

Perancangan Mesin Pencetak *Acetabular Cup* Berbahan Bioceramic

Sandi Purwo Krisnandri Widigdo

*Teknik Mesin, Universitas Pancasila
Jl. Raya Lenteng Agung No. 56 – 80, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan
Email : sandi.widigdo@gmail.com*

Abstrak. Perkembangan teknologi pada bidang kedokteran menawarkan implan dengan berbagai material. Penelitian ini merancang mesin pencetak komponen implan sambungan tulang pinggul berbahan bioceramic, yaitu acetabular cup. Proses manufakturing yang sudah ada pada beberapa produsen acetabular cup dilakukan dengan mencetak bentuk setengah jadi kemudian dilanjutkan dengan proses permesinan bubuk untuk mencapai bentuk final produk. Penelitian bertujuan merancang mesin pencetak dan cetakan yang mampu menghasilkan bentuk final produk sehingga dapat meminimalkan proses manufaktur. Proses penelitian menerapkan metode Michael J. French yang diawali dari fase analisis kebutuhan hingga fase terakhir pendetailan konsep. Hasil rancangan berupa mesin pencetak dengan penggerak hidraulik dan cetakan produk menggunakan sistem kompaksi bubuk (powder compaction). Untuk mengakomodasi kebutuhan dimensi acetabular cup yang bervariasi maka rancangan mesin dilengkapi dengan bagian cetakan yang mudah diganti untuk menyesuaikan variasi ukuran acetabular cup. Secara teori rancangan mesin mampu menghasilkan 341 produk/jam.

Kata kunci: acetabular cup, bioceramic, implan, powder compactio

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Penelitian ini dilandasi oleh kebutuhan untuk membuat acetabular cup dengan biaya serendah mungkin sehingga pengadaan fasilitas manufakturing acetabular cup dapat dijangkau oleh rumah sakit dan laboratorium. Proses manufakturing bioceramic acetabular cup yang sudah dijalankan beberapa vendor implan membutuhkan investasi mesin yang beragam karena bentuk final produk tidak langsung jadi setelah proses pencetakan bubuk bioceramic. Berdasarkan kebutuhan tersebut maka penelitian dilakukan dengan tujuan mendapatkan rancangan mesin untuk meminimalkan proses manufaktur. Rancangan diharapkan mampu menghasilkan bentuk final produk dengan sistem kompaksi bubuk.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konsep cetakan untuk membuat bioceramic acetabular cup dengan ukuran bervariasi?
2. Bagaimana mekanisme mesin pencetak bioceramic acetabular cup ?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini diantaranya :

1. Mendapatkan rancangan cetakan acetabular cup yang mampu menghasilkan bentuk final produk dan mampu mengakomodasi berbagai variasi dimensi produk.
2. Mendapatkan rancangan mesin pencetak acetabular cup.

1.4. Batasan Masalah

Dalam perancangan ini agar hasil analisa mencapai tujuan yang dikehendaki maka dibuatlah batasan – batasan masalah sebagai berikut :

1. Rancangan mesin berfungsi mencetak produk acetabular cup hingga menjadi bentuk jadi.
2. Rancangan tidak mencakup perlakuan lanjutan untuk mencapai sifat – sifat ideal implan.
3. Rancangan menggunakan sampel material Dental Stone Tipe 4 (ISO 6873:2013) dengan pertimbangan bahwa material ini sedang dikembangkan tim peneliti di Universitas Pancasila sebagai material implan.

1.5. Tinjauan Pustaka

1) 1.5.1. Ceramic Acetabular Cup

Acetabular Cup adalah salah satu bagian utama pada *Hip Joint*. *Hip joint* pada manusia terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: *femur*, *femoral head*, dan *acetabular cup*. *Hip joint* adalah sambungan tulang yang terletak diantara pinggul dan pangkal tulang paha atas. Di dalam *hip joint* yang normal terdapat suatu jaringan lembut dan tipis yang disebut dengan selaput *synovial*. Selaput ini membuat cairan yang melumasi dan hampir menghilangkan efek gesekan di dalam *hip joint*. Permukaan tulang juga mempunyai suatu lapisan tulang rawan (*articular cartilage*) yang merupakan bantalan lembut dan memungkinkan tulang untuk bergerak bebas dengan mudah. Lapisan ini mengeluarkan cairan yang melumasi dan mengurangi gesekan di dalam *hip joint*. [1]

Akibat gesekan dan gerak yang hampir terjadi setiap hari, maka *articular cartilage* akan semakin melemah dan bisa menyebabkan *arthritis*. Selain menimbulkan rasa sakit, juga menyebabkan gerakan *hip joint* menjadi tidak lancar, kadang-kadang berbunyi, dan bahkan dapat menimbulkan pergeseran dari posisi normalnya. Kondisi seperti dapat diatasi dengan menanamkan implan untuk menggantikan sambungan atau seluruh bagian tulang pinggul (*total hip replacement*).

Pada umumnya hip bearing pada sambungan tulang pinggul buatan diklasifikasikan menjadi hard-on-hard material seperti metal-on-metal (MOM), ceramic-on-ceramic (COC) dan dikembangkan juga ceramic-on-metal (COM) dan hard-on-soft material dengan menggunakan material polyethylene yang bersifat viscoelastic sebagai hip bearing sedangkan femoral head terbuat dari paduan logam yang disebut dengan metal-on-polyethylene (M-PE) atau terbuat dari keramik yang disebut dengan ceramic-on-polyethylene (C-PE). [2]

2) 1.5.2. Silinder Hidraulik

- Tekanan fluida kerja (P)

$$P = \frac{F}{A} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Dimana :

F = Gaya tekan piston (kg)

A = Luas penampang silinder (mm²)

P = Tekanan maksimum (kg/mm²)

- Diameter dalam silinder (D)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} \text{ (cm)} \quad [3, \text{ p. } 170]$$

- Tegangan tarik desain (σ_1)

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{S_f} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad [3, \text{ p. } 170]$$

Dimana :

σ = Tegangan tarik bahan

S_f = Faktor keamanan

- Tebal dinding silinder (T)

$$T = \frac{D}{2} \left[\sqrt{\frac{\sigma_i + p}{\sigma_i - p}} \right] \quad [3, \text{ p. } 177]$$

- Diameter luar silinder (D_0)

$$D_0 = D + 2 \cdot T \text{ (cm)} \quad [3, \text{p. 177}]$$

Dimana :

D = Diameter dalam silinder

T = Tebal dinding silinder

- Tegangan longitudinal

Tegangan longitudinal adalah tegangan yang terjadi pada dinding silinder dalam arah melintang atau sejajar sumbu longitudinal.

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot D_0}{4 \cdot T} \quad [4, \text{p. 178}]$$

Dimana :

P = Tekanan kerja dalam silinder (kg/mm^2)

D_0 = Diameter dalam silinder (mm)

T = Tebal silinder (mm)

- Tegangan sirkumferensial (σ_s)

Tegangan sirkumferensial adalah tegangan yang terjadi pada luasan melingkar dinding silinder atau menyinggung permukaan silinder.

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot T} \quad [4, \text{p. 178}]$$

Dimana :

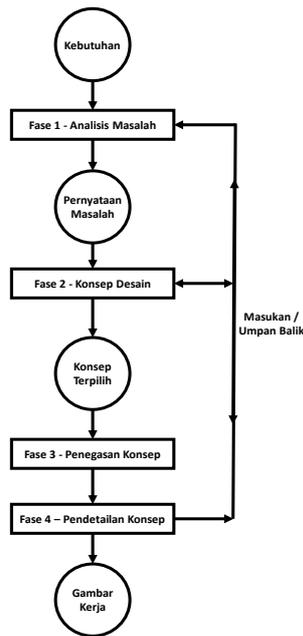
P = Tekanan kerja silinder (kg/mm^2)

D_0 = Diameter dalam silinder (mm)

T = Tebal silinder (mm)

1.6. Metodologi

Perancangan mold pada penelitian ini menggunakan metodologi yang dibuat oleh Michael J. French. Metodologi ini dinilai mampu untuk mengakomodasi pemilihan varian secara lebih efisien pada perancangan produk yang memiliki banyak batasan pada varian. Berikut tahapan proses perancangan dengan metodologi French.



Gambar 1. 1 Diagram Alir Metodologi French [5]

Fase 1 - Analisis Masalah

Pada fase ini dilakukan analisis pada proses manufaktur yang saat ini sudah berjalan kemudian dibuat rancangan proses manufaktur yang baru dengan sistem cetak jadi. Analisis dilakukan agar rancangan konsep mesin tetap memperhatikan kebutuhan pada fase pemrosesan produk pada saat sebelum dan sesudah melewati proses pencetakan.

Hasil dari fase ini adalah rancangan proses manufaktur *bioceramic* dengan sistem cetak jadi yang disajikan melalui diagram alir proses manufaktur.

Fase 2 – Konsep Desain

Pada fase ini dilakukan identifikasi kebutuhan yang harus dipenuhi pada sebuah mesin pencetak *bioceramic*. Identifikasi dilakukan dengan studi produk *ceramic acetabular cup* yang sudah ada di pasaran. Studi ini bertujuan untuk mendapatkan poin kritical yang harus diperhatikan untuk menghasilkan implan *bioceramic*.

Setelah mendapatkan konsep maka dibuat beberapa skema model mesin pencetak implan *bioceramic*. Proses pembuatan konsep dilakukan dengan langkah berikut ini :

1. Menetapkan desain implan *bioceramic* yang akan dicetak. Dalam penelitian ini digunakan acetabular cup sebagai produk percontohan.
2. Membuat konsep *die* untuk mencetak *bioceramic*.
3. Membuat konsep mesin pencetak dengan sesuai dengan tekanan pematatan, model aktuator, dan konsep *die* pencetak.

Fase 3. Penegasan Konsep

Mesin pencetak akan diaplikasikan untuk rumah sakit dan skala laboratorium sehingga kecepatan proses bukan menjadi prioritas utama pada pembuatan desain mesin. Pada fase ini akan dipilih konsep dengan prioritas keamanan proses pencetakan dan tingkat ekonomis yang semaksimal mungkin pada proses pembuatan mesinnya. Jika ada beberapa konsep yang dibuat maka akan dipilih yang paling memenuhi persyaratan tersebut.

Fase 4 – Pendetailan Konsep.

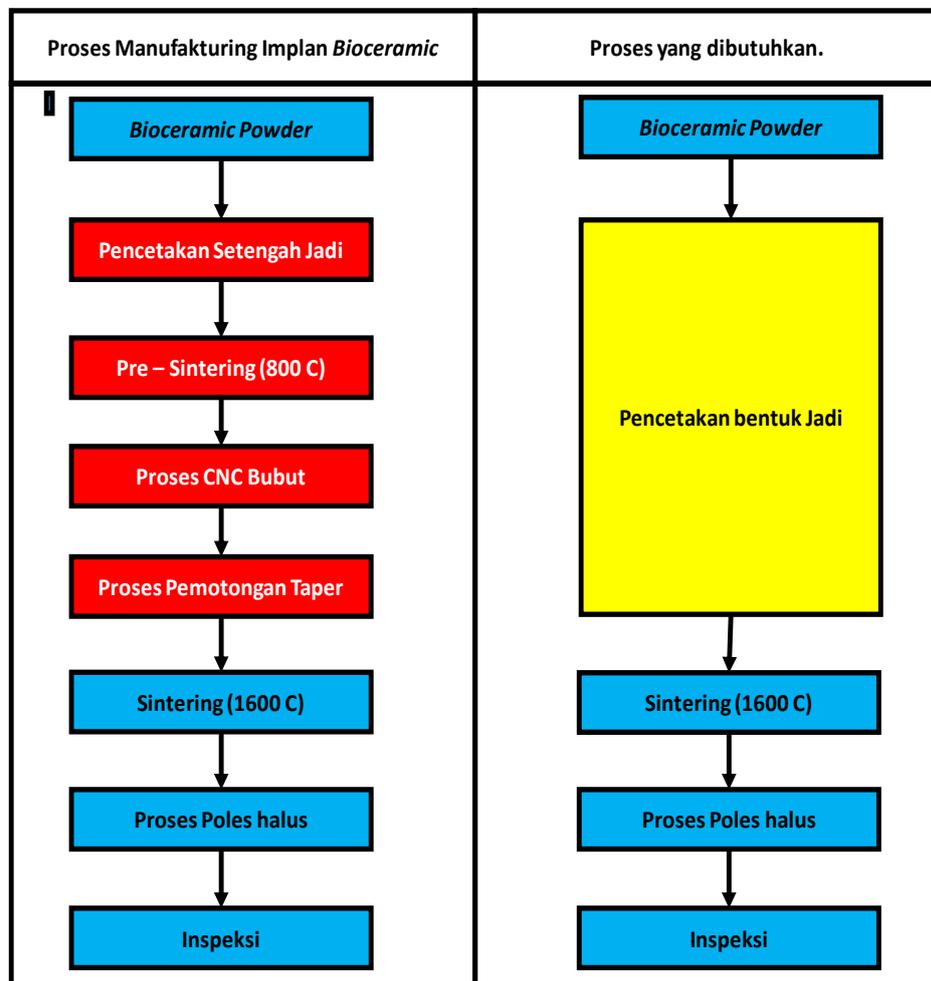
Pada fase ini konsep atau skema yang terpilih akan dikerjakan secara lebih detail. Proses pewujudan konsep dilakukan dengan langkah – langkah berikut :

1. Menghitung tekanan pemadatan yang sesuai dengan desain produk.
2. Memilih aktuator yang sesuai dengan tekanan pemadatan.
3. Pemodelan 3 dimensi

2. Pembahasan

2.1. Analisis Masalah

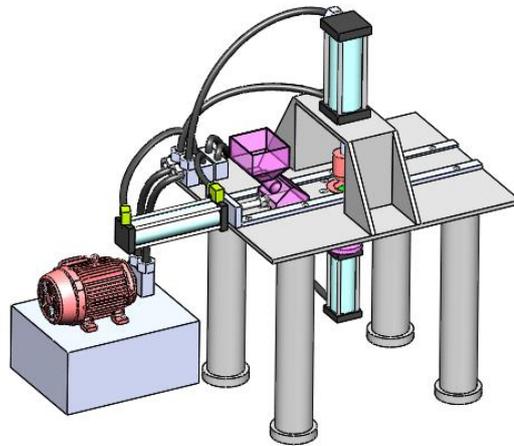
Analisis dilakukan pada alur proses manufaktur yang sudah ada. Hasil analisis yaitu penyederhanaan proses pada fase berwarna kuning yang mampu mencetak bentuk implan secara final tanpa proses tambahan atau *finishing*. Fase proses dengan warna merah menunjukkan fase proses manufaktur yang sudah ada yang diharapkan dapat tergantikan dengan fase berwarna kuning.



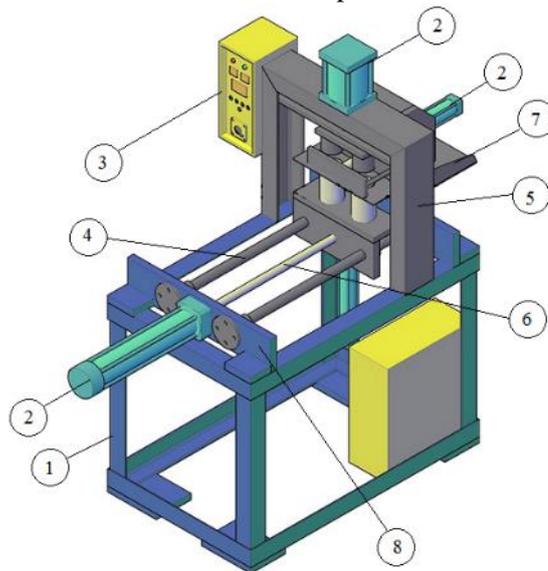
Gambar 2. 1 Diagram alir Manufaktur Impkan *Bioceramic*

2.2. Konsep dan Penegasan

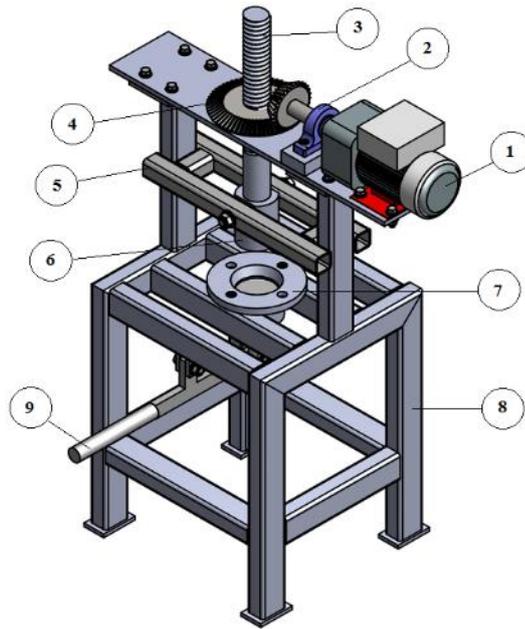
Perancangan menghasilkan 3 konsep desain untuk dipilih.



Gambar 2. 2 Konsep Varian 1



Gambar 2. 3 Konsep Varian 2



Gambar 2. 4 Konsep Varian 3

Pada pemilihan konsep dilakukan penilaian dengan sistem skor sebagai berikut,
 +1 : Dapat memenuhi keinginan pengguna lebih baik
 0: Kemampuannya sama dengan konsep design
 -1 Jika kemampuannya kurang dari design referensi.

No	Kriteria Seleksi	Konsep Alternatif Design		
		V1	V2	V3
1	Kuat dan tahan lama	+	0	0
2	Komponen tidak banyak	-	0	0
3	Daya tekan	+	0	+
4	Dimensi alat	-	0	0
5	Biaya material murah	0	0	0
6	Biaya pembuatan	-	-	0
7	Mudah dipindahkan	0	0	0
8	Pengoperasian mudah	0	+	0
9	Pemeliharaan mudah	0	-	0
12	Dapat digunakan untuk semua barang	0	0	0
11	Transfer energi	+	-	-
12	Kemungkinan produksi massal	0	0	0
13	Keamanan pengoperasian	+	0	0

No	Kriteria Seleksi	Konsep Alternatif Design		
		V1	V2	V3
14	Kehandalan	0	-	0
Total		1	-3	0

2.3. Pendetailan Konsep

Konsep terpilih selanjutnya diperhitungkan dimensi dan spesifikasinya melalui perhitungan matematis berdasarkan material sampel *dental stone* tipe 4 ISO 6873:2013

2.3.1. Produk

Analisis produk dilakukan untuk memperhitungkan massa material yang diperlukan untuk setiap siklus pencetakan. Pengujian dengan piknometer dilakukan untuk mengetahui massa jenis material, selanjutnya diperhitungkan massa *acetabular cup*.



Data pengukuran

- Volume picnometer (V_{pm}) = 25 cm³
- m_1 = piknometer + air₁ = 44,98 g
- m_2 = piknometer = 20,02 g
- m_3 = piknometer + dental stone = 30,79 g
- m_4 = m_3 + air₂ = 51,73 g

Pengecekan masa jenis air

Volume air₁ (V_{air1}) = (V_{pm}) = 25 cm³

Massa air₁ (m_{air1}) = $m_2 - m_1 = 44,98g - 20,02g = 24,96 g$

Massa jenis air (ρ_{air1}) = $\frac{m_{air1}}{V_{air1}} = \frac{24,96 g}{25 cm^3} = 0,998 g/cm^3$

Perhitungan volume air tambahan

Massa air₂ (m_{air2}) = $m_4 - m_3 = 51,73g - 30,79g = 20,94 g$

Volume air₂ (V_{air2}) = $\frac{m_{air2}}{\rho_{air1}} = \frac{20,94 g}{0,998 g/cm^3} = 20,98 cm^3$

Perhitungan massa jenis dental stone

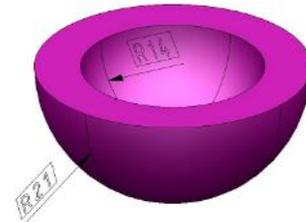
$$\text{Volume dental stone } (V_{ds}) = V_{pdm} - V_{air2} = 25 \text{ cm}^3 - 20,98 \text{ cm}^3 = 4,02 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa dental stone } (m_{ds}) = m_3 - m_1 = 30,79 \text{ g} - 20,02 \text{ g} = 10,77 \text{ g}$$

$$\text{Massa jenis dental stone } (\rho_{ds}) = \frac{m_{ds}}{V_{ds}} = \frac{10,77 \text{ g}}{4,02 \text{ cm}^3} = 2,68 \text{ g/cm}^3$$

Perhitungan massa produk

$$\begin{aligned} \text{Volume produk } (V_{prod}) &= \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot ((r_1)^3 - (r_2)^3) \\ &= \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot ((21)^3 - (14)^3) \\ &= 13642,253 \text{ mm}^3 \\ &= 13,642 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Massa produk } (m_{prod}) &= \rho_{ds} \times V_{prod} \\ &= 2,6 \text{ g/cm}^3 \times 13,642 \text{ cm}^3 \\ &= 35,47 \text{ g} \end{aligned}$$

Jadi *feeding* material yang diperlukan untuk setiap siklus pencetakan adalah = 35,47 g

2.3.2. Cetakan

Mesin dirancang dengan material cetakan Daido DC11 (ekuivalen dengan SKD11) dan material produk *dental stone* tipe 4

$$\text{Kekuatan tarik Daido DC11 } (\sigma) = 1500 \text{ Mpa [6]}$$

$$\text{Faktor keamanan (sf)} = 3$$

$$\text{Tegangan tangensial } (\sigma_1) = \frac{\sigma}{sf} = \frac{1500 \text{ Mpa}}{3} = 500 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tekanan kompresi dental stone } (P) = 90 \text{ Mpa [7]}$$

Dengan demikian cetakan sangat aman karena memiliki tegangan tangensial yang lebih besar dari tekanan kompresi untuk kompaksi atau pemadatan dental stone tipe 4.

$$\text{Diameter Produk } (D) = 42 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal dinding cetakan } (t) &= \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{\sigma_1 + P}{\sigma_1 - P}} - 1 \right) = \frac{42 \text{ mm}}{2} \left(\sqrt{\frac{500 \text{ MPa} + 90 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa} - 90 \text{ MPa}}} - 1 \right) \\ &= 13,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan demikian cetakan membutuhkan tebal dinding 13,91 mm untuk memadatkan dental stone tipe 4.

2.3.3. Kapasitas mesin

Debit pompa

$$\text{Volume fluida yang dipindahkan } (V) = 13,642 \text{ cm}^3$$

$$\text{Putaran Pompa } (n) = 1500 \text{ rpm}$$

$$\text{Effisiensi volume } (\eta_{vol}) = 0,92$$

$$\text{Effisiensi total } (\eta_t) = 0,8$$

$$\begin{aligned} \text{Debit aliran pompa } (Q) &= V \cdot n \cdot \eta_{vol} = 13,642 \cdot 1500 \cdot 0,92 \\ &= 18825,96 \text{ cm}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

Luas penampang kerja

$$\text{Diameter bore } (D_b) = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter piston } (d_1) = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter batang piston } (d_2) = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang langkah } (h) = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Penampang torak } (A) &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (d_1)^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (7,5)^2 \text{ cm}^2 \\ &= 44,156 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas penampang batang torak } (A_r) = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (d_2)^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (3,5)^2$$

$$= 9.62 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang kerja/analus area (AR)} &= A - A_r \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (d_1^2 - d_2^2) \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (7.5^2 - 3.5^2) \end{aligned}$$

Langkah turun

$$\begin{aligned} \text{Waktu langkah turun piston (t}_d\text{)} &= \frac{A \cdot h \cdot 60}{Q} \text{ s} = \frac{44,156 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ cm} \cdot 60}{18825,96 \text{ cm}^3/\text{s}} \\ &= 1,41 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan piston naik (V}_{\text{turun}}\text{)} &= \frac{Q}{A} = \frac{18825,96 \text{ cm}^3/\text{s}}{44,156 \text{ cm}^2 \cdot 60} \\ &= 7,11 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

Langkah naik

$$\begin{aligned} \text{Waktu langkah naik piston (t}_n\text{)} &= \frac{A_R \cdot h \cdot 60}{Q} \text{ s} = \frac{34,54 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ cm} \cdot 60}{18825,96 \text{ cm}^3/\text{s}} \\ &= 1,13 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan piston naik (V}_{\text{naik}}\text{)} &= \frac{Q}{A} = \frac{18825,96 \text{ cm}^3/\text{s}}{34,54 \text{ cm}^2 \cdot 60} \\ &= 8,83 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

Waktu yang dibutuhkan dalam satu kali langkah kerja

$$\text{Waktu langkah turun (t}_d\text{)} = 1,41 \text{ s}$$

$$\text{Waktu langkah naik (t}_n\text{)} = 1,13 \text{ s}$$

$$\text{Asumsi Waktu pelepasan produk} = 5 \text{ s}$$

$$\text{Asumsi Waktu feeding} = 3 \text{ s}$$

$$\text{Waktu total (t}_p\text{)} = 1,41 \text{ s} + 1,13 \text{ s} + 5 \text{ s} + 3 \text{ s} = 10,54 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga kapasitas mesin (Q}_{\text{Press}}\text{)} &= \frac{3600\text{s}}{10,54\text{s}} = 341,55 \text{ produk/jam} \\ &= 341 \text{ produk/jam} \end{aligned}$$

3. Kesimpulan

Dari hasil rancangan yang sudah didapatkan, peneliti menyimpulkan :

Hasil rancangan secara teori mampu membuat acetabular cup sesuai tujuan penelitian.

Dibandingkan dengan mesin yang sudah ada, hasil rancangan mesin memiliki kelebihan :

1. Rancangan mampu membuat bentuk jadi *acetabular cup* tanpa proses *finishing* model pada mesin bubut sehingga berpotensi mengurangi biaya produksi.
2. Rancangan mampu membuat variasi ukuran acetabular cup dengan mengganti beberapa komponen cetakan.
3. Cetakan hasil rancangan merupakan cetakan dengan sistem kompaksi bubuk (powder pressing).
4. Rancangan mesin secara teori memiliki kapasitas produksi sebesar 341 produk/jam
5. Rancangan memiliki ukuran yang relatif kecil sehingga mampu ditempatkan di rumah sakit atau laboratorium sesuai tujuan penelitian.

Hasil rancangan masih perlu diuji coba dengan membuat atau memproduksi rancangan ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Dr. Agri Suwandi, ST., MT. selaku dosen pembimbing skripsi, serta kepada keluarga dan teman yang selalu memberikan dukungan dalam pengerjaan skripsi ini

Daftar Pustaka

- [1] M. Ronald R. Hugate Jr. dan R. D. H. P. , The Handbook of Hip & Knee Joint Replacement, Robert Holland, 2015.
- [2] F. Á. Rodríguez-González, Biomaterials in Orthopaedic Surgery, Ohio: ASM International, 2009.
- [3] M. Ernest Fitch, Fluids Power And Control Sistem, New York: Graw Hill Book, 1966.
- [4] H. G. Khurmi, A Tex Box Of Machine Design, New Delhi: Eurasia Publising House Ltd., 1982.
- [5] M. J. French, Conceptual design for engineers (2nd ed.), London: Heinemann Educational Books Ltd, 1985.
- [6] Daido Steel Co., Ltd, DC11 High Wear Resistance & Air Hardening General Purpose Cold - Die Steel.
- [7] Siladent, Siladent Product Catalogue, 2018.
- [8] S. Kurtz, UHMWPE Biomaterials Handbook (3rd Ed.), Oxford: Matthew Deans, 2015.
- [9] J. I. Rochmad Winarso, "Analisa Ceramic-On-Ceramic Pada Sambungan Tulang Pinggul Buatan Menggunakan Metode Elemen Hingga," 2011.
- [10] Salzgitter Mannesmann Precision, Seamless Precision Steel Tubes for Hydraulic and Pneumatic tubes, stator tubes or quenched and tempered tubes.