

Rancang Bangun Alat Pemanas Induksi Proses Perlakuan Panas

Ipfung Kurniawan¹, Bayu Aji Girawan², Imam Muasih³, Yosep Susanto⁴

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap, Indonesia

Email: ¹ipung.k.poltec@gmail.com, ²bayuaji.girawan@politeknikcilacap.ac.id, ³imamuasih@gmail.com

⁴yosepsusanto@gmail.com

ABSTRAK

Proses *heat treatment* yang menggunakan sistem bahan bakar sangat banyak dan waktu pemanasan cukup lama. Pemanfaatan pemanas induksi, *heat treatment* dapat dilakukan dengan waktu yang lebih singkat dan energi yang lebih sedikit. Tujuan dari penelitian ini; 1) Membuat desain rancangan, 2) Menghitung bagian elemen mesin, 3) Menghitung estimasi waktu dan biaya pembuatan, 4) Menguji hasil alat pemanas induksi. Metode pada penelitian ini menggunakan eksperimental. Hasil evaluasi rancangan konsep antara lain penggunaan ulir trapesium pada sistem *lifter*, 0,2 kilowatt daya motor, 12 mm diameter poros, dan *ball bearing 6201* dengan umur pemakaian 0,31 tahun yang ditentukan dari perhitungan elemen mesin pada sistem pemanas induksi. Total waktu dan biaya pembuatan berkisar 3.182,06 menit dan Rp. 5.360.700,-. Hasil pengujian menunjukkan angka kekerasan *raw material mild steel* yang diberi perlakuan panas *hardening* temperatur 850 °C ditahan 45 menit meningkat dari 65,2 HRB menjadi 84,3 HRB. Namun setelah *tempering* temperatur 400 °C mengalami penurunan menjadi 69 HRB.

Kata kunci : Pemanas induksi, *heat treatment*, elemen mesin, kekerasan

ABSTRACT

The heat treatment process using the fuel system is very numerous and the heating time is quite long. The use of induction heaters, heat treatment can be done with a shorter time and less energy. The purpose of this research are; (1) Make a plan design, (2) Measure the part of machine element, (3) Measure the estimation of time and design budget, (4) Test the result of induction heater machine. The method in this study uses experimental. The result of concept design evaluation, i.e., the use of trapezoid screw on the lifter system was 0,2 kilowatt of motor power, 12 mm of shaft diameter, and ball bearing 6201 with the age of 0,31 years which determined from the calculation of machine element on the induction heater system. The total of time for making this machine was 3.182,06 minutes and it spent Rp 5.360.700,-. The result of test shows that the hardness rate of raw material mild steel that given heat of hardening temperature of 850 °C, that endured for 45 minutes increasing being 84,3 HRB. However, after being tempered temperature of 400 °C having a decrease being 69 HRB.

Keywords: Induction heater, heat treatment, machine element, hardness

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat di era globalisasi membuat kebutuhan akan penggunaan material logam dalam pembuatan alat-alat dan sarana kehidupan semakin meningkat. Mulai dari peralatan yang paling sederhana sampai pada peralatan yang paling rumit, misalnya perabot rumah tangga, peralatan pemesinan, jembatan, bangunan, kendaraan, dan konstruksi pesawat terbang. Perkembangan dunia industri yang semakin maju mendorong pula kebutuhan akan material logam yang memiliki sifat yang diinginkan sesuai fungsi dan tujuan pemakaian. Sifat material logam dipilih berdasarkan sifat teknologi, sifat mekanik, sifat fisik, dan sifat kimia. Untuk membuat produk yang terbuat dari baja dengan sifat kuat, ulet, atau keras maka memerlukan perlakuan panas (*heat treatment*).

Heat treatment adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol dengan maksud mengubah sifat fisik dari logam. Proses *heat treatment* yang

menggunakan sistem yang biasa menggunakan bahan bakar sangat banyak dan waktu pemanasan yang lama. Dengan adanya pemanfaatan pemanas induksi (*induction heater*), *heat treatment* dapat dilakukan dengan waktu yang lebih singkat dan energi yang lebih sedikit. Prinsip *induction heater* adalah sistem pemanas dengan menggunakan induksi medan magnet yang dihasilkan dari frekuensi tinggi [1]. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada objek timbul arus *eddy* atau arus pusat yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet yang menembus objek. *Induction heater* memanfaatkan rugi-rugi yang terjadi pada kumparan penginduksi. Arus *eddy* berperan dominan dalam proses *induction heating*, panas yang dihasilkan pada material sangat bergantung kepada besarnya arus *eddy* yang diinduksikan oleh lilitan penginduksi.

Alat *heat treatment* dengan pemanas induksi dapat menurunkan waktu pemanasan, menghemat energi, dan

aman karena panas hanya setempat. Baja yang diperlakukan panas dengan temperatur dan didinginkan dengan media pendingin tertentu mempengaruhi sifat baja tersebut. Sehingga bila diketahui tingkat perbandingan sifat mekanis dengan kesesuaiannya terhadap aplikasi dan kegunaannya, maka dapat diambil suatu keputusan untuk menggunakan proses pemanasan pada temperatur tertentu dan pada media pendingin yang tepat, agar menghemat waktu dan biaya produksi. Pengkajian lebih lanjut dampak dari faktor perbedaan temperatur dan media pendingin, dapat dilakukan melalui pengujian bahan. Proses *heat treatment* lebih efisien menggunakan sistem pemanas induksi. Oleh karena itu munculah gagasan untuk merancang dan membuat alat pemanas induksi dan menguji kekerasan spesimen setelah diberi perlakuan panas dengan alat tersebut.

Berdasarkan permasalahan diatas, tujuan dari penelitian ini adalah membuat desain rancangan alat pemanas induksi. Menghitung bagian elemen mesin pada mesin pemanas induksi dan estimasi waktu dan biaya pembuatan. Selain itu tujuan penelitian ini adalah menguji hasil alat pemanas induksi

2. Tinjauan Pustaka

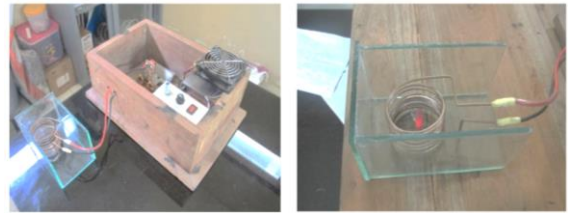
Proses pemanasan roda gigi UKM menggunakan alat pemanas induksi yang telah dirancang seperti Gambar 1. Spesimen yang sedang dipanaskan adalah roda gigi UKM diameter 62 mm, tebal 30 mm dan massanya 425 gr. Pada gambar tersebut terlihat beberapa unit utama dari mesin pemanas induksi, yaitu: alat pemanas, kumparan tembaga, dan pendingin. Alat ini mampu memanaskan roda gigi hingga mencapai temperatur 800 °C dalam waktu 5-7 menit [2].



Gambar 1. Alat pemanas induksi saat bekerja^[2]

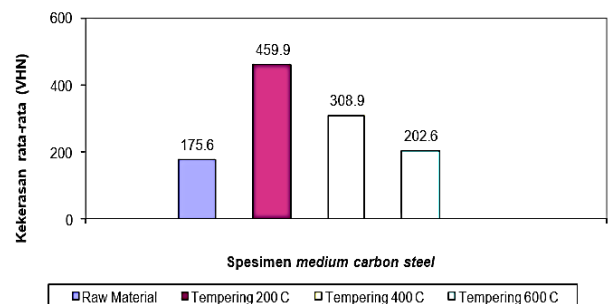
Rancang bangun pemanas induksi berkapasitas 600 Watt bertujuan untuk proses perlakuan panas. Perancangan dan pembuatan pemanas induksi berdaya 600 W ini dilakukan dengan merangkaikan komponen-komponen utama yang terdiri atas transformator, dioda, dioda Schottky, transistor mosfet, resistor, kapasitor dan induktor. Pemanas induksi ini selanjutnya diuji coba untuk melakukan proses perlakuan permukaan pada spesimen baja AISI 1040. Temperatur pada spesimen diukur menggunakan termometer inframerah. Kumparan

kerja, yang berdiameter 60 mm, terdiri atas 6 lilitan kawat tembaga dengan diameter 3 mm. Setelah pemanasan selama 5 menit, termometer infra merah menunjukkan temperatur maksimum 743°C. Alat pemanas induksi dapat dilihat pada Gambar 2 [3].



Gambar 2. Alat pemanas induksi kapasitas 600W^[3]

Penelitian pengaruh variasi temperatur pemanasan *low tempering*, *medium tempering*, dan *high tempering* pada *medium carbon steel* produksi pengecoran Batur-Klaten bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan material. Hasil pengujian kekerasan didapatkan harga kekerasan rata-rata tertinggi pada spesimen tempering 200 °C sebesar 459,9 VHN dan berturut-turut menuju posisi terendah, yaitu : spesimen *tempering* 400 °C sebesar 308,9 VHN dan spesimen *tempering* 600 °C sebesar 202,6 VHN dan paling rendah spesimen *raw material* sebesar 175,6 VHN dapat dilihat pada gambar 3 [4].



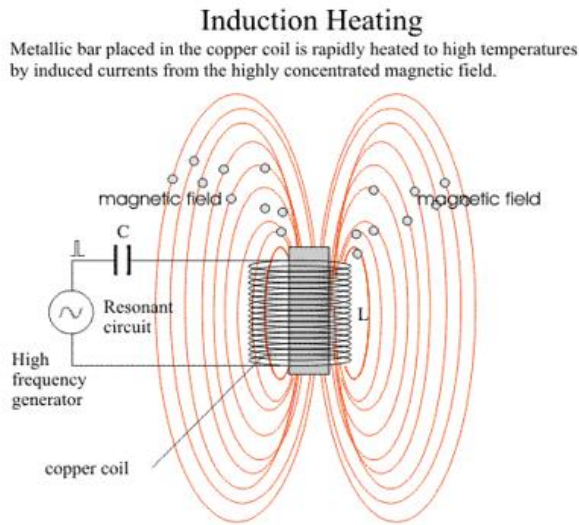
Gambar 3. Histogram perbandingan harga kekerasan rata-rata spesimen *medium carbon steel*^[4]

3. Induction Heating

Induction heating adalah sistem pemanas dengan menggunakan induksi medan magnet yang dihasilkan dari frekuensi tinggi/*high frequency*. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada objek timbul arus *eddy* atau arus pusut yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet yang menembus objek.

Cara kerja *induction heater* yaitu tegangan bolak-balik yang memiliki frekuensi tinggi yang dibangkitkan dari power modul. Frekuensi ini akan memicu sebuah komponen elektronika untuk membangkitkan daya AC yang memiliki frekuensi tinggi. Daya AC frekuensi tinggi ini yang dikirimkan ke kumparan untuk menimbulkan fluks, besar kecilnya fluks yang di bangkitkan bergantung pada luas bidang kumparan induksi yang digunakan. Hal ini dikarenakan *induction heater* memanfaatkan rugi-rugi yang terjadi pada kumparan penginduksi. Arus *eddy* berperan dominan dalam proses *induction heating*. Panas yang dihasilkan pada material sangat bergantung kepada besarnya arus *eddy* yang diinduksikan oleh lilitan penginduksi. Ketika lilitan dialiri oleh arus bolak-balik,

maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Medan magnet tersebut besarnya berubah-ubah sesuai dengan arus yang mengalir pada lilitan tersebut. Ilustrasi jalur medan magnet seperti pada Gambar 4 di bawah:



Gambar 4. Ilustrasi jalur medan magnet

Hal yang dapat menentukan banyaknya arus *eddy* pada logam adalah:

1. Besar medan magnet yang menginduksi logam
2. Bahan logam yang digunakan untuk menghasilkan panas. Semakin kecil hambatan jenis logam, semakin baik untuk dijadikan obyek panas logam.
3. Luas permukaan logam, makin luas permukaan logam maka makin banyak arus *eddy* pada permukaan logam tersebut
4. Besar frekuensi, makin besar frekuensi maka makin banyak medan magnet yang dihasilkan.

4. Metodologi Penelitian

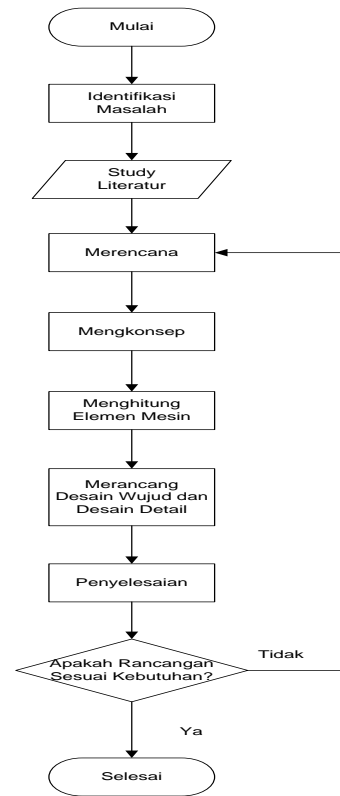
Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Adapun tahapan pada penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut:

4.1 Peralatan

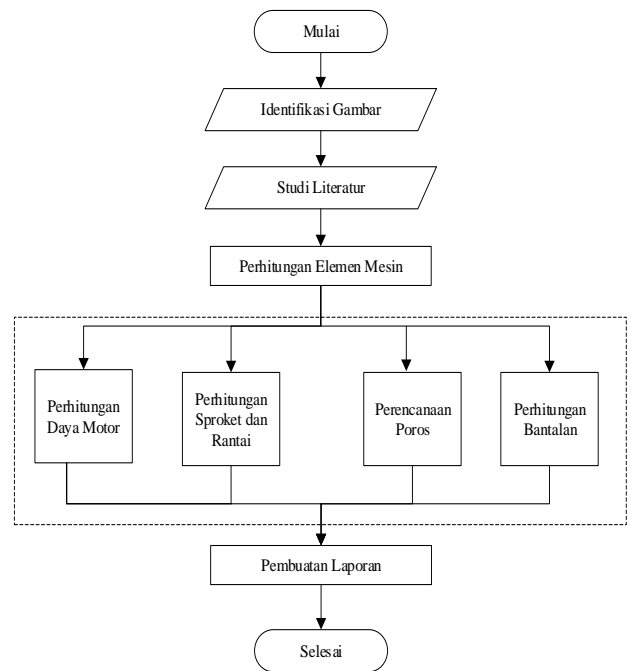
Peralatan yang digunakan dalam proses desain dan perhitungan bagian elemen mesin yaitu komputer serta *software* gambar [5] [6]. Alat yang digunakan untuk proses pembuatan antara lain mesin gergaji, bubut, frais, gurdi, gerinda, las dan gunting plat.

4.2 Metode Perancangan

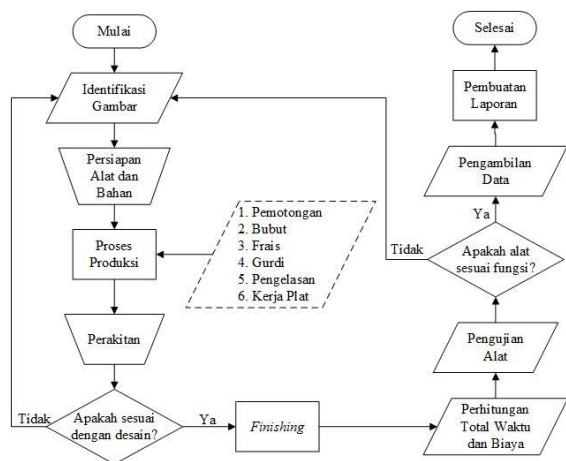
Metode yang digunakan dalam melakukan tahapan perancangan yaitu metode VDI 2222 [7], diperlihatkan pada Gambar 5. Pada tahap Perhitungan Elemen Mesin, dilakukan perhitungan bagian elemen mesin, seperti pada Gambar 6. Metode proses produksi alat pemanas induksi seperti pada diagram alir Gambar 7.



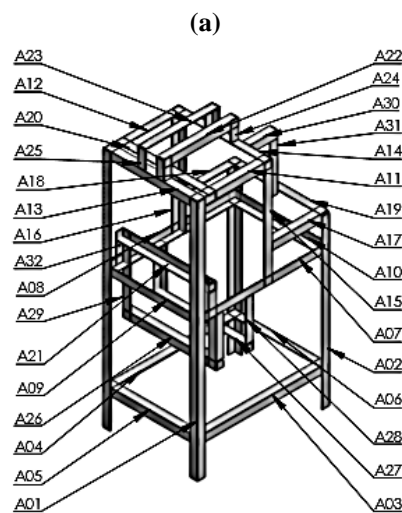
Gambar 5. Diagram alir proses perancangan



Gambar 6. Diagram perhitungan elemen mesin



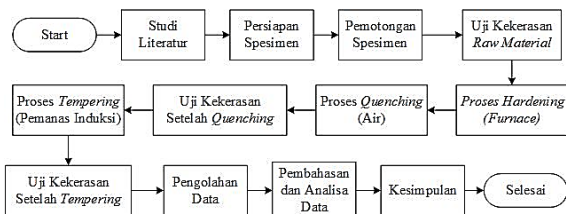
Gambar 7. Diagram alir proses produksi alat pemanas induksi.



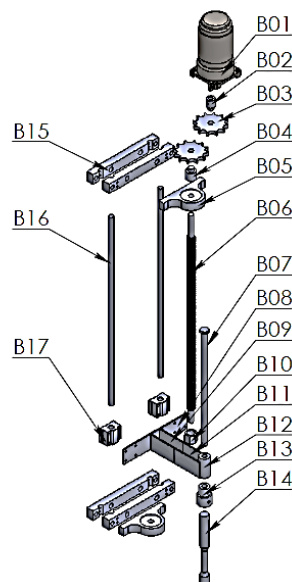
(b)

4.3 Metode Uji Hasil

Metode uji hasil dengan melakukan uji kekerasan setelah dilakukan *heat treatment* dengan pemanas induksi. Metode uji hasil terlihat seperti pada diagram alir Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir uji hasil

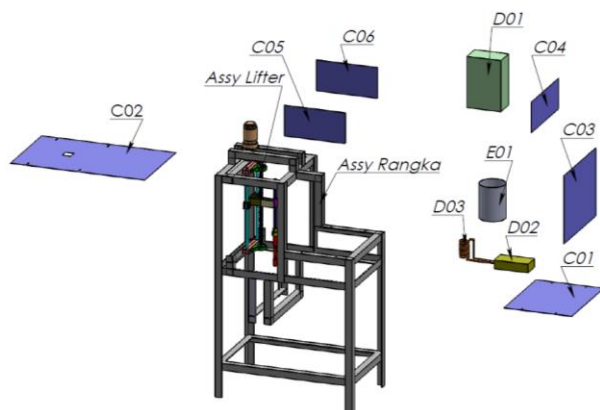
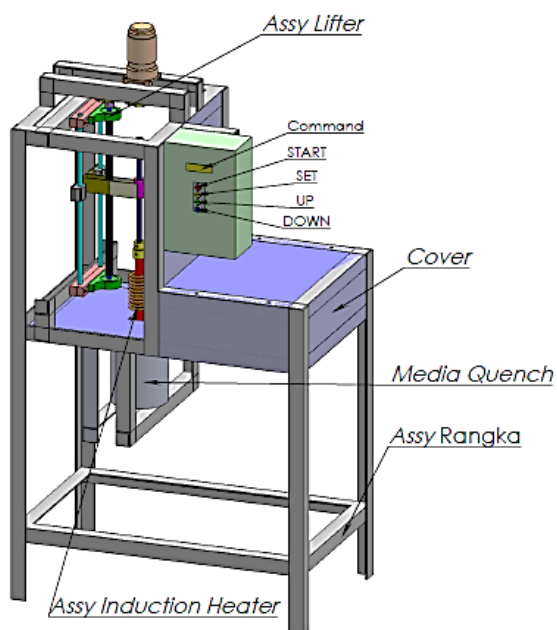


(c)

5. Hasil Dan Pembahasan

5.1 Hasil Perancangan

Desain hasil perancangan alat pemanas induksi dapat dilihat pada Gambar 9a, b, c dan d.



(d)

Gambar 9. (a) Alat pemanas induksi, (b) Assy rangka, (c) Assy lifter, (d) Bagian keseluruhan alat

Nama bagian-bagian alat pemanas induksi diatas dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nama bagian-bagian alat pemanas induksi

No Bagian	Nama Bagian	Jumlah
A01	Long foot	2
A02	Short foot	2
A03	Side frame bawah RH	1
A04	Side frame bawah LH	1
A05	Side frame bawah FR	1
A06	Side frame bawah RR	1
A07	Side frame tengah RH	1
A08	Side frame tengah LH	1
A09	Side frame tengah FR	1
A10	Side frame tengah RR	1
A11	Side frame atas RH	1
A12	Side frame atas LH	1
A13	Side frame atas FR	1
A14	Side frame atas RR	1
A15	Middle frame RH	1
A16	Middle frame LH	1
A17	Upper heater RH	1
A18	Upper heater LH	1
A19	Upper heater RR	1
A20	Frame lifter UP	1
A21	Frame lifter UR	1
A22	Base motor RH	1
A23	Base motor LH	1
A24	Base motor FR	2
A25	Base motor RR	2
A26	Base quenching FR	1
A27	Base quenching RR	1
A28	Base quenching RH	2
A29	Base quenching LH	2
A30	Base panel atas	1
A31	Base panel bawah	1
A32	Base lifter	2
B01	Motor listrik	1
B02	Bush motoran	1
B03	Sprocket dan rantai	2
B04	Bush transportir	1
B05	Bearing as 12 mm	2
B06	Poros transportir	1
B07	Poros adjuster	1
B08	Lengan slide bearing	1
B09	Lengan mur	2
B10	Mur transportir	1
B11	Lengan adjuster	2
B12	Adjuster	1
B13	Cekam spesimen	1
B14	Spesimen	1
B15	Cekam sliding	4
B16	Poros sliding	2
B17	Slide bearing	2
C01	Cover up	1
C02	Cover down	1

No Bagian	Nama Bagian	Jumlah
C03	Cover LH	1
C04	Cover RH	1
C05	Cover FR	1
C06	Cover RR	1
D01	Panel box	1
D02	Modul heater	1
D03	Induction coil	1
E01	Kaleng media quench	1

5.2 Perhitungan Elemen Mesin

Untuk menentukan daya motor yang digunakan pada sistem pemanas induksi ini dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

1). Menghitung gaya

Masanya adalah sebesar 2 kg

$$\begin{aligned} F &= m \times g \\ &= 2 \times 10 \\ &= 20 \text{ N} \end{aligned} \quad (1)$$

2). Menghitung torsi

Jari-jari sprocket 0.0245 m

$$\begin{aligned} T &= F \times r \\ &= 20 \times 0.0245 \\ &= 0.49 \text{ N.m} \end{aligned} \quad (2)$$

3). Menghitung sudut kisar ulir

Ulir trapesium $\frac{3}{4}$ inchi dengan L = 0.1667 in, dan diameter nominal 0.6424 in.

$$\begin{aligned} I &= \text{tg}^{-1} \frac{L}{\pi D_p} \\ &= \tan^{-1} \frac{0.1667}{2.018159121} \\ &= 4.72^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

4). Menghitung beban yang digerakan

Beban total diketahui 2.7 kg.

$$\begin{aligned} F &= m \times g \\ &= 2.7 \times 10 \\ &= 27 \text{ N} \end{aligned} \quad (4)$$

5). Menghitung torsi naik

Koefisien gesek sebesar 0.15

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(\cos f \tan l + f)}{(\cos f - f \tan l)} \right] \\ &= \frac{27 \times 0.016}{2} \left[\frac{(0.968 \times 0.0826) + 0.15}{0.968 - (0.15 \times 0.0826)} \right] \\ &= 0.052 \text{ N.m} \end{aligned} \quad (5)$$

6). Menghitung torsi turun

$$\begin{aligned} T_d &= \frac{FD_p}{2} \left[\frac{(f - \cos f \tan l)}{(\cos f + f \tan l)} \right] \\ &= \frac{27 \times 0.016}{2} \left[\frac{0.15 - (0.968 \times 0.0826)}{0.968 + (0.15 \times 0.0826)} \right] \\ &= 0.015 \text{ N.m} \end{aligned} \quad (6)$$

7). Kecepatan lifter

Kecepatan *lifter* yang diinginkan 0.02 m/s
Sehingga kecepatan putar motor dapat dihitung, dengan *pitch* ulir trapesium 0.004 m

$$n = \frac{0.02 \text{ m} \cdot 1 \text{ putaran} \cdot 60 \text{ s}}{\text{s} \cdot 0.004 \text{ m} \cdot \text{menit}} = 300 \text{ rpm}$$

8). Menentukan torsi total

$$\begin{aligned} T_{\text{total}} &= T_u + T \\ &= 0.052 + 0.49 \\ &= 0.54 \text{ N.m} \end{aligned}$$

9). Menentukan daya motor

$$\begin{aligned} P &= T \times \omega & (7) \\ &= \frac{\text{torsi (Nm)} \times 2\pi \times n}{60000} \\ &= \frac{0.54 \text{ (Nm)} \times 2\pi \times 300}{60000} \\ &= 0.017 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan *sprocket* dan rantai dapat dihitung dengan cara:

1). Menghitung perbandingan *sprocket*

$$\begin{aligned} V_r &= \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} & (8) \\ n_2 &= \frac{z_1 \times n_1}{z_2} \\ &= \frac{12 \times 300}{12} \\ &= 300 \text{ rpm} \end{aligned}$$

2). Menentukan jumlah mata rantai

Nomor rantai yang digunakan adalah 40, dengan *pitch* 12.7 mm, dan jarak rencana antar sumbu 100 mm.

$$\begin{aligned} L_p &= \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{2c}{p} + \frac{(z_2 - z_1)^2 p}{2\pi^2 c} & (9) \\ &= \frac{12 + 12}{2} + \frac{2 \times 100}{12.7} + \frac{(12 - 12)^2 \cdot 12.7}{2\pi^2 \cdot 100} \\ &= 28 \text{ mata rantai} \end{aligned}$$

3). Menentukan jarak antar sumbu

$$\begin{aligned} C &= \frac{p}{4} \left\{ (L_p - \frac{z_1 + z_2}{2}) + \sqrt{(L_p - \frac{z_1 + z_2}{2})^2 - 8(\frac{z_2 - z_1}{2\pi})^2} \right\} & (10) \\ &= \frac{12.7}{4} \left\{ (28 - \frac{12 + 12}{2}) + \sqrt{(28 - \frac{12 + 12}{2})^2 - 8(\frac{12 - 12}{2\pi})^2} \right\} \\ &= 101.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

4). Menghitung panjang rantai

$$\begin{aligned} L &= L_p \times p & (11) \\ &= 28 \times 12.7 \\ &= 355.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

5). Menghitung diameter nominal *sprocket*

$$\begin{aligned} D &= p \operatorname{cosec} \frac{180^\circ}{T} & (12) \\ &= 12.7 \operatorname{cosec} \frac{180^\circ}{12} \\ &= 49.02 \text{ mm} \end{aligned}$$

6). Menentukan besar defleksi

$$\begin{aligned} e &= 2\% \times C \\ &= 2\% \times 102 \\ &= 2,04 \text{ mm} \end{aligned}$$

7). Menghitung kecepatan rantai

$$\begin{aligned} v &= \frac{p \cdot z_1 \cdot n_1}{12.7 \times 12 \times 300} & (13) \\ &= \frac{1000 \times 60}{12.7 \times 12 \times 300} \\ &= \frac{1000 \times 60}{1000 \times 60} \\ &= 0.76 \text{ m/s} \end{aligned}$$

8). Menghitung gaya tarik pada rantai

$$\begin{aligned} F &= \frac{P_d}{v} & (14) \\ &= \frac{17}{0.76} \\ &= 22.37 \text{ N} \end{aligned}$$

5.3 Perencanaan poros transportir

1). Perhitungan daya poros

Pada perhitungan daya poros ini akan diperlukan daya maksimum sebagai daya rencana dengan faktor koreksi f_c sebesar 1,2 seperti tertera pada tabel faktor koreksi^[5]. Sehingga besar daya rencana P_d dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \times P & (15) \\ &= 1,2 \times 0,017 \text{ kW} \\ &= 0,0204 \text{ kilowatt} \end{aligned}$$

2). Menghitung moment puntir yang terjadi

$$\begin{aligned} T &= 9.74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_2} & (16) \\ &= 9.74 \times 10^5 \frac{0,2 \text{ kW}}{300 \text{ rpm}} \\ &= 642.8 \text{ kg.mm} \end{aligned}$$

3). Perhitungan tegangan geser

Pada perhitungan tegangan geser ini τ_a dihitung atas dasar batas kelelahan puntir yang besarnya diambil 40% dari batas kelelahan tarik yang besarnya kira-kira 45% dari kekuatan tarik σ_B (kg/mm^2). Jadi, batas kelelahan puntir adalah 18% dari kekuatan tarik σ_B , sesuai dengan standar ASME. Untuk harga 18% ini faktor keamanan diambil sebesar $1/0.18 = 5.6$. Harga 5.6 ini diambil untuk bahan SF dengan kekuatan yang dijamin, dan 6.0 untuk bahan S-C dengan pengaruh masa, dan baja paduan. Faktor ini dinyatakan dengan Sf_1 . Selanjutnya poros tersebut akan dibuat bertangga, karena pengaruh konsentrasi tegangan cukup besar. Untuk memasukkan pengaruh-pengaruh ini dalam perhitungan diambil faktor yang dinyatakan sebagai Sf_2 dengan harga sebesar 1.3 sampai 3.0^[5].

Untuk bahan poros yang akan digunakan pada transportir adalah bahan poros baja jenis S45C dengan kekuatan tarik $\sigma_B = 58 \text{ Kg/mm}^2$, Sf_1 (faktor keamanan) yang digunakan adalah sebesar 6,0 (untuk bahan S-C dengan pengaruh masa, dan baja paduan), dan Sf_2 (konsentrasi tegangan) yang digunakan adalah 1.3

maka perhitungan tegangan geser yang diizinkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\tau_a &= \frac{\sigma_B}{(Sf_1 \times Sf_2)} \\ &= \frac{58 \text{ Kg/mm}^2}{(6.0 \times 1.3)} \\ &= 7.4 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}\quad (17)$$

4). Menghitung diameter poros

Keadaan momen puntir itu sendiri harus ditinjau. Faktor koreksi yang dianjurkan oleh ASME juga dipakai disini. Ditentukan besarnya nilai faktor koreksi tumbukan (K_t), diambil nilai 1 seperti pada tabel faktor koreksi tumbukan (K_t), diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor koreksi tumbukan

Beban yang dikenakan	K_t
Halus	1,0
Sedikit Kejutan atau Tumbukan	1,0 – 1,5
Kejutan atau Tumbukan Berat	1,5 – 3,0

Meskipun dalam perkiraan sementara bahwa beban hanya terdiri atas momen puntir saja, perlu ditinjau pula apakah ada kemungkinan pemakaian dengan beban lentur dimasa mendatang. Jika memang diperkirakan akan terjadi pemakaian dengan beban lentur maka dapat dipertimbangkan dengan faktor C_b yang harganya antara 1,2 sampai 2,3. (Jika diperkirakan tidak akan terjadi pembebanan lentur maka C_b diambil 1,0)^[8]

$$\begin{aligned}d_s &\geq \left[\frac{5.1}{\tau_a} K_t C_b T \right]^{1/3} \\ d_s &\geq \left[\frac{5.1}{7.4} 1.5 \times 2.3 \times 642.8 \right]^{1/3} \\ d_s &\geq 11.5 \text{ mm}\end{aligned}\quad (18)$$

jadi diameter minimum dari transportir adalah 11.5 mm, dan diameter yang dipakai adalah 12 mm

a. Perhitungan umur bantalan

Bantalan yang dipakai pada alat *heat treatment* dengan pemanas induksi ini menggunakan spesifikasi sebagai berikut :

- Nomor Bantalan = 6201
- Diameter dalam = $\phi 12$ mm
- Diameter luar = $\phi 32$ mm
- Lebar bearing = 10 mm
- Jari-jari bearing = 1 mm
- Kapasitas Nominal dinamis spesifik C (kg) = 535 kg

1). Perhitungan beban ekuivalen

Diketahui beban radial sebesar 2.2 kg, dan beban aksial sebesar 4.7 kg.

$$\begin{aligned}\text{Pr} &= \text{X.V.Fr} + \text{Y.Fa} \\ &= 0.56 \cdot 1 \cdot 2.2 + 1.45 \cdot 4.7 \\ &= 8.05 \text{ kg}\end{aligned}\quad (19)$$

2). Faktor kecepatan

$$\begin{aligned}f_h &= \left[\frac{[33.3]}{n_2} \right]^{1/3} \\ &= \left[\frac{[33.3]}{300} \right]^{1/3} \\ &= 0.48 \text{ rad}\end{aligned}\quad (20)$$

3). Faktor umur

$$\begin{aligned}f_h &= f_n \frac{C}{P_r} \\ &= 0.48 \frac{535}{8.05} \\ &= 31.9\end{aligned}\quad (21)$$

4). Menentukan umur nominal bantalan

$$\begin{aligned}L_h &= 500 \cdot f_h^3 \\ &= 500 \cdot 31.9^3 \\ &= 16.230.880 \text{ putaran}\end{aligned}\quad (22)$$

1 hari bekerja 8 jam

$$N = 5 \text{ rad/s} \times 3600 \text{ menit} = 18000 \text{ rad/h}$$

Maka 1 hari bekerja dalam 8 jam $\times 18000$ rph = 144000

Jadi umur nominal bantalan adalah:

$$\begin{aligned}L_h &= \frac{16.230.880}{144000} \\ &= 0.31 \text{ tahun}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Waktu Proses Produksi

1) Perhitungan waktu proses pemotongan

Proses pemotongan komponen untuk pembuatan alat pemanas induksi terdapat beberapa material yang berbeda yaitu besi siku 40 \times 40 \times 4 mm, besi as ST41 $\phi 25.4$ mm, besi kotak pejal 200 \times 123 \times 25 mm, dan plat lebar 40 mm tebal 4 mm. Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Waktu produktif proses pemotongan

Benda	A (cm ²)	t / A dt/cm ²	jumlah	t potong (detik)	t potong (menit)
Besi siku	3,04	0,12	39	898	14,96
Besi as	5,06	0,67	7	1435	23,92
Besi kotak pejal	50	0,12	3	1102	48
Besi plat	1,6	0,12	6	70	1,17
Total waktu produktif pemotongan					88,05

Tabel 4. Waktu proses pemotongan

No	Komponen	Waktu produktif	Waktu non produktif
1	Besi siku		100
2	Besi as		42
3	Besi kotak pejal	88,05	42
4	Besi plat		56
Total waktu pemotongan			240
		328,05 menit	

Jadi, jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses pemotongan adalah 328,05 menit \approx 5,47 jam.

2) Perhitungan waktu proses bubut

Proses pembuatan komponen ada yang dilakukan dengan proses pembubutan. Waktu produktif pembubutan dapat dilihat pada tabel 5 dan total waktu pembubutan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 5. Waktu produktif proses bubut

No komponen	numbu	do (mm)	dm (mm)	d (mm)	v (m/min)	n (rpm)	n mesin (rpm)	f mesin (mm/put)	Vf (mm/min)	k (mm)	tc (menit)	Jumlah	Total tc (menit)
B02	x	25,4		20	250,76	300	0,035	10,5	12,7	1,21	4	4	4,84
	za	25,4	20	22,7	20	280,39	300	0,052	15,6	28	1,79	4	7,18
	zb	20	13	16,5	20	386,05	460	0,052	23,92	8	0,33	4	1,34
B04	x	25,4		20	250,76	300	0,035	10,5	12,7	1,21	4	4	4,84
	za	25,4	24	24,7	20	257,87	300	0,052	15,6	28	1,79	2	3,59
	zb	24	14	19	20	335,23	300	0,052	15,6	8	0,51	6	3,08
B06	x	18,7		20	340,61	300	0,035	10,5	9,35	0,89	4	4	3,56
	z	18,7	12	15,35	20	414,95	460	0,052	23,92	95	3,97	5	19,86
	x	25,4		20	250,76	300	0,035	10,5	12,7	1,21	4	4	4,84
B07	za	25,4	11,95	18,63	20	341,07	360	0,052	18,72	300	16,03	8	128,21
	zb	25,4	20	22,7	20	280,39	300	0,052	15,6	5	0,32	4	1,28
	x	25,4		20	250,76	300	0,035	10,5	12,7	1,21	4	4	4,84
B12	za	40		20	139,24	190	0,035	6,65	20	3,01	4	4	12,03
	zb	40	32	36	20	176,93	190	0,052	9,88	24	2,43	4	9,72
	x	40		20	199,04	190	0,052	9,88	20	2,02	9	9	18,22
B16	x	25,4		20	250,76	300	0,035	10,5	12,7	1,21	8	8	9,68
	z	25,4	11,95	18,69	20	340,79	300	0,052	15,6	500	32,05	16	512,32
	Jumlah total waktu bubut												749,91

Tabel 6. Waktu proses pembubutan

No	Komponen	Waktu produktif	Waktu non produktif
1	B02		45
2	B04		45
3	B06		71
4	B07	749,91	66
5	B12		44
6	B13		71
7	B16		141
Total waktu pembubutan		749,91	482,99
		1232,9	menit

Jadi, jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses bubut adalah 1232,9 menit \approx 20,55 jam.

3) Perhitungan waktu proses frais

Proses pembuatan komponen ada yang dilakukan dengan proses frais. Waktu produktif proses frais dapat dilihat pada tabel 7 dan total waktu frais dapat dilihat pada tabel 8.

Dihasilkan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses frais adalah 344,68 menit \approx 5,74 jam seperti pada tabel 8.

Tabel 7. Waktu produktif proses frais

No komponen	Tipe makan	d (mm)	v (m/min)	n (rpm)	n mesin (rpm)	Fz (mm/put)	Vf (mm/min)	lv (mm)	lw (mm)	ln (mm)	lt (mm)	tc (menit)	Jumlah	Total tc (menit)
B13	sisi	20	40	636,94	610	0,04	97,6	0	200	10	210	2,15	88	189,34
	takikan	12	40	1061,6	1225	0,04	196	6	6	0	12	0,06	200	12,24
Jumlah total waktu frais														201,59

Tabel 8. Waktu proses frais

No	Langkah Pekerjaan	Waktu (menit)
A	B15 Cekam sliding	
1	Periksa gambar dan ukuran	32
2	Mempersiapkan peralatan mesin	5
3	Penandaan pada bahan/material	24
4	Memasang pahat frais dan mengatur kecepatan	10
5	Mengatur posisi pahat frais	32
6	Pemasangan benda kerja	16
7	Waktu pengfraisan sisi	201,44
8	Waktu pengfraisan takikan	12,24
9	Pemeriksaan akhir	12
Jumlah waktu frais B15		344,68

4) Perhitungan waktu proses gurdi

Proses pembuatan komponen ada yang dilakukan dengan proses gurdi. Waktu produktif proses gurdi dapat dilihat pada tabel 9 dan total waktu gurdi dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 9. Waktu produktif proses gurdi

No komponen	d (mm)	v (m/min)	n (rpm)	n mesin (rpm)	Fz (mm/put)	Vf (mm/min)	lv (mm)	lw (mm)	ln (mm)	lt (mm)	tc (menit)	Jumlah	Total tc (menit)
A17, A18	8	22,675	902,67	850	0,168	285,60	10	19	3,88	32,88	0,115	4	0,46
A20, A21	10	22,675	722,13	710	0,181	256,98	10	4	4,85	18,85	0,073	4	0,29
	12	22,675	601,78	500	0,192	192,31	10	4	5,83	19,83	0,103	4	0,41
B02	5	22,675	1444,27	1500	0,144	430,91	10	5	2,43	17,43	0,040	1	0,04
B04	5	22,675	1444,27	1500	0,144	430,91	10	6	2,43	18,43	0,043	1	0,04
B08	5	22,675	1444,27	1500	0,144	430,91	10	4	2,43	16,43	0,038	8	0,30
B12	7	22,675	1031,62	1000	0,161	321,37	10	6,7	3,40	20,10	0,063	2	0,13
B13	5	22,675	1444,27	1500	0,144	430,91	10	6	2,43	18,43	0,043	2	0,09
	5	22,675	1444,27	1500	0,144	430,91	10	6,75	2,43	19,18	0,045	2	0,09
	5	22,675	1444,27	1500	0,144	430,91	10	19	2,43	31,43	0,073	8	0,38
B15	10	22,675	722,13	710	0,181	256,98	10	19	4,85	33,85	0,132	8	1,05
	12	22,675	601,78	500	0,192	192,31	10	19	5,83	34,83	0,181	8	1,45
Jumlah total waktu gurdi													4,94

Tabel 10. Waktu proses gurdi

No	Komponen	Waktu produktif	Waktu non produktif
1	A17, A18		31
2	A20, A21		61
3	B02		23
4	B04		23
5	B08	4,94	26
6	B12		26
7	B13		32
8	B15		125
Total waktu gurdi			346,99
		351,93	

Jadi, jumlah waktu yang dibutuhkan waktu proses gurdi adalah 351,93 menit \approx 6,37 jam.

Hasil perhitungan waktu pengelasan, waktu proses perakitan (assembly), dan waktu proses finishing diperlihatkan pada Tabel 11, Tabel 12, dan Tabel 13.

Tabel 11. Waktu produktif proses pengelasan

Assy	Total p las/elektroda P Las (mm)	p las/elektroda (mm/batang)	t las/elektroda (menit/batang)	Jml	
				elektroda (batang)	t las (menit)
rangka	5184	112	2,5	46,286	115,71
<i>lifter</i>	280	112	2,5	6,25	12,5
Jumlah total waktu pengelasan					128,21

Tabel 12. Waktu proses pengelasan

No	Assy	Waktu produktif	Waktu non produktif
1	Rangka		38
2	<i>Lifter</i>	128,21	33
Total waktu pengelasan		190,96 menit	71

Jadi, jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses pengelasan adalah 190,96 menit = **3,18 jam**.

Tabel 13. Total waktu proses perakitan

No	Assy	Waktu perakitan (menit)
1	<i>Lifter</i>	85
2	<i>Induction heater, limit switch, dan motoran</i>	480
Total waktu perakitan		565

Jadi, jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses perakitan adalah 565 menit = **9,42 jam**.

Tabel 14. Total waktu proses finishing

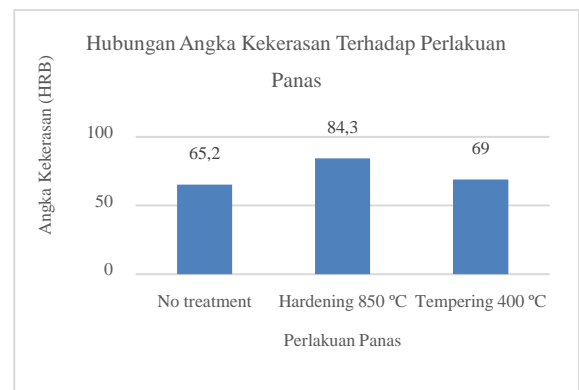
No	Assy	Waktu (menit)
1	Rangka & cover	110
2	<i>Lifter</i>	60
3	<i>Induction heater, limit switch, dan motoran</i>	30
Total waktu finishing		200

Jadi, jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses finishing adalah 200 menit = **3,33 jam**.

5.4 Uji Hasil

Alat pemanas induksi diuji dengan melakukan pengujian kekerasan pada plat *mild steel* ukuran $100 \times 15 \times 3,5$ mm yang diperlakukan panas *hardening* temperatur 850°C ditahan 45 menit menggunakan *furnace* dan *diquenching* air kemudian *ditempering* 400°C menggunakan pemanas induksi. Angka kekerasan rata-rata hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 10.

Berdasarkan hubungan angka kekerasan terhadap perlakuan panas pada Gambar 10, angka kekerasan *raw material mild steel* yang diberi perlakuan panas *hardening* temperatur 850°C ditahan 45 menit meningkat dari 65,2 HRB menjadi 84,3 HRB. Namun setelah *ditempering* temperatur 400°C mengalami penurunan menjadi 69 HRB.



Gambar 10. Hubungan angka kekerasan terhadap perlakuan panas

6. kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa desain rancangan mesin pemanas induksi dapat dilihat pada gambar 9a, b, c dan d. Hasil perhitungan bagian-bagian elemen mesin menghasilkan daya motor DC yang digunakan sebesar 0,2 kilowatt, diameter poros yang dipakai sebesar 12 mm, dan jenis bantalan yang digunakan adalah *Ball bearing 6201* dengan umur pemakaian 0,31 tahun.

Total perhitungan estimasi waktu dan biaya pembuatan berkisar 3.182,06 menit atau 53,03 jam dan Rp.5.360.700,-. Hasil uji kekerasan *raw material* mengalami kenaikan setelah *hardening* menggunakan *furnace* dan setelah *ditempering* menggunakan pemanas induksi mengalami penurunan.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Zhulkarnaen, n/a Wijono, and M. Dhofir, "Perancangan Dan Pembuatan Pemanas Induksi Dengan Metode Pancake Coil Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535," *J. Mhs. TEUB*, vol. 2, no. 2, 2014.
- [2] R. Ismail, M. Tauviqirrahman, S. S. Sugiyanto, J. J. Jamari, A. Warsito, and A. Syakur, "Pemanfaatan Mesin Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM," in *Semantik*, 2011.
- [3] W. P. Raharjo and B. Kusharjanta, "Rancang Bangun Pemanas Induksi Berkapasitas 600 W Untuk Proses Perlakuan Panas Dan Perlakuan Permukaan," in *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 2013.
- [4] A. YOGANTORO, "YOGANTORO, ANOM. Penelitian Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Low Tempering, Medium Tempering dan High Tempering pada Medium Carbon Steel Produksi Pengecoran Batur-Klaten terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketangguhan (Toughness)," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2010.
- [5] R. L. Mott, *Elemen-Elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanis*. Penerbit ANDI, 2009.
- [6] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya

Paramita, 1997.

[7] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A textbook of machine*

design. Eurasia, 2005.