

**DESAIN, PROSES PEMBUATAN, ANALISIS KEKUATAN MEKANIK DAN
PENGARUH TEMPERATUR PADA DESAIN MOLD ALUMINIUM TIPE GRAVITY
BERBAHAN BAKU BESI TUANG KELABU**

Ahmad Al Maajid¹, Erwin Haryono², Farchan Aldyanto³, Ant. Dwi Setyoko⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin Industri, Politeknik ATMI Surakarta

Jl. Mojo No. 1 Karangasem, Laweyan, Surakarta 57145

*Email: dwi.setyoko@atmi.ac.id

Abstrak

Casting merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh suatu komponen yang memiliki bentuk yang sesuai dengan mold dengan cara menuangkan material cair ke dalam cetakan logam. Cetakan logam / mold merupakan alat yang digunakan sebagai cetakan dari bentuk produk casting. Salah satu teknik yang digunakan pada proses casting adalah gravity die casting. Gravity die casting merupakan teknik pengecoran dengan memanfaatkan gaya gravitasi sebagai arah aliran material casting ke dalam cetakan logam. Pada proses casting terdapat beban yang dihasilkan dari material casting akibat tekanan pada seluruh bagian cetakan logam yang dilaluinya, beban ini dapat dianalisis dengan melihat kekuatan mekanik pada cetakan logam. Titik leleh yang tinggi pada material casting akan mengkontak langsung seluruh permukaan bagian cetakan logam yang dilaluinya. Kontak ini akan mengakibatkan tegangan temperatur karena adanya perbedaan suhu yang signifikan. Beban mekanik dan perbedaan temperatur dapat diatasi dengan cara mendesain cetakan logam yang ideal melalui pemilihan pada matriks morfologi. Finite element adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (finite). Pada proses casting dengan menggunakan teknik gravity die casting, diperlukan analisis desain mold yang dapat memenuhi kriteria tersebut. Analisis ini dilakukan untuk mengamati pengaruh kekuatan mekanik dan tegangan temperatur pada mold, sehingga didapatkan desain mold yang paling baik atau sesuai untuk mendukung proses gravity die casting. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain mold memiliki ketahanan yang baik terhadap pengaruh kekuatan mekanik dan tegangan temperatur yang dihasilkan dari proses gravity die casting.

Kata kunci: besi tuang kelabu, finite element analysis, gravity die casting, kekuatan mekanik, mold, tegangan temperatur.

1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan bahan logam yang banyak digunakan dalam bidang teknik setelah besi dan baja. Bahan ini memiliki keunggulan yang sangat menonjol antara lain: tahan korosi, mampu bentuk yang baik, masa jenis rendah, penghantar listrik dan panas yang baik, serta memiliki titik lebur yang rendah. Penambahan unsur seperti Cu, Si, Mg, Zn, Cr, dan Ni dalam aluminium secara satu persatu atau bersama-sama dapat meningkatkan kekuatan mekaniknya, seperti ketahanan aus, ketahanan korosi, koefisien pemuaian rendah, dan sebagainya (Surdia dkk., 2005). Aluminium murni memiliki titik lebur sekitar 655°C (J. G. Kaufman., 2016).

Mold yang digunakan untuk pembuatan spesimen uji merupakan *permanent mold*. *Permanent mold* yaitu cetakan yang dapat digunakan berulang-ulang atau produksi masal dan biasanya digunakan pada pengecoran logam dengan suhu cair rendah. *Mold* pembuat spesimen uji harus memiliki kekuatan terhadap beban mekanik dan ketahanan temperatur yang baik sehingga produk spesimen yang dihasilkan dapat seragam tanpa cacat yang dikarenakan *mold* yang aus. *Mold* dibuat dengan mempertimbangkan material yang akan dicetak, sehingga pemilihan material *mold* sendiri juga harus diperhatikan. Beban mekanik dan tegangan temperatur yang terjadi pada *mold* akan mempengaruhi umur pakai *mold* dan produk yang dihasilkan. Melalui pengamatan ini, diharapkan produk aluminium hasil proses

die casting dapat dianalisa sebagai bahan dasar spesimen untuk dimanfaatkan menjadi sebuah produk.

Material *mold* untuk proses *die casting* yang digunakan cukup menggunakan material yang umum dipakai untuk *mold* aluminium. *Design mold* harus sesuai dengan bentuk spesimen sesuai standar *ASTM*. Pengujian spesimen yang dihasilkan dari proses *die casting* dilakukan untuk mengetahui apakah produk *die casting* dapat membuat suatu produk yang memenuhi spesifikasi. Pengujian tarik terhadap bahan atau produk hasil dari *die casting* bertujuan untuk mengetahui tegangan tarik maksimum, tegangan luluh, dan regangan bahan terhadap pembebanan mekanis. Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui ke elastisan bahan atau produk hasil dari *die casting*. Pengujian dilakukan agar meminimalisir kerusakan yang tidak diharapkan saat produk digunakan dan umur pakai produk tercapai. Hasil yang didapatkan dari pengujian untuk mengoptimalkan nilai fungsi dari suatu produk.

2. METODOLOGI

Perancangan didefinisikan sebagai suatu kegiatan pemetaan dari ruang fungsional (tidak terlihat / imajiner) ke ruang fisik (terlihat dan dapat diraba / dirasa) untuk memenuhi akhir perancangan secara spesifik dan obyektif.

2.1. Metode Penelitian

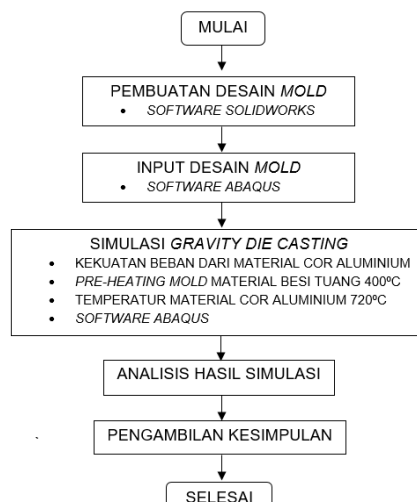
Metode yang dipergunakan dalam analisis *design mold* yaitu simulasi *Finite Element Analysis (FEA)* dengan *software Abaqus* yang didahului dengan pembuatan *design mold*. Alur pengerjaan mempertimbangkan unsur-unsur penelitian yang dibahas secara kualitatif untuk kemudian diubah menjadi kuantitatif dengan melibatkan penilaian pada morfologi desain.

2.2.1. Penentuan Matriks Kebutuhan

Matriks kebutuhan diawali dengan kebutuhan spesimen untuk melakukan pengujian dan *mold* sebagai media pembuatan spesimen dengan memperhatikan bagian-bagian penting dalam pembuatan rancangan *mold* seperti *cavity*, *sprue*, *gate*, *overflow* dan *gas vent* dan juga bagian-bagian tambahan seperti *ejector slot*, *hole for bolt* dan *thread hole for bolt*.

2.2.2. Proses Penelitian

Metode pengerjaan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* di gambar 1.



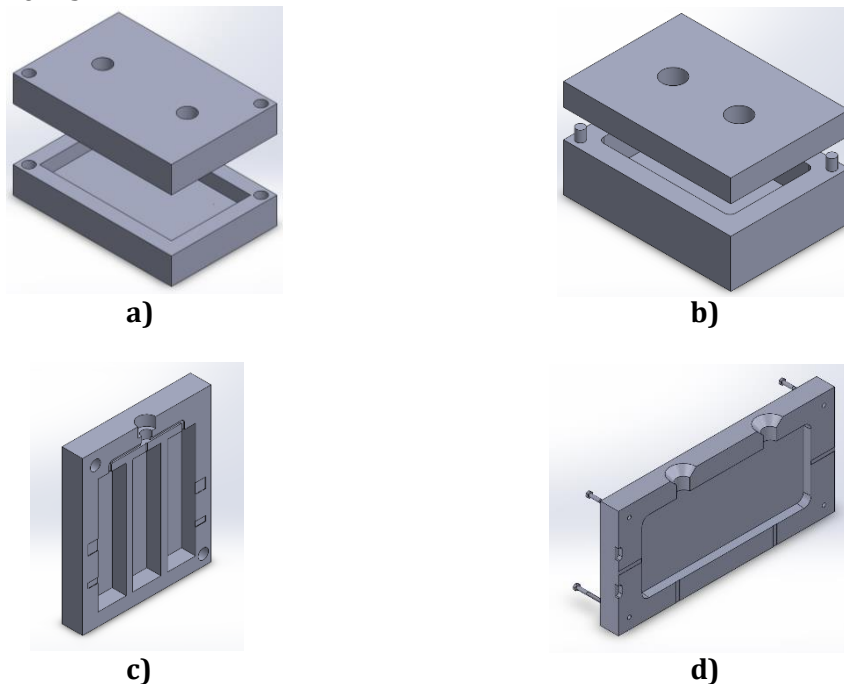
Gambar 1. *Flowchart* Proses Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan desain *mold* dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pembuatan desain morfologi, deskripsi konsep, kriteria pembobotan, kriteria penilaian, dan kesimpulan dari beberapa variasi yang telah dibuat untuk mendapatkan sebuah rancangan terbaik.

3.1. Morfologi Perancangan

Proses pembuatan matriks morfologi perancangan *mold* berdasarkan matriks kebutuhan dan memberikan bobot penilaian pada beberapa variasi berdasarkan segi teknis dan segi ekonomis.



Gambar 2. Morfologi Perancangan (a) Variasi 1, (b) Variasi 2, (c) Variasi 3, dan (d) Variasi 4

Variasi 1 memiliki *cavity* pada kedua *base* dengan posisi *mold* mendatar pada saat proses pengecoran. Variasi 1 memiliki 2 lubang yang berfungsi sebagai *gate* atau *overflow*. Variasi 2 memiliki *cavity* pada *base* bagian bawah, sedangkan *base* bagian atas pada variasi 2 berfungsi sebagai penutup dengan posisi *mold* mendatar pada saat proses pengecoran. Variasi 2 memiliki lubang yang sama seperti variasi 1. Variasi 3 memiliki *cavity* pada kedua *base* dengan posisi *mold* tegak pada saat proses pengecoran. Variasi 3 memiliki 3 *cavity* dengan dimensi yang sama dan memiliki 1 lubang yang berfungsi sebagai *gate*. Variasi 4 memiliki *cavity* pada kedua *base* dengan posisi *mold* tegak pada saat proses pengecoran. Variasi 4 memiliki 2 lubang yang berfungsi sebagai *gate* atau *overflow* dan memiliki 4 buah *gas vent*.

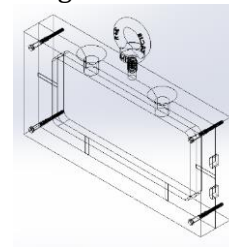
Berdasarkan hasil penilaian dipilih variasi 4 sebagai cetakan logam yang paling ideal dari segi teknis, dan ekonomis. Variasi 4 menempati peringkat ke 2 sebagai desain yang ekonomis. Variasi 4 memiliki penilaian desain yang terbaik dibandingkan dengan 3 variasi desain yang lain.

3.2. Perancangan *Mold*

Mold dirancang sesuai dengan kriteria untuk proses *die casting* melalui penentuan matriks kebutuhan dan pembuatan matriks morfologi perancangan.



Gambar 3. Assembly *Mold*



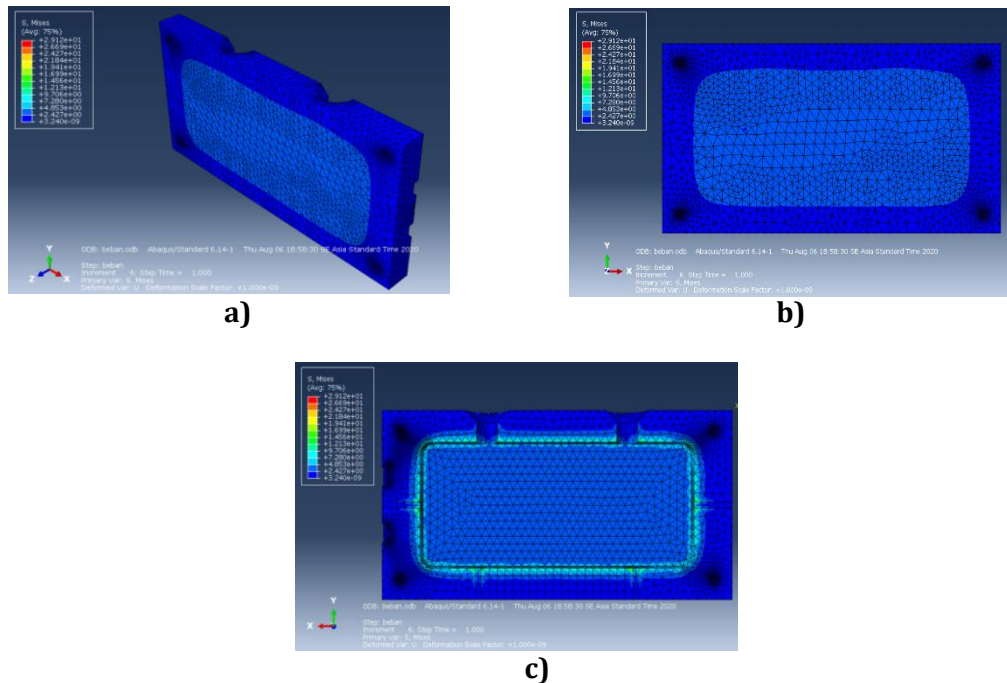
Gambar 4. Assembly *Mold* (Wireframe)

3.3. Analisis Kekuatan dan Tegangan Temperatur

Desain *mold* yang telah dipilih dianalisis kekuatan dan tegangan temperatur sebagai gambaran proses *die casting* di lapangan.

3.4.1 Analisis Kekuatan Beban

Mold membutuhkan kekuatan beban yang cukup untuk menahan beban dari material *casting*. Analisis kekuatan bertujuan untuk mengetahui kekuatan *mold* pada saat proses *casting*.



Gambar 5. Sebaran Tekanan Molten (a) Tampilan Isometric, (b) Tampilan Sisi Luar Mold, dan (c) Tampilan Sisi Dalam Mold

Sebaran tekanan *molten* merata pada bagian dasar *cavity* jika dilihat pada tampilan *isometric* dan tampilan sisi luar *mold*. Sebaran tekanan *molten* merata pada bagian dinding *cavity* jika dilihat pada tampilan sisi dalam *mold*.

Analisis tekanan *molten* menggunakan fitur *pressure* dengan beban sebesar 6 N yang berasal dari material *casting*. Proses *meshing* yang dilakukan pada *mold* sebesar 7 mm² dengan bentuk *tetrahedral*. Beban yang diberikan yaitu pada semua bagian *cavity*.

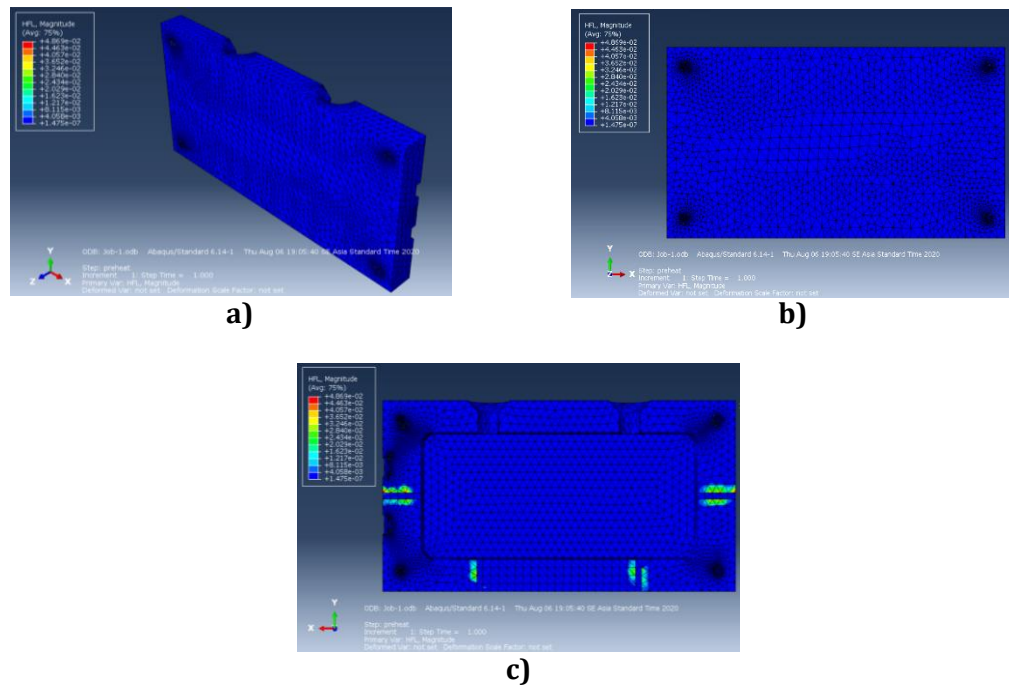
Hasil simulasi pembebanan material *casting* pada *cavity* seperti gambar tampilan sisi dalam *mold* menunjukkan warna biru yang merata kecuali pada bagian *cavity*. Bagian *cavity* mendapatkan beban dari material *casting* itu sendiri, perubahan warna yang terjadi pada bagian *cavity* menjadi warna hijau dengan mendapat tegangan paling besar yaitu 19,41 N/m². Pada gambar diatas tidak menunjukkan adanya perubahan bentuk atau deformasi.

3.4.2 Analisis Tegangan Temperatur

Pada saat proses pengecoran akan terjadi perbedaan temperatur antara *mold* dengan material *casting*. Analisis tegangan temperatur bertujuan untuk mengetahui perubahan dan persebaran temperatur yang terjadi pada *mold* dan akibat dari adanya tegangan temperatur.

3.4.2.1 Pre-heating 400°C

Pre-heating 400°C dilakukan untuk membuat perbedaan temperatur *mold* dengan material *casting* tidak terlalu jauh sehingga tidak menimbulkan tegangan yang terlalu besar dan mengurangi resiko terjadinya *crack* atau cacat pada hasil *casting*. Analisa dilakukan untuk mengetahui perubahan serta persebaran temperatur yang terjadi dan akibat dari proses *pre-heating* pada *mold*.



Gambar 6. Sebaran Temperatur Proses *Pre-Heating* (a) Tampilan *Isometric*, (b) Tampilan Sisi Luar *Mold*, dan (c) Tampilan Sisi Dalam *Mold*

Sebaran temperatur pada proses *pre-heating* merata pada bagian dasar *cavity* jika dilihat pada tampilan *isometric* dan tampilan sisi luar *mold*. Sebaran temperatur pada proses *pre-heating* merata pada bagian dinding *gas vent* jika dilihat pada tampilan sisi dalam *mold*.

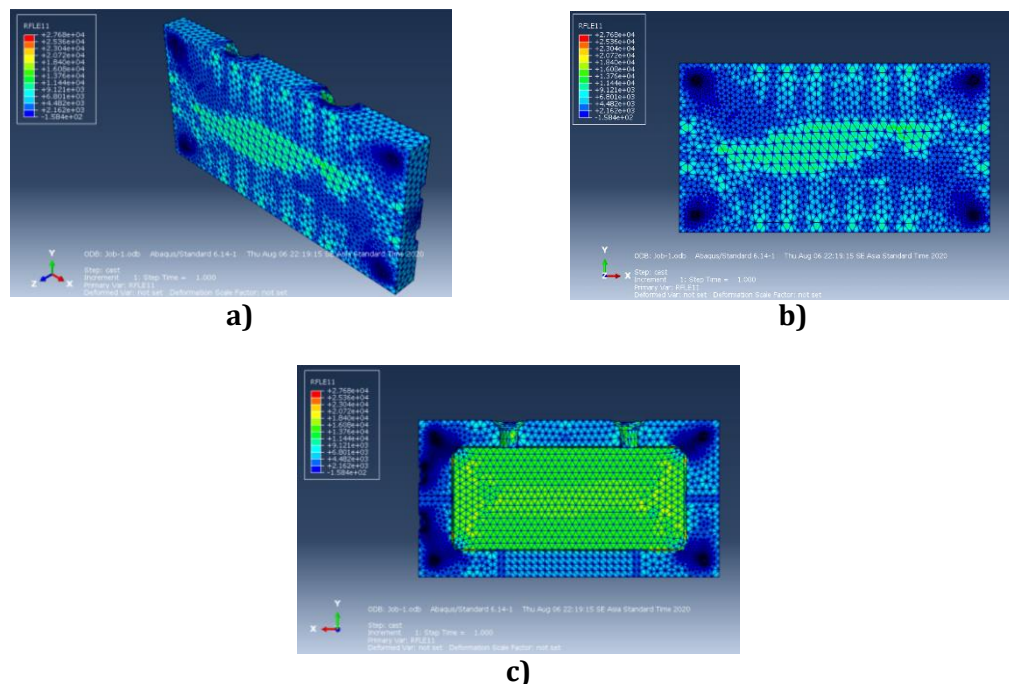
Analisis tegangan temperatur menggunakan fitur *heat transfer* dengan temperatur sebesar 400°C. Proses *meshing* yang dilakukan pada *mold* sebesar 7 mm² dengan bentuk *tetrahedral*. Temperatur yang diberikan yaitu pada seluruh bagian *mold*.

Hasil simulasi *pre-heating* 400°C seperti gambar tampilan sisi dalam *mold* menunjukkan warna biru yang hampir sama pada setiap bagian *mold*. Hal tersebut menunjukkan kerataan temperatur pada *mold* yaitu sekitar 400°C.

Dalam proses *pre-heating* terdapat perbedaan temperatur pada *mold*, sehingga terjadi perubahan warna. Perubahan warna sebagian besar terjadi pada bagian *gas vent* menjadi warna hijau dengan tegangan temperatur paling besar yaitu 3,246e-2 m°C dan terdapat warna merah pada ujung *gas vent* kiri dan kanan yaitu sebesar 4,869e-2 m°C. Perbedaan temperatur yang terjadi hanya pada sebagian kecil dan tidak besar sehingga tidak menimbulkan perubahan bentuk atau deformasi.

3.4.2.2 Casting 720°C

Setelah proses *pre-heating* dilanjutkan dengan proses *casting* dengan *melting* temperatur aluminium sebesar 720°C. Analisa dilakukan untuk mengetahui perubahan serta persebaran temperatur yang terjadi dan akibat dari proses *casting* pada *mold*.



Gambar 7. Sebaran Temperatur Proses *Casting* (a) Tampilan *Isometric*, (b) Tampilan Sisi Luar *Mold*, dan (c) Tampilan Sisi Dalam *Mold*

Sebaran temperatur pada proses *casting* merata pada bagian luar *mold* jika dilihat pada tampilan *isometric* dan tampilan sisi luar *mold*. Sebaran temperatur pada proses *casting* merata pada bagian dinding *cavity*, *gate* dan *sprue* atau *overflow* jika dilihat pada tampilan sisi dalam *mold*.

Analisis tegangan temperatur menggunakan fitur *heat transfer* dengan temperatur sebesar 720°C. Proses *meshing* yang dilakukan pada *mold* sebesar 7 mm² dengan bentuk *tetrahedral*. Temperatur 720°C diberikan pada bagian *sprue*, *gate*, *cavity* dan *overflow*.

Casting 720°C disimulasikan setelah simulasi *pre-heating* selesai dilakukan. Hasil simulasi *casting* menunjukkan kerataan temperatur pada seluruh bagian *cavity* yang ditandai dengan sebagian besar berwarna hijau dan terdapat beberapa bagian berwarna kuning dan merah seperti pada gambar tampilan sisi dalam *mold*. Warna hijau pada bagian *overflow* menunjukkan bahwa material telah mengisi seluruh bagian *cavity*. Bagian *block mold* mengalami perambatan panas dari material *casting* sehingga terdapat perbedaan warna pada sebagian *block* menjadi hijau.

Perbedaan temperatur yang terjadi pada *cavity* menyebabkan adanya tegangan temperatur paling besar pada bagian berwarna merah sebesar 2,768e4 m°C. Warna hijau pada bagian *overflow* dan *block mold* menunjukkan tegangan temperatur sebesar 1,84e4 m°C. Pada bagian yang mengalami perbedaan temperatur paling besar tidak menunjukkan adanya perubahan bentuk atau deformasi pada *mold*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh beberapa hasil yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Desain *mold* aluminium metode *gravity die casting* untuk pembuatan spesimen uji tarik dan uji *bending* memiliki ukuran *block* 300x150x25 mm untuk 1 *base* dengan ukuran *cavity* 235x100x10 mm, ukuran *gate* 18 mm, ukuran *gas vent* 32x5x0,3 mm,

2. Beban mekanik yang diterima oleh *mold* saat proses *gravity die casting* merata pada semua bagian *cavity* yaitu sebesar 19,41 N/mm² dan perbedaan temperatur saat proses *pre-heating* kemudian *casting* paling besar berwarna merah sebesar 2,768e4 m°C. Bagian *cavity* yang mengalami beban mekanik dan tegangan temperatur tidak mempengaruhi bentuk *mold* atau deformasi,
3. Proses pembuatan *mold* untuk produk spesimen yang akan di uji tarik dan uji *bending* melalui 2 proses permesinan, yaitu proses *milling* dan *drilling*. Kedua proses ini dilakukan pada mesin *milling CNC*,
4. Biaya yang dibutuhkan untuk membuat *mold* secara keseluruhan adalah Rp 1.495.380,-.

DAFTAR PUSTAKA

- Surdia, T., Shinroku, S. (2005) Pengetahuan Bahan Teknik.
- J. G. Kaufman (2016) Properties and Characteristics of Aluminium and Aluminium Alloys.
- Akroma, Boy Harpit (2012) Meningkatkan Sifat Mekanis Aluminium Komersil untuk Bahan Konstruksi Atap dengan Metode *Accumulative Roll-Bending*.
- ASTM B557-02a (2003) Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium-Alloy Products.
- Arief Rofandi, Mochamad Arif Rifa'I (2018) Studi Temperatur Tuang Terhadap Kekuatan *Bending* Paduan Al-Si dengan Menggunakan Cetakan Pasir.
- ASTM E290-14 (2015) Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility.
- Makhrus, Ainul, Setyoko, dan Bambang (2015) Modifikasi Alat Uji *Bending* Sistem Mekanik Hidrolik dan Hasil Pengujian untuk Bahan Besi Cor.
- E.A. Herman (1992). Designing Die Casting Dies.
- Prastowo, Nuranto Hendro (2017) Analisis Pemodelan Sistem Rangka Portal Baja Variasi Tipe *Bracing* V Terbalik, K, dan X dengan *Software Abaqus* 6.11.