tentang teknologi pembentukan plastik khususnya pada proses *vacuum forming*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Pernah Dilakukan

Richard J. Vodra (1977) telah melakukan penelitian dengan judul “*Vacuum Forming Mold*”. Penelitian tersebut menyatakan bahwa cetakan yang sesuai untuk proses *vacuum forming* harus terdapat lubang pin dan saluran pengevakuasian udara. Lubang pin dan saluran tersebut merupakan persyaratan dalam pembuatan cetakan untuk menghindari kegagalan dalam proses *vacuum forming*. Dalam penelitian tersebut juga dapat ditarik kesimpulan tentang posisi yang tepat untuk membuat saluran evakuasi udara. Posisi saluran untuk pengevakuasian udara sebaiknya terletak tepat di tengah cetakan, di bawah lubang pin, dengan diameter yang disesuaikan agar proses evakuasi udara dapat merata.

Karjust. K., Kuttner. R., dan Pohlak. M. (2008) telah melakukan penelitian dengan judul “*The Production Technology Considerations of Large Composite Parts*”. Penelitian tersebut menyatakan bahwa produk dari *vacuum forming* mempunyai distribusi ketebalan yang berbeda. Perbedaan ketebalannya cukup besar. Distribusi ketebalan tersebut harus dikontrol agar tidak mengganggu fungsi dari produk tersebut.

2.2 Bahan Polimer

Bahan polimer merupakan bahan yang biasa kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari. Bahan tersebut mempunyai struktur dan sifat-sifat yang rumit disebabkan oleh jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya rendah. Umumnya suatu polimer dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik-menarik yang kuat disebut ikatan kovalen, dimana setiap atom dari pasangan terikat menyumbangkan satu elektron untuk membentuk sepasang elektron. Sifat-sifat khas bahan polimer pada umumnya adalah sebagai berikut (Surdia, Tata. 1984) :

- 1) Sifat mampu cetaknya baik. Pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstrusi dan vakum yang menyebabkan ongkos pembuatan lebih rendah daripada untuk logam dan keramik.
- 2) Dapat dibuat produk yang ringan dan kuat. Berat jenis polimer lebih rendah bila dibandingkan dengan logam dan keramik.
- 3) Banyak diantara polimer bersifat isolasi listrik yang baik.

- 4) Baik sekali dalam ketahanan air dan ketahanan zat kimia kecuali kalida dan oksida kuat. Pemilihan bahan yang baik akan menghasilkan produk yang mempunyai sifat-sifat baik sekali.
- 5) Umumnya bahan polimer lebih murah.
- 6) Kurang tahan terhadap panas. Hal ini sangat berbeda dengan logam dan keramik. Walaupun ketahanan panas bahan polimer tidak sekuat logam dan keramik, pada penggunaannya harus cukup diperhatikan.
- 7) Kekerasan permukaan yang sangat rendah. Bahan polimer yang keras ada, tetapi masih jauh di bawah kekerasan logam dan keramik.
- 8) Mudah termuati listrik secara elektrostatik.

2.2.1 Massa Jenis

Massa jenis polimer jauh lebih rendah daripada logam ($2,7 - 9 \text{ g/cm}^3$) dan keramik ($2,1 - 5,3 \text{ g/cm}^3$) (Surdia, Tata. 1984). Dilihat dari mahal atau murahnya, massa jenis adalah faktor yang penting. Untuk membandingkan bahan-bahan yang menyangkut berat dan volume, bahan polimer kadang-kadang dipakai memperkecil massa jenis dengan pembusaan, karena itu massa jenisnya menjadi lebih penting dari bahan lain. *Polyethylene* dan *polypropylene* mempunyai massa jenis lebih kecil dari air, yang memungkinkan membuat suatu barang terapung di atas air.

2.2.2 Sifat-sifat mekanik

Sifat-sifat mekanik bahan polimer adalah khas dengan kelakuan viskoelastiknya yang dominan. Sebagai contoh, pemelaran (*creep*) dan relaksasi mudah terjadi dan pada pengujian tarik sifat-sifatnya sangat dipengaruhi oleh laju tarikan. Sifat-sifatnya juga berubah karena temperatur, oleh karena itu dalam hal ini perlu perhatian yang cukup sebelum penggunaan bahan polimer. Sebagai contoh bahan polimer mempunyai kekhasan viskoelastik adalah dengan meregangkan film *polyethylene*. Perpanjangannya tidak selalu sebanding dengan beban yang diberikan dan pada penurunan kembali beban, sebagian kecil regangannya hilang kembali, tetapi sebagian besar tetap ada yang tidak kembali ke panjang asal karena bahan polimer tidak selengkapnya merupakan bahan yang elastik tetapi mempunyai viskositas. Bahan yang mempunyai kedua sifat elastik dan kental disebut viskoelastik.

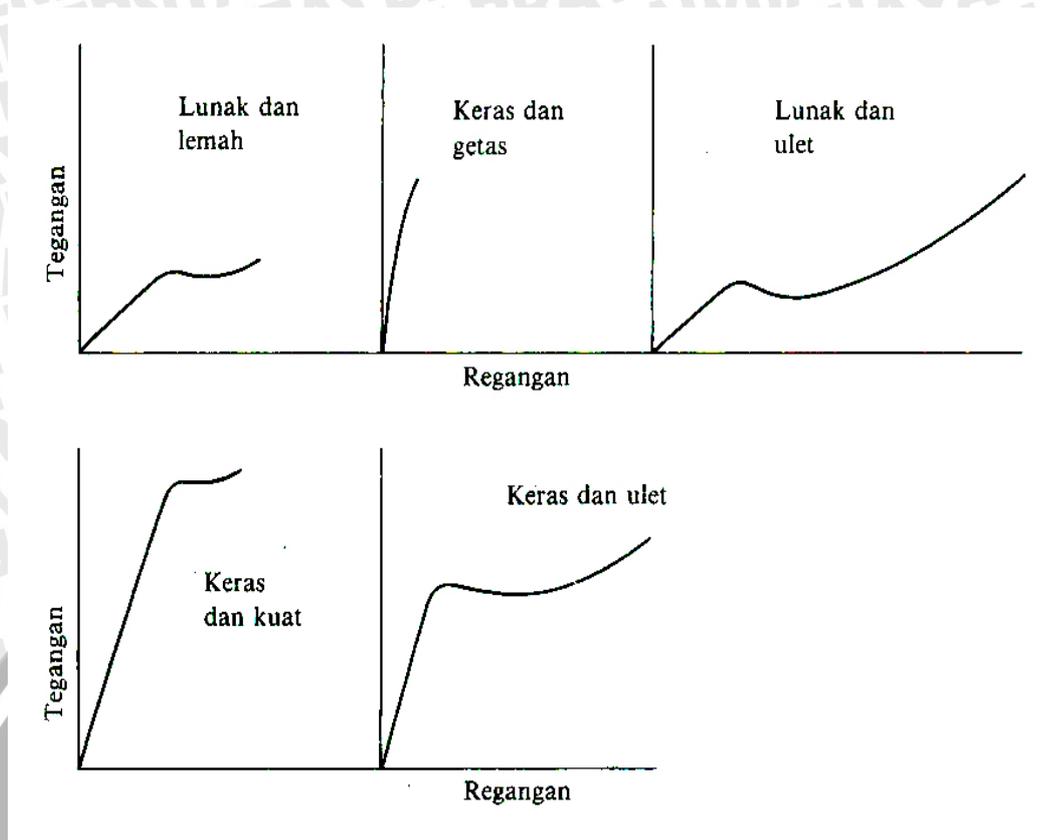
Tabel 2.1. Massa jenis resin *thermoplastics*

Jenis Polimer	Massa Jenis (g/cm ³)
Resin PVC	
- Kaku	1,35 – 1,45
- Fleksibel	1,16 – 1,35
- Fleksibel (dengan pengisi)	1,3 – 1,7
<i>Polypropylene</i>	0,90 – 0,91
<i>Polyethylene</i>	
- Massa jenis rendah	0,910 – 0,925
- Massa jenis medium	0,926 – 0,940
- Massa jenis tinggi	0,941 – 0,965
<i>Polystyrene</i>	1,05 – 1,07
<i>ABS</i>	0,99 – 1,10
<i>Polyvinyl formal</i>	1,2 – 1,4

Sumber : Surdia, Tata. 1984 : 175

2.2.2.1 Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar dari bahan. Hubungan tegangan-regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur, lembaban dan seterusnya karena dalam bahan polimer sifat-sifat viskoelastik mempunyai kekhasan seperti dinyatakan di atas. Umumnya kekuatan tarik dari bahan polimer lebih rendah daripada logam, seperti baja yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 70 kgf/mm². Pada resin biasa seperti *polystyrene*, *polyethylene* dan *polypropylene* kekuatan tariknya antara 0,7 - 8,4 kgf/mm² (Surdia, Tata. 1984). Gambar 2.1 menunjukkan kelakuan tarikan dari bahan polimer dalam bentuk kurva tegangan-regangan menurut kekhasannya lunak atau keras, lemah atau kuat, getas atau liat.



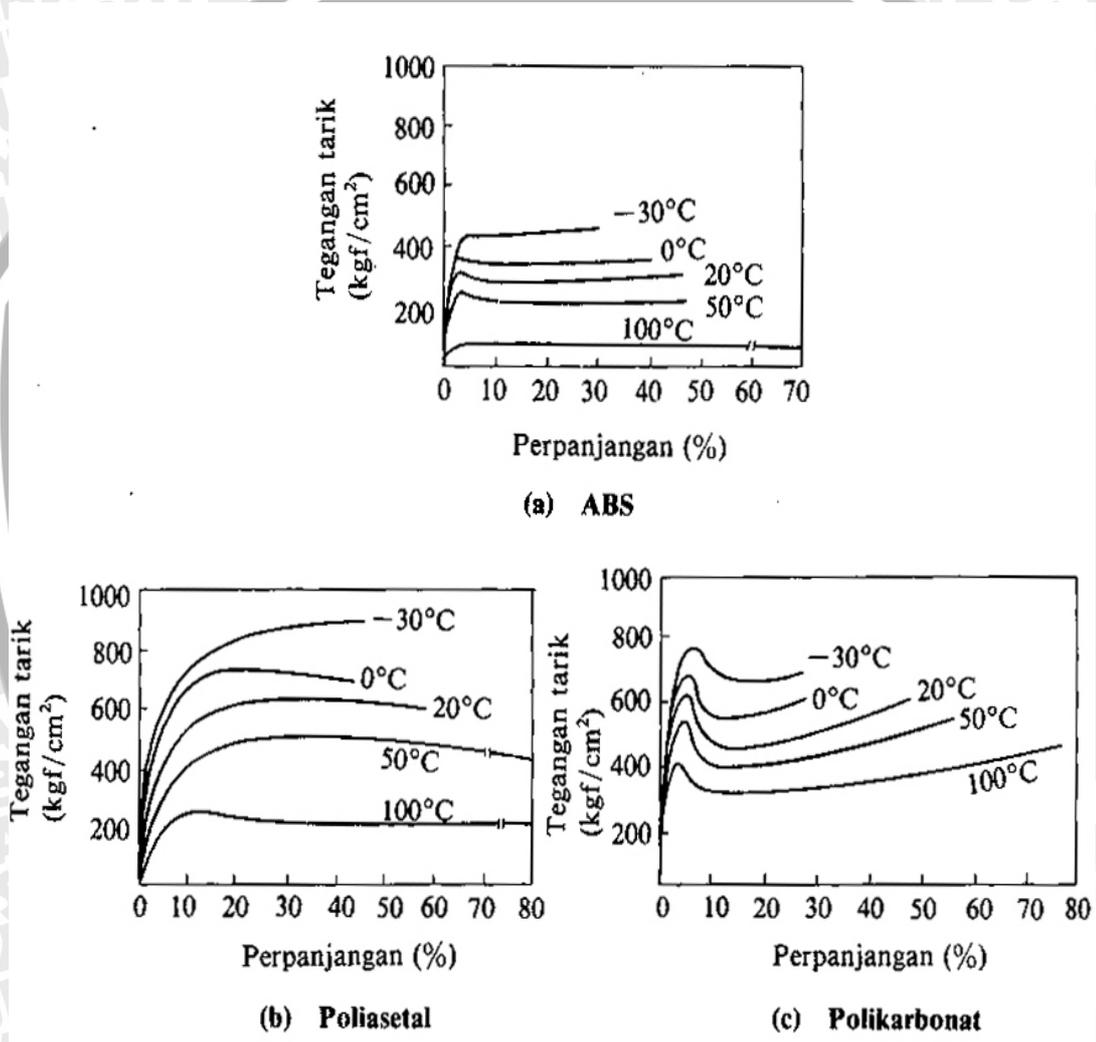
Gambar 2.1. Kekuatan tarik bahan polimer
Sumber : Surdia, Tata. 1984 : 180

Dilihat dari kelakuan mulurnya, ada tiga jenis kurva tegangan-regangan (Surdia, Tata. 1984) seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.

Garis OA_1 pada (a) laju perpanjangannya agak rendah dan meningkat sampai 0,5-2% pada saat patah menunjukkan hubungan lurus. Bahan yang termasuk kelompok ini adalah fenol, urea, melamin, *polyester* tak jenuh, *epoksi* dan resin *styrene* yang bersifat patah getas. Pada jenis selanjutnya, yang ditunjukkan pada (c), OY adalah lurus sampai titik mulur pada Y, tetapi setelah itu memberikan perpanjangan yang besar sampai 100-1000% dan sebelum patah tegangan tarik meningkat dengan cepat. Kadang-kadang peningkatan terakhir ini tidak dapat teramati. Bahan yang termasuk kelompok ini adalah *polyethylene*, *polypropylene*, *polyasetal* dan lainnya yang terdiri dari molekul rantai. Jenis (b) ada di antara (a) dan (c) yang tidak menunjukkan penurunan beban. Beban meningkat yang akhirnya mengakibatkan patah. Bahan yang termasuk jenis ini adalah resin *ABS*, *asetat*, resin *fluoro*. Kelakuan bahan tersebut di atas berlaku pada temperatur kamar (20°C). Kelakuan tersebut akan berubah banyak apabila temperatur berubah. Resin *thermoset* seperti resin *fenol* menunjukkan kelakuan semacam pada (a),

- Pengaruh temperatur

Pengaruh temperatur pada *thermoplastic* sangat besar. Bila temperatur dinaikkan, kekuatannya akan turun. Kurva tegangan-regangan berubah banyak seperti pada gambar 2.3. Pada setiap temperatur tertentu (temperatur lunak dan temperatur transisi gelas) sebagai batas, deformasi karena tarikan meningkat cepat dan tegangan patahnya serta modulus elastiknya menurun. Berlawanan dengan itu di bawah temperatur tersebut, tegangan patah dan modulus elastik meningkat dan regangan patahnya kecil. Jadi pada bahan polimer perlu mengenal jenis temperatur khas tersebut.



Gambar 2.3. Kurva tegangan-regangan beberapa jenis polimer
 Sumber : Surdia, Tata. 1984 : 182

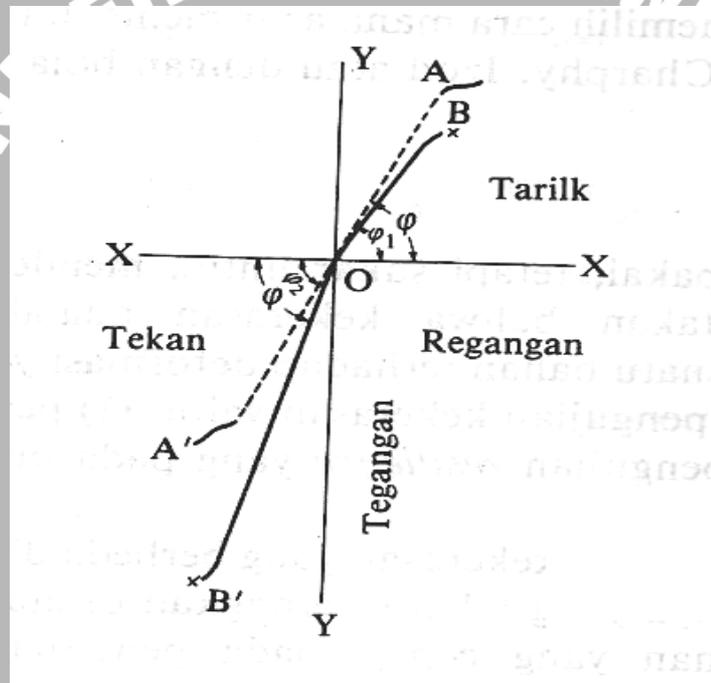
- Pengaruh laju tegangan

Kelakuan bahan akan berubah karena pembebanan, baik beban ringan dan perlahan maupun secara tiba-tiba. Pengaruh tersebut sangat terlihat pada bahan yang mempunyai sifat viskoelastik seperti polimer. Makin tinggi laju tegangan makin besar

beban patah dan modulus elastiknya sedangkan perpanjangannya menjadi kecil. Jadi laju tegangan memberikan pengaruh besar pada sifat-sifat mekanik bahan polimer.

2.2.2.2 Sifat-sifat pada penekanan

Beban tekan berbanding terbalik dengan beban tarik. Karena bahan polimer mempunyai cacat yang kecil atau mengandung zat pengisi tertentu, maka bahan polimer dapat mengalami deformasi yang besar. Pada umumnya kekuatan tekan lebih besar daripada kekuatan tarik dan modulus elastik untuk tekan juga lebih besar daripada untuk tarik. Kebanyakan resin *thermoset* dan *thermoplastic* termasuk bahan yang berdeformasi banyak, mulur tetapi tidak mudah patah. Sama seperti sifat-sifat lainnya, titik mulur, tegangan patah, modulus elastik untuk tekan berkurang dan regangan patah cenderung bertambah sesuai dengan naiknya temperatur dan kelembaban.



Gambar 2.4. Kurva tekan dan tarik bahan polimer

Sumber : Surdia, Tata. 1984 : 185

2.2.3 Sifat-sifat termal

Sifat khas bahan polimer sangat berubah oleh perubahan temperatur. Hal ini disebabkan karena apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena termal akan mengubah kumpulan molekul atau mengubah struktur (terutama struktur yang berdimensi besar). Selanjutnya, karena panas, oksigen dan air bersama-sama memancing reaksi kimia pada molekul-molekul, terjadilah depolimerisasi, oksidasi, hidrolisa yang lebih hebat terjadi pada temperatur tinggi. Keadaan tersebut jelas akan mempengaruhi sifat mekanik, sifat listrik dan sifat kimianya. Panas jenis bahan polimer

berkisar antara 0,25 – 0,55 cal/g°C, lebih besar dibandingkan dengan bahan logam dan keramik. Hal ini disebabkan karena panas jenis adalah panas yang diperlukan untuk pergerakan termal dari molekul-molekul dalam strukturnya.

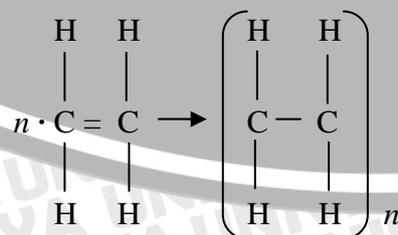
2.2.3.1 Titik tahan panas

Bila temperatur bahan polimer naik, pergerakan molekul menjadi aktif ke titik transisi, yang menyebabkan modulus elastik dan kekerasannya rendah, sedangkan tegangan patahnya lebih kecil dan perpanjangannya lebih besar. Sejalan dengan hal itu, sifat listrik, ketahanan volume, tegangan putus dielektrik dan seterusnya menjadi kecil dan pada umumnya konstanta dielektrik menjadi besar. Jika temperatur melewati temperatur transisi, *thermoplastic* seperti karet menjadi lunak. Selanjutnya, pada temperatur tinggi, kristalnya meleleh dan dapat mengalir. Sangat sukar untuk menelaah ketahanan panas bahan polimer pada temperatur tinggi karena banyak sekali faktor yang berpengaruh seperti keadaan lingkungan, bentuk bahan, macam dan jumlah pengisi, adanya bahan penyetabil. Lamanya waktu berada pada temperatur tinggi juga merupakan permasalahan tersendiri. Dalam waktu yang singkat pada temperatur tinggi tidak memberikan perubahan banyak, tetapi dalam waktu yang lama walaupun temperaturnya lebih rendah dapat mengakibatkan kerusakan. Jadi persyaratan tertentu perlu dipertimbangkan untuk bahan tertentu, contohnya sampai sejauh mana degradasi termal dapat merusak fungsi tertentu suatu bahan.

2.3 Polyethylene

➤ Jenis dan cara produksi

Polyethylene dibuat dengan cara polimerisasi gas *ethylene*, yang dapat diperoleh dengan memberi hidrogen gas petroleum pada pemecahan minyak (nafta), gas alam atau asetilen (Surdia, Tata. 1984). Polimerisasi *ethylene* ditunjukkan pada reaksi di bawah ini



Polyethylene digolongkan menjadi *Low Density Polyethylene (LDPE)* dengan massa jenis 0,910-0,926 g/cm³, *Medium Density Polyethylene (MDPE)* dengan massa jenis 0,926-0,940 g/cm³ dan *High Density Polyethylene (HDPE)* dengan massa jenis

0,941-0,965 g/cm³, karena sifat-sifatnya erat hubungannya dengan massa jenisnya (kristalinitas).

➤ Sifat – sifat

Secara kimia *polyethylene* merupakan parafin yang mempunyai berat molekul tinggi. Karena itu sifat-sifatnya serupa dengan sifat paraffin. Parafin merupakan nama umum dari hidrokarbon alkana, dengan rumus umumnya C_nH_{2n+2}. Contoh yang paling sering dijumpai dari parafin adalah metana (CH₄) pada temperatur ruang. Parafin mempunyai sifat-sifat yang khas antara lain terbakar bila dinyalakan dan mencair, menjadi rata bila dijatuhkan di atas air. *Polyethylene* merupakan polimer non polar yang khas memiliki sifat-sifat listrik yang baik. Terutama sangat baik dalam sifat khas frekuensi tinggi, banyak dipakai sebagai bahan isolasi untuk radar TV dan berbagai alat komunikasi. Akan mempunyai sifat lebih baik lagi bila massa jenisnya lebih tinggi. Sifat kimia *polyethylene* cukup stabil, tahan berbagai bahan kimia kecuali kalida dan oksida kuat. Karena bersifat non polar, *polyethylene* tidak mudah diolah dengan merekat dan mancap. Perlu perlakuan tambahan tertentu seperti oksidasi pada permukaan atau pengubahan struktur permukaannya oleh sinar elektron yang kuat. *Film polyethylene* sangat sukar ditembus air, tetapi mempunyai permeabilitas cukup tinggi terhadap CO₂, pelarut organik, parfum dan sebagainya. *Polyethylene* massa jenis tinggi kurang permeabil daripada *polyethylene* dengan massa jenis rendah. *Polyethylene* mudah diolah, maka dari itu sering dicetak dengan penekanan, injeksi, ekstrusi peniupan dan dengan hampa udara. Pada temperatur rendah bersifat fleksibel tahan *impact* dan tahan bahan kimia. Karena itu dipakai untuk berbagai keperluan termasuk untuk pembuatan berbagai wadah, alat dapur, botol-botol, pipa, isolator kabel listrik, kantong tempat sampah dan sebagainya.

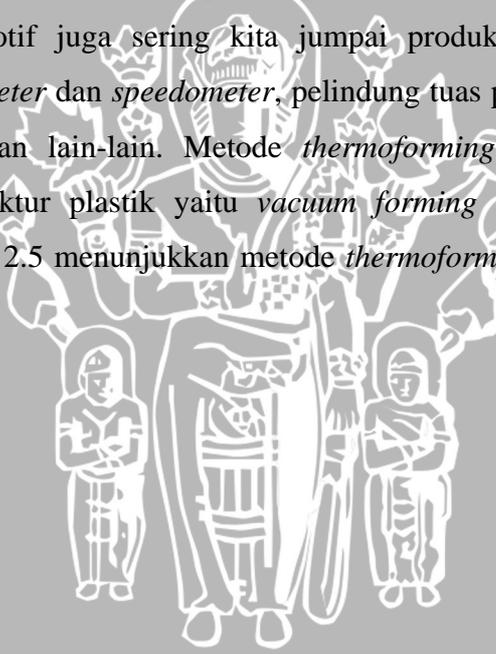
2.4 *Thermoforming*

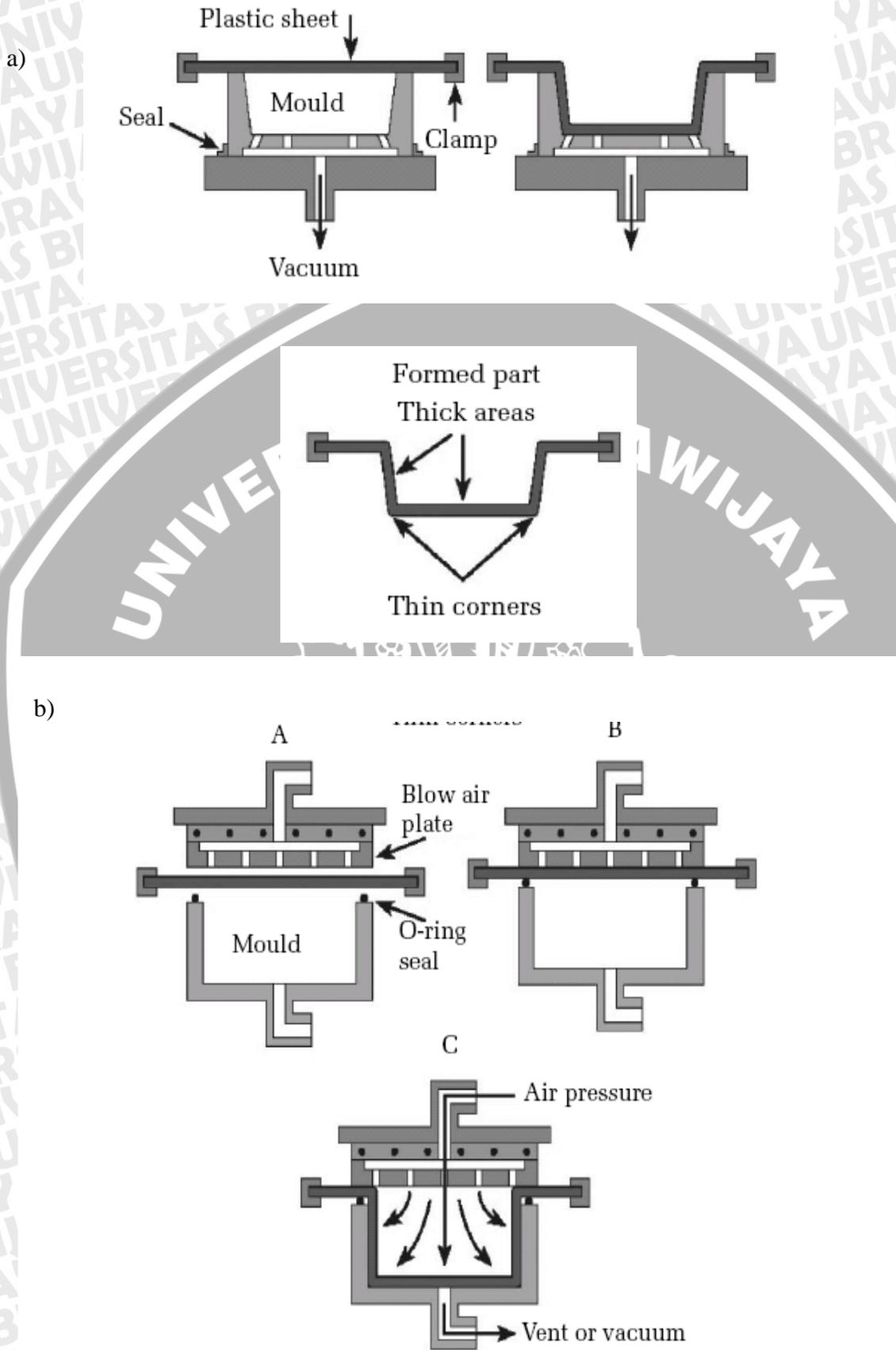
Salah satu proses manufaktur *thermoplastic* yang umum dan sederhana yaitu dengan proses *thermoforming*. *Thermoforming* merupakan proses memanaskan dan membentuk lembaran plastik (*sheet*) pada suatu cetakan. Proses *thermoforming* dapat dikerjakan secara manual hingga otomatis penuh dengan skala produksi yang besar. *Thermoforming* pada umumnya meliputi banyak proses diantaranya *vacuum forming*, *drape forming*, *pressure forming*, dan *matched-mold forming*.

4 *Thermoforming* merupakan proses manufaktur yang relatif mudah dengan biaya lebih murah dan waktu lebih singkat bila dibandingkan dengan proses pembentukan material plastik lainnya. Secara umum proses *thermoforming* terdiri atas lima langkah yaitu :

- *Clamping* (Penjepitan lembaran plastik)
- *Heating* (Pemanasan lembaran plastik hingga mencapai suhu pembentukannya)
- *Shaping* (Pembentukan lembaran plastik ke dalam rongga cetakan)
- *Cooling* (Pendinginan agar produk menjadi rigid dan mempertahankan bentuk akhirnya)
- *Trimming* (Pembuangan material yang tidak dibutuhkan)

Produk *thermoforming* sangatlah familiar dengan kehidupan sehari-hari karena sering kita jumpai produk hasil proses *thermoforming*, contohnya plastik untuk pengepakan makanan, tempat/kotak untuk penyimpanan buah-buahan dan masih banyak lagi. Dalam dunia otomotif juga sering kita jumpai produk hasil *thermoforming* diantaranya 'rumah' *odometer* dan *speedometer*, pelindung tuas persneling, panel-panel pada dashboard mobil dan lain-lain. Metode *thermoforming* yang paling banyak digunakan dalam manufaktur plastik yaitu *vacuum forming* dan *pressure forming* (Dong, Y. 2005). Gambar 2.5 menunjukkan metode *thermoforming* yang paling sering digunakan.



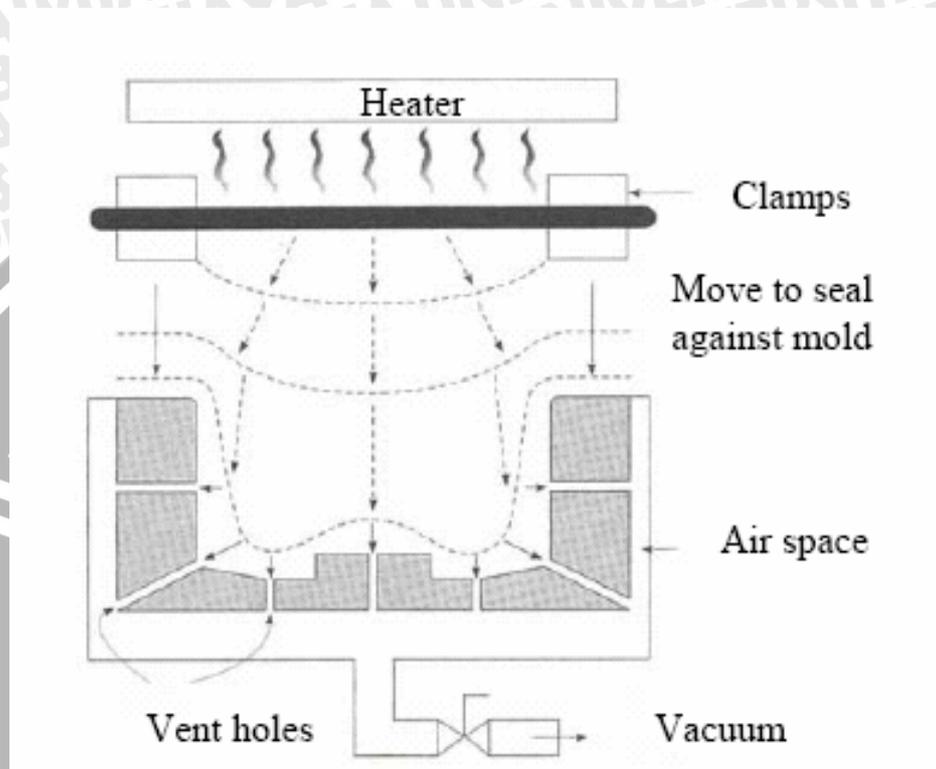


Gambar 2.5 Metode *thermoforming* : a) *vacuum forming* dan b) *pressure forming*

Sumber : Dong, Y and Bhattacharria. 2005

2.5 Vacuum Forming

Proses *vacuum forming* meliputi proses membentuk lembaran plastik (*sheet*) yang telah dipanaskan (hingga temperatur plastisnya) menuju cetakan, kemudian terjadi pengevuasian udara sehingga *sheet* tersebut akan tertarik dan dapat membentuk (*shaping*) sesuai bentuk dari rongga cetakan.



Gambar 2.6. Diagram proses *vacuum forming*
Sumber : Karjust, K. 2008

Langkah-langkah proses *vacuum forming* secara umum adalah *clamping*, *heating*, *shaping*, *cooling* dan *trimming*.

2.5.1 Clamping

Clamping merupakan langkah awal dari proses *vacuum forming*. *Clamping* bertujuan untuk menjepit lembaran plastik (*sheet*) di atas cetakan. *Clamp* akan menekan *sheet* menempel di atas cetakan sehingga ketika *heater* diturunkan untuk memberi panas pada *sheet*, *sheet* tersebut tidak akan bergeser.

2.5.2 Heating

Waktu dan temperatur pemanasan bergantung pada material yang dibentuk. Pemanasan dilakukan untuk memanaskan *sheet* sampai suhu plastisnya agar setelah pemanasan dihilangkan, tidak kembali ke bentuk awalnya. Ketika suhu plastik dicapai, *sheet* akan mengalami penurunan regangan. Dengan demikian, *sheet* akan mudah mulur

(*stretching*) sesuai dengan bentuk cetakan. Suhu plastis *High Density polyethylene* antara 150°C - 190°C (Gruenwald, G. 1998). Bentuk pemanas ada yang bulat, segi empat dan segitiga tergantung dari bentuk cetakan. Penempatan pemanas ada 2 macam yaitu datar atau rata pada bidang cetakan dan melengkung. Penempatan yang datar lebih mudah meratakan suhu yang diberikan pada *sheet*, sedangkan yang melengkung akan lebih mudah memberikan panas pada *sheet* secara radiasi (Robert, M. M. 2007).

2.5.3 *Shaping*

Shaping adalah pembentukan *sheet* ke dalam rongga cetakan. Proses *shaping* terjadi karena adanya *vacuum system*. Kondisi vakum terjadi karena adanya pengevakuasian udara yang terdapat pada rongga cetakan. Udara tersebut tersedot melalui lubang pin (*pin holes*) yang terdapat pada dasar cetakan. Dengan tersedotnya udara pada rongga cetakan, *sheet* dapat tertarik ke bawah dengan mengikuti alur rongga cetakan.

2.5.4 *Cooling*

Ketika *sheet* pertama kali kontak dengan cetakan, selanjutnya akan terjadi proses pendinginan. Pendinginan terjadi karena perbedaan temperatur yang sangat besar antara *sheet* dan cetakan kayu. Proses pendinginan *sheet* ini dapat mempengaruhi produk dari *vacuum forming* misalnya kesesuaian bentuk maupun ketebalannya. Pada umumnya ketebalan produk yang paling besar terletak di bagian atas. Hal ini terjadi karena adanya proses pendinginan dari *sheet* yang tidak bersamaan. Pendinginan *sheet* pada bagian atas akan lebih cepat bila dibandingkan pada bagian bawah karena ketika *sheet* yang telah dipanaskan dan diberi tekanan tersebut melakukan kontak dengan cetakan, maka saat itulah mulai terjadi penurunan temperatur pembentukan *sheet* yang kemudian akan menyebabkan *sheet* tersebut kembali kaku dan tidak dapat mulur lagi. Begitu pula sebaliknya, ketebalan bagian bawah paling kecil karena proses penyerapan panasnya paling lama dari bagian lain.

2.5.5 *Trimming*

Proses terakhir dari *vacuum forming* adalah *trimming*, yaitu pembuangan bagian yang tidak dibutuhkan. *Trimming* juga merupakan proses *finishing* produk agar produk dapat dimanfaatkan atau digunakan dengan baik dan sesuai kegunaannya.

2.6 Cetakan

Cetakan merupakan salah satu faktor terpenting dalam proses *vacuum forming*. Kesalahan dalam pemilihan material atau proses pembuatan cetakan dapat menghalangi kesempurnaan cetakan. Banyak material yang bisa dipakai untuk cetakan *vacuum forming*, diantaranya aluminium, besi, kayu dan gips.

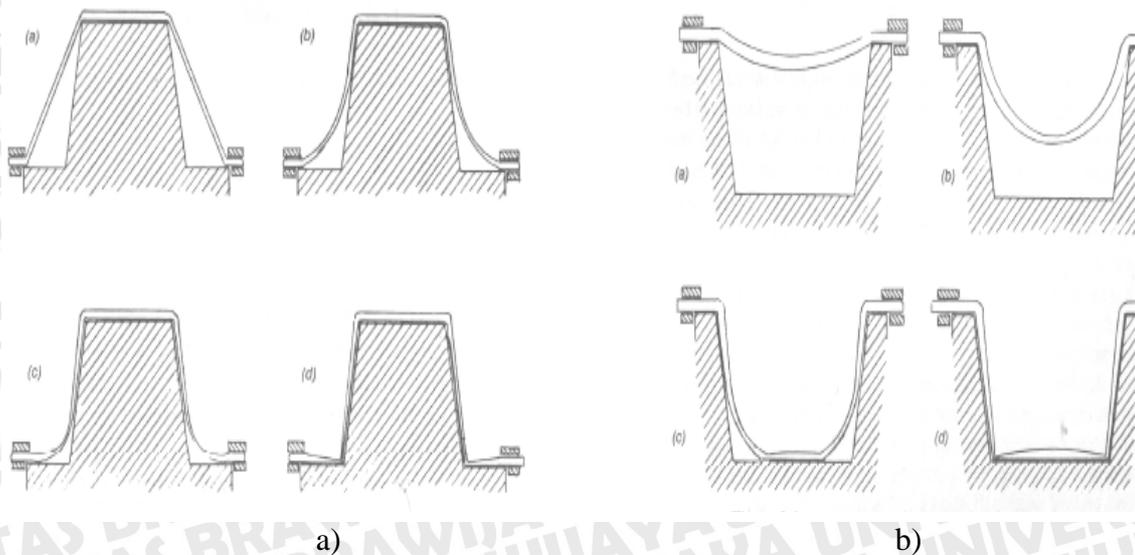
Cetakan pada proses *vacuum forming* dibedakan atas 2 macam (A *Processing Guide For Thermoforming*, 2008), yaitu :

a) *Male mold* atau *positive mold*

Pada *male mold* mempunyai sebuah tonjolan keluar atau lebih, dimana bagian tersebut digunakan *sheet* untuk proses pembentukan. Pada umumnya, distribusi ketebalan *male mold* pada permukaan atas produk lebih besar dibandingkan dengan bagian bawah dan dinding-dindingnya. Perbandingan antara kedalaman dan diameter (*draw ratio*) pada *male mold* bisa mencapai 3:1 (A *Processing Guide For Thermoforming*, 2008)

b) *Female mold* atau *negative mold*

Female mold mempunyai sebuah rongga atau lebih, dimana bagian tersebut digunakan *sheet* untuk proses pembentukan. Ketebalan produk biasanya lebih besar di daerah pinggir atau dinding cetakan. Perbandingan antara kedalaman dan diameter (*draw ratio*) cetakannya lebih kecil dibandingkan dengan *male mold* yaitu 2:1. Bila menggunakan *plug*, *draw ratio* pada *female mold* bisa mencapai 5:1 (A *Processing Guide For Thermoforming*, 2008)



Gambar 2.7 a) *Male mold* dan b) *Female mold*

Sumber : Gruenwald, G. 1998 : 41



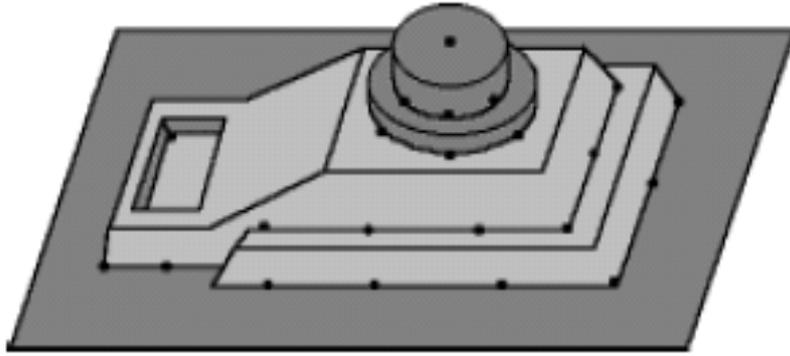
Gambar 2.8. Distribusi ketebalan antara *male mold* dan *female mold*
 Sumber : *vacuum forming guide*
www.formech.com

2.7 Cetakan kayu

Cetakan kayu lebih murah dan mudah dibentuk. Umumnya pembentukan cetakan kayu cukup dengan proses pembubutan konvensional. Cetakan kayu rata-rata dapat memproses sekitar 500 produk (Formech International Ltd). Pemilihan jenis kayu juga sangat penting. Diharapkan kayu untuk cetakan *vacuum forming* merupakan kayu yang memiliki serat kuat dan padat agar ketika proses pembentukan, kayu tersebut tidak mudah rusak atau pecah. Sebelum proses pembentukan, perlu diperhatikan agar kayu benar-benar kering. Perlu juga dilakukan penghalusan cetakan sebelum dilakukan proses *vacuum forming* agar produk juga halus dan rata. Kualitas permukaan cetakan kayu tidak lebih baik dibandingkan dengan cetakan logam. Perlu diperhatikan bahwa kayu mempunyai porositas yang dapat menghambat proses pengevakuan udara. Agar dihasilkan produk yang baik, perlu dilakukan proses penutupan pori-pori kayu tersebut menggunakan dempul kayu.

2.8 Lubang pin (*pin holes*)

Cetakan pada proses *vacuum forming* harus terdapat lubang pin (*pin holes*) untuk mengevakuasi udara. Lubang pin digunakan sebagai saluran pembuangan pada proses evakuasi udara. Idealnya lokasi lubang pin sebaiknya pada bagian tepi pada sisi cetakan atau pada bagian pojok sisi-sisi cetakan (Vodra, Richard, 1977). Hal ini dimaksudkan agar pada saat terjadi pengevakuan udara, *sheet* yang dekat dengan dinding cetakan akan lebih dulu menempel pada bagian dinding atas kemudian baru ke dinding bawah dan dilanjutkan ke daerah tengah cetakan sehingga bentuk yang dihasilkan akan sesuai dengan bentuk cetakannya, terutama bentuk *cup*. Diameter lubang pin tergantung dari ketebalan *sheet* yang digunakan. Diameter yang dapat digunakan adalah sama atau setengah kali dari ketebalan *sheet* (*vacuum forming guide*).



Gambar 2.9. Contoh pemberian lubang pin pada cetakan *vacuum forming*.

Sumber : *Vacuum Forming Guide*
www.formech.com

2.9 Hipotesis

Dengan latar belakang dan tinjauan pustaka yang telah diuraikan di atas maka dapat dikemukakan hipotesis dari penelitian ini adalah dengan variasi jumlah lubang pin (*pin holes*) pada cetakan *vacuum forming* akan mempengaruhi distribusi ketebalan *cup*.

Pada *female mold* maupun *male mold*, distribusi ketebalan produk cenderung tidak rata. Pada *female mold*, produk akan lebih tebal pada dinding atas daripada dinding bawah, atau semakin ke bawah ketebalan dindingnya semakin kecil. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan *sheet* yang tidak bersamaan. Semakin banyak jumlah lubang pin diharapkan akan mempercepat proses pengevakuasian udara. Selain itu, *sheet* akan mengalami regangan yang maksimal.

Ketika *sheet* pertama kali kontak dengan cetakan, akan terjadi pendinginan pada *sheet*. Karena proses evakuasi yang cepat (banyaknya jumlah lubang pin), maka proses kontak tersebut akan terjadi hampir bersamaan. Dengan demikian, pendinginan *sheet* akan terjadi hampir bersamaan pula pada bagian dinding atas maupun dinding bawah dan bagian dasar. Pendinginan *sheet* akan menyebabkan *sheet* menjadi kaku dan tidak dapat mulur lagi. Adanya regangan yang maksimal juga dapat menyebabkan perbedaan ketebalan antar bagian tidak terlalu besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) dan pengkajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku dan jurnal dari internet yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri dari variabel - variabel sebagai berikut :

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya divariasikan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah lubang pin (*pin holes*) pada cetakan yaitu 25, 35, 45 dan 55 lubang.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah distribusi ketebalan *cup* hasil proses *vacuum forming*.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang telah ditentukan nilainya sebelum penelitian dan tidak berubah selama penelitian berlangsung, yaitu :

1. Tekanan *vacuum* : -50 cmHg
2. Waktu pemanasan *sheet* : 2 menit
3. Jarak pemanasan : 10 mm
4. Diameter lubang pin : 1 mm
5. Temperatur pemanasan *sheet*: 170°C
6. Temperatur cetakan : temperatur kamar

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2008. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu di Laboratorium Fluida dan Laboratorium Metrologi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.4. Alat dan Bahan yang Digunakan

Peralatan utama yang digunakan untuk penelitian ini adalah 1 unit prototipe mesin *vacuum forming* yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 3.1. Instalasi mesin *vacuum forming*

Rangkaian mesin *vacuum forming* ini terdiri dari :

- *Wire Heater*

Wire heater terdapat di dalam silinder aluminium yang berfungsi sebagai sumber panas yang akan digunakan untuk memanaskan lembaran *thermoplastic*.



Gambar 3.2. *Wire Heater* pada mesin *vacuum forming*

- *Thermocontrol dan Relay*



Gambar 3.3. *Thermocontrol dan Relay*

Thermocontrol digunakan sebagai alat pengatur temperatur pemanasan dan menjaga nilainya agar stabil. Pada penggunaannya dihubungkan dengan sebuah *thermocouple* sebagai sensor panas.

- *Clamp*



Gambar 3.4. *Clamp aluminium*

Clamp berfungsi sebagai penjepit lembaran *thermoplastic* yang akan dibentuk agar tidak bergeser dan berubah posisi.

- *Vacuum source stabilizer*



a)



b)

Gambar 3.5. *Vacuum source stabilizer*

Vacuum source stabilizer digunakan sebagai penyetabil tekanan vacuum dari *compressor*. *Vacuum source stabilizer* terdiri dari : a) tabung aerrator dan b) *vacuum gauge* Pada penggunaannya, dihubungkan dengan *compressor* dan nosel pada cetakan.

- Female mold berbentuk cup



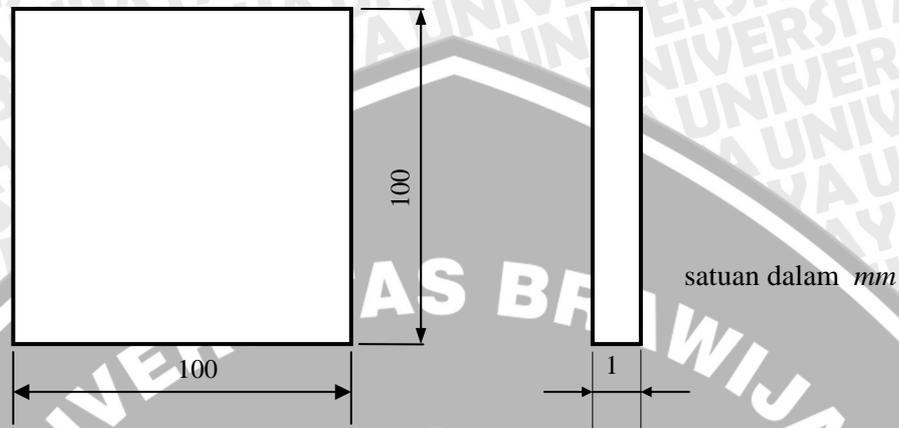
Gambar 3.6 Female mold

- Peralatan penunjang lainnya yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain:

a. Stopwatch	e Kamera digital	g. Vacuum gauge
b. Jangka sorong	f. Gunting	h. Penggaris
c. Micrometer digital	g. Thermometer gun	
d. Compressor	h. Spidol marker	

3.5 Dimensi dan Bahan Benda Kerja

Material *thermoplastic* yang dipergunakan adalah *polyethylene* jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* berbentuk lembaran. Dimensi benda kerja awal dalam proses *vacuum forming* ditunjukkan pada gambar 3.7



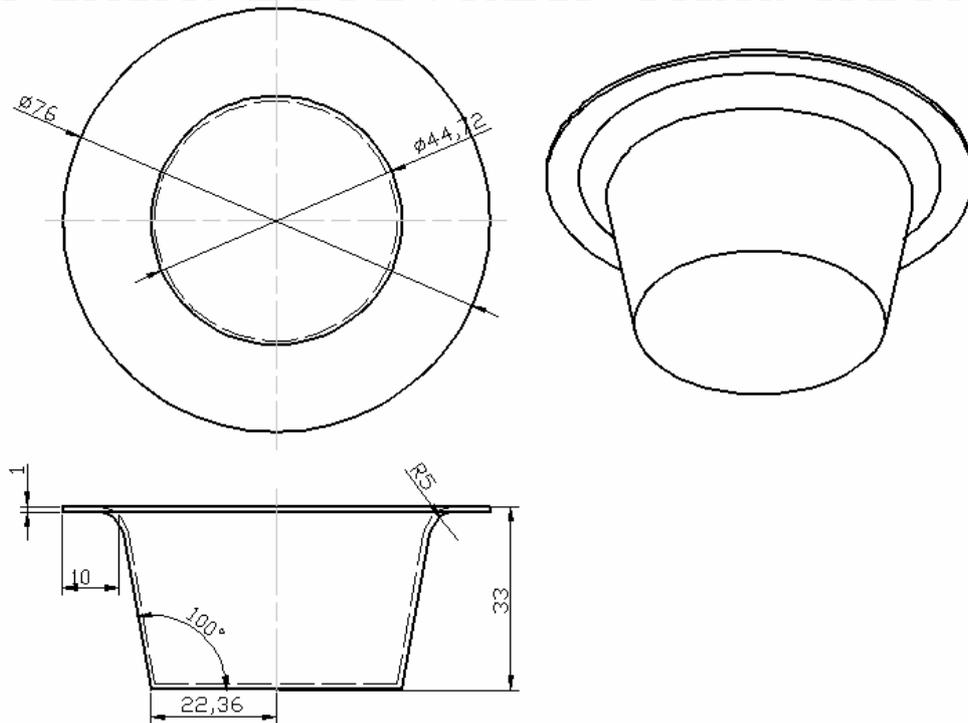
Gambar 3.7. Dimensi benda kerja awal

Data properties material :

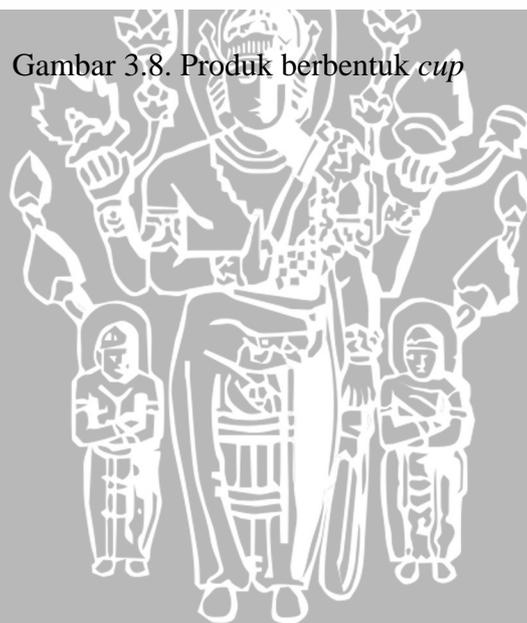
Massa jenis	: 0,941 – 0,965 g/cm ³
Kekuatan tarik	: 2,1 – 3,8 kgf/mm ²
Perpanjangan	: 15 – 100 %
Modulus elastik	: 0,4 – 1 kgf/mm ² x 10 ²
Kekuatan tekan	: 2,2 kgf/mm ²
Kekuatan lentur	: 0,7 kgf/mm ²
Temperatur plastis	: 150 – 190 °C *)

Sumber : Surdia, Tata. 1984 : 184

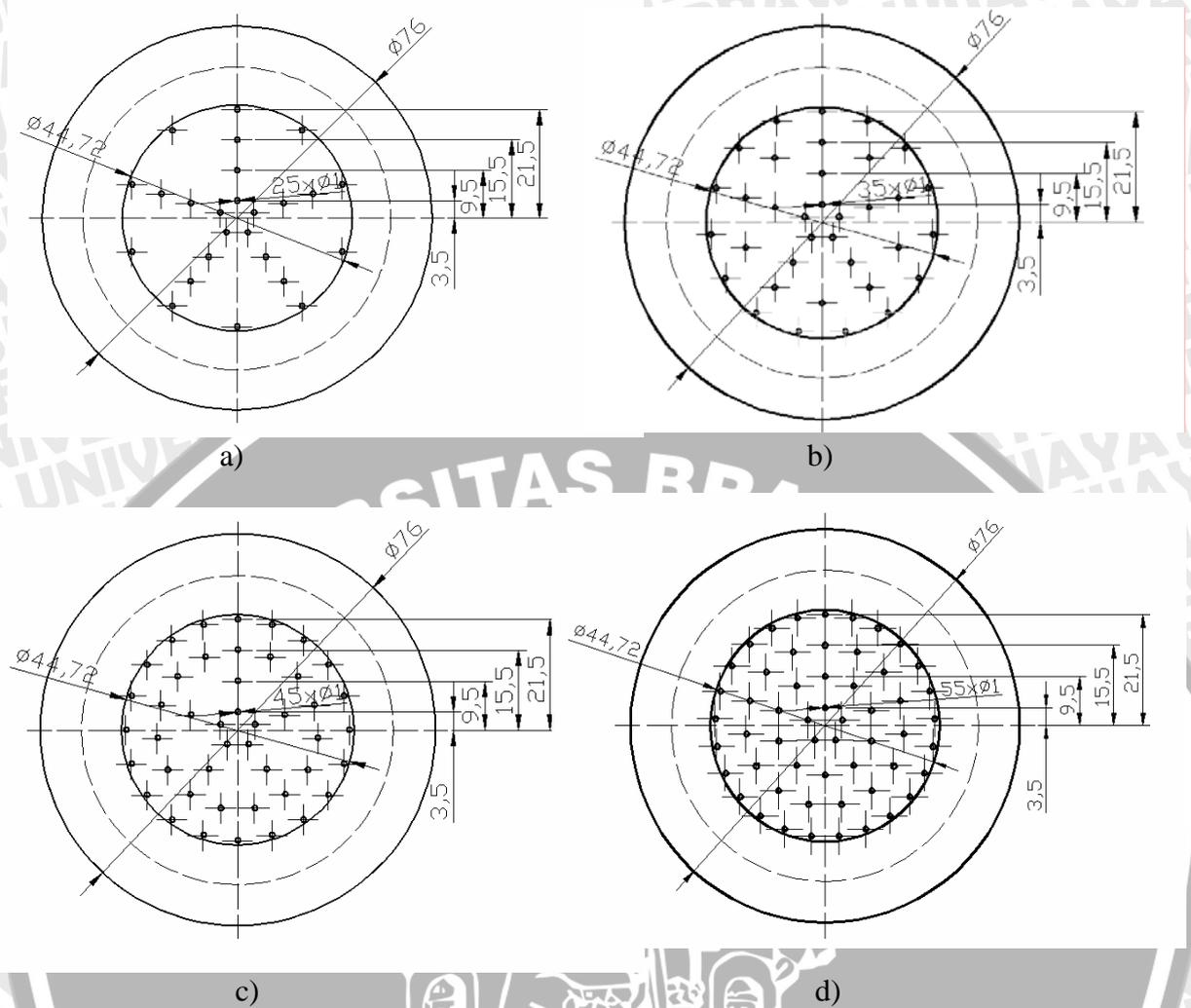
*) Gruenwald, G. 1998 : 28



Gambar 3.8. Produk berbentuk *cup*



3.6 Susunan Lubang Pin Pada Cetakan Kayu



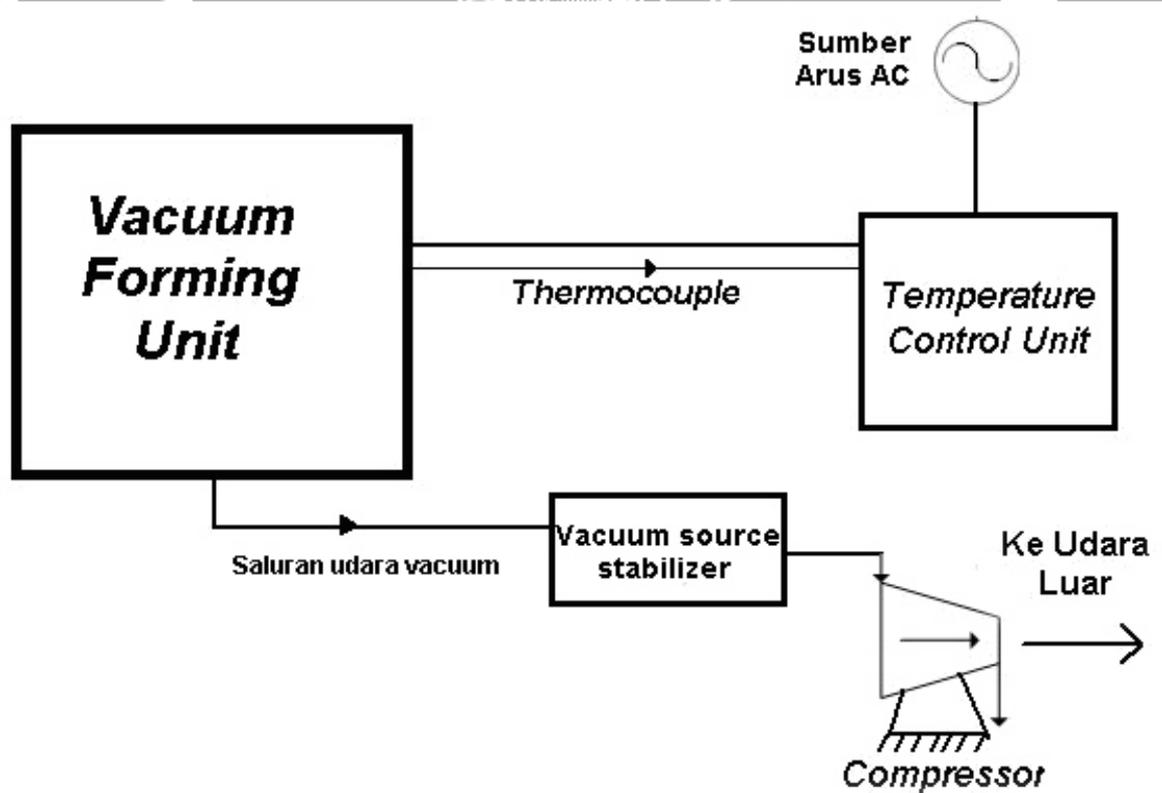
Gambar 3.9. Susunan Lubang Pin pada Cetakan Kayu
 a) 25 lubang ; b) 35 lubang ; c) 45 lubang ; d) 55 lubang

Susunan lubang pin cetakan pada penelitian ini dibagi menjadi 4 pola lingkaran (gambar 3.9). Lingkaran pertama dimulai pada lingkaran terluar atau pada pinggir bagian dasar cetakan kemudian dilanjutkan lingkaran kedua, ketiga dan keempat. Berikut keterangan tentang posisi lubang pin yang digunakan.

- Variasi lubang pin 25 →
- Lingkaran I : 10 lubang
 - Lingkaran II: 5 lubang
 - Lingkaran III : 5 lubang
 - Lingkaran IV : 5 lubang

- Variasi lubang pin 35 → Lingkaran I : 15 lubang
 Lingkaran II : 10 lubang
 Lingkaran III : 5 lubang
 Lingkaran IV : 5 lubang
- Variasi lubang pin 45 → Lingkaran I : 20 lubang
 Lingkaran II : 15 lubang
 Lingkaran III : 5 lubang
 Lingkaran IV : 5 lubang
- Variasi lubang pin 55 → Lingkaran I : 25 lubang
 Lingkaran II : 15 lubang
 Lingkaran III : 10 lubang
 Lingkaran IV : 5 lubang

3.7 Skema Instalasi



Gambar 3.10. Skema instalasi vacuum forming

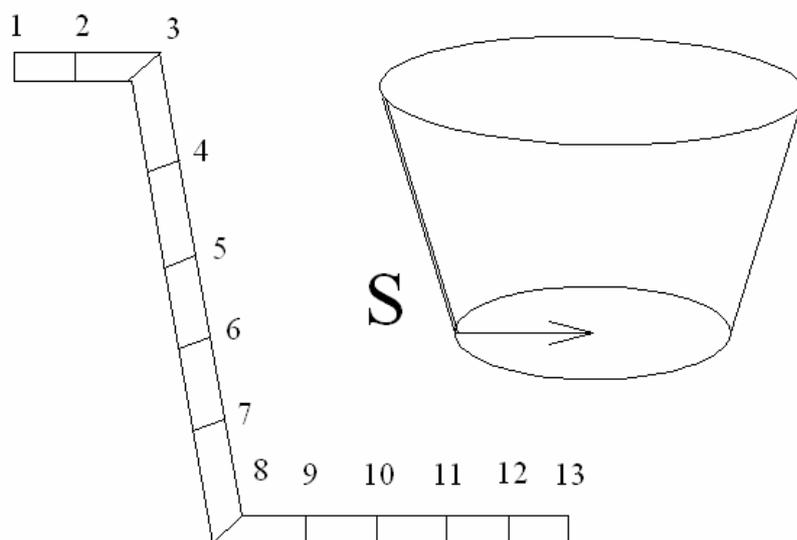
3.8 Prosedur Penelitian

3.8.1 Skema kerja *vacuum forming*

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Persiapan pemanasan dengan memanaskan *heater*.
3. *Sheet* diletakkan tepat di atas mulut cetakan, dan dijepit dengan *clamp*.
4. Pemanas mulai diturunkan hingga mendekati *sheet* tersebut.
5. Pemanasan dilakukan hingga mencapai temperatur plastis dari *sheet* tersebut selama 2 menit.
6. Setelah *sheet* yang dipanaskan telah mencapai temperatur plastisnya, pemanas diangkat dan kemudian kita buka keran vakumnya untuk mengevakuasi udara.
7. Tekanan hisap yang dibangkitkan *vacuum* menyebabkan proses *shaping*, yaitu *sheet* menekan masuk ke dalam cetakan, dan membentuk sesuai alur cetakan tersebut.
8. Akibat adanya perpindahan panas dari *sheet* ke cetakan, maka terjadi penurunan temperatur pembentukan pada *sheet* sehingga *sheet* menjadi kaku kembali.
9. Untuk melepas *sheet* yang telah terbentuk tadi, kita lepaskan penjepitnya dan kemudian kita angkat produk dari dalam rongga cetakan.
10. Melakukan pengukuran distribusi ketebalan dinding produk yang dihasilkan.
11. Melakukan pembahasan dan menarik kesimpulan

3.8.2 Pengukuran distribusi ketebalan

Nilai distribusi ketebalan diukur berdasarkan besar ketebalan pada simpul-simpul pengukuran pada *cup* hasil proses *vacuum forming*. Simpul-simpul tersebut tersebar mulai dari bagian atas, dinding hingga dasar *cup*, dengan pola seperti pada gambar 3.9 (Akkerman, 1998).



Gambar 3.11. Posisi dan arah simpul

Dari data hasil pengukuran pada masing-masing simpul tersebut dapat kita ketahui distribusi ketebalannya. Terdapat 13 titik simpul dengan jarak antar titik simpul sebesar 5 mm.

3.9 Rencana Pengolahan Data

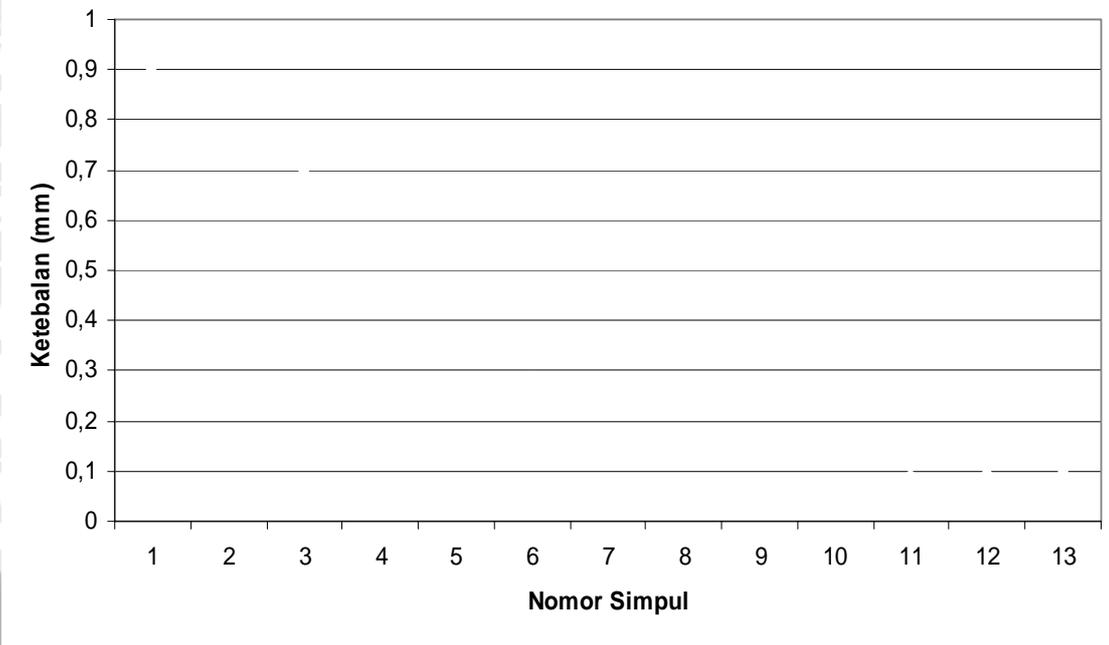
Dari pengukuran ketebalan tiap simpul didapat sebuah tabel nilai ketebalan masing-masing simpul. Tabel nilai ketebalan tiap simpul antar variasi lubang pin ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 3.1. Contoh data nilai ketebalan produk antar variasi jumlah lubang pin

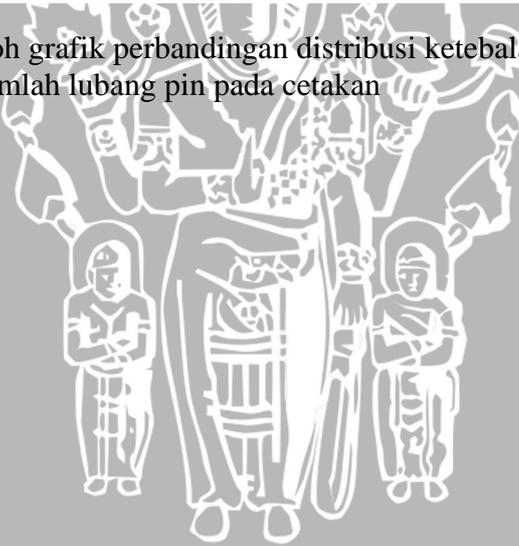
25 Lubang Pin		35 Lubang Pin	45 Lubang Pin	55 Lubang Pin
No. Simpul	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				

Dari data nilai ketebalan tersebut, diolah menjadi grafik hubungan antara nomor simpul dan ketebalan masing-masing produk seperti pada gambar 3.12.

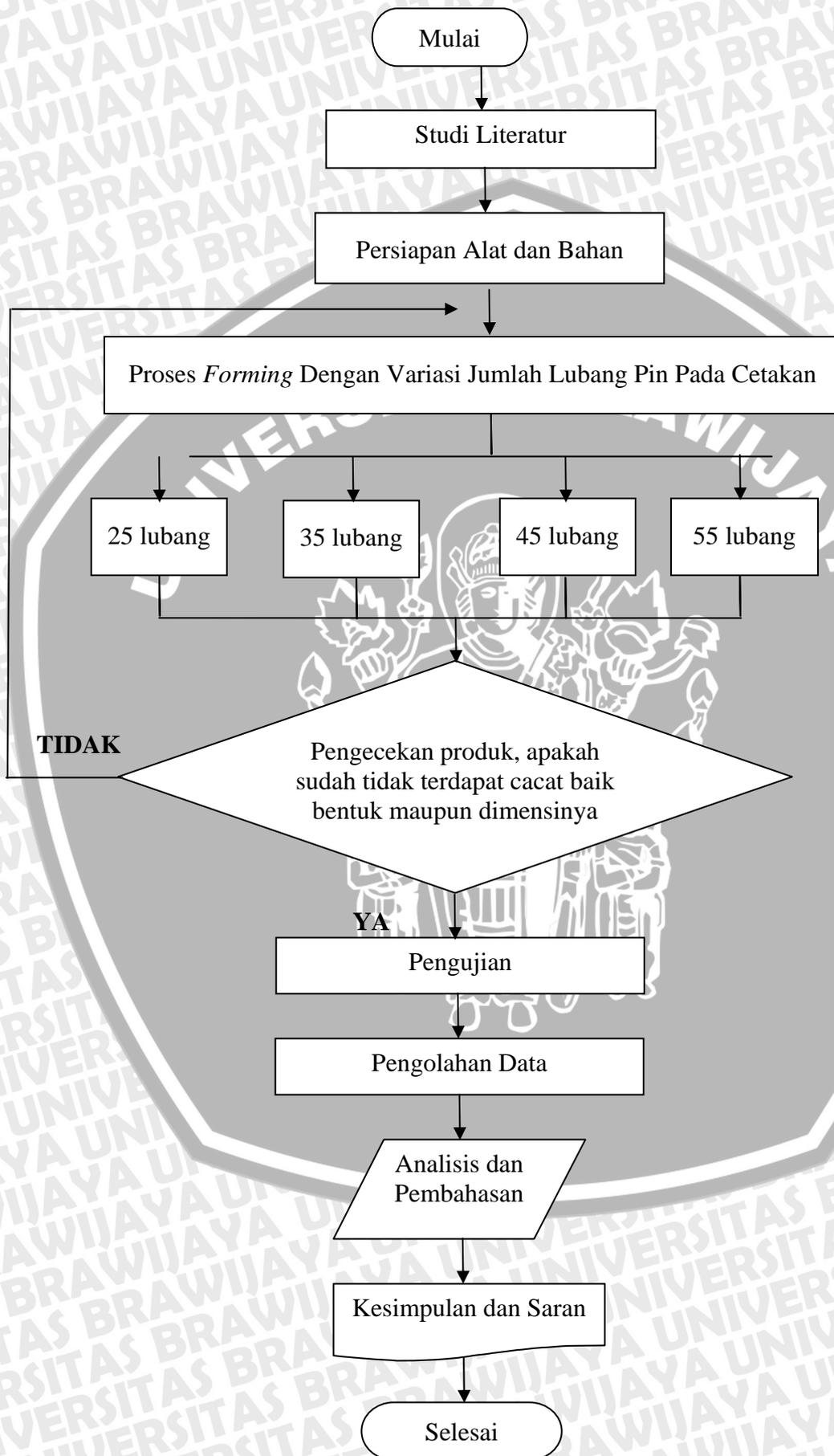
Grafik Perbandingan Distribusi Ketebalan Antar Variasi Jumlah Lubang Pin Pada Cetakan Vacuum Forming



Gambar 3.12. Contoh grafik perbandingan distribusi ketebalan produk antar variasi jumlah lubang pin pada cetakan



3.10. Diagram Alir Penelitian



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Pengukuran Ketebalan Produk.

Dari hasil eksperimen, didapat data nilai ketebalan tiap-tiap simpul pada masing-masing variasi jumlah lubang pin pada cetakan. Data tersebut diperoleh dengan melakukan pengukuran ketebalan langsung pada produk hasil proses *vacuum forming*. Data hasil pengukuran ketebalan dari masing-masing variasi jumlah lubang pin sebagaimana pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data hasil pengukuran ketebalan tiap-tiap simpul pada produk dengan variasi jumlah lubang pin cetakan

25 Lubang Pin		35 Lubang Pin	45 Lubang Pin	55 Lubang Pin
No. Simpul	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)	Ketebalan (mm)
1	0.9	0.901	0.9	0.902
2	0.894	0.889	0.854	0.826
3	0.892	0.875	0.819	0.694
4	0.854	0.745	0.619	0.549
5	0.764	0.636	0.535	0.429
6	0.537	0.494	0.429	0.287
7	0.355	0.285	0.258	0.178
8	0.098	0.077	0.089	0.072
9	0.105	0.081	0.102	0.079
10	0.107	0.083	0.105	0.082
11	0.109	0.084	0.108	0.088
12	0.117	0.090	0.115	0.090
13	0.127	0.096	0.125	0.094

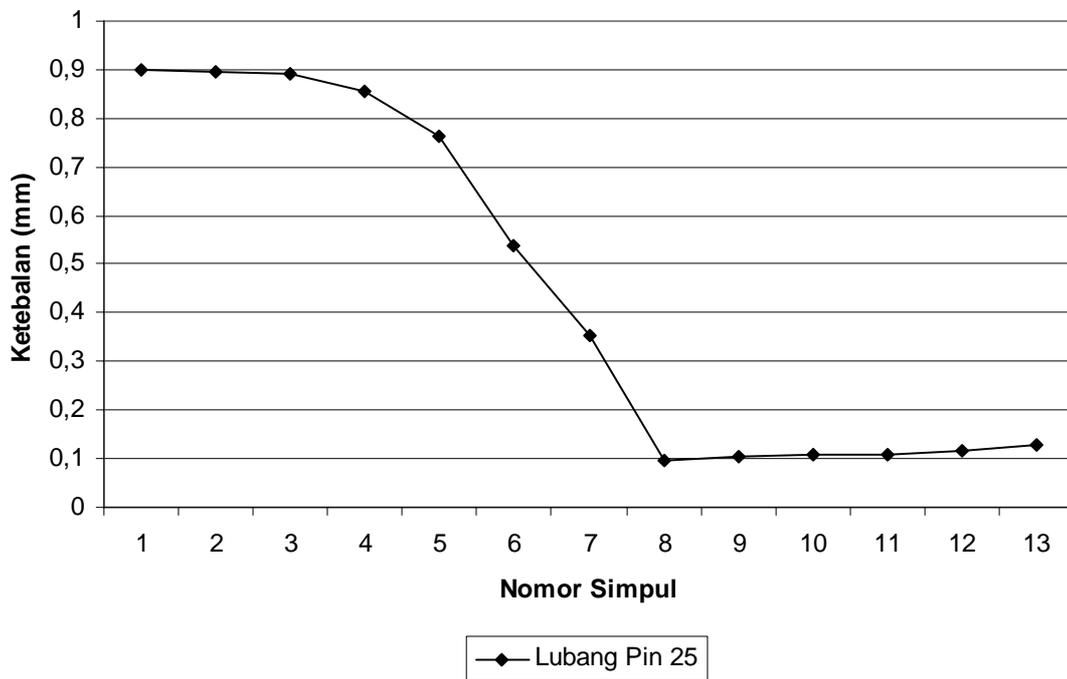
4.2. Pembahasan

Data yang didapat dari penelitian tersebut dibuat dalam bentuk grafik yang menunjukkan letak simpul pada produk dan ketebalannya.

4.2.1. Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 25 Lubang Pin pada Cetakan *Vacuum Forming*.

Distribusi ketebalan produk dengan variasi jumlah lubang pin 25 pada cetakan *female mould* ditunjukkan oleh gambar 4.1 berikut :

**Grafik Distribusi Ketebalan Produk Vacuum Forming
Dengan Variasi 25 Lubang Pin Pada Cetakan**

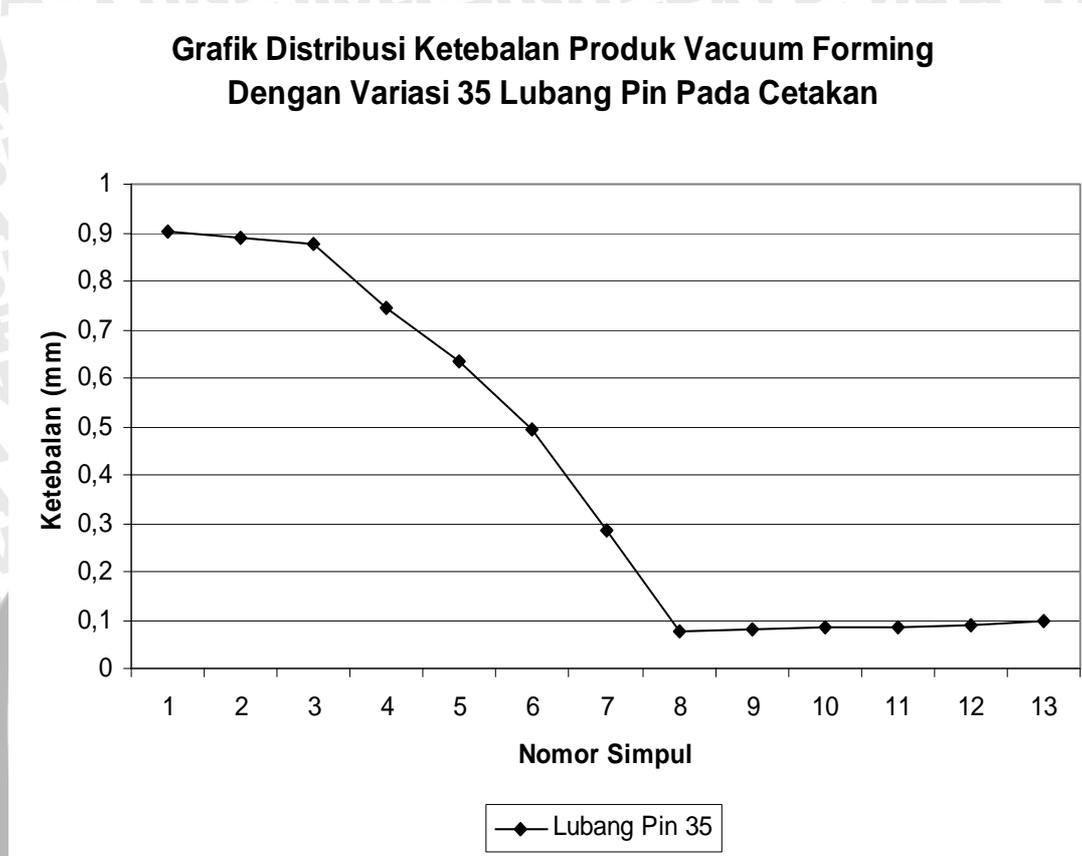


Gambar 4.1. Grafik perbandingan distribusi ketebalan produk dengan variasi 25 jumlah lubang pin pada cetakan *vacuum forming*.

Pada gambar 4.1. menunjukkan distribusi ketebalan produk dengan variasi jumlah lubang pin 25. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada simpul nomor 3 mulai terjadi penurunan ketebalan yang cukup besar sampai pada simpul nomor 8. Hal ini terjadi karena lubang pin pada cetakan terlalu sedikit sehingga tekanan vakum yang terjadi kecil dan proses *shaping* (pembentukan) pada *sheet* menjadi lama. Seperti diketahui, ketika *sheet* pertama kali kontak langsung dengan cetakan, pada saat tersebut terjadi proses penyerapan panas oleh cetakan yang mengakibatkan temperatur pembentukan *sheet* menurun sehingga *sheet* akan menjadi kaku dan tidak dapat mulur lagi. *Sheet* cenderung lebih tebal pada daerah dinding produk daripada bagian dasar karena ketika *sheet* masih berada di daerah dinding, sebagian telah kaku dan tidak dapat mulur lagi.

Ketebalan produk paling kecil terdapat pada simpul nomor 8 karena simpul nomor 8 tersebut terletak pada lingkaran paling luar yang memiliki jumlah lubang pin terbanyak. Pada bagian tersebut terjadi tegangan tarik maksimal sehingga *sheet* mengalami kemuluran yang maksimal pula.

4.2.2. Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 35 Lubang Pin pada Cetakan *Vacuum Forming*.

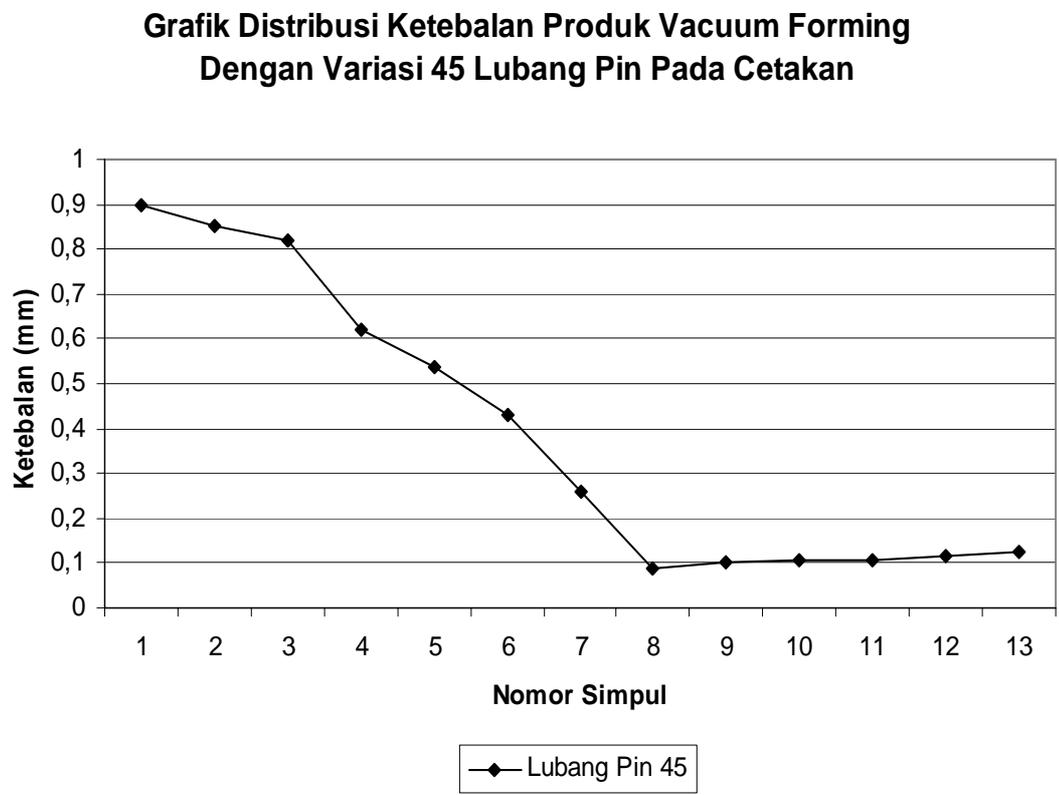


Gambar 4.2. Grafik perbandingan distribusi ketebalan produk dengan variasi 35 jumlah lubang pin pada cetakan *vacuum forming*.

Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai ketebalan pada node 3-8 atau daerah dinding produk lebih kecil bila dibandingkan dengan variasi 25 lubang pin. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan jumlah lubang pin terutama pada lingkaran bagian luar. Penambahan jumlah lubang pin pada lingkaran luar dari 10 lubang menjadi 15 lubang menyebabkan tekanan vakum akan bertambah besar sehingga proses *shaping* (pembentukan) *sheet* terutama pada bagian dinding menjadi lebih cepat. *Sheet* akan menjadi lebih cepat kaku. Karena itulah, selain nilai ketebalannya lebih kecil, distribusi ketebalan pada bagian dinding produk menjadi lebih baik.

Nilai ketebalan yang paling besar terdapat pada simpul 1 *sheet* tidak terkena tekanan vakum yang begitu besar. Posisi simpul nomor 1 tersebut berada di daerah mulut cetakan. Namun pada simpul nomor 1 masih terkena efek dari pemanasan sehingga mengalami mulur meskipun nilainya sangat kecil.

4.2.3 Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 45 Lubang Pin pada Cetakan *Vacuum Forming*



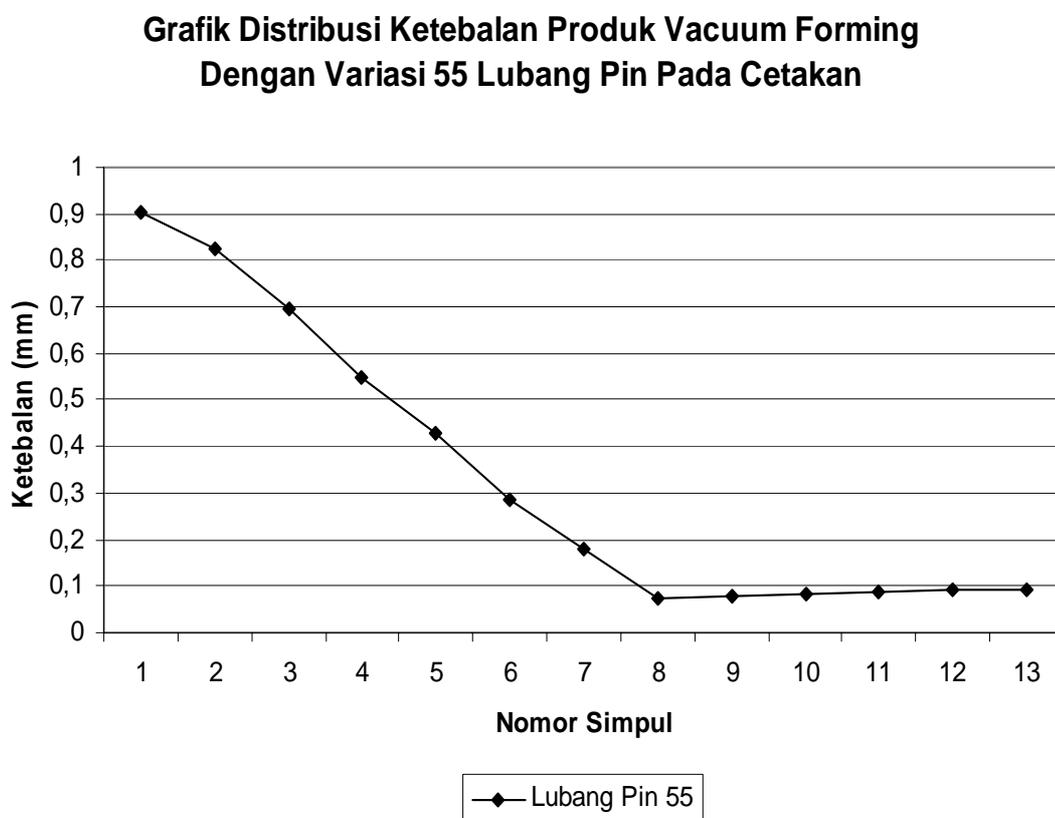
Gambar 4.3. Grafik perbandingan distribusi ketebalan produk dengan variasi 45 jumlah lubang pin pada cetakan *vacuum forming*

Pada gambar 4.3 mengenai distribusi ketebalan produk *vacuum forming* dengan variasi 45 lubang pin dapat dilihat adanya perbedaan nilai ketebalan pada simpul nomor 3-8. Nilai ketebalan diantara simpul-simpul tersebut lebih kecil bila dibandingkan dengan variasi 25 dan 35 lubang. Jumlah lubang pin pada cetakan yang bertambah banyak membuat proses *shaping* pada *sheet* semakin cepat karena tekanan vakum lebih besar. Proses *shaping* yang lebih cepat itulah membuat nilai ketebalan *sheet* semakin kecil terutama pada bagian dinding produk.

Nilai ketebalan pada simpul nomor 1 lebih kecil dari variasi 25 dan 35 lubang, yaitu 0.9 mm. Hal ini disebabkan pula karena semakin besarnya tekanan vakum. Tekanan vakum itulah yang menyebabkan daerah di simpul nomor 1 ikut mulur lebih panjang sehingga nilai ketebalannya menjadi lebih kecil daripada simpul nomor 1 pada variasi sebelumnya..

Pada bagian dasar produk dengan variasi 45 lubang pin ini, simpul nomor 8 merupakan simpul dengan nilai ketebalan paling kecil. Nilai ketebalannya adalah 0.089 mm. Pada simpul nomor 8 berada pada lingkaran paling luar dengan jumlah lubang pin paling banyak yaitu 20 lubang. Karena semakin banyaknya lubang pin pada lingkaran luar tersebut menyebabkan kemuluran *sheet* menjadi lebih panjang dengan adanya tekanan vakum yang lebih besar pada daerah tersebut.

4.2.4 Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk dengan Variasi 55 Lubang Pin pada Cetakan *Vacuum Forming*



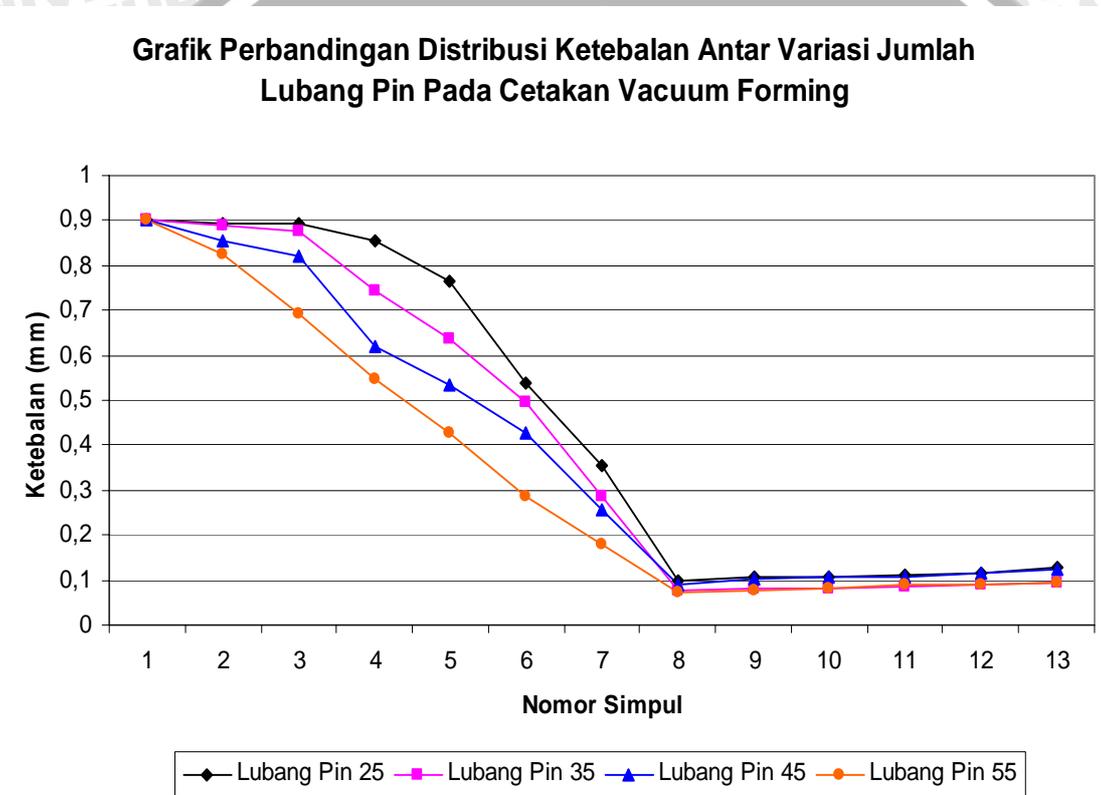
Gambar 4.4. Grafik perbandingan distribusi ketebalan produk dengan variasi 55 jumlah lubang pin pada cetakan *vacuum forming*

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa jumlah lubang pin 55, yang merupakan variasi dengan jumlah lubang pin paling banyak, nilai ketebalan pada dinding produk paling kecil diantara variasi lubang pin yang lain. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah lubang pin akan memperbesar tekanan vakum yang terjadi sehingga proses *shaping* pada *sheet* juga semakin cepat. Semakin cepat proses *shaping* tersebut

membuat *sheet* mengalami kemuluran yang semakin besar. Hasilnya, *sheet* tersebut akan semakin tipis. Nilai ketebalan paling kecil pada simpul nomor 8, yaitu 0.072 mm.

Daerah dasar produk (simpul nomor 8-13), nilai ketebalannya juga paling kecil. Penambahan jumlah lubang pin pada lingkaran bagian tengah juga menyebabkan *sheet* mengalami mulur yang lebih panjang pada daerah tengah sehingga nilai ketebalannya akan semakin kecil.

4.2.5 Pembahasan Perbandingan Distribusi Ketebalan Produk Antar Variasi Jumlah Lubang Pin pada Cetakan *Vacuum Forming*



Gambar 4.5. Grafik perbandingan distribusi ketebalan produk antar variasi jumlah lubang pin pada cetakan

Gambar 4.5 menunjukkan perbedaan distribusi ketebalan antar variasi jumlah lubang pin pada cetakan. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan yang cukup signifikan antar variasi jumlah lubang pin. Perbedaan distribusi ketebalan yang paling terlihat terjadi pada daerah dinding produk. Hal ini disebabkan karena proses *shaping* pada *vacuum forming* terjadi pada bagian dinding kemudian dilanjutkan pada bagian dasar produk. Proses *shaping* tersebut dipengaruhi oleh tekanan vacuum dimana perbedaan tekanan vacuum disebabkan adanya variasi jumlah lubang pin.

Semakin banyak jumlah lubang pin akan memperbesar tekanan vacuum yang terjadi dan proses *shaping* tentunya akan berjalan semakin cepat.

Semakin cepat proses *shaping* itulah yang menyebabkan distribusi ketebalan yang berbeda. Seperti diketahui, ketika *sheet* pertama kali kontak dengan cetakan, pada saat itulah terjadi proses perpindahan panas dari *sheet* menuju cetakan sehingga temperatur pembentukan *sheet* akan menurun. Penurunan temperatur pembentukan *sheet* tersebut menyebabkan *sheet* menjadi kaku dan tidak dapat mulur lagi. Pada gambar di atas, terlihat bahwa distribusi ketebalan yang paling baik terjadi pada produk dengan variasi 55 lubang pin, atau variasi lubang pin yang paling banyak. Urutan distribusi ketebalan dari yang paling baik adalah variasi 55 lubang pin, 45 lubang pin, 35 lubang pin dan 25 lubang pin.

Pada variasi 55 lubang pin, proses *shaping* pada *sheet* berjalan cepat dan proses *sheet* menjadi kaku semakin cepat pula. Dengan demikian, distribusi ketebalannya akan semakin baik. Berbeda dengan variasi 25 lubang pin atau variasi lubang pin yang paling sedikit. Pada variasi 25 lubang pin tersebut distribusi ketebalannya kurang optimal. Hal ini disebabkan karena proses *shaping* yang lebih lambat sehingga ketika *sheet* masih berada di bagian atas, sebagian *sheet* tersebut sudah kaku.

Perbedaan ketebalan terlihat jelas pada simpul nomor 3. Nilai ketebalan simpul nomor 3 pada variasi 25 lubang pin adalah 0.892 mm sedangkan pada variasi 55 lubang pin nilai ketebalannya 0.694 mm. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa ketika *sheet* sama-sama berada pada simpul nomor 3, sebagian *sheet* pada variasi 25 lubang pin telah kaku sehingga tidak mampu mulur terlalu besar atau proses *shaping* kurang optimal. Sedangkan pada variasi 55 lubang pin, nilai ketebalannya jauh lebih kecil karena *sheet* mampu melakukan proses *shaping* dengan cepat dan mampu mulur dengan regangan yang besar.

Dari gambar 4.5 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin banyak jumlah lubang pin akan menghasilkan tekanan vakum yang semakin besar sehingga proses *shaping* berjalan semakin cepat dan distribusi ketebalannya semakin merata.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan pengaruh variasi jumlah lubang pin cetakan terhadap distribusi ketebalan produk *vacuum forming*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Urutan distribusi ketebalan produk dari yang paling baik adalah variasi 55 lubang pin, 45 lubang pin, 35 lubang pin dan 25 lubang pin. Semakin banyak lubang pin pada cetakan akan menghasilkan distribusi ketebalan yang semakin baik.

5.2. Saran

Adapun saran yang penulis harapkan pada penelitian pengaruh jumlah lubang pin terhadap distribusi ketebalan produk *vacuum forming* ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang lubang pin cetakan, misalnya pengaruh pola lubang pin pada cetakan terhadap distribusi ketebalan produk proses *vacuum forming*
2. Perlu penelitian lebih lanjut tentang pengaruh jumlah lubang pin pada distribusi ketebalan produk dengan material dasar jenis lain.
3. Pada penggunaan secara aplikatif, perlu adanya modifikasi pada alat *vacuum forming*.

DAFTAR PUSTAKA

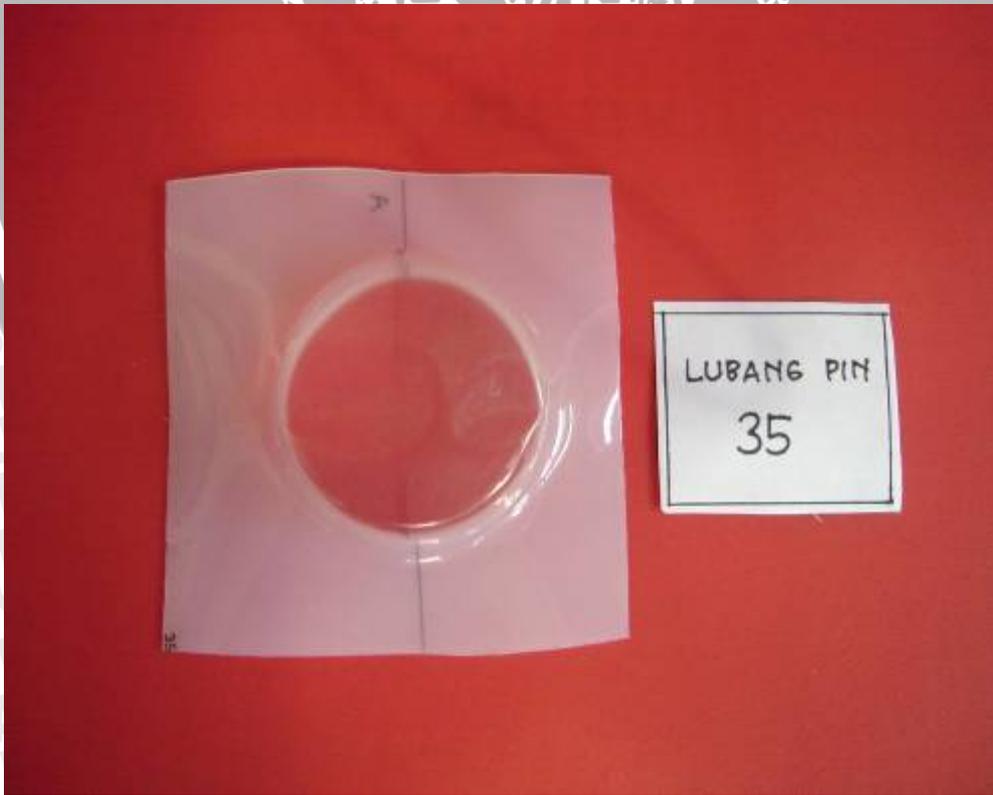
- Akkerman, R. 1998. *Thermoforming of Foam Sheet*, Netherland; Departement of Mechanical Engineering, University of Twente.
- Dong, Y and Bhattacharyya. 2005. *Finite Element Simulation on Acrylic Sheets Using Dynamic Explicit Method*. Auckland : Departement of Mechanical Engineering, University of Auckland.
- Formech International Ltd. 2008. *Mould and Mould Design*.
<http://www.formech.com>.
- Giles, Geoff and Bain, David. 1987. *Technology of Plastic Packaging for Costumer Market*. London : UK.
- Gruenwald, G. 1998. *Thermoforming : A Plastics Processing Guide*, Second Edition. Pennsylvania : Technomic Publishing Company, Inc.
- Karjust, K. Kuttner, R. Pohlak, M. 2008. *The Production Technology Considerations of Large Composite Parts*. Estonia : Industrial Engineering, 6th International DAAAM Baltic Conference.
- Lanxess. 2005. *A Processing Guide For Thermoforming*.
<http://www.us.lanxess.com>
- Marlex. 2002. *Designing Thermoforming Molds For High Density Polyethylene*.
<http://www.cpchem.com/pe/index.asp>
- Roberts, M. M. 2007. *Introduction to Thermoforming*. Carms : C.R. Clarke Company (US) Inc.
- Sabart, Brian and Gangel, Jeff. 2004. *Thermoforming for Prototype and Short-Run Application*. Frankfurt : Stratasys, Inc.
- Surdia, Tata. 1984. "Pengetahuan Bahan Teknik". Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Vodra, Richard. 1977. *Vacuum Forming Mold*. Ohio : United States Patent.

Lampiran 1

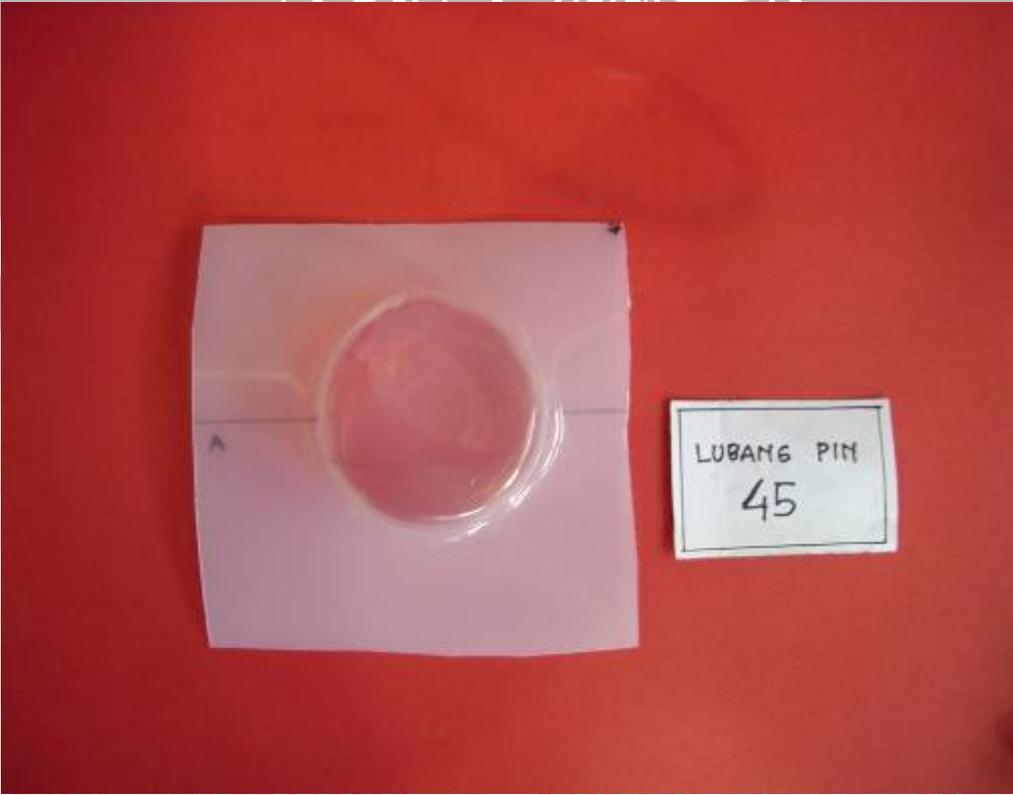
- ✓ Foto produk dengan variasi 25 lubang pin



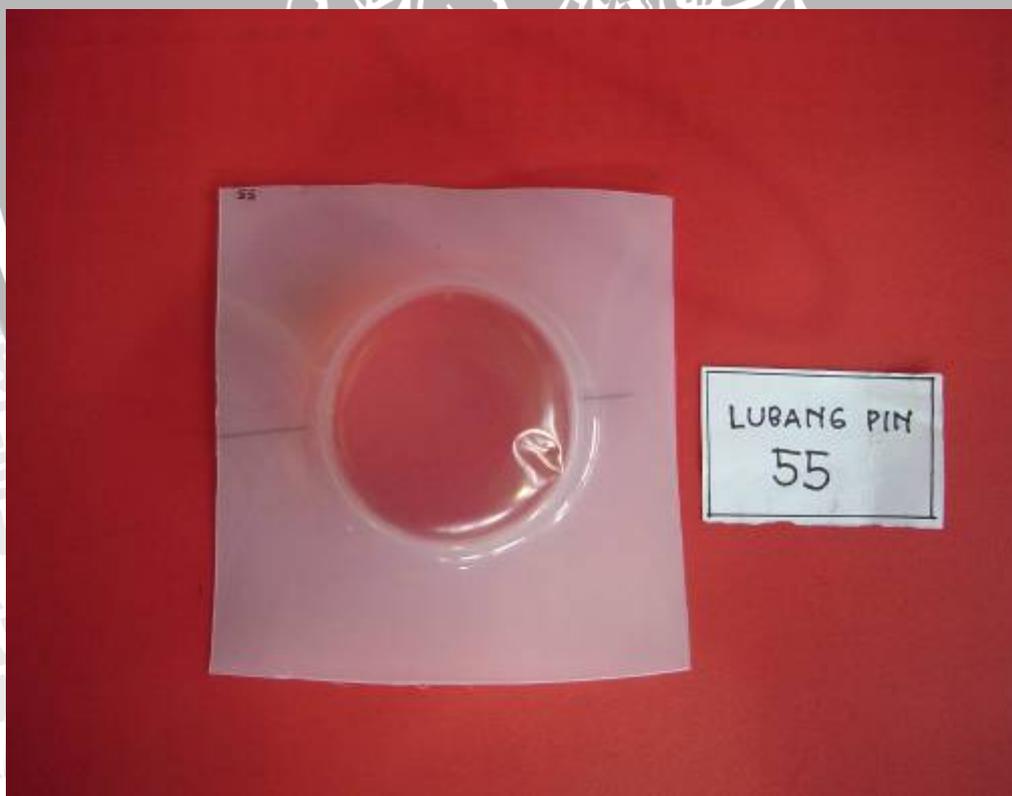
✓ Foto produk dengan variasi 35 lubang pin



✓ Foto produk dengan variasi 45 lubang pin



✓ Foto produk dengan variasi 55 lubang pin



Lampiran 3

Titik Simpul Pada Belahan Produk



Lampiran 4

Rangkaian alat *vacuum forming* dengan cetakan kayu.

