

JURNAL ILMIAH SAINS & TEKNOLOGI

Susila Candra, Witantyo, Aldo Rendra Djoenaedy
OPTIMASI TEMPERATUR PEMANASAN DAN HOLDING TIME SERTA MEDIA
PENCELUPAN TERHADAP KEKERASAN MATERIAL SK3 Mod DENGAN METODE RESPON
SURFACE

Wisanti, Novita Kartika Indah, Ida Kurniati
VARIASI ANATOMI JENIS *Sargassum* DI PANTAI CAMPLONG MADURA

Kartini, Azminah
OPTIMASI KONDISI EKSTRAKSI SENYAWA AKTIF ANTIOKSIDAN DARI BIJI ANGGUR

Ririn Puspawati
PROFIL KADAR GULA DARAH PASIEN DIABATES MELITUS TIPE 2 RAWAT JALAN
YANG MENDAPAT TERAPI KOMBINASI GLIKLAZID-METFORMIN DI RS. DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

Emma Savitri, Natalia Soeseno, Tokok Adiarso
SINTESIS DAN MODIFIKASI STRUKTUR DAN PORI MEMBRAN KITOSAN
TERCROSSLINK UNTUK STERILISASI MEDIA PERTUMBUHAN BAKTERI

JURNAL ILMIAH SAINS & TEKNOLOGI

Terbit tiga kali setahun pada bulan Januari, Mei dan September. Berisi tulisan yang berasal dari hasil penelitian, kajian atau karya ilmiah di bidang Sains dan Teknologi.

ISSN 0216-1540

Ketua Penyunting

Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Universitas Surabaya
Jatie K. Pudjibudojo

Penyunting Pelaksana

Benny Lianto
Nani Parfati
Andreas Alfianto

Staf Pelaksana

Tang Hamidy, Hadi Krisbiyanto, Sukono

Penerbit

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Universitas Surabaya

Alamat Penerbit/Redaksi

Gedung Perpustakaan Lt.IV, Universitas Surabaya
Jalan Raya Kalirungkut, Surabaya, 60293
Telp. (031) 2981360, 2983972, Fax. (031) 2981373
Website : <http://lppm.ubaya.ac.id>
E-mail : lppm@ubaya.ac.id

Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi pernah terbit dengan nama Unitas (pertama kali terbit tahun 1992) oleh Lembaga Penelitian Universitas Surabaya.

Isi di luar tanggung jawab Percetakan.

JURNAL ILMIAH SAINS & TEKNOLOGI

Volume 3 Nomor 2, Juni 2009
Halaman 67-120

ISSN 0216 - 1540

OPTIMASI TEMPERATUR PEMANASAN DAN HOLDING TIME SERTA MEDIA
PENCELUPAN TERHADAP KEKERASAN MATERIAL SK3 Mod DENGAN METODE RESPON
SURFACE

Susila Candra, Witantyo, Aldo Rendra Djoenaedy
(hal 67 - 76)

VARIASI ANATOMI JENIS *Sargassum* DI PANTAI CAMPLONG MADURA

Wisanti, Novita Kartika Indah, Ida Kurniati
(Hal 77 - 84)

OPTIMASI KONDISI EKSTRAKSI SENYAWA AKTIF ANTIOKSIDAN DARI BIJI ANGGUR

Kartini, Azminah
(Hal 85 - 92)

PROFIL KADAR GULA DARAH PASIEN DIABATES MELITUS TIPE 2 RAWAT JALAN
YANG MENDAPAT TERAPI KOMBINASI GLIKLAZID-METFORMIN DI RS. DR. SARDJITO
YOGYAKARTA

Ririn Puspawati
(Hal 93 - 100)

SINTESIS DAN MODIFIKASI STRUKTUR DAN PORI MEMBRAN KITOSAN
TERCROSSLINK UNTUK STERILISASI MEDIA PERTUMBUHAN BAKTERI

Emma Savitri, Natalia Soeseno, Tokok Adiarto
(Hal 101 - 120)

OPTIMASI TEMPERATUR PEMANASAN DAN *HOLDING TIME* SERTA MEDIA PENCELUPAN TERHADAP KEKERASAN MATERIAL SK3 Mod DENGAN METODE *RESPON SURFACE*

Susila Candra, Witantyo, Aldo Rendra Djoenaedy
Teknik Manufaktur, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya
Email: susilac@yahoo.com , susila_c@ubaya.ac.id

Abstract

Heating temperature (Quenching temperature), holding time and cooling rate (cooling rate) is an important process parameter in the hardening processes, to obtain maximum hardness number of materials. To determine the optimum parameters influenced by the type of material, process conditions and quenching media. Different process conditions, then the process parameters should also be defined with different process parameters. Thus experiments on the process of hardening steel materials Mod SK3 is done to get the setting parameters of the optimum quenching temperature and holding time. Optimization of process parameters using Response Surface method. The experimental results: if the cooling media (cooling fluid) used "engine oil", the optimal parameter is "quenching temperature" = 828.9 °C, holding time = 40.12198 minutes (40 minutes 8 seconds). If the cooling media used Issodur 220, the optimal process parameters are "quenching temperature" = 832.88 °C, holding time = 39 818 minutes (39 minutes 50 seconds). Kekersaan maximum material that can be achieved is 59.7 HRC (quenching media: "engine oil") and 62.2 HRC (quenching media: "Ussodur 220").

Keywords: experiments, Hardening, holding time, temperature, quenching media, cooling fluid, hardness number of materials, hardening

PENDAHULUAN

Proses *hardening* merupakan salah satu proses *heat treatment* (perlakuan panas) yang paling banyak dibutuhkan oleh industri dalam pembuatan suatu produk seperti produk *shaft*, *gears*, *machinary parts*, *cutting tool* dan khususnya untuk produk yang berfungsi sebagai *Punch and die* (matras). *Punch and die* biasa terbuat dari bahan logam, yang memerlukan angka kekerasan minimal sebesar 37 HRC. Selama ini banyak industri mengalami masalah ketika menggunakan *punch* dan *die* yaitu sering terjadi kerusakan (retak, patah atau aus)

dalam kurun waktu penggunaan yang tidak lama. Masalah ini dapat disebabkan oleh tingkat kekerasan, ketangguhan dan perancangan dimensi serta set up *punch die*-nya. Khusus mengenai kualitas kekerasan dan ketangguhan material *punch and die*, maka proses *heat treatment* khususnya *hardening* dan *tempering* sangat memegang peranan.

Proses *hardening* digunakan untuk mengeraskan logam, sehingga diharapkan pada logam khususnya logam *ferrous* dapat meningkat kekerasannya dan umur pakainya pun menjadi lebih panjang.

Dalam pembuatan *punch and die* yang terbuat dari baja paduan untuk proses *cold forming* harus memiliki angka kekerasan minimal sebesar 56 HRC. Guna mendapatkan *dies* dengan angka kekerasan sebesar 56 HRC, maka perlu dilakukan proses *heat treatment* yakni proses *hardening* dengan *quenching* (pencelupan) menggunakan media *quench*. Karena pada proses *hardening* umumnya timbul tegangan dalam atau tegangan sisa, maka membuat material *punch die* cenderung semakin getas dan mudah patah (tidak tahan terhadap beban kejut). Untuk menghilangkan tegangan dalam yang berlebihan tersebut, maka harus dilakukan proses *tempering*. Namun dari proses *tempering* tersebut, angka kekerasan dari material dapat berkurang antara 2 sampai 3 HRC sehingga angka kekerasan yang diharapkan yaitu sebesar 56 HRC tidak dapat tercapai. Oleh karena itu untuk mencapai angka kekerasan yang diharapkan yaitu sebesar 56 HRC baik setelah diproses *tempering*, maka material harus dikeraskan minimal sampai dengan 60 HRC.

Agar tercapai angka kekerasan yang maksimal sesuai harapan pada material sehingga dapat dioperasikan, maka seluruh variabel proses yang mempengaruhi proses *hardening* harus disetting pada kondisi maksimum. Adapun beberapa parameter yang berpengaruh pada proses *hardening* guna

meningkatkan kekerasan material diantaranya :

1. Temperatur pemanasan
2. Waktu pemanasan/*holding time*
3. Jenis pendinginan (media pencelup - *cooling rate*)
4. Volume pencelupan
5. Agitasi/pengadukan

Dalam penelitian ini akan melakukan studi variabel-variabel respon dan setting parameter yang mempengaruhi pencapaian angka kekerasan tersebut dan optimalisasi parameter proses *heat treatment* dengan menggunakan dua *quenching media* (Oli mesin bekas dan oli *Issodur 220*). Variabel proses tersebut adalah:

1. Temperatur pemanasan
2. *Holding time*

Kombinasi dari level parameter proses diharapkan akan menghasilkan suatu model matematis dan hasil respon yang optimal. Sehingga diharapkan dengan hasil peningkatan angka kekerasan tersebut, maka dapat membantu dunia industri, khususnya dalam proses pembuatan *dies* dan *punch*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan:

Metode yang digunakan adalah Respon surface, dengan variabel/parameter responnya: Temperatur pencelupan dan *holding time*. Set up Percobaan:

1. Penelitian dilakukan di laboratorium PBT Teknik Manufaktur Universitas Surabaya, mesin yang digunakan

sebagai sumber pemanasan adalah dapur pemanas merek *Offenbau Hofmann Linz Austria Type K-1*.

2. Material sebagai spesimen uji adalah baja paduan SK3 Mod.
3. Dimensi material uji diameter 50 mm dan tinggi material sebesar 22 mm.
4. Variabel proses yang divariasikan adalah temperatur pemanasan dan holding time.
5. Variabel peoawa yaitu temperatur pencelupan (quenching) antara 810-850oC dan holding time antara 10 s.d 50 menit.
6. Percobaan menggunakan 2 jenis quenching media yaitu oli mesin bekas dan oli khusus hardening (Issodur 220).
7. Volume pencelupan dari cairan pendingin yaitu sebesar 20 liter
8. Variabel respon yang diinginkan adalah angka kekerasan dari material.
9. Metode optimasi yang digunakan adalah metode respon surface
10. Pengukuran angka kekerasan material dilakukan di Laboratorium Pengetahuan Bahan Teknik Universitas Surabaya.
11. Termocouple type K (OMRON) dan Temperature Controller Type E5CSZ-RIT (OMRON)
12. Alat ukur kekerasan JT Tohsi type RH3N dengan indentor intan (Rockwell C).
13. Pengolahan data meng gunakan *software* MINITAB 14.0

HASIL DAN PEMBAHASAN

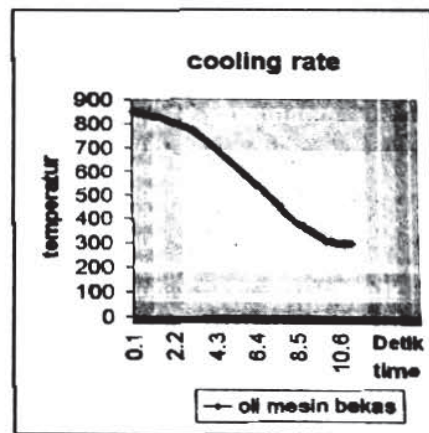
Cooling Rate tiap *Quenching Media*

Dari pengukuran *cooling rate* dengan menggunakan termocople dan termocontroller serta menggunakan PLC direkam penurunan temperatur mulai temperatur awal 850°C sampai dengan temperatur akhir pengukuran sekitar 300°C. Dengan diasumsikan penurunannya linier, kemudian dapat dihitung harga *cooling rate* pada rentang penurunan temperatur tersebut.

Untuk oli mesin bekas, dengan volume sama diperoleh data kecepatan pendinginan dari oli mesin bekas yaitu sebesar:

Cooling rate=

$$\frac{(\text{Tawal} - \text{Takhir})}{\text{waktu}} = \frac{(850 - 306)}{11.2} = 48.57 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$



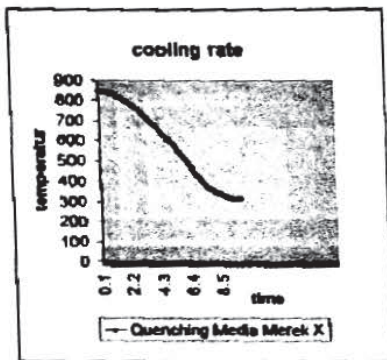
Gambar 1. *Cooling Rate* untuk Oli Mesin Bekas

Kemudian dua Oli yang lain yaitu Oli Gardan baru dan bekas masing-masing memiliki kemampuan mendinginkan material uji dengan *cooling rate*: 38.4°C/sec. dan 40,3°C/sec.

sedangkan sebagai pembanding kecepatan pendinginan dari quenching media Issodur 220 yaitu sebesar:

Cooling rate=

$$\frac{(Tawal - Takhir)}{waktu} = \frac{(850 - 312)}{9.6} = 56.04 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$



Gambar 2. Cooling Rate : Quenching Media Issodur 220

Pemilihan Variabel Proses dan Taraf Variabel Proses

- Variabel Temperatur Pemanasan

Berdasarkan rancangan percobaan first order dan second order respon surface maka masing-masing memiliki tiga level (dengan coded variabel -1, 0, 1) dan dua titik aksial (dengan coded variabel -1,4142 dan 1.4142), sehingga level-level temperatur pemanasan ditentukan sebagai berikut:

Tabel 1 Variabel Temperatur Pemanasan

| Variabel | -1,4142 | -1 | 0 | 1 | 1,4142 |
|----------|---------|-------|-------|-------|--------|
| Level | 802°C | 810°C | 830°C | 850°C | 858°C |

Hubungan antara coded dengan natural variabel terlihat pada rumusan berikut :

$$X_2 = \frac{\delta_2 - 830}{20}$$

- Variabel Holding Time

Level-level holding time ditentukan sebagai berikut :

Tabel 2 Variabel Holding Time

| Variabel | -1,4142 | -1 | 0 | 1 | 1,4142 |
|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Level | 26 mnt | 30 mnt | 40 mnt | 50 mnt | 54 mnt |

Hubungan antara coded dengan natural variabel terlihat pada rumusan berikut :

$$X_1 = \frac{\delta_1 - 40}{10}$$

Perancangan Eksperimen First Order untuk Oli Bekas

Pengumpulan data dilakukan dengan eksperimen setelah rancangan percobaan ditentukan.

Tabel 3. Pengumpulan Data Percobaan First Order Oli Mesin Bekas

| No. | Run | Coded Variabel | | Holding time | Suhu | Kekerasan |
|-----|-----|----------------|----|--------------|------|-----------|
| 1 | 2 | -1 | 1 | 30 | 850 | 56.2916 |
| 2 | 4 | 0 | 0 | 40 | 830 | 60.2500 |
| 3 | 5 | 0 | 0 | 40 | 830 | 59.6667 |
| 4 | 6 | 0 | 0 | 40 | 830 | 60.0000 |
| 5 | 7 | 1 | 1 | 50 | 850 | 56.4583 |
| 6 | 9 | 1 | -1 | 50 | 810 | 57.0833 |
| 7 | 12 | -1 | -1 | 30 | 810 | 56.5416 |

Setelah data hasil eksperimen (angka kekerasan) terkumpul, langkah selanjutnya adalah analisis regresi. Analisis regresi ini dilakukan untuk mengetahui apakah hasil yang diperoleh signifikan atau tidak. Dalam artian data sudah berada pada daerah kelengkungan kurva atau masih berada pada daerah garis lurus. Untuk mempermudah analisis, maka digunakan bantuan software Minitab 14.

Dari data yang didapatkan, maka *analysis of variance* dapat dilihat sebagai berikut :

The regression equation is kekerasan = 58.0 + 0.18 holding time - 0.22 temperatur

| Predictor | Coef | SE Coef | T | P |
|--------------|---------|---------|-------|-------|
| Constant | 58.0416 | 0.8404 | 69.07 | 0.000 |
| holding time | 0.177 | 1.112 | 0.16 | 0.881 |
| temperatur | -0.219 | 1.112 | -0.20 | 0.854 |

S = 2.22341 R-Sq = 1.6% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|----------------|----|--------|-------|--------|-------|
| Regression | 2 | 0.317 | 0.158 | 0.03 | 0.969 |
| Residual Error | 4 | 19.774 | 4.944 | | |
| Lack of Fit | 2 | 19.603 | 9.801 | 114.45 | 0.009 |
| Pure Error | 2 | 0.171 | 0.086 | | |
| Total | 6 | 20.091 | | | |

Dari analisis variansinya dilihat bahwa nilai *lack of fit* dibawah 0,05 hal ini menunjukkan bahwa persamaan model tersebut tidak linier atau sudah berada pada daerah kelengkungan kurva. Oleh karena itu, variabel yang dibuat harus dilanjutkan ke *second order*.

Perancangan Eksperimen Utama

Eksperimen utama yang dilakukan pada penelitian ini adalah dilakukan percobaan dengan rancangan eksperimen *second order* yang menggunakan tiga level (dengan *coded* variabel -1, 0, 1) dan dua titik aksial (dengan *coded* variabel α -1,4142 dan 1,4142).

Pengumpulan data dilakukan dengan eksperimen setelah rancangan percobaan ditentukan.

Tabel 4. Pengumpulan Data Percobaan *Second Order* Oli Mesin Bekas

| No. | Run | Coded Variabel | | Holding time | Suhu | Kekerasan |
|-----|-----|----------------|----------|--------------|------|-----------|
| 1 | 1 | -1 | 1 | 30 | 850 | 56.2916 |
| 2 | 2 | 0 | 0 | 40 | 830 | 60.2500 |
| 3 | 3 | 0 | 0 | 40 | 830 | 59.6667 |
| 4 | 4 | 0 | 0 | 40 | 830 | 60.0000 |
| 5 | 5 | 1 | 1 | 50 | 850 | 56.4583 |
| 6 | 6 | 1 | -1 | 50 | 810 | 57.0833 |
| 7 | 7 | -1 | -1 | 30 | 810 | 56.5416 |
| 8 | 8 | 0 | α | 40 | 822 | 57.6428 |
| 9 | 9 | α | 0 | 26 | 830 | 57.1071 |
| 10 | 10 | 0 | 0 | 40 | 830 | 59.8214 |
| 11 | 11 | α | 0 | 54 | 830 | 56.8181 |
| 12 | 12 | 0 | α | 830 | 858 | 57.5000 |
| 13 | 13 | 0 | 0 | 830 | 830 | 59.2816 |

Model Dugaan Angka Kekerasan

Pemilihan model terbaik yang tepat dilakukan dengan metode *backward* dengan bantuan *software* Minitab Ver14.0. Hasil pemilihan model terbaik adalah :

$$\text{Kekerasan} = 59,7 + 0,037x_1 - 0,1346x_2 - 1,537x_1^2 - 1,2326x_2^2$$

Dimana : x_1 : *coded* variabel untuk *holding time*

x_2 : *coded* variabel untuk temperatur pemanasan

Dari data yang didapatkan, maka *analysis of variance* dapat dilihat sebagai berikut :

| Term | Coef | SE Coef | T | P |
|---------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Constant | 59.7000 | 0.2169 | 275.256 | 0.000 |
| holding time | 0.0375 | 0.1715 | 0.218 | 0.833 |
| temperatur | -0.1346 | 0.1715 | -0.785 | 0.455 |
| holding time ² | -1.5370 | 0.1839 | -8.359 | 0.000 |
| *holding t. | | | | |
| Temperatur ² | -1.2326 | 0.1839 | -6.704 | 0.000 |
| *temperatur | | | | |

S = 0.4850 R-Sq = 92.8% R-Sq(adj) = 89.1%

Analysis of Variance for kekerasan

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|----------------|----|---------|---------|---------|-------|-------|
| Regression | 4 | 24.1295 | 24.1295 | 6.0324 | 25.65 | 0.000 |
| Linear | 2 | 0.1562 | 0.1562 | 0.0781 | 0.33 | 0.727 |
| Square | 2 | 23.9733 | 23.9733 | 11.9866 | 50.96 | 0.000 |
| Residual Error | 8 | 1.8816 | 1.8816 | 0.2352 | | |
| Lack-of-Fit | 4 | 1.1544 | 1.1544 | 0.2886 | 1.59 | 0.333 |
| Pure Error | 4 | 0.7272 | 0.7272 | 0.1818 | | |
| Total | 12 | 26.0111 | | | | |

Kemudian perhitungan natural variabelnya, dengan hasil sebagai berikut :

$$\text{Kekerasan} = 59.7 + 0.0375 x_1 - 0.1346 x_2 - 1.537 x_1^2 - 1.2326 x_2^2$$

$$\text{Kekerasan} = 59.7 + 0.0375 \left(\frac{\delta_1 - 40}{10} \right) - 0.1346$$

$$\left(\frac{\delta_2 - 830}{20} \right) - 1.537 \left(\frac{\delta_1 - 80\delta_2 + 1600}{100} \right)^2 - 1.2326$$

$$\left(\frac{\delta_2 - 1660\delta_2 + 688900}{400} \right)^2$$

Pengujian Asumsi Residual Angka Kekerasan

Setelah pembentukan model matematis maka langkah selanjutnya dilakukan uji apakah model matematis tersebut memenuhi asumsi independen, identik dan terdistribusi normal, seperti yang telah dijelaskan pada landasan teori

- Uji Independen

error dari model dugaan angka kekerasan independen terpenuhi.

- Uji Identik

titik menyebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu hal ini berarti bahwa uji asumsi residual untuk model yang harus identik dapat terpenuhi

- Uji Distribusi Normal

Jika plot membentuk garis lurus dari kiri bawah ke kanan atas menunjukkan residual berdistribusi normal.

- Interpretasi Model

sehingga dari interpretasi model didapat analisis statistik sebagai berikut :

- Optimasi yang dicapai berupa titik maksimal
- Prediktor *holding time* dan temperatur dapur tidak saling berinteraksi untuk

meningkatkan kekerasan

- *Holding time* berkorelasi positif terhadap angka kekerasan. Namun dilain pihak, karena persamaan kekerasan berbentuk *full kuadrat*, maka pada titik *holding time* tertentu akan mengurangi angka kekerasan.
- Temperatur dapur berkorelasi negatif terhadap angka kekerasan.

Optimasi Data: dengan Media Quenching Oli Bekas

Dari hasil optimasi, hanya terdapat satu titik stationer berupa titik maksimal. Untuk mengetahui nilai maksimal dan settingnya, seperti ditunjukkan gambar 3.

Surface Plot of kekerasan vs temperatur, holding time



Gambar 3. Surface Plot of Kekerasan vs Temperatur-Holding time Oli Mesin Bekas

Dengan perhitungan *estimasi matrix analysis*, Dengan persamaan :

$$\text{Kekerasan} = 59.7 + 0.037 x_1 - 0.1346 x_2 - 1.537 x_1^2 - 1.2326 x_2^2$$

Dimana : x_1 : *coded variabel* untuk *holding time*
 x_2 : *coded variabel* untuk temperatur pemanasan

Kemudian diperoleh matriks

$$b = \begin{bmatrix} 0.0375 \\ -0.1346 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -1.537 & 0 \\ 0 & -1.2326 \end{bmatrix}$$

Perhitungan dilanjutkan dengan perhitungan B^{-1} dan code variabel (x_0)

$$B^{-1} = \frac{1}{|B|} \cdot \text{adjoin} B$$

$$= \frac{1}{-1.537 \cdot -1.2326} \begin{bmatrix} -1.2326 & 0 \\ 0 & -1.537 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0.6506 & 0 \\ 0 & -0.81129 \end{bmatrix}$$

$$x_0 = -\frac{1}{2} B^{-1} b$$

$$= -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} -0.6506 & 0 \\ 0 & -0.81129 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.0375 \\ -0.1346 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.01219875 \\ -0.054599817 \end{bmatrix}$$

sehingga didapatkan $x_1 = 0.01219875$ dan $x_2 = -0.054599817$. Selanjutnya dilakukan perubahan dari code variabel menjadi aktual variabel

- Untuk variabel *holding time*

$$X_1 = \frac{\delta_1 - 40}{10} \rightarrow 0.01219875 = \frac{\delta_1 - 40}{10}$$

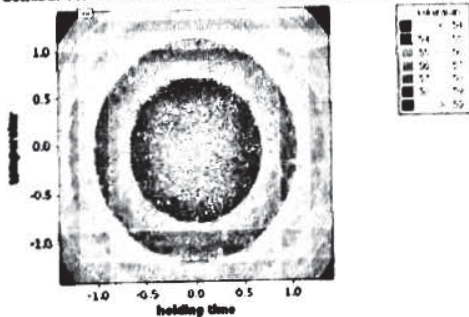
sehingga δ_1 sebesar 40.12198 menit

- Untuk variabel temperatur dapur

$$X_2 = \frac{\delta_2 - 830}{20} \rightarrow -0.054599817 = \frac{\delta_2 - 830}{20}$$

sehingga δ_2 sebesar 828.908 °C

Contour Plot of kekerasan vs temperatur, holding time



Gambar 4. Contour Plot Kekerasan VS Temperatur-Holding time Oli Mesin Bekas

Dari hasil setting variabel tersebut maka didapatkan angka kekerasan paling maksimal sebesar

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} x_0' b =$$

$$59.7 + \frac{1}{2} [0.01219875 \quad -0.054599817] \cdot \begin{bmatrix} 0.0375 \\ -0.1346 \end{bmatrix}$$

$$= 59.7039 \text{ HRC}$$

| Optimal | Hi | holding | temperat |
|---------|-----|---------|----------|
| D | Cur | 1.4142 | 1.4142 |
| 1.0000 | Lo | [0.0] | [0.0] |
| | | -1.4142 | -1.4142 |

| | |
|-------------|--|
| kekerasa | |
| Maximum | |
| y = 59.8059 | |
| d = 1.0000 | |

Gambar 5. Titik Optimal Oli Mesin bekas

Perancangan Eksperimen Utama dan Optimasi Data: dengan Media Quenching Oli Isodur 220

Dengan prosedur optimasi seperti yang dilakukan untuk optimasi variable temperatur dan holding time dengan media quenching Oli Issodur 220 maka diperoleh data sebagai berikut :

Perhitungan estimasi *matrix analysis*, Dengan persamaan:

$$\text{Kekerasan} = 62.2 - 0.0528 x_1 + 0.3732 x_2 - 1.452 x_1^2 - 1.2938 x_2^2$$

Dimana : x_1 : coded variabel utk hold. time

x_2 : coded variabel utk temperatur

pemanasan.

Dimana harga diperoleh $x_1 = -0.0181815$ dan $x_2 = 0.14422$. Selanjutnya dilakukan perubahan dari code variabel menjadi aktual variabel.

- Untuk variabel *holding time*

$$X_1 = \frac{\delta_1 - 40}{10} \rightarrow 0.0181818 = \frac{\delta_1 - 40}{10}$$
 sehingga δ_1 sebesar 39,818185 menit
- Untuk variabel temperatur dapur

$$X_2 = \frac{\delta_2 - 830}{20} \rightarrow 0.14422 = \frac{\delta_2 - 830}{20}$$
 sehingga δ_2 sebesar 832,88 °C

Dari hasil setting variabel tersebut, maka didapatkan angka kekerasan paling maksimal sebesar: $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} X_0' b =$

$$62.2 + \frac{1}{2} [-0.0181818 \quad 0.14422] * \begin{bmatrix} -0.0528 \\ 0.3732 \end{bmatrix} = 62.2274 \text{ HRC}$$

Analisis Teknik

Oli Bekas

Setelah dilakukan analisis secara statistik data percobaan pada data oli mesin bekas, maka dilanjutkan dengan analisa teknis data percobaan.

Hasil analisa teknis tersebut antara lain:

1. Proses *hardening* dengan target kekerasan antara 56-60 HRC, dapat menggunakan oli mesin bekas sebagai alternatif pengganti oli khusus. Hasil kekerasannya lebih rendah dari pada jika menggunakan oli Isodur 220, tetapi masih masuk dalam batas yang disarankan dengan setting parameter temperatur dapur dan *holding time* sesuai.
2. Kualitas permukaan hasil pencelupan dengan menggunakan oli mesin bekas kurang baik. Saat pencelupan pada oli mesin bekas, umumnya timbul percikan api dan timbul asap dengan bau tidak sedap, selama spesimen

dicelupkan ke dalam oli. Serta material uji selalu timbul kerak di permukaannya.

3. Untuk mencapai angka kekerasan yang paling optimal, maka *holding time* di setting 40,1219 menit atau 40 menit 8 detik. *Holding* dapat memberi kesempatan dari dapur untuk mengkonveksikan panas menuju material. Dan dengan *holding time*, memberi kesempatan homogenisasi struktur mikro. Seelah dianalisis dan dioptimalisasi waktu *holding* yang paling sesuai adalah 40 menit 8 detik.
4. Untuk mencapai angka kekerasan yang paling optimal, maka temperatur dapur di setting 828,9 °C.

Temperatur pemanasan diusahakan sedikit diatas temperatur austenite atau cementite austenite. Namun ada kalanya juga semakin tinggi temperatur pemanasan (850 °C, 860 °C) berdampak negatif, terhadap hasil *hardening*. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan, maka semakin besar kemungkinan dari material mengalami pendinginan mendadak. Hal ini jika dikaitkan dengan *cooling rate* dari media pendingin yang digunakan, maka austenite yang terbentuk sebelum di-*quenching* akan sulit berubah menjadi martensite. Mungkin bisa saja berubah menjadi *course pearlite*, ataupun *fine pearlite* yang relatif lebih lunak.

Oli Issodur 220

Untuk Oli Issodur 220 dapat dianalisis sebagai berikut.

1. Proses *hardening* dengan target kekerasan diatas 60 HRC, dapat menggunakan oli Isodur 220.
2. Kualitas hasil pencelupan dengan menggunakan oli Isodur 220 baik. Dapat dilihat dari catatan percobaan, bahwa pada saat pencelupan pada oli Isodur 220 tidak terjadi percikan api. Selain itu tidak timbul banyak asap, selama spesimen dicelupkan ke dalam oli. Setelah suhu spesimen dan oli konstan (diukur dengan *termocouple* ±31°C), pada material tersebut timbul kerak yang relatif tipis dibandingkan dengan spesimen celup oli mesin bekas. Sehingga masih perlu sedikit finishing lebih lanjut sebelum spesimen digunakan.
3. Untuk mencapai angka kekerasan yang paling optimal dengan jenis dan dimensi material tersebut, maka *holding time* di setting 39.818 menit atau 39 menit 50 detik. Semakin tinggi *holding time* yang dilakukan (50 menit, 1 jam, dst) maka malah akan mengurangi kekerasan dari material tersebut.
4. Untuk mencapai angka kekerasan yang paling optimal, maka temperatur dapur di setting 832.8 °C.

SIMPULAN

Dari hasil analisis data hasil percobaan yang telah dilakukan pada

bab-bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Untuk oli mesin bekas, model matematik yang menggambarkan hubungan/ pengaruh antara temperatur dapur dan *holding time* terhadap angka kekerasan adalah sebagai berikut :

$$\text{Kekerasan} = 59.7 + 0.0375 x_1 - 0.1346 x_2 - 1.537 x_1^2 - 1.2326 x_2^2$$

Dimana : x_1 : *coded variabel* untuk *holding time*
 x_2 : *coded variabel* untuk temperatur pemanasan.

Serta model terbaik untuk angka kekerasan dengan persamaan natural variabel:

$$\begin{aligned} \text{Kekerasan} = & 59.7 + 0.0375 \left(\frac{\delta_1 - 40}{10} \right) - \\ & 0.1346 \left(\frac{\delta_2 - 830}{20} \right) - 1.537 \\ & \left(\frac{\delta_1 - 80\delta_1 + 1600}{100} \right)^2 - 1.2326 \\ & \left(\frac{\delta_2 - 1660\delta_2 + 688900}{400} \right)^2 \end{aligned}$$

Untuk oli mesin bekas, kombinasi temperatur dapur pemanasan dan *holding time* optimal terhadap angka kekerasan diperoleh titik stasioner (X_0) $x_1 = 0.01219875$ dan $x_2 = -0.054599817$. Setelah menemukan titik stationer maka diubah menjadi *natural variabel* diperoleh *holding time* (δ_1) = 40.12198 menit dan temperatur pemanasan (δ_2) = 828.9 °C. Setelah mendapatkan titik stationer tersebut, selanjutnya digunakan untuk mendapatkan angka kekerasan yang paling maksimal (\hat{y}_0) yaitu sebesar 59.7039 HRC.

Untuk oli Isodur 220, model matematik yang menggambarkan hubungan/pengaruh antara temperatur dapur dan holding time terhadap angka kekerasan adalah sebagai berikut :

$$\text{Kekerasan} = 62.2 - 0.0528 x_1 + 0.3732 x_2 - 1.452 x_1^2 - 1.2938 x_2^2$$

Dimana : x_1 : coded variabel untuk holding time
 x_2 : coded variabel untuk temperatur pemanasan.

Serta model terbaik untuk angka kekerasan dengan persamaan natural variabel:

$$\text{Kekerasan} = 62.2 - 0.0528 \left(\frac{\delta_1 - 40}{10} \right) + 0.3732$$

$$\left(\frac{\delta_2 - 830}{20} \right) - 1.425 \left(\frac{\delta_1 - 80\delta_1 + 1600}{100} \right)^2 -$$

$$1.2938 \left(\frac{\delta_2 - 1660\delta_2 + 688900}{400} \right)^2$$

Untuk oli Isodur 220, proses optimasi dari kombinasi temperatur dapur pemanasan dan holding time terhadap angka kekerasan diperoleh titik stasioner (X_0) $x_1 = -0.0181815$ dan $x_2 = 0.14422$. Setelah menemukan titik stasioner maka diubah menjadi natural variabel diperoleh holding time (δ_1) = 39.818 menit dan temperatur pemanasan (δ_2) = 832.88 °C. Setelah kita mendapatkan titik stasioner, maka kita gunakan titik stasioner tersebut untuk mendapatkan angka kekerasan yang paling maksimal (\hat{y}_0) yaitu sebesar 62.2274 HRC. Oli mesin bekas dapat digunakan sebagai alternatif pengganti oli Isodur 220 dalam proses hardening, apabila target angka kekerasan yang ingin dicapai antara 57-59 HRC.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, hari dan Daryanto 1999. "Ilmu Bahan". Jakarta: Bumi Aksara
- Cochran, W . G & Cox, G . M. "Experimental Design". John Wiley & sons Publishing.
- Dieter, George E. 1986. "Mechanical Metallurgi, 3rd Edition". Singapore: Mc Graw Hill Book Company
- F. Ochoa, J.J. Williams, and N. Chawla. 2003. "Effect of Cooling Rate on the Microstructure and Mechanical Behavior of Sn-3.5Ag Solder", Department of Chemical and Materials Engineering Arizona State University
- Montgomery, Douglas C. "Design And Analysis Of Experiments". John Wiley & sons Publishing.
- Pense & Henkel. *Structure And Properties of Engineering Materials, fifth Edition*. Singapore: Mc Graw Hill Book Company.
- Syahril Dian Purwono, Gunawan dan Sri Nugroho. 2000. "Pengaruh Medium Quenching Air Tersirkulasi terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 4337", Indonesia

Lembaga Penelitian dan
Pengabdian Kepada Masyarakat
Universitas Surabaya
Jl. Raya Kalirungcut,
Surabaya Indonesia
Phone: + 62 31 298 1365 /
+ 62 31 298 1360
fax: + 62 31 298 1373
email : lppm@ubaya.ac.id
