

Pemanfaatan Mesin Vacuum Casting Semi Otomatis untuk Kebutuhan Pembuatan Produk Perhiasan

Ninuk Jonoadji^{1*}, Aldo Kurniawan¹, Ian Hardianto Siahaan¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

*Penulis korespondensi; E-mail: ninukj@petra.ac.id

ABSTRAK

Perhiasan merupakan barang dekoratif yang banyak digunakan oleh manusia meskipun diklasifikasikan dalam kelompok kebutuhan tersier. Pada umumnya perhiasan banyak terbuat dari logam emas dengan bahan campuran logam lainnya. Proses casting merupakan salah satu teknik pembuatan produk perhiasan secara massal yang banyak dimanfaatkan oleh pengrajin perhiasan. Proses ini dilakukan dengan cara menuangkan material cair kedalam rongga cetakan yang telah dibentuk lalu didinginkan. Permasalahan yang ditemukan adalah bahwa proses casting perhiasan tidak dapat dilakukan dengan penuangan secara gravitasi sederhana, sehingga prosesnya selalu dibantu dengan mesin untuk menghindari terjadinya shrinkage porosity dengan cara mengatur temperaturnya pada kondisi suhu lelehan logam yang tepat agar dapat mengurangi kontak dengan udara pada saat logam dilelehkan dan dituangkan pada ruangan cetakan. Mesin vakum casting dalam hal ini digunakan untuk membantu membuat produk perhiasan sehingga permukaan menjadi halus sekalipun dengan detail yang rumit dan memastikan logam mengisi cetakan dengan baik. Selain itu, mesin vacuum casting yang dirancang lebih mudah dioperasikan oleh operator karena terdiri dari elemen pemanas menggunakan mekanisme stopper pneumatik dengan kapasitas pengecoran 400 gr. Performa mesin vacuum casting ini dapat memanaskan elemen pemanas selang waktu 1 jam 34 menit, dan waktu pengeluaran udara dari vacuum chamber dalam waktu 27 detik serta kualitas produk yang dihasilkan juga tanpa adanya cacat produk.

Kata kunci: Mesin vacuum casting, perhiasan, emas, pengrajin, pneumatik.

ABSTRACT

Jewelry is a decorative item that is widely used by humans even though it is classified in the tertiary needs group. In general, jewelry is made of gold with other metals mixed in. The casting process is one of the techniques for making jewelry products in bulk that is widely used by jewelry craftsmen. This process is done by pouring liquid material into a mold cavity that has been formed and then cooled. The problem found is that the jewelry casting process cannot be done by simple gravity pouring, so the process is always assisted by a machine to avoid the occurrence of shrinkage porosity by adjusting the temperature at the right temperature condition of the metal melt in order to reduce contact with air when the metal is melted and poured in the mold room. The vacuum casting machine in this case is used to help make jewelry products so that the surface is smooth even with intricate details and ensure that the metal fills the mold well. In addition, the designed vacuum casting machine is easier to operate by the operator because it consists of a heating element using a pneumatic stopper mechanism with a casting capacity of 400 gr. The performance of this vacuum casting machine can heat the heating element in an interval of 1 hour 34 minutes, and the air ejection time from the vacuum chamber is within 27 seconds and the product quality produced is also without any product defects.

Keywords: Vacuum casting machine, jewelry, gold, craftsman, pneumatic.

PENDAHULUAN

Perhiasan telah digunakan oleh manusia sebagai simbol kedudukan sosial, simbol pernikahan, kekuasaan, kecantikan, dan sebagai investasi karena nilainya cenderung meningkat seiring berjalannya waktu [1]. Umumnya perhiasan menggunakan emas sebagai bahan dasar karena memiliki sifat yang

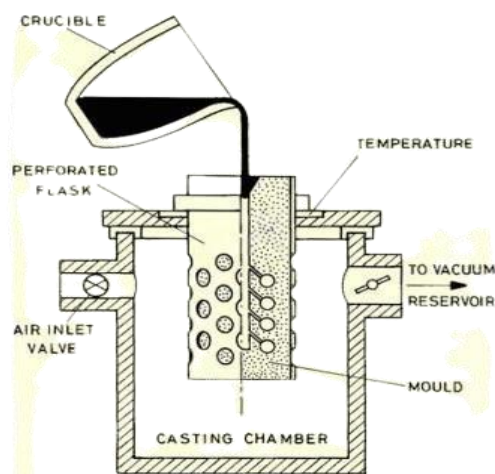
berkilau, tahan terhadap noda, dan mampu bentuk. Selain itu, faktor lain yang membuat emas digunakan karena dianggap sudah menjadi trend budaya di masyarakat. Perkembangan usaha perhiasan juga terus mengalami peningkatan yang signifikan, hal ini dapat dilihat dari beredarnya ragam desain perhiasan yang ada di masyarakat akibat reaksi jumlah permintaan yang meningkat pemakaiannya

serta tuntutan kebutuhan perhiasaan di industri fesyen. Produsen atau pengrajin perhiasaan memproduksi berbagai macam ragam perhiasaan seperti gelang, anting, cincin, kalung, liontin, gelang, bros, dan lain-lain. Produk tersebut dikombinasikan berdasarkan kadar emas 75.5%, 70.8%, 68.0%, dan 37.5% dengan warna putih, kuning, dan rose gold yang diperkirakan lebih dari sepuluh kombinasi yang diproduksi per bulannya [2].

Metode pembuatan perhiasaan yang paling umum digunakan adalah proses pengecoran. Proses ini merupakan proses penuangan logam cair dari hasil peleburan sampai titik leleh logam ke dalam cetakan atau mould, kemudian dibiarkan mengeras dan mendingin hingga mencapai temperatur ruangan. Namun, proses pengecoran untuk perhiasaan tidak dapat dilakukan dengan penuangan gravitasi sebagaimana umumnya karena permeabilitasnya yang rendah dan kemampuan pengisian lelehan logamnya juga demikian. Selain itu, persyaratan faktor cetakan dalam kondisi tanpa ventilasi, detail halus dengan ukuran yang relatif kecil [3]. Faktor inilah yang menyebabkan proses pengecoran perhiasaan selalu dibantu penggunaannya oleh mesin. Berdasarkan pengalaman di lapangan, salah satu masalah pada proses pengecoran emas paduan tembaga dan perak 18 karat dan 24 karat adalah porositas yaitu shrinkage porosity dan gas porosity. Shrinkage porosity disebabkan oleh akibat terjadinya pembekuan pada lelehan logam sebelum seluruh rongga cetakan terisi sempurna, sedangkan gas porosity disebabkan oleh keberadaan udara yang terdapat pada alat dan cetakan dimana udara terperangkap ketika lelehan logam memenuhi rongga cetakan dan menyebar membentuk bola kecil yang bertekanan [4,5].

Berdasarkan alternatif tipe pengecoran yang ada, maka proses pengecoran dengan mesin vacuum casting menjadi pilihan teknik modern pada perancangan dan pembuatan untuk memproduksi perhiasaan sesuai pernyataan Mohd Nazri Ahmad, dkk [6], dimana proses ini dilakukan di dalam ruang tertutup dengan bantuan mesin vacuum untuk mengeluarkan udara yang ada di ruang tertutup dan memudahkan lelehan logam mengisi rongga cetakan dengan baik untuk menghindari terjadinya shrinkage porosity dengan cara pengaturan temperatur pada suhu lelehan logam yang tepat dan termasuk mengatasi gas porosity dengan cara mengurangi kontak dengan udara pada saat logam dilelehkan serta saat proses penuangannya pada cetakan. Salah satu faktor keunggulannya metode ini adalah densitas hasil penuangannya dengan sistem vacuum lebih tinggi dibanding dengan penuangan yang normal tanpa vakum dimana porositas hasil coran menjadi turun. Demikian juga halnya dengan besar kandungan gas yang terjadi lebih sedikit dibandingkan dengan proses yang biasa. Pada proses ini juga dilakukan pengisian lelehan logam pada rongga cetakan juga dengan bantuan mekanisme pneumatik ketika membuka stopper.

Mekanisme mesin vacuum casting adalah proses dimana cetakan ditempatkan pada paking tahan panas yang berada pada meja datar dan di atas lubang yang terhubung pada mesin vacuum yang berada di arah pangkal cetakan sehingga membuat tekanan rendah pada rongga cetakan memaksa logam dapat mengisi cetakan. Proses perancangan dan pembuatannya pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan mesin vacuum casting pada ruang tertutup dimana tekanan pada melting chamber dan casting chamber bisa dikontrol termasuk pengeluaran udaranya sehingga lelehan logam dapat mengisi cetakan yang mana sistem ini dianggap perlu untuk memberi tekanan kembali untuk meningkatkan tekanan pada sesaat setelah logam mengisi cetakan. Prinsip dasar mekanisme vacuum casting pada secara umum ditunjukkan pada Gambar 1 [7]



Gambar 1. Prinsip Vacuum Casting

Refraktori merupakan non logam yang sukar meleleh pada temperatur tinggi dan umumnya digunakan dalam industri temperatur tinggi untuk bahan tungku atau dapur. Refraktori didefinisikan sebagai material konstruksi yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur sangat tinggi di bawah beberapa kondisi seperti tegangan mekanik dan serangan kimia dari gas panas, cairan atau leburan dan semi leburan dari gelas, logam atau slag. Selain itu, materialnya diharapkan dapat tahan terhadap benturan dan abrasi dengan sedikit perawatan. Material refraktori sangat diperlukan untuk banyak industri proses, karena dapat melapisi furnace, tundish, ladle dan bahkan digunakan sebagai nozzle, spout, dan sliding gate. Biaya untuk pembelian dan instalasi refraktori juga adalah faktor yang menentukan dalam biaya proses secara keseluruhan karena kegagalan instalasinya merupakan suatu bencana [8].

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses Joule Heating. Prinsip kerjanya adalah ketika arus listrik yang mengalir pada elemen dan telah mencapai resistansinya maka akan meng-

hasilkan panas. Bahan yang paling banyak digunakan untuk pembuatan elemen pemanas listrik terdiri dari campuran antara lain: Krom – Nikel, Krom–Nikel–Besi, Krom–Besi–Alumunium. Bahan tersebut memiliki sifat tahan panas karena membentuk lapisan oksida yang kuat pada permukaannya, sehingga tidak menyebabkan terbentuknya oksidasi lanjutan. Bahan yang digunakan sebagian besar ditentukan oleh temperatur maksimum yang dikehendaki. Logam campuran tersebut dapat digunakan hingga temperatur 1000°C hingga 1250°C. Elemen pemanas yang dimaksud ditunjukkan pada Gambar 2 [9].



Gambar 2. Elemen Pemanas dan Kawat Nikelin

Thermokopel merupakan sensor temperatur yang paling sering digunakan pada boiler, mesin press, oven, dan lain sebagainya. Thermokopel dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup luas dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C. Thermokopel terdiri dari 2 jenis kawat logam konduktor yang digabung pada ujungnya sebagai ujung pengukuran. Konduktor ini kemudian akan mengalami gradasi suhu dan dari perbedaan suhu antara ujung termokopel dengan ujung kedua kawat logam konduktor yang terpisah akan menghasilkan tegangan listrik [10].

Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1 hingga 70 microvolt setiap perbedaan satu derajat celsius untuk kisaran yang dihasilkan dari kombinasi logam modern. Pemilihan sensor temperatur ini karena dapat mengukur suhu dengan nilai yang tinggi karena memiliki nilai output yang kecil dengan noise yang tinggi, sehingga memerlukan rangkain pengkondisi sinyal agar nilai output tersebut dapat dibaca dengan baik. Perencanaan kontrol pada mesin vakum casting ini menggunakan thermocontrol yang dihubungkan pada elemen pemanas dan menggunakan kontaktor sebagai perangkat untuk memberi/memutus arus listrik ketika temperatur sudah dicapai. Thermocontrol dalam hal ini merupakan perangkat elektronik yang difungsikan sebagai regulator temperatur suatu proses baik proses pemanasan maupun pendinginan.

Pilihan sistem pneumatik dalam hal ini untuk menghandle berbagai jenis pekerjaan yang sulit dan berbahaya serta pekerjaan yang membutuhkan tingkat higienis yang ketat, dapat dilakukan dengan relatif mudah dan aman [11]. Pada rancangan mesin vacuum casting ini terdapat 3 sistem pneumatik yang

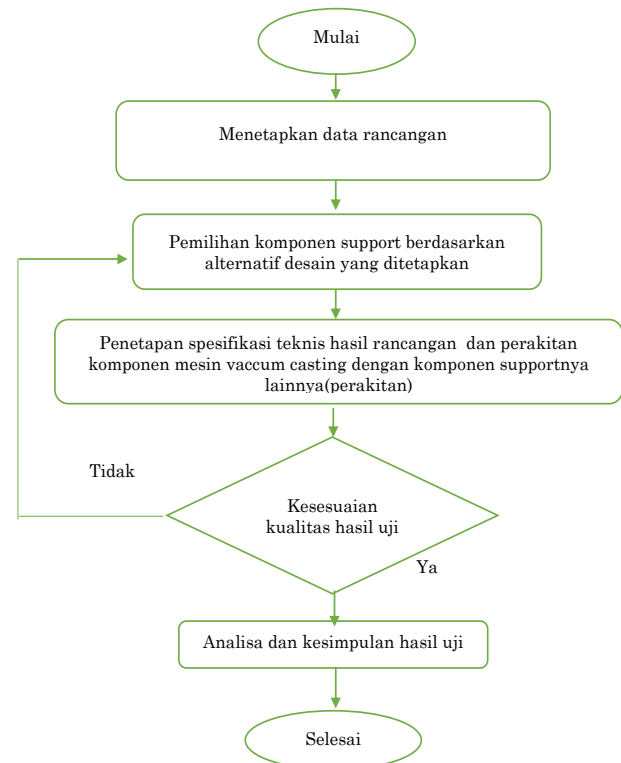
bekerja antara lain sistem silinder pneumatik ke-1 yang berfungsi untuk mendorong naik dan merapatkan vakum chamber pada melting chamber agar vakum chamber dapat tervakum. Kemudian, sistem silinder pneumatik ke-2 berfungsi untuk mengangkat dudukan flask dan flask yang di bagian atasnya agar dapat menempel pada seal melting chamber yang dekat pada lubang krusibel serta melting chamber di dalam vakum chamber. Selanjutnya, sistem silinder pneumatic ke-3 berfungsi untuk mengangkat stopper yang ada pada krusibel yang digunakan menutup lubang jalan logam mengalir ke bawah yang mengisi lubang runner dari cetakan. Ketiga mekanisme sistem pneumatic tersebut ditunjukkan dalam Gambar 3 [12].



Gambar 3. Silinder Pneumatic 1,2 dan 3

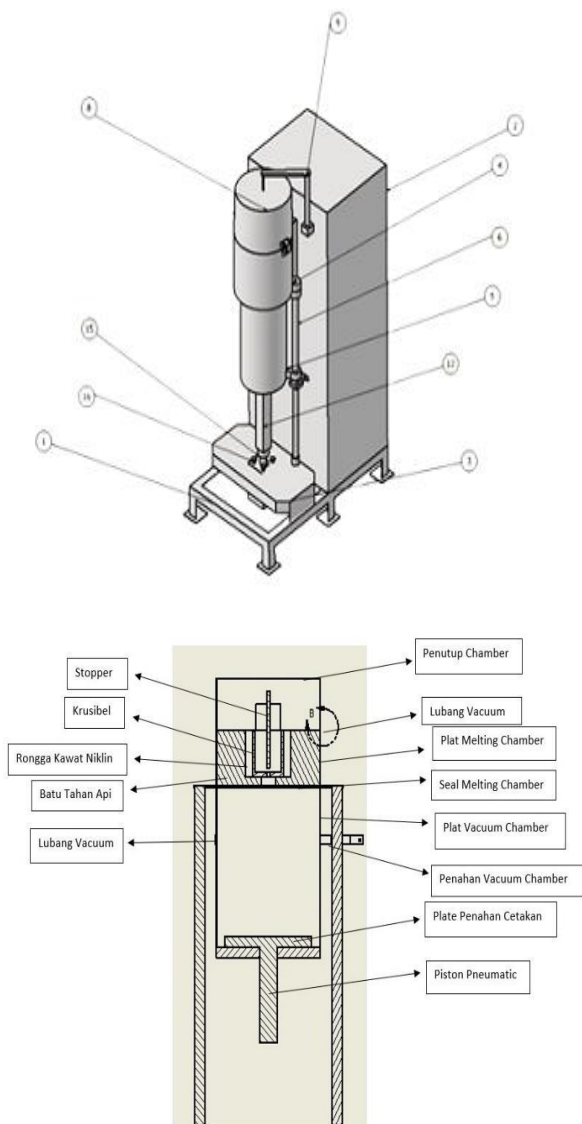
METODE

Adapun konsep perancangan, pembuatan peralatan dan proses pengujian mesin vacuum casting ini dijelaskan dalam tahapan yang meliputi proses pengerjaannya sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Alur Perancangan dan Pembuatan serta Pengujian Mesin Vacuum Casting

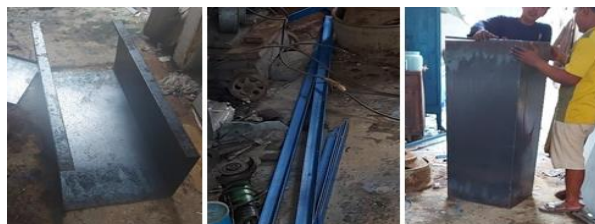
Pada tahapan perancangan mesin vacuum casting dan part pendukungnya menjadi hal penting untuk mengetahui susunan rangkaian yang akan digunakan pada proses pembuatan perhiasan tersebut. Di samping itu juga agar dapat mengetahui dasar teori dari komponen utama dan pendukungnya dan mensinkronkannya menjadi sistem yang terintegrasi secara menyeluruh. Pada tahapan ini, perancangan mesin vacuum casting semi otomatis disesuaikan dengan target proses pada pengisian logam pada rongga cetakan di ruang tertutup pada keadaan vakum dengan tekanan -1,013 Bar sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Proses Perancangan Melting & Vacuum Chamber

Pada tahap awal pembuatan terlebih dahulu membuat rangka lemari bagian belakang sebagai penopang melting chamber dan di dalam lemari terdapat beberapa part support, instalasi kabel, dan selang. Proses ini dilakukan dengan cara pembentukkan plat besi dengan tebal 2 mm untuk ditekuk menjadi bentuk balok dengan ukuran tinggi 120 cm,

lebar 50 cm, panjang 40 cm dengan didalamnya menggunakan besi L siku sebagai rangka dengan tebal 3 mm sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Proses Pembuatan Rangka Lemari

Tahap kedua yaitu proses pembuatan melting chamber dan vakum chamber. Pada tahapan ini, bahan yang digunakan untuk melting chamber dan vacuum chamber terbuat dari pipa stainless steel. Melting chamber dibuat dengan diameternya 25 cm dengan tinggi 25 cm. Sedangkan, bagian vacuum chamber terbuat dari pipa stainless steel dengan diameter 17,5 cm dan tinggi 45 cm.

Tahap ketiga adalah pembuatan seal sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 7, komponen ini berfungsi untuk merapatkan dan meletakkan bahan silikon. Komponen melting chamber seal yang terbuat dari plat stainless steel diameter 250 mm dengan tebal 20 mm. sedangkan seal untuk vakum chamber terdapat 2 seal yaitu bagian dalam dan luar untuk bagian dalam terbuat dari plat stainless steel setebal 2 mm dengan diameter dalam 110 mm, dan diameter luarnya 175 mm, untuk seal bagian luar terbuat dari plat stainless steel dengan tebal 8 mm, diameter dalam 150 mm, dan diameter luar 175 mm. dan dibagian bawah vacuum chamber terdapat seal yang terbuat dari plat stainless steel dengan tebal 12 mm diameter luar 145 mm dan diameter dalam 94 mm. Pemasangan seal pada melting chamber dan vakum chamber dilakukan dengan proses pengelasan dan pada bagian bawah vakum chamber dengan mur dan baut.



Gambar 7. Seal Bagian Atas Luar, Dalam, dan Bawah

Proses selanjutnya adalah pemasangan engsel pada vacuum chamber dengan pengelasan engsel terbuat dari logam besi yang berbentuk tabung dengan lubang ditengah seperti donat. Engsel memiliki ukuran dengan diameter luar 50 mm, diameter dalam 25 mm, dan tinggi 30 mm. Kemudian, pembuatan tutup yang juga awalnya terbuat dari pipa stainless steel dengan dimensi diameter 250

mm dengan tinggi 70 mm dan di bagian terdapat seal dengan diameter dalam 160 mm dengan ketebalan seal 15 mm. Dari bahan tutup di atas dibuat dengan menekuk plat untuk dibentuk menjadi kerucut terpancung kemudian dilakukan pengelasan pada bagian tutup dan diberi lubang kecil untuk diletakan kaca. Proses selanjutnya yaitu menyediakan dua buah poros yang nantinya akan menjadi kaki penyangga melting chamber, stopper, dan engsel vakum chamber berada. Poros terbuat dari besi solid dengan diameter 25 mm dan panjang 750 mm.

Tahap keempat yaitu memasukan elemen pemanas yaitu kawat nikelin kanthal pada celah batu tahan api, lalu memasukan elemen pemanas dan batu tahan api pada melting chamber. Dan celah antara batu tahan api dan dinding melting chamber akan diberi glasswool sebagai insulasi tambahan. Dan terakhir meletakkan thermocouple sebagai pendeteksi temperatur.

Tahap kelima yaitu melakukan perakitan mulai dari melting chamber, vakum chamber, poros penyangga, komponen pneumatik pada posisinya. Proses pertama yaitu meletakkan poros penyangga pada dudukan yang sudah disediakan pada posisinya dan memasukkan engsel yang terdapat pada vacuum chamber sehingga engsel berada pada poros penyangga dan pada bagian bawah engsel dipasang stopper berupa klamp agar vacuum chamber tidak jatuh dan nantinya dapat naik turun. Selanjutnya proses meletakkan melting chamber di atas poros penyangga dan memasang melting chamber pada rangka lemari dengan 4 mur dan baut. Proses selanjutnya yaitu meletakkan sistem pneumatik ke-1 yang digunakan untuk merapatkan vacuum chamber pada seal melting chamber dan memasang sistem pneumatik ke-2 yang digunakan untuk menaik turunkan flask yang berada di dalam vakum chamber dengan menggunakan mur dan baut. Proses selanjutnya dilakukan pemasangan sistem silinder pneumatik ke-3 pada bagian atas yang berfungsi untuk menaik turunkan stopper pada melting chamber dan memasang penutup bagian atas dengan engsel serta pengunci yang dihubungkan pada melting chamber.

Tahap keenam yaitu memasukan transformator, solenoid valve, switch, vacuum meter, volt-meter, kipas pendingin, thermocontrol, dan kontaktor ke dalam rangka lemari. Dengan melakukan tahapan tersebut maka seluruh part utama maupun pendukung berhasil dirakit dan selanjutnya dapat dilakukan pengujian untuk mengetahui performanya ketika menghasilkan produk perhiasan. Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil proses perakitan mesin vacuum casting.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji coba dilakukan dengan 2 cara yaitu, cara yang pertama dengan memasukan logam pada krusibel dari suhu 27°C dan dicairkan pada suhu pengecoran yaitu 1000°C dengan jumlah logam

sebanyak 80 gr dengan cara ini pemanas memerlukan waktu 1 jam 33 menit untuk memanaskan logam dari suhu 27°C sampai logam leleh di suhu 1000°C. Selanjutnya, cara kedua yaitu memanaskan terlebih dahulu pemanas mencapai 1000°C lalu memasukan logam dengan bobot yang sama yaitu 80 gr, menghasilkan waktu pemanasan dari 27°C menjadi 1000°C memerlukan waktu 1 jam 20 menit dan proses logam meleleh membutuhkan waktu 14 menit. Sehingga total waktu yang dibutuhkan mulai proses pemanasan sampai melelehkan logam menjadi 1 jam 34 menit sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 1.



Gambar 8. Hasil Rakitan Mesin Vacuum Casting

Tabel 1. Hasil Pengujian Pemanasan

Percobaan	Suhu (°C)	Waktu Rerata (menit)
1	400	21
2	550	33
3	700	45
4	850	65
5	1000	87

Pada pengujian metode pertama dinyatakan bahwa proses pemanasan membutuhkan waktu 1 jam 33 menit sampai meleleh, sedangkan pada pengujian metode kedua membutuhkan waktu 1 jam 34 menit hingga meleleh. Berdasarkan perbandingan dari kedua proses tersebut menunjukkan bahwa tidak terlihat perbedaan waktu yang signifikan antara kedua metode tersebut ketika menghasilkan produk perhiasan.

Pada penelitian pembuatan produk perhiasan ini untuk seterusnya dilakukan menggunakan metode terakhir yang direkomendasi untuk melakukan pembuatan produk perhiasan, dimana proses pengecoran dilakukan ketika logam sudah mencapai suhu 1000°C dan siap dilakukan pengecoran oleh operator maka cetakan pada flask akan dikeluarkan dari oven dan diletakkan pada dudukan flask yang didorong oleh sistem pneumatic ke-2 dengan cara operator menginjak pedal agar silinder pneumatik tersebut naik. Setelah itu vakum chamber akan digeser

untuk diposisikan di bawah *melting chamber* dan operator memutar switch agar silinder *pneumatic* ke-1 mendorong ke atas sehingga vakum *chamber* dan *melting chamber* rapat, lalu operator menyalakan mesin vakum dari sakelar pabrik sehingga udara pada vakum chamber akan tersedot sampai minimal -70 cmHg yang terlihat pada vakum meter. Jika kondisi sudah mencapai vacuum maka operator menekan *switch* silinder *pneumatik* ke-3 yang digunakan untuk mengangkat stopper pada krusibel sehingga logam dapat turun dan mengisi cetakan yang ada pada vakum *chamber* dan menunggu beberapa detik lalu mematikan mesin vakum dan memutar *switch* agar silinder *pneumatic* ke-1 turun sehingga vakum *chamber* dapat digeser keluar, untuk mengeluarkan *flask* maka operator kembali menginjak pedal untuk silinder *pneumatic* ke-2 agar *flask* terdorong keluar dan proses pengecoran selesai sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Posisi *Flask* Awal dan setelah Pengecoran serta Ketika diangkat Pneumatic ke-2

Metode pengujian berikutnya dilakukan juga untuk kapasitas berbeda yaitu sebesar 350 gr, demikian halnya juga mesin casting dengan kapasitas tersebut dapat beroperasi dengan baik dan berhasil menghasilkan produk dari proses pengecoran tanpa ada produk coran yang rusak dan logam dapat turun mengisi seluruh rongga cetakan dengan baik dan memenuhi persyaratan porositas coran yang tidak melampaui 2% [13,14]. Produk dari hasil coran dapat ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Produk Perhiasan Hasil Pengecoran Menggunakan Mesin Vacuum Casting

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan menggunakan mesin vacuum casting bahwa kapasitas maksimal pengecoran sebesar 400 gr untuk menghasilkan produk perhiasan. Selanjutnya, waktu yang diperlukan untuk memanaskan elemen pemanas dari 27°C sampai 1000°C membutuhkan waktu pemanasan 1 jam 20 menit dan ketika sudah mencapai 1000°C waktu yang diperlukan untuk pelelehan logam berkisar 14 menit, sehingga total waktu proses 1 jam 34 menit. Selanjutnya, kemampuan mesin vacuum casting untuk mengeluarkan udara dari vakum chamber kurang dari 1 menit atau sebesar 27 detik pada temperatur minimal 1060°C. Kualitas produk yang dihasilkan oleh mesin vakum casting semi otomatis dengan pengaturan waktu pemanasan ini dapat beroperasi dengan baik karena memberikan kualitas produk yang dihasilkan pada proses pengecoran tanpa terlihat adanya shrinkage porosity atau rongga, dimana logam dapat turun mengisi seluruh rongga cetakan dengan sempurna tanpa adanya hambatan. Sedangkan, jika dibandingkan dengan metode penuangan lainnya seperti vacuum gravity die casting sederhana masih terlihat adanya shrinkage porosity meskipun shrinkage porosity-nya relatif kecil berkisar 0,2097% .

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Defmit Bifjum Nathaniel, Priyono, Pembentukan Pengecoran Emas Pada Industri Kecil di Kupang NTT, 2018, *Jurnal Ilmiah Teknolog FST Undana*. Vol. 12, No.2 Edisi Khusus September, pp.50-55.
- [2]. Alif Faridalthaf, Novandra Rhezza Pratama, 2022, Designing an Information System for Jewelry Manufacturing Raw Material Needs with an SDLC Approach: A Case Study, Proceedings of the First Australian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management 2022, IEOM Society International, Sydney, Australia.
- [3]. Paryono, Akhmad Supriyadi, LY Sutadi, Suryanto, 2015, Pengaruh Tekanan Vakum terhadap Porositas dan Kekerasan Pada Paduan Aluminium ADC12 Produk Die Casting, POLINES National Engineering Seminar ke-3, Nopember, 11th 2015, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
- [4]. Paryono, Lorentius Yosef Sutadi, Edy Suwanto, 2018, Karakterisasi Produk Pengecoran Manual High Pressure Die Casting Pada Material ADC 12, Seminar Nasional Edusainstek, FMIPA UNIMUS, pp. 273-279.
- [5]. Martin Wortmann, Natalie Frese, 2022, Industrial-Scale Vacuum Casting with Silicone Molds: A Review, Applied Research, Wiley-VCH, pp.1-17.

- [6]. Mohd Nazri Ahmad, Mohd Rizal Alkahari, Mohamad Faris, Mohd Basir, Nurul Ain Maidin, 2018, Optimization of vacuum casting process parameters using Taguchi method, Proceedings of Mechanical Engineering Research Day 2018, pp. 146-147.
- [7]. Dieter Ott and Christoph J. Raub, 1985, Investment Casting of Gold Jewellery Gas Pressures in Moulds During Casting: Their Measurement and Their Effects, *GoldBull*, Vol 18, No. 2, pp.58-68
- [8]. Muhammad Rais Rahmat, 2015, Perancangan Dan Pembuatan Tungku Heat Treatment, *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, Vol. 3, No.2, pp. 133-148.
- [9]. Dwi Purwanto, Reza Azizul Nasa, Perancangan Tungku Pemanas dengan Menggunakan Kanthal A1, *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, Vol. 22, No. 1, pp.13-21.
- [10]. Popong Effendrik, Gatot Joelianto, Hari Sucipto, 2014, Karakterisasi Thermocouple dengan Menggunakan Perangkat Lunak Matlab – Simulink, *Jurnal ELTEK*, Vol 12 Nomor 01, pp. 133-145.
- [11]. Sahat Sitompul, 2020, Mengenal Sistem Pneumatic, Aplikasi dan perawatannya, *NOSTEJ*, Vol.1 No.01, pp.39-46.
- [12]. Legisnal Hakim, 2009, Analisa Sistem Pneumatik Untuk Penggerak Alat Panen Kelapa Sawit', *Jurnal Aptek*, Vol. 1 No. 1, pp.32-39.
- [13]. Chul Kyu Jin, Chang Hyun Jang, Chung Gil Kang, 2015, Vacuum Die Casting Process and Simulation for Manufacturing 0.8 mm-Thick Aluminum Plate with Four Maze Shapes, *Metals*, Vol 5, pp.192-205.
- [14]. A. Zyska, Z. Konopka, M. Łagiewka, M. Nadolski, 2015, Porosity of Castings Produced by the Vacuum Assisted Pressure Die Casting Method, *Archives of Foundry Engineering*, Vol.15, Issue 1, pp.125-130.