



## Optimasi Ketangguhan Impak dan Kekerasan Baja Karbon Menengah Sebagai Bahan Pisau Dapur Pada Proses *Heat Treatment* Menggunakan Metode *Response Surface*

*Optimization of Toughness and Hardness Medium Carbon Steel As Kitchen Knives Material In Heat Treatment Process Using the Response Surface Method*

A.R.N. Adzima<sup>1</sup>, P. Pandiatmi<sup>2</sup>, E.D. Sulistyowati<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jln. Majapahit no. 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83125, Indonesia, Telp. 082252285665

\*E-mail: [afra.rayhan9999@gmail.com](mailto:afra.rayhan9999@gmail.com)

---

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

---

#### Article History:

Received

Accepted

Available online

---

#### Keywords:

Medium carbon steel

Heat treatment

NaOH

Response surface method

Minitab 18

*In making knives, of course, there are many methods and materials that can be used, but sometimes in the production process, knives have a material hardness value that does not match the predetermined ideal hardness. To meet the ideal hardness that applies to knives, it is necessary to modify the heat treatment process in order to obtain optimal hardness values. This research used medium carbon steel by varying the factors in the heat treatment process in the form of heating temperature (800, 850, and 900 °C), holding time (15, 20, and 25 minutes), and quenchant (NaOH solution concentrations of 15, 20, and 25%). The method used to find optimal toughness and hardness values in this research is the Response Surface method. From this method an experimental design was designed using the Box-Behnken design and then the data that had been obtained was analyzed regarding the proper temperature setting, holding time, and quenchant in order to produce steel with optimal hardness through the application of Minitab 18. From the results of this research, a combination was obtained to obtain hardness ideal for medium carbon steel as a knives material, for hardness of 55 HRC using a temperature of 850 °C, holding time of 20 minutes, and 18.63% NaOH concentration. For hardness of 56 HRC using a temperature of 850 °C, holding time of 20 minutes, and 20% NaOH concentration. For hardness of 57 HRC using a temperature of 850 °C, holding time of 20 minutes, and 21.72% NaOH concentration.*



---

### 1. PENDAHULUAN

Logam merupakan material yang mempunyai konduktivitas listrik dan konduktivitas termal yang tinggi. Logam umumnya liat, yaitu dapat ditempa atau ditekan permanen hingga berubah bentuk tanpa patah atau retak.

Logam juga bersifat *fusible* atau bisa dilelehkan dan ulet. Baja karbon merupakan baja yang sering dipakai dalam pembuatan komponen-komponen mesin seperti roda gigi, poros, piston, dan lain-lain. Baja menggenggam peranan pokok pada dunia industri, terbukti oleh berbagai macam baja yang digunakan untuk bagian-bagian mesin, alat kerja dan rumah tangga, kontruksi bangunan, dalam bentuk pelat, baut, pipa, lembaran, batang profil, mur dan sebagainya. (Purwanto, 2011). Saat pengaplikasiannya, baja akan mengalami tekanan dan gaya gesekan dalam jumlah yang besar. Hal tersebut dapat menyebabkan baja mengalami peristiwa deformasi atau perubahan bentuk. Maka dari itu diperlukan perlakuan panas agar menjaga baja untuk lebih tahan terhadap tekanan, tarikan, dan gesekan saat mengaplikasikan baja tersebut.

Secara universal yang diartikan dengan perlakuan panas ataupun kerap diucap *heat treatment* merupakan pemanasan baja di temperatur yang ditentukan, setelah itu di-*Holding time* selama kurun waktu tertentu serta di-*Quenching* dengan perubahan kecepatan pendinginan yang ditentukan dengan media hawa ataupun cair, semacam oli serta air. (Taryana, 2017). Pada *heat treatment quenching*, baja yang telah dipanaskan akan didinginkan dengan media pendingin. Perubahan sifat pada baja tergantung dari jenis media pendingin dan kecepatan laju pendinginan yang menyebabkan struktur- struktur mikro pada baja berubah. Pengerasan tertinggi yang bisa dicapai baja yang di-*Quenching* hampir seluruhnya dipengaruhi oleh banyaknya konsentrasi karbon dan laju kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dari kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. (Achmadi, 2017).

Bidang industri yang memproduksi berbagai macam kebutuhan manusia sedang berkembang sangat pesat khususnya pada material baja. Tuntutan pasar yang sangat besar mendesak bidang industri besar ataupun kecil guna menaikkan produktifitas industri. Komponen mesin produksi berbahan dasar logam besi diseleksi guna mendukung produktifitas. Dalam industri besar komponen mesin diambil dari bahan yang mempunyai mutu yang baik serta terjaga mutu serta ketahanannya. Dalam industri kecil maupun industri rumahan umumnya memakai proses perlakuan panas ataupun *heat treatment* guna menambah kekuatan, mutu, serta umur komponen mesin tersebut. (Suprayogi dkk, 2017).

Pada sifat logam salah satunya terdapat sifat mekanik. Selain komposisi kimianya, mikrostruktur sangat mempengaruhi sifat mekanik. Misalnya, logam atau paduan menunjukkan sifat mekanik yang berbeda ketika struktur mikro berubah. Ketika perlakuan panas atau pendinginan pada tingkat tertentu, baja karbon dan paduan menunjukkan perubahan struktural. Sifat alotropi besi mengarah pada pembentukan struktur mikro yang berbeda dalam berbagai jenis logam. Alotropi ialah perubahan dari suatu jenis susunan atom (sel satuan) menuju jenis susunan atom yang berbeda. Di suhu kurang dari 910°C sel satuannya adalah *Body Centered Cubic* (BCC), suhu antara 910°C hingga 1392°C sel satuannya adalah *Face Centered Cubic* (FCC), dan suhu lebih dari 1392°C sel satuannya berubah ke semula menjadi BCC. (Alam, 2020).

Ketangguhan adalah ketahanan bahan atas beban yang diberikan secara tiba-tiba. Ketangguhan bisa didefinisikan sebagai total energi yang diterima bahan hingga terjadi perpatahan. (Bahtiar dkk, 2014). Ketangguhan baja ialah hubungan antara banyak energi yang dapat diterima oleh baja hingga baja tersebut putus. Semakin kecil energi yang diterima oleh baja, maka baja tersebut makin rapuh, getas dan mudah hancur. Cara ujinya dengan cara memberi pukulan tiba-tiba menggunakan bandul (*impact/pukul takik*). (Lesmanah dan Margianto, 2020).

Kekerasan material baja hasil proses *heat treatment* dipengaruhi oleh suhu pemanasan, *holding time* pemanasan, kecepatan *quenching*, kandungan kimia, keadaan permukaan, tebal dan massa benda. (Mubarak, 2008). Pada baja karbon menengah mempunyai total komposisi karbon 0,3 % - 0,7%. Baja tersebut mempunyai sifat mekanik yang lebih tinggi dibandingkan baja karbon rendah. Baja karbon menengah biasanya diaplikasikan pada baut, pegas, poros, mur, roda gigi, dan sebagainya. (Indah, 2017). Baja konstruksi dari baja karbon menengah disarankan menggunakan waktu tahan 15-25 menit setelah mencapai pada suhu pemanasan yang sekiranya sudah mencukupi. (Hanafia, 2017).

Haryadi dkk (2021) melakukan penelitian tentang “Pengaruh variasi temperatur *quenching* dan media pendingin terhadap tingkat kekerasan baja AISI 1045”. Berdasarkan hasil penelitiannya baja yang dipanaskan dengan suhu 900°C dan *holding time* 25 menit mempunyai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan baja yang dipanaskan dengan suhu 850°C dan 800°C pada *holding time* 25 menit.

Wiyono (2018) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi waktu tahan (*holding time*) terhadap struktur mikro dan kekerasan (vickers) pada baja ST 60. Variasi waktu tahan pada penelitian tersebut yaitu 15, 20, dan 25 menit. Berdasarkan hasil penelitiannya baja yang di-*Heat treatment* di suhu 800 °C dengan waktu tahan 25 menit mempunyai kekerasan lebih tinggi dari baja yang dipanaskan pada suhu 800 °C dengan *holding time* 15 menit dan 20 menit.

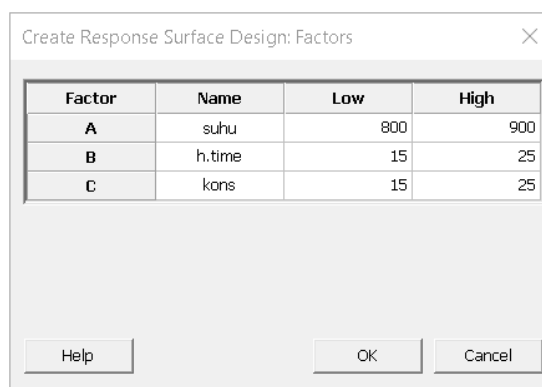
Sitorus (2019) melakukan penelitian tentang “Analisis sifat mekanik baja karbon menengah yang dipanaskan 850 °C dengan *quenching* pada larutan NaOH”. Berdasarkan hasil penelitiannya baja yang di-*Quenching* dengan *sodium hydroxide* atau natrium hidroksida konsentrasi 20% mempunyai kekerasan lebih tinggi daripada baja yang menggunakan NaOH dengan konsentrasi 5%, 10%, 15%, dan 25%.

Dalam pembuatan pisau tentunya ada banyak cara dan bahan yang dapat digunakan, namun adakalanya dalam proses produksi pisau memiliki nilai kekerasan bahan yang tidak cocok dengan kekerasan ideal yang telah ditetapkan. Untuk memenuhi kekerasan ideal yang berlaku pada pisau maka perlu dilakukan modifikasi pada proses *heat treatment* guna mendapatkan nilai kekerasan yang optimal. Penelitian ini memakai baja karbon sedang yang mempunyai kadar karbon (C) 0.3% - 0.7% dengan faktor-faktor yang divariasikan dalam proses *heat treatment* adalah suhu pemanasan, waktu tahan, dan media pendingin. Metode yang dipakai guna mencari nilai ketangguhan dan kekerasan optimal dalam penelitian ini adalah *Response Surface Method*.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis berinisiatif untuk melakukan penelitian dengan judul **“OPTIMASI KETANGGUHAN IMPAK DAN KEKERASAN BAJA KARBON MENENGAH SEBAGAI BAHAN PISAU DAPUR PADA PROSES HEAT TREATMENT MENGGUNAKAN METODE RESPONSE SURFACE”**.

## 2. METODE PENELITIAN

Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi studi literatur, menentukan level variabel bebas, melakukan desain eksperimen menggunakan desain Box-Behnken, persiapan alat dan bahan, pengujian dan pengambilan data, dan analisis data hasil penelitian.



Gambar 1. Level dan variabel bebas

Variabel yang diuji pada penelitian ini antara lain ketangguhan impact, kekerasan, dan struktur mikro dari baja karbon menengah. Tinggi suhu yang divariasikan yaitu 800 °C, 850 °C, dan 900 °C. Lama *holding time* yang divariasikan yaitu 15 menit, 20 menit, dan 25 menit. Besar konsentrasi NaOH yang divariasikan yaitu 15%, 20%, dan 25%.

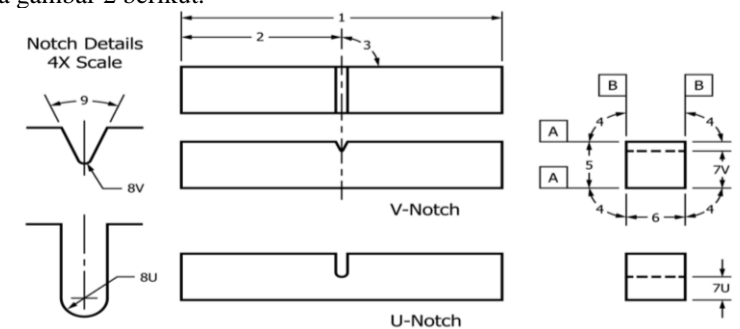
Tabel 1. Desain eksperimen menggunakan desain Box-Behnken

| No. | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | Suhu | <i>H. time</i> | Kons. NaOH |
|-----|-------|-------|-------|------|----------------|------------|
| 1   | -1    | -1    | 0     | 800  | 15             | 20         |
| 2   | -1    | -1    | 0     | 800  | 15             | 20         |
| 3   | -1    | -1    | 0     | 800  | 15             | 20         |
| 4   | -1    | 0     | -1    | 800  | 20             | 15         |
| 5   | -1    | 0     | -1    | 800  | 20             | 15         |
| 6   | -1    | 0     | -1    | 800  | 20             | 15         |
| 7   | -1    | 0     | 1     | 800  | 20             | 25         |
| 8   | -1    | 0     | 1     | 800  | 20             | 25         |
| 9   | -1    | 0     | 1     | 800  | 20             | 25         |
| 10  | -1    | 1     | 0     | 800  | 25             | 20         |
| 11  | -1    | 1     | 0     | 800  | 25             | 20         |
| 12  | -1    | 1     | 0     | 800  | 25             | 20         |
| 13  | 0     | -1    | -1    | 850  | 15             | 15         |
| 14  | 0     | -1    | -1    | 850  | 15             | 15         |
| 15  | 0     | -1    | -1    | 850  | 15             | 15         |
| 16  | 0     | -1    | 1     | 850  | 15             | 25         |
| 17  | 0     | -1    | 1     | 850  | 15             | 25         |
| 18  | 0     | -1    | 1     | 850  | 15             | 25         |
| 19  | 0     | 0     | 0     | 850  | 20             | 20         |

| No. | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | Suhu | H. time | Kons. NaOH |
|-----|-------|-------|-------|------|---------|------------|
| 20  | 0     | 0     | 0     | 850  | 20      | 20         |
| 21  | 0     | 0     | 0     | 850  | 20      | 20         |
| 22  | 0     | 1     | -1    | 850  | 25      | 15         |
| 23  | 0     | 1     | -1    | 850  | 25      | 15         |
| 24  | 0     | 1     | -1    | 850  | 25      | 15         |
| 25  | 0     | 1     | 1     | 850  | 25      | 25         |
| 26  | 0     | 1     | 1     | 850  | 25      | 25         |
| 27  | 0     | 1     | 1     | 850  | 25      | 25         |
| 28  | 1     | -1    | 0     | 900  | 15      | 20         |
| 29  | 1     | -1    | 0     | 900  | 15      | 20         |
| 30  | 1     | -1    | 0     | 900  | 15      | 20         |
| 31  | 1     | 0     | -1    | 900  | 20      | 15         |
| 32  | 1     | 0     | -1    | 900  | 20      | 15         |
| 33  | 1     | 0     | -1    | 900  | 20      | 15         |
| 34  | 1     | 0     | 1     | 900  | 20      | 25         |
| 35  | 1     | 0     | 1     | 900  | 20      | 25         |
| 36  | 1     | 0     | 1     | 900  | 20      | 25         |
| 37  | 1     | 1     | 0     | 900  | 25      | 20         |
| 38  | 1     | 1     | 0     | 900  | 25      | 20         |
| 39  | 1     | 1     | 0     | 900  | 25      | 20         |

Perancangan desain *box-behnken* hanya bisa dilakukan dalam pengujian yang mempunyai paling sedikit tiga faktor. Dalam pengujian ini terdapat tiga faktor dan tiga level dengan 12 perancangan faktorial serta dengan satu titik tengah, proses ini dikerjakan sebanyak tiga replikasi yang jumlah total didapatkan ada 39 pengujian.

Ukuran spesimen baja karbon menengah untuk pengujian impak Charpy menggunakan standar ASTM E23-2018 dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Desain eksperimen uji impak

Tabel 2. Keterangan desain spesimen uji impak

| Nomor ID | Deskripsi               | Dimensi | Toleransi  |
|----------|-------------------------|---------|------------|
| 1        | Panjang Spesimen        | 55 mm   | +0/-2,5 mm |
| 2        | Pusat Takik             |         | ±1 mm      |
| 3        | Panjang Takik ke Tepi   | 90°     | ±2°        |
| 4        | Sudut Sisi              | 90°     | ±0,17°     |
| 5        | Tebal                   | 10 mm   | ±0,075 mm  |
| 6        | Lebar                   | 10 mm   | ±0,075 mm  |
| 7U       | Panjang Ligamen, Tipe U | 5 mm    | ±0,075 mm  |
| 8U       | Jari-jari Takik, Tipe U | 1 mm    | ±0,025 mm  |
| 9        | Sudut Takik             | 45°     | ±1°        |

Spesimen uji kekerasan menggunakan spesimen hasil pengujian impak, namun tetap mengikuti standar ASTM E18-19.

Tabel 3. Persyaratan fisik dari standar blok uji

| Parameter Blok Uji | Toleransi                                   |
|--------------------|---|
| Tebal              | ≥6,0 mm (0,236 in.)<br>≤16,0 mm (0,630 in.) |
| Permukaan Area Uji | ≤2600 mm <sup>2</sup> (4 in. <sup>2</sup> ) |

Dalam menentukan dan mengatur konsentrasi dalam larutan berdasarkan massanya, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Persentase zat} = \frac{\text{Massa zat terlarut}}{\text{Massa larutan}} \times 100\% \quad (1)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sifat mekanik dari beberapa bahan uji dari pengoptimalan ketangguhan impak dan kekerasan telah dilakukan dengan adanya variasi suhu, *holding time*, dan konsentrasi NaOH untuk baja karbon menengah. Hasil pengujian yang dilakukan adalah kekerasan (*Hardness*) dan ketangguhan impak (*Toughness*). Adapun hasil pengujian lain yang dilakukan adalah komposisi kimia dan struktur mikro.

#### 3.1. Uji komposisi

Pengujian ini dilakukan guna mengetahui atau memastikan spesimen yang akan diuji adalah spesimen yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Menurut Achmadi (2017) baja karbon rendah memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%, baja karbon menengah dengan kandungan karbon antara 0,3% hingga 0,7%, dan baja karbon tinggi yang kandungan karbonnya berkisar 0,7% sampai 1,4%.



Gambar 3. Spesimen uji setelah dilakukan pengujian komposisi

Tabel 4. Unsur-unsur kimia pada spesimen uji

| Unsur | Keterangan | Komposisi (%) |
|-------|------------|---------------|
| C     | Karbon     | 0,499         |
| Si    | Silikon    | 0,207         |
| Mn    | Mangan     | 0,649         |
| P     | Fosforus   | 0,020         |
| S     | Sulfur     | <0,0100       |
| Cr    | Kromium    | 0,294         |
| Mo    | Molibdenum | <0,0100       |
| Ni    | Nikel      | 0,012         |
| Cu    | Tembaga    | <0,0050       |
| Al    | Aluminium  | 0,0051        |
| Co    | Kobalt     | <0,0050       |
| Mg    | Magnesium  | <0,0050       |
| Nb    | Niobium    | 0,010         |
| Ti    | Titanium   | <0,0030       |
| V     | Vanadium   | <0,0050       |
| W     | Wolfram    | <0,100        |
| Fe    | Besi       | 98,28         |

Dari hasil pengujian komposisi pada tabel 4 dapat dilihat bahwa kandungan karbon pada spesimen uji yaitu 0,499%. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa spesimen uji merupakan baja karbon menengah.

### 3.2. Kekerasan (*Hardness*)

Tabel 5. Hasil kekerasan *raw material*

| No. | Kekerasan (HRC) |
|-----|-----------------|
| 1   | 10              |
| 2   | 9               |
| 3   | 11              |

Tabel 6. Lembar hasil pengujian kekerasan

| No. | Suhu (°C) | <i>H.time</i> (') | Kons. NaOH (%) | Kekerasan (HRC) |
|-----|-----------|-------------------|----------------|-----------------|
| 1   | 800       | 15                | 20             | 44              |
| 2   | 800       | 15                | 20             | 46,33           |
| 3   | 800       | 15                | 20             | 47,33           |
| 4   | 800       | 20                | 15             | 44,66           |
| 5   | 800       | 20                | 15             | 46              |
| 6   | 800       | 20                | 15             | 48,33           |
| 7   | 800       | 20                | 25             | 54              |
| 8   | 800       | 20                | 25             | 53,66           |
| 9   | 800       | 20                | 25             | 53              |
| 10  | 800       | 25                | 20             | 55,33           |
| 11  | 800       | 25                | 20             | 54              |
| 12  | 800       | 25                | 20             | 53,66           |
| 13  | 850       | 15                | 15             | 48,33           |
| 14  | 850       | 15                | 15             | 46              |
| 15  | 850       | 15                | 15             | 46              |
| 16  | 850       | 15                | 25             | 52,66           |
| 17  | 850       | 15                | 25             | 55              |
| 18  | 850       | 15                | 25             | 51,33           |
| 19  | 850       | 20                | 20             | 56              |
| 20  | 850       | 20                | 20             | 57              |
| 21  | 850       | 20                | 20             | 55              |
| 22  | 850       | 25                | 15             | 52,33           |
| 23  | 850       | 25                | 15             | 55,66           |
| 24  | 850       | 25                | 15             | 56              |
| 25  | 850       | 25                | 25             | 61,66           |
| 26  | 850       | 25                | 25             | 59              |
| 27  | 850       | 25                | 25             | 61              |
| 28  | 900       | 15                | 20             | 60              |
| 29  | 900       | 15                | 20             | 58,33           |
| 30  | 900       | 15                | 20             | 56,66           |
| 31  | 900       | 20                | 15             | 54              |
| 32  | 900       | 20                | 15             | 58              |
| 33  | 900       | 20                | 15             | 59,33           |
| 34  | 900       | 20                | 25             | 62,66           |
| 35  | 900       | 20                | 25             | 66              |
| 36  | 900       | 20                | 25             | 64,33           |
| 37  | 900       | 25                | 20             | 62,66           |
| 38  | 900       | 25                | 20             | 61              |
| 39  | 900       | 25                | 20             | 66              |

#### 3.2.1. Analisis kekerasan

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis data kekerasan baja yaitu dengan melakukan pembentukan model dan pengujian kesesuaian model. Pembentukan model merupakan hasil dari pengolahan data percobaan dan mendapatkan prakiraan regresi untuk kekerasan baja berupa tabel 7 berikut ini. Dari tabel ini dirumuskan model persamaannya. Pengujian kesesuaian model ini terdiri dari beberapa pengujian yaitu pengujian *lack of fit*, pengujian parameter serentak, dan pengujian  $R^2$ .

Tabel 7. Koefisien regresi kekerasan model penduga

| Term            | Coef    | SE Coef | T-Value | P-Value |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| Constant        | 56,000  | 0,975   | 57,46   | 0,000   |
| Suhu            | 5,361   | 0,345   | 15,56   | 0,000   |
| H. time         | 3,597   | 0,345   | 10,44   | 0,000   |
| NaOH            | 3,319   | 0,345   | 9,63    | 0,000   |
| Suhu*Suhu       | 0,512   | 0,645   | 0,79    | 0,433   |
| H. time*H. time | -1,071  | 0,645   | -1,66   | 0,107   |
| NaOH*NaOH       | -1,182  | 0,645   | -1,83   | 0,077   |
| Suhu*H. time    | -0,888  | 0,487   | -1,82   | 0,079   |
| Suhu*NaOH       | -0,001  | 0,487   | -0,00   | 0,999   |
| H. time*NaOH    | -0,082  | 0,487   | -0,17   | 0,867   |
|                 | S       | R-sq    |         |         |
|                 | 1,68815 | 94,02%  |         |         |

Model persamaan orde kedua diambil dari nilai tabel 7 kolom pertama seperti pada persamaan 2. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa faktor yang paling berpengaruh yaitu suhu pemanasan dengan nilai koefisien sebesar 5,361.

$$\begin{aligned}
 H = & -13 - 0,170 \text{ Suhu} + 5,52 \text{ H. time} + 2,62 \text{ NaOH} + 0,000205 \text{ Suhu*Suhu} \\
 & - 0,0428 \text{ H. time*H. time} - 0,0473 \text{ NaOH*NaOH} - 0,00355 \text{ Suhu*H. time} \\
 & - 0,00000 \text{ Suhu*NaOH} - 0,0033 \text{ H. time*NaOH}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

### 3.2.2. Pengujian kesesuaian model kekerasan

Ada beberapa pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui kesesuaian model di atas, pengujian tersebut sebagai berikut:

#### 1. Uji *lack of fit*

Tujuan dari uji *lack of fit* ini yaitu untuk mengetahui kesesuaian model yang telah dihasilkan. Adapun hipotesis yang digunakan pada pengujian *lack of fit* adalah sebagai berikut:

- $H_0$  = tidak ada *lack of fit* dalam model
- $H_1$  = ada *lack of fit* dalam model

Daerah penolakan pada pengujian *lack of fit* ini adalah hipotesis awal ( $H_0$ ) akan ditolak bila *p-value* kurang dari  $\alpha$  (0,05). Adapun sebaliknya, hipotesis awal akan diterima apabila *p-value* melebihi nilai  $\alpha$  (0,05).

Tabel 8. *Analysis of Variance* untuk kekerasan

| Source            | DF | Adj SS  | Adj MS  | F-Value | P-Value |
|-------------------|----|---------|---------|---------|---------|
| Model             | 9  | 1299,61 | 144,401 | 50,67   | 0,000   |
| Linear            | 3  | 1264,77 | 421,591 | 147,93  | 0,000   |
| Suhu              | 1  | 689,83  | 689,832 | 242,06  | 0,000   |
| H. time           | 1  | 310,54  | 310,536 | 108,97  | 0,000   |
| NaOH              | 1  | 264,40  | 264,405 | 92,78   | 0,000   |
| Square            | 3  | 25,28   | 8,428   | 2,96    | 0,049   |
| Suhu*Suhu         | 1  | 1,80    | 1,801   | 0,63    | 0,433   |
| H. time*H. time   | 1  | 7,86    | 7,863   | 2,76    | 0,107   |
| NaOH*NaOH         | 1  | 9,57    | 9,575   | 3,36    | 0,077   |
| 2-Way Interaction | 3  | 9,55    | 3,184   | 1,12    | 0,358   |
| Suhu*H. time      | 1  | 9,47    | 9,470   | 3,32    | 0,079   |
| Suhu*NaOH         | 1  | 0,00    | 0,000   | 0,00    | 0,999   |
| H. time*NaOH      | 1  | 0,08    | 0,082   | 0,03    | 0,867   |
| Error             | 29 | 82,65   | 2,850   |         |         |
| Lack-of-Fit       | 3  | 3,73    | 1,243   | 0,41    | 0,747   |
| Pure Error        | 26 | 78,92   | 3,035   |         |         |
| Total             | 38 | 1382,25 |         |         |         |

Berdasarkan data pada tabel 8 ditunjukkan bahwa nilai  $p$ -value uji *lack of fit* sebesar 0,747. Dapat disimpulkan  $p$ -value uji *lack of fit* lebih dari (0,05) sehingga dapat dinyatakan model tidak mengandung *lack of fit* atau model yang didapatkan telah sesuai.

2. Uji parameter serentak

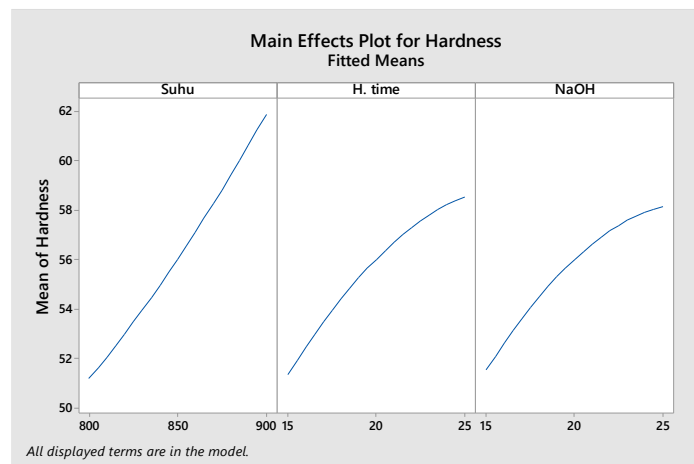
Daerah penolakan yaitu jika  $p$ -value lebih dari  $\alpha$  (0,05). Analisis statistik  $p$ -value akan digunakan untuk mengevaluasi *output* uji parameter serentak dengan nilai toleransi sebesar (0,05). Pemeriksaan dilakukan pada 2 regresi, yaitu linear dan kuadratik/*square*. Tabel 8 menunjukkan nilai  $p$ -value untuk linear sebesar 0,000 yang berarti lebih kecil dari 0,05. Sedangkan nilai  $p$ -value yang didapat untuk kuadratik/*square* sebesar 0,049 yang berarti lebih kecil dari nilai toleransi 0,05. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan variabel  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  memberikan kontribusi yang nyata terhadap model yang terbentuk.

3. Pengujian koefisien determinasi ( $R^2$ )

Nilai koefisien determinasi terletak antara  $0 < R^2 < 1$ . Apabila semakin besar nilai  $R^2$  yang diperoleh maka akan semakin besar pengaruh variabel-variabel  $X$  terhadap variabel  $Y$ . Oleh karena itu untuk mendapatkan model yang baik nilai  $R^2$  diharapkan mendekati 1. Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai  $R^2$  atau  $R$ -sq untuk kekerasan baja adalah 94,02%. Dari nilai  $R^2$  yang didapatkan disimpulkan bahwa 94,02% mendekati 1 sehingga dapat dinyatakan variabel-variabel  $X$  (proses) berpengaruh terhadap variabel  $Y$  (respon).

### 3.2.3. Analisis *factorial plots hardness*

Grafik *factorial plots* bertujuan untuk melihat bagaimana faktor mempengaruhi respon melalui grafik garis. Gambar berikut ini merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh dari setiap faktor terhadap tingkat kekerasan yang dihasilkan.



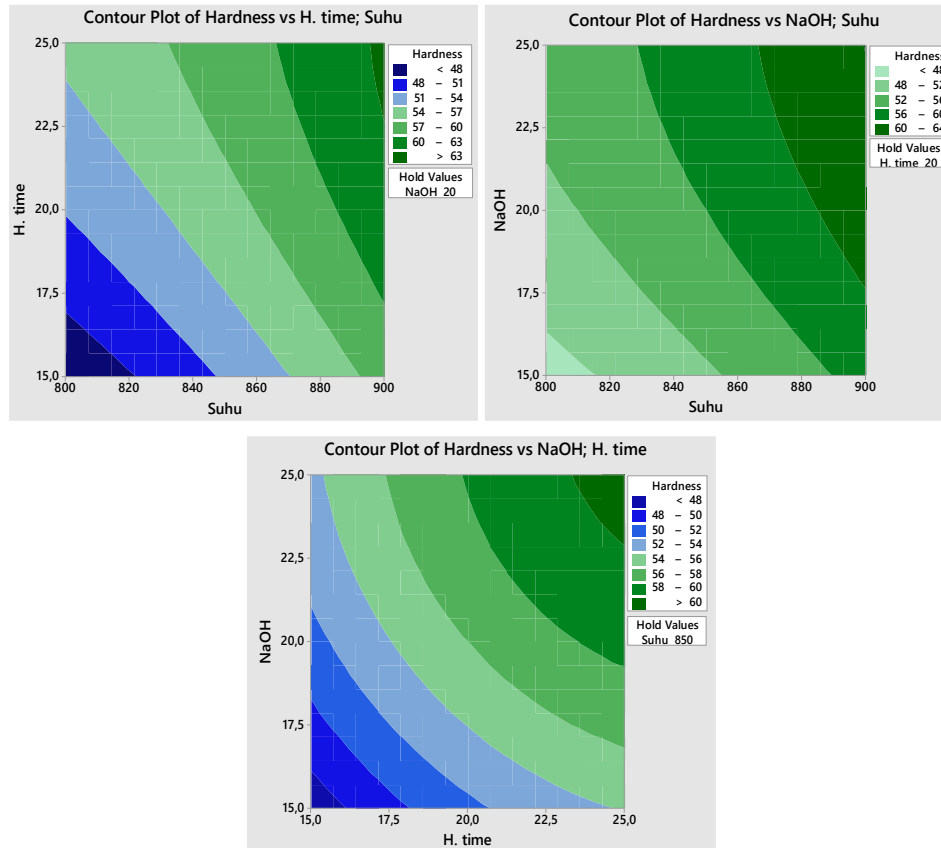
Gambar 4. Grafik *factorial plots hardness*

Dari grafik pada gambar 4 tersebut diketahui bahwa semakin tinggi suhu pemanasan yang digunakan maka tingkat kekerasannya akan tinggi pula. Begitupun dengan faktor-faktor lainnya, semakin meningkat *holding time* dan konsentrasi NaOH yang digunakan maka tingkat kekerasan dari baja juga akan meningkat.

### 3.2.4. Analisis *contour plot dan surface plot hardness*

Grafik *contour plot* bertujuan mendeskripsikan pengaruh dari masing-masing faktor terhadap respon melalui warna yang berbeda. Gambar-gambar berikut ini merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara tingkat kekerasan yang didapatkan dengan variabel bebas. Gambar diperoleh dengan memvariasi dua faktor sementara satu faktor sisanya dianggap konstan pada nilai tengahnya.

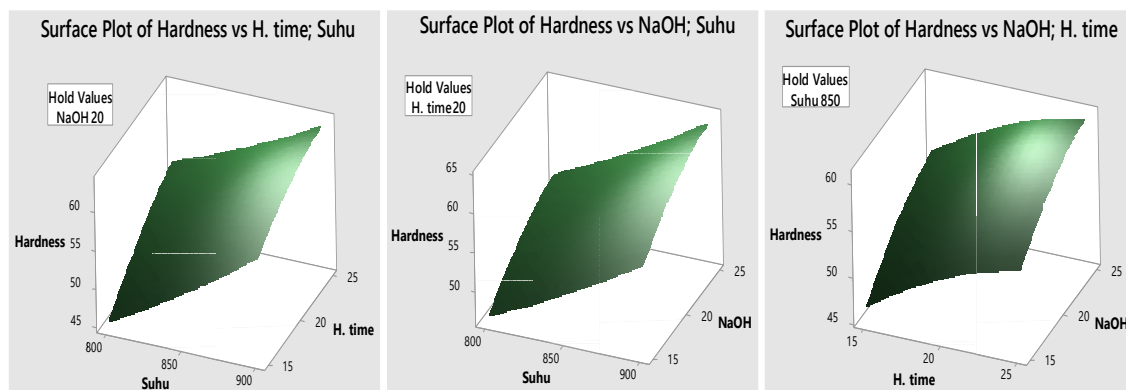




Gambar 5. *Contour plot hardness* pada berbagai faktor

Pada hubungan *holding time* dan suhu ditunjukkan bahwa nilai kekerasan maksimum didapatkan pada saat suhu pemanasan berada pada level 895-900 °C dengan *holding time* berada pada level 22,5-25 menit pada konsentrasi NaOH 20%. Pada hubungan NaOH dan suhu ditunjukkan bahwa nilai kekerasan maksimum didapatkan pada saat suhu pemanasan berada pada level 865-900 °C dengan konsentrasi NaOH berada pada level 17,5-25% pada *holding time* 20 menit. Pada hubungan NaOH dan *holding time* ditunjukkan bahwa nilai kekerasan maksimum didapatkan pada saat *holding time* berada pada level 23-25 menit dengan konsentrasi NaOH berada pada level 22,5-25% pada suhu 850 °C.

Adapula *surface plot* yaitu grafik tiga dimensi yang bertujuan membantu visualisasi dari besarnya respon untuk setiap faktor.



Gambar 6. *Surface plot hardness* pada berbagai faktor

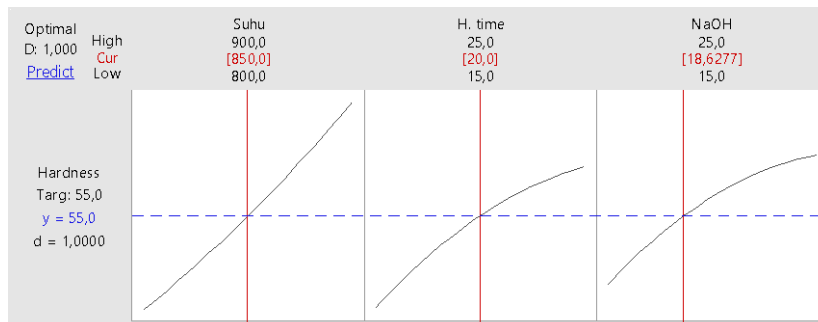
Berdasarkan grafik *surface plot* pada gambar 6 dapat dilihat bahwa peningkatan nilai kekerasan berbanding lurus dengan meningkatnya suhu, *holding time*, dan konsentrasi NaOH. Semakin tinggi suhu, *holding time*, dan konsentrasi NaOH maka semakin tinggi pula nilai kekerasan yang diperoleh.

### 3.2.5. Optimasi response hardness

Untuk mencari kombinasi level-level variabel proses yang dapat menghasilkan respon yang optimum (target, minimum, dan maksimum) maka digunakan metode *response surface* dengan pendekatan fungsi *desirability*. Dalam hal kekerasan pada pisau dapur umumnya kekerasan idealnya adalah 55 HRC hingga 57 HRC. (Hrisoulas, 1991).

Tabel 9. Solusi dari pendekatan fungsi *desirability* untuk kekerasan 55 HRC

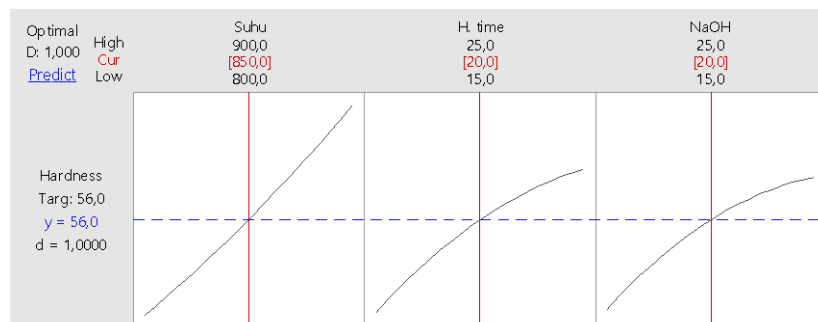
| <i>Solution</i> | Suhu    | <i>H. time</i> | NaOH    | <i>Hardness Fit</i> | <i>Composite Desirability</i> |
|-----------------|---------|----------------|---------|---------------------|-------------------------------|
| 1               | 850,000 | 20,0000        | 18,6277 | 55,0000             | 1,00000                       |
| 2               | 810,120 | 21,0133        | 25,0000 | 55,0000             | 1,00000                       |
| 3               | 840,986 | 25,0000        | 16,1268 | 54,5201             | 0,95637                       |



Gambar 7. Grafik kombinasi variabel-variabel faktor untuk kekerasan 55 HRC

Tabel 10. Solusi dari pendekatan fungsi *desirability* untuk kekerasan 56 HRC

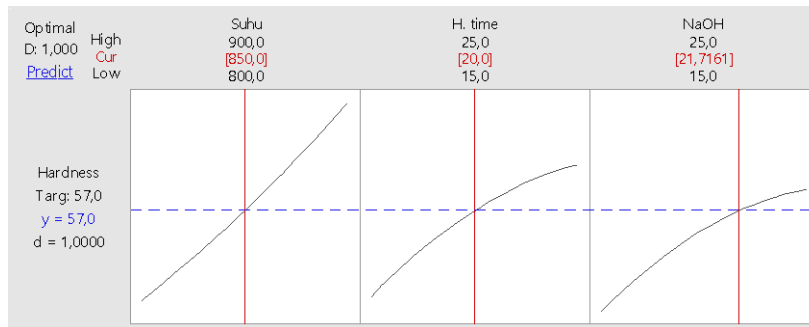
| <i>Solution</i> | Suhu    | <i>H. time</i> | NaOH    | <i>Hardness Fit</i> | <i>Composite Desirability</i> |
|-----------------|---------|----------------|---------|---------------------|-------------------------------|
| 1               | 850,000 | 20,0000        | 20,0000 | 56,0000             | 1,00000                       |
| 2               | 810,368 | 22,4175        | 25,0000 | 56,0000             | 1,00000                       |
| 3               | 800,000 | 24,6042        | 24,8470 | 56,4079             | 0,95921                       |



Gambar 8. Grafik kombinasi variabel-variabel faktor untuk kekerasan 56 HRC

Tabel 11. Solusi dari pendekatan fungsi *desirability* untuk kekerasan 57 HRC

| <i>Solution</i> | Suhu    | <i>H. time</i> | NaOH    | <i>Hardness Fit</i> | <i>Composite Desirability</i> |
|-----------------|---------|----------------|---------|---------------------|-------------------------------|
| 1               | 850,000 | 20,0000        | 21,7161 | 57,0000             | 1,00000                       |
| 2               | 810,615 | 24,1638        | 25,0000 | 57,0000             | 1,00000                       |
| 3               | 803,672 | 25,0000        | 25,0000 | 56,8776             | 0,99058                       |



Gambar 9. Grafik kombinasi variabel-variabel faktor untuk kekerasan 57 HRC

Untuk menghasilkan kekerasan dengan nilai 55 HRC diperoleh kombinasi dari variabel faktor yaitu dengan suhu 850 °C, *holding time* 20 menit, dan konsentrasi NaOH 18,63% seperti yang ditunjukkan pada tabel 9 dan gambar 7. Untuk menghasilkan kekerasan dengan nilai 56 HRC diperoleh kombinasi dari variabel faktor yaitu dengan suhu 850 °C, *holding time* 20 menit, dan konsentrasi NaOH 20% seperti yang ditunjukkan pada tabel 10 dan gambar 8. Untuk menghasilkan kekerasan dengan nilai 57 HRC diperoleh kombinasi dari variabel faktor yaitu dengan suhu 850 °C, *holding time* 20 menit, dan konsentrasi NaOH 21,72% seperti yang ditunjukkan pada tabel 11 dan gambar 9.

### 3.3. Ketangguhan (*Toughness*)

Tabel 12. Hasil ketangguhan impact *raw material*

| No. | Lebar (b) (mm) | Tebal (t) (mm) | Bentuk Takikan | Kedalaman Takikan (d) (mm) | Luas b(t-d) (mm <sup>2</sup> ) | Energi (J) | Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|------------|----------------------------------|
| 1   | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 192        | 3.84                             |
| 2   | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 192        | 3.84                             |
| 3   | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 193        | 3.86                             |

Tabel 13. Lembar hasil pengujian impact

| No. | Suhu (°C) | H.time (') | Kons. NaOH (%) | Lebar (b) (mm) | Tebal (t) (mm) | Bentuk Takikan | Kedalaman Takikan (d) (mm) | Luas b(t-d) (mm <sup>2</sup> ) | Energi (J) | Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|------------|----------------------------------|
| 1   | 800       | 15         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 78         | 1,56                             |
| 2   | 800       | 15         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 77         | 1,54                             |
| 3   | 800       | 15         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 76         | 1,52                             |
| 4   | 800       | 20         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 73         | 1,46                             |
| 5   | 800       | 20         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 72         | 1,44                             |
| 6   | 800       | 20         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 73         | 1,46                             |
| 7   | 800       | 20         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 49         | 0,98                             |
| 8   | 800       | 20         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 50         | 1,00                             |
| 9   | 800       | 20         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 51         | 1,02                             |
| 10  | 800       | 25         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 46         | 0,92                             |
| 11  | 800       | 25         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 45         | 0,90                             |
| 12  | 800       | 25         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 47         | 0,94                             |
| 13  | 850       | 15         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 72         | 1,44                             |
| 14  | 850       | 15         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 73         | 1,46                             |
| 15  | 850       | 15         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 74         | 1,48                             |
| 16  | 850       | 15         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 50         | 1,00                             |
| 17  | 850       | 15         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 52         | 1,04                             |
| 18  | 850       | 15         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 52         | 1,04                             |
| 19  | 850       | 20         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 40         | 0,80                             |
| 20  | 850       | 20         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 42         | 0,84                             |
| 21  | 850       | 20         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 43         | 0,86                             |
| 22  | 850       | 25         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 47         | 0,94                             |

| No. | Suhu (°C) | H.time (') | Kons. NaOH (%) | Lebar (b) (mm) | Tebal (t) (mm) | Bentuk Takikan | Kedalaman Takikan (d) (mm) | Luas b(t-d) (mm <sup>2</sup> ) | Energi (J) | Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|--------------------------------|------------|----------------------------------|
| 23  | 850       | 25         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 48         | 0,96                             |
| 24  | 850       | 25         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 47         | 0,94                             |
| 25  | 850       | 25         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 25         | 0,50                             |
| 26  | 850       | 25         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 26         | 0,52                             |
| 27  | 850       | 25         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 25         | 0,50                             |
| 28  | 900       | 15         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 34         | 0,68                             |
| 29  | 900       | 15         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 35         | 0,70                             |
| 30  | 900       | 15         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 36         | 0,72                             |
| 31  | 900       | 20         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 37         | 0,74                             |
| 32  | 900       | 20         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 37         | 0,74                             |
| 33  | 900       | 20         | 15             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 36         | 0,72                             |
| 34  | 900       | 20         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 16         | 0,32                             |
| 35  | 900       | 20         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 14         | 0,28                             |
| 36  | 900       | 20         | 25             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 15         | 0,30                             |
| 37  | 900       | 25         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 16         | 0,32                             |
| 38  | 900       | 25         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 17         | 0,34                             |
| 39  | 900       | 25         | 20             | 10             | 10             | U              | 5                          | 50                             | 15         | 0,30                             |

### 3.3.1. Analisis ketangguhan

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis data ketangguhan impak yaitu dengan melakukan pembentukan model dan pengujian kesesuaian model. Pembentukan model merupakan hasil dari pengolahan data percobaan dan mendapatkan prakiraan regresi untuk ketangguhan impak berupa tabel 14 berikut ini. Dari tabel ini dirumuskan model persamaannya. Pengujian kesesuaian model ini terdiri dari beberapa pengujian yaitu pengujian *lack of fit*, pengujian parameter serentak, dan pengujian R<sup>2</sup>.

Tabel 14. Koefisien regresi ketangguhan impak model penduga

| Term            | Coef      | SE Coef | T-Value | P-Value |
|-----------------|-----------|---------|---------|---------|
| Constant        | 0,8333    | 0,0108  | 76,84   | 0,000   |
| Suhu            | -0,35750  | 0,00383 | -93,23  | 0,000   |
| H. time         | -0,25417  | 0,00383 | -66,28  | 0,000   |
| NaOH            | -0,22000  | 0,00383 | -57,37  | 0,000   |
| Suhu*Suhu       | -0,03833  | 0,00717 | -5,34   | 0,000   |
| H. time*H. time | 0,07500   | 0,00717 | 10,45   | 0,000   |
| NaOH*NaOH       | 0,07667   | 0,00717 | 10,69   | 0,000   |
| Suhu*H. time    | 0,06000   | 0,00542 | 11,06   | 0,000   |
| Suhu*NaOH       | 0,00500   | 0,00542 | 0,92    | 0,364   |
| H. time*NaOH    | -0,00167  | 0,00542 | -0,31   | 0,761   |
| S               | 0,0187849 | R-sq    | 99,83%  |         |

Model persamaan orde kedua diambil dari nilai tabel 14 kolom pertama seperti pada persamaan 3. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa faktor yang paling berpengaruh yaitu suhu pemanasan dengan nilai koefisien sebesar 0,3575.

$$I = 4,55 + 0,01372 \text{ Suhu} - 0,3735 \text{ H. time} - 0,1823 \text{ NaOH} - 0,000015 \text{ Suhu*Suhu} + 0,003000 \text{ H. time*H. time} + 0,003067 \text{ NaOH*NaOH} + 0,000240 \text{ Suhu*H. time} + 0,000020 \text{ Suhu*NaOH} - 0,000067 \text{ H. time*NaOH} \quad (3)$$

### 3.3.2. Pengujian kesesuaian model impak

Ada beberapa pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui kesesuaian model di atas, pengujian tersebut sebagai berikut:

1. Uji *lack of fit*

Tujuan dari uji *lack of fit* ini yaitu untuk mengetahui kesesuaian model yang telah dihasilkan. Adapun hipotesis yang digunakan pada pengujian *lack of fit* adalah sebagai berikut:

- a.  $H_0$  = tidak ada *lack of fit* dalam model
- b.  $H_1$  = ada *lack of fit* dalam model

Daerah penolakan pada pengujian *lack of fit* ini adalah hipotesis awal ( $H_0$ ) akan ditolak bila *p-value* kurang dari  $\alpha$  (0.05). Adapun sebaliknya, hipotesis awal akan diterima apabila *p-value* melebihi nilai  $\alpha$  (0,05).

Tabel 15. *Analysis of Variance* untuk ketangguhan impact

| Source            | DF | Adj SS  | Adj MS  | F-Value | P-Value |
|-------------------|----|---------|---------|---------|---------|
| Model             | 9  | 5,94300 | 0,66033 | 1871,30 | 0,000   |
| Linear            | 3  | 5,77937 | 1,92646 | 5459,34 | 0,000   |
| Suhu              | 1  | 3,06735 | 3,06735 | 8692,49 | 0,000   |
| H. time           | 1  | 1,55042 | 1,55042 | 4393,69 | 0,000   |
| NaOH              | 1  | 1,16160 | 1,16160 | 3291,83 | 0,000   |
| Square            | 3  | 0,12010 | 0,04003 | 113,45  | 0,000   |
| Suhu*Suhu         | 1  | 0,01008 | 0,01008 | 28,55   | 0,000   |
| H. time*H. time   | 1  | 0,03857 | 0,03857 | 109,31  | 0,000   |
| NaOH*NaOH         | 1  | 0,04030 | 0,04030 | 114,22  | 0,000   |
| 2-Way Interaction | 3  | 0,04353 | 0,01451 | 41,12   | 0,000   |
| Suhu*H. time      | 1  | 0,04320 | 0,04320 | 122,42  | 0,000   |
| Suhu*NaOH         | 1  | 0,00030 | 0,00030 | 0,85    | 0,364   |
| H. time*NaOH      | 1  | 0,00003 | 0,00003 | 0,09    | 0,761   |
| Error             | 29 | 0,01023 | 0,00035 |         |         |
| Lack-of-Fit       | 3  | 0,00063 | 0,00021 | 0,57    | 0,639   |
| Pure Error        | 26 | 0,00960 | 0,00037 |         |         |
| Total             | 38 | 5,95323 |         |         |         |

Berdasarkan data pada tabel 15 ditunjukkan bahwa nilai *p-value* uji *lack of fit* sebesar 0,639. Dapat disimpulkan *p-value* uji *lack of fit* lebih dari (0,05) sehingga dapat dinyatakan model tidak mengandung *lack of fit* atau model yang didapatkan telah sesuai.

2. Uji parameter serentak

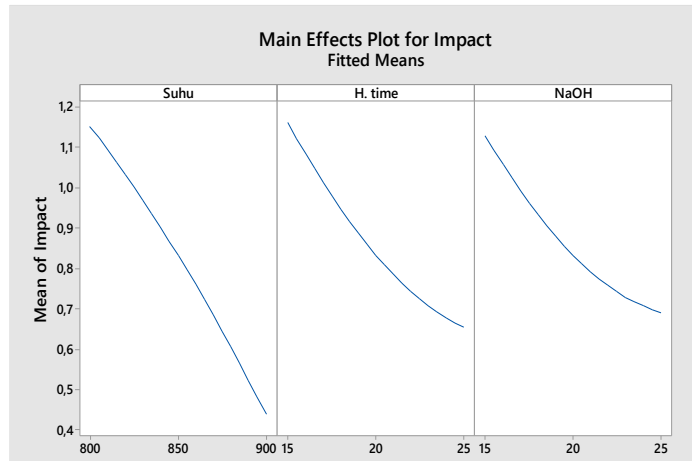
Daerah penolakan yaitu jika *p-value* lebih dari  $\alpha$  (0,05). Analisis statistik *p-value* akan digunakan untuk mengevaluasi *output* uji parameter serentak dengan nilai toleransi sebesar (0,05). Pemeriksaan dilakukan pada 2 regresi, yaitu linear dan kuadratik/*square*. Tabel 15 menunjukkan nilai *p-value* untuk linear sebesar 0,000 yang berarti lebih kecil dari 0,05. Sedangkan nilai *p-value* yang didapat untuk kuadratik/*square* sebesar 0,000 yang berarti lebih kecil dari nilai toleransi 0,05. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan variabel  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  memberikan kontribusi yang nyata terhadap model yang terbentuk.

3. Pengujian koefisien determinasi ( $R^2$ )

Nilai koefisien determinasi terletak antara  $0 < R^2 < 1$ . Apabila semakin besar nilai  $R^2$  yang diperoleh maka akan semakin besar pengaruh variabel-variabel X terhadap variabel Y. Oleh karena itu untuk mendapatkan model yang baik nilai  $R^2$  diharapkan mendekati 1. Tabel 14 menunjukkan bahwa nilai  $R^2$  atau R-sq untuk ketangguhan impact adalah 99,83%. Dari nilai  $R^2$  yang didapatkan disimpulkan bahwa 99,83% mendekati 1 sehingga dapat dinyatakan variabel-variabel X (proses) berpengaruh terhadap variabel Y (respon).

**3.3.3. Analisis factorial plots impact**

Grafik *factorial plots* bertujuan untuk melihat bagaimana faktor mempengaruhi respon melalui grafik garis. Gambar berikut ini merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh dari setiap faktor terhadap tingkat ketangguhan impact yang dihasilkan.

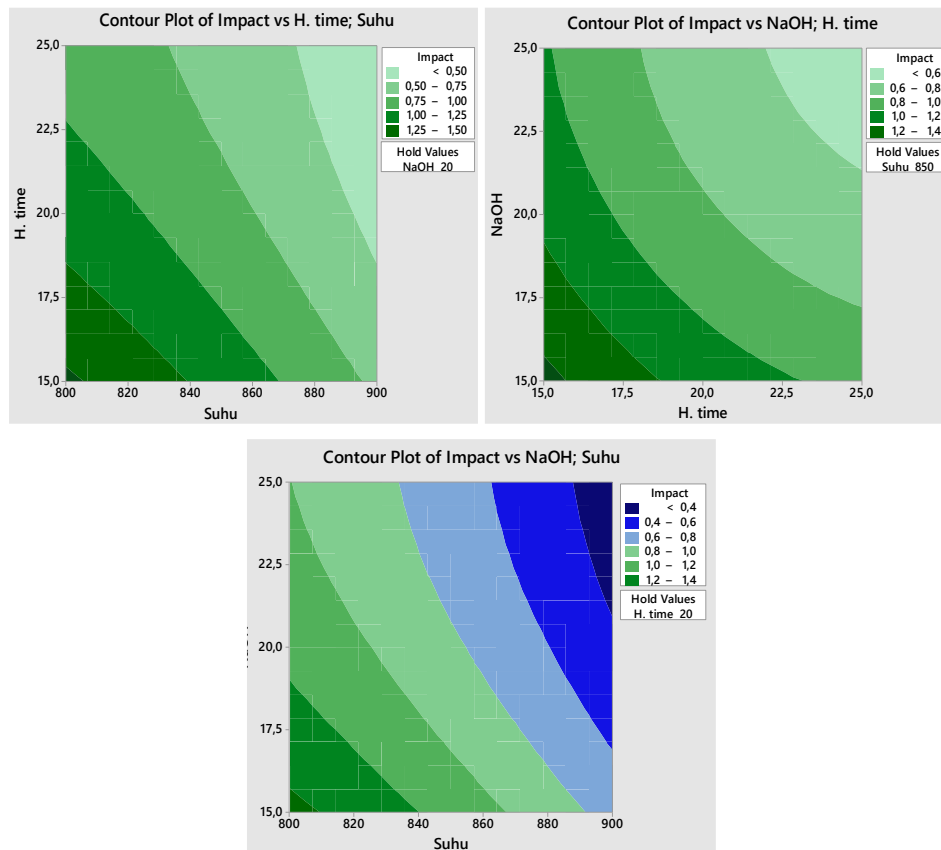


Gambar 10. Grafik *factoral plots impact*

Dari grafik pada gambar 10 tersebut diketahui bahwa semakin tinggi suhu pemanasan yang digunakan maka tingkat ketangguhan impaknya akan rendah. Begitupun dengan faktor- faktor lainnya, semakin meningkat *holding time* dan konsentrasi NaOH yang digunakan maka tingkat ketangguhan impact dari baja akan semakin menurun.

### 3.3.4. Analisis *contour plot impact* dan *surface plot impact*

Gambar-gambar berikut ini merupakan grafik yang menggambarkan hubungan antara tingkat ketangguhan impact yang didapatkan dengan variabel bebas. Gambar diperoleh dengan memvariasi dua faktor sementara satu faktor sisanya dianggap konstan pada nilai tengahnya.

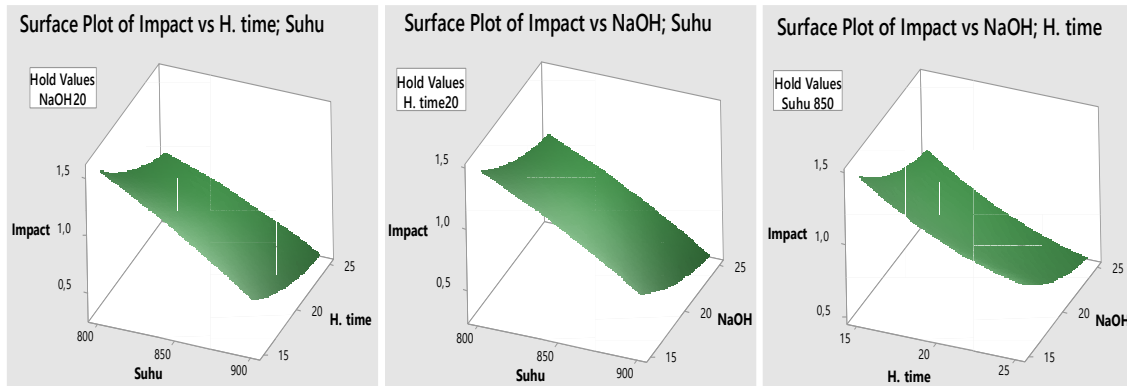


Gambar 11. *Contour plot impact* pada berbagai faktor

Pada hubungan *holding time* dan suhu ditunjukkan bahwa harga impact minimum didapatkan pada saat suhu pemanasan berada pada level 875-900 °C dengan *holding time* berada pada level 18,5-25 menit pada konsentrasi

NaOH 20%. Pada hubungan NaOH dan *holding time* ditunjukkan bahwa harga impact minimum didapatkan pada saat *holding time* berada pada level 22-25 menit dengan konsentrasi NaOH berada pada level 21,5-25% pada suhu 850 °C. Pada hubungan NaOH dan suhu ditunjukkan bahwa harga impact minimum didapatkan pada saat suhu pemanasan berada pada level 888-900 °C dengan konsentrasi NaOH berada pada level 21-25% pada *holding time* 20 menit.

Adapula *surface plot* yaitu grafik tiga dimensi yang bertujuan membantu visualisasi dari besarnya respon untuk setiap faktor.

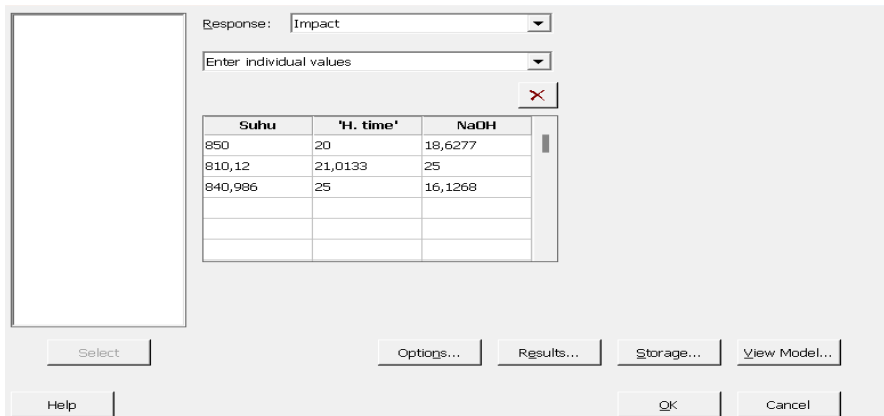


Gambar 12. *Surface plot impact* pada berbagai faktor

Berdasarkan grafik *surface plot* pada gambar 12 dapat dilihat bahwa penurunan harga impact berbanding terbalik dengan meningkatnya suhu, *holding time*, dan konsentrasi NaOH. Semakin tinggi suhu, *holding time*, dan konsentrasi NaOH maka semakin rendah harga impact yang diperoleh.

### 3.3.5. Optimasi *response impact*

Untuk mencari kombinasi level-level variabel proses yang dapat menghasilkan respon yang optimum (target, minimum, dan maksimum) maka digunakan metode *response surface* dengan pendekatan fungsi *predict*. Dari persamaan 3 maka dapat diprediksi harga impact yang ideal sesuai dengan tingkat kekerasannya. Suhu pemanasan, *holding time*, dan konsentrasi NaOH pada tabel 9, 10, dan 11 akan diaplikasikan sebagai variabel dalam persamaan 3 untuk menentukan harga impact yang dihasilkan.

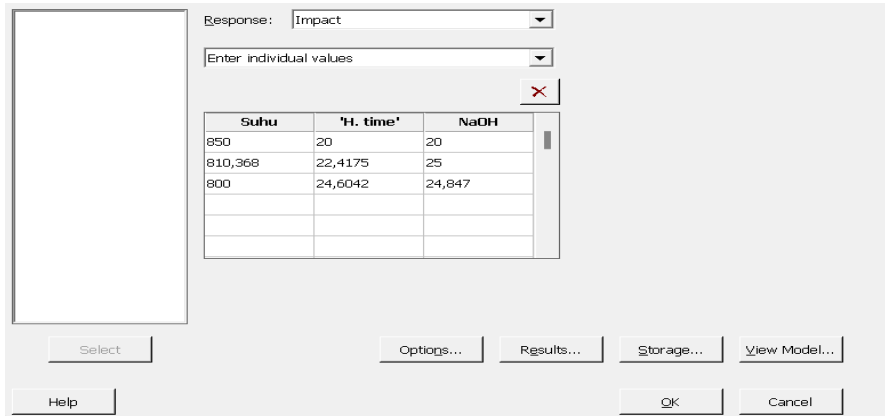


Gambar 13. Pengaturan untuk mencari harga impact dari 55 HRC

Dari pengaturan pada gambar 13, harga impact yang dihasilkan sebesar 0,899490 J/mm<sup>2</sup>, 0,888302 J/mm<sup>2</sup>, dan 0,924969 J/mm<sup>2</sup>.

Tabel 16. Harga impact dari 55 HRC

| <i>Solution</i> | Suhu    | <i>H. time</i> | NaOH    | Harga Impact |
|-----------------|---------|----------------|---------|--------------|
| 1               | 850     | 20             | 18,6277 | 0,899490     |
| 2               | 810,12  | 21,0133        | 25      | 0,888302     |
| 3               | 840,986 | 25             | 16,1268 | 0,924969     |

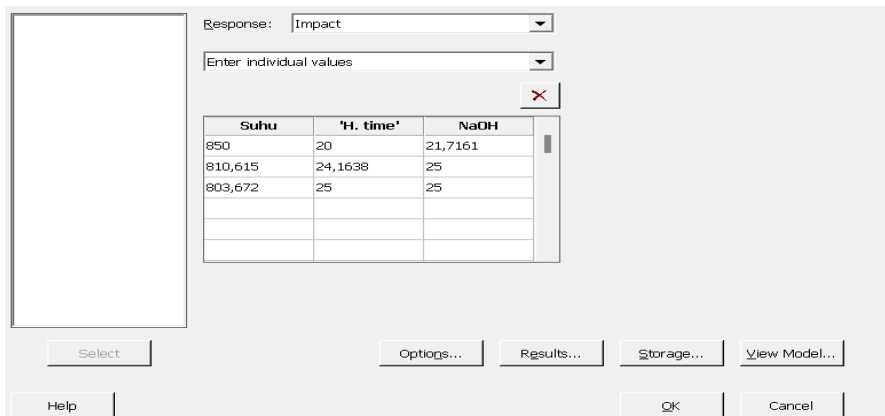


Gambar 14. Pengaturan untuk mencari harga impact dari 56 HRC

Dari pengaturan pada gambar 14, harga impact yang dihasilkan sebesar 0,833333 J/mm<sup>2</sup>, 0,816165 J/mm<sup>2</sup>, dan 0,779242 J/mm<sup>2</sup>.

Tabel 17. Harga impact dari 56 HRC

| <i>Solution</i> | Suhu    | <i>H. time</i> | NaOH   | Harga Impact |
|-----------------|---------|----------------|--------|--------------|
| 1               | 850     | 20             | 20     | 0,833333     |
| 2               | 810,368 | 22,4175        | 25     | 0,816165     |
| 3               | 800     | 24,6042        | 24,847 | 0,779242     |



Gambar 15. Pengaturan untuk mencari harga impact dari 57 HRC

Dari pengaturan pada gambar 15, harga impact yang dihasilkan sebesar 0,766856 J/mm<sup>2</sup>, 0,743486 J/mm<sup>2</sup>, dan 0,747276 J/mm<sup>2</sup>.

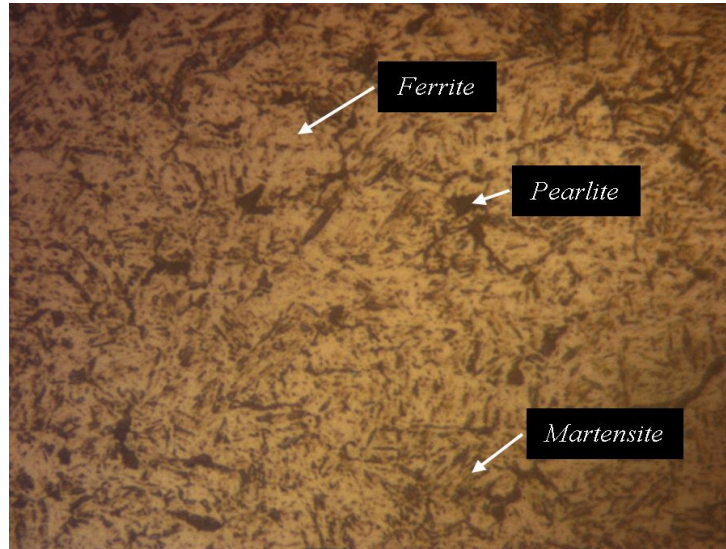
Tabel 18. Harga impact dari 57 HRC

| <i>Solution</i> | Suhu    | <i>H. time</i> | NaOH    | Harga Impact |
|-----------------|---------|----------------|---------|--------------|
| 1               | 850     | 20             | 21,7161 | 0,766856     |
| 2               | 810,615 | 24,1638        | 25      | 0,743486     |
| 3               | 803,672 | 25             | 25      | 0,747276     |

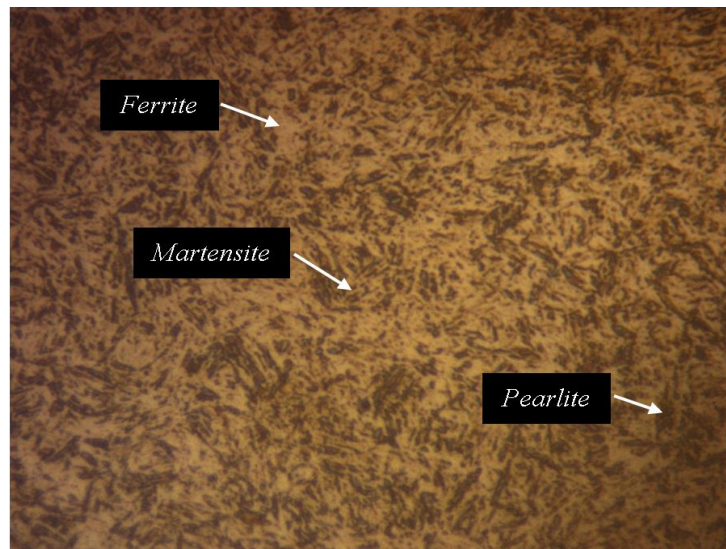
### 3.4. Struktur mikro

Pengujian ini dilakukan guna memperlihatkan struktur-struktur yang ada pada permukaan baja. Pada pengujian ini, sampel yang diambil yaitu sampel nomor 1, 24, dan 35. Beberapa sampel tersebut diambil berdasarkan tingkat kekerasan dan variasi pada faktornya. Berikut adalah gambar dari masing-masing sampel.

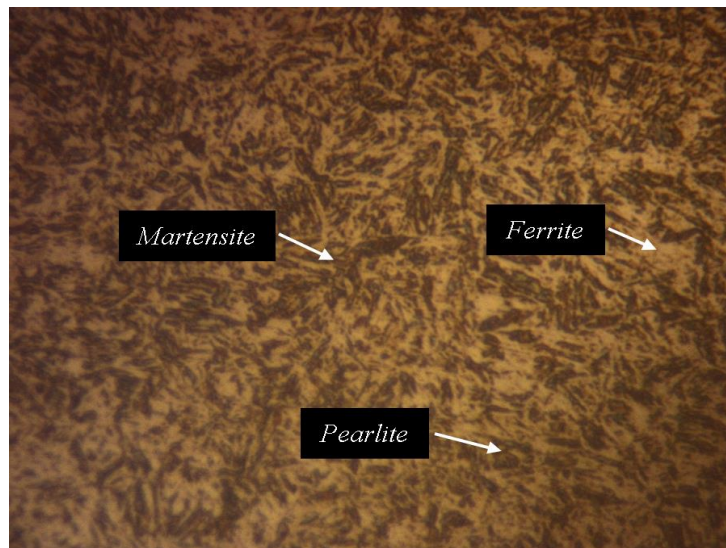




Gambar 16. Baja no. 1 (800 °C, 15', 20%) 44 HRC



Gambar 17. Baja no. 24 (850 °C, 25', 15%) 56 HRC



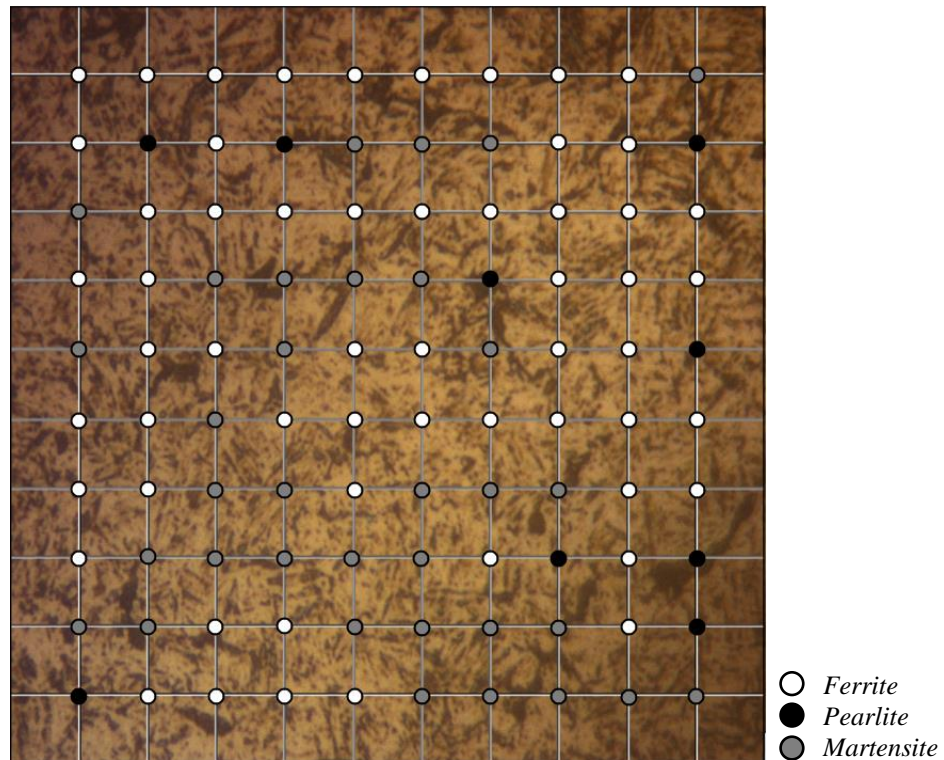
Gambar 18. Baja no. 35 (900 °C, 20', 25%) 66 HRC

### 3.4.1. Analisis struktur mikro

Pada gambar 16, 17, dan 18 terlihat persebaran *martensite* yang berbeda-beda dari masing-masing baja. Dengan menggunakan standar pengujian ASTM E562 maka dihitung persentase tiap mikrostruktur, lalu dimasukkan ke persamaan 4 untuk dicari hasilnya.

$$P_{MS}(\ ) = \frac{Q_{MS}(\ )}{Q_o} \times 100\% \quad (4)$$

dengan:  $P_{MS}(\ )$  = Persentase Mikrostruktur Tertentu (%)  
 $Q_{MS}(\ )$  = Jumlah Titik Mikrostruktur Tertentu  
 $Q_o(\ )$  = Jumlah Titik Total



Gambar 19. Persentase fasa spesimen no. 1 (800 °C, 15', 20%) 44 HRC

Dari gambar tersebut dicari persentase *ferrite* yaitu:

$$P_{MS}(F) = \frac{Q_{MS}(F)}{Q_o} \times 100\%$$

$$P_{MS}(F) = \frac{57}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(F) = 57\%$$

Maka, persentase *ferrite* dari hasil pengujian struktur mikro tersebut sebesar 57%.

Lalu dicari persentase *pearlite* yaitu:

$$P_{MS}(P) = \frac{Q_{MS}(P)}{Q_o} \times 100\%$$

$$P_{MS}(P) = \frac{9}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(P) = 9\%$$

Kemudian dicari persentase *martensite* yaitu:

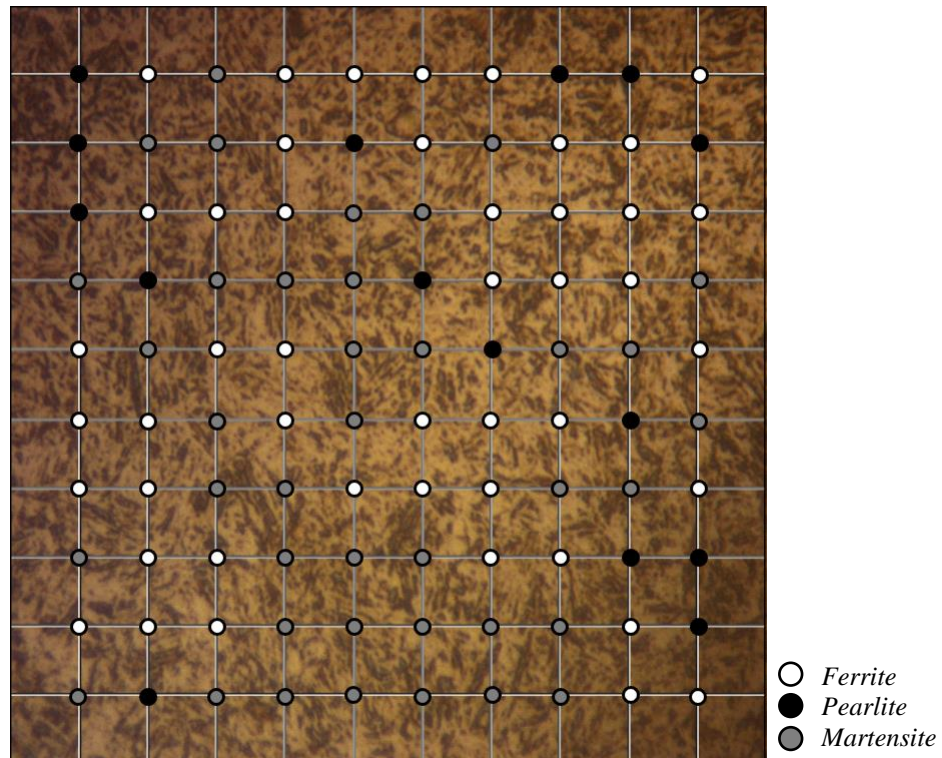
$$P_{MS}(M) = \frac{Q_{MS}(M)}{Q_o} \times 100\%$$

$$P_{MS}(M) = \frac{34}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(M) = 34\%$$

Tabel 19. Persentase fasa spesimen no. 1 (800 °C, 15', 20%) 44 HRC

| Spesimen                        | Ferrite | Pearlite | Martensite |
|---------------------------------|---------|----------|------------|
| No. 1 (800 °C, 15', 20%) 44 HRC | 57%     | 9%       | 34%        |



Gambar 20. Persentase fasa spesimen no. 24 (850 °C, 25', 15%) 56 HRC

Dari gambar tersebut dicari persentase *ferrite* yaitu:

$$P_{MS}(F) = \frac{Q_{MS}(F)}{Q_n} \times 100\%$$

$$P_{MS}(F) = \frac{46}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(F) = 46\%$$

Maka, persentase *ferrite* dari hasil pengujian struktur mikro tersebut sebesar 46%.

Lalu dicari persentase *pearlite* yaitu:

$$P_{MS}(P) = \frac{Q_{MS}(P)}{Q_n} \times 100\%$$

$$P_{MS}(P) = \frac{15}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(P) = 15\%$$

Kemudian dicari persentase *martensite* yaitu:

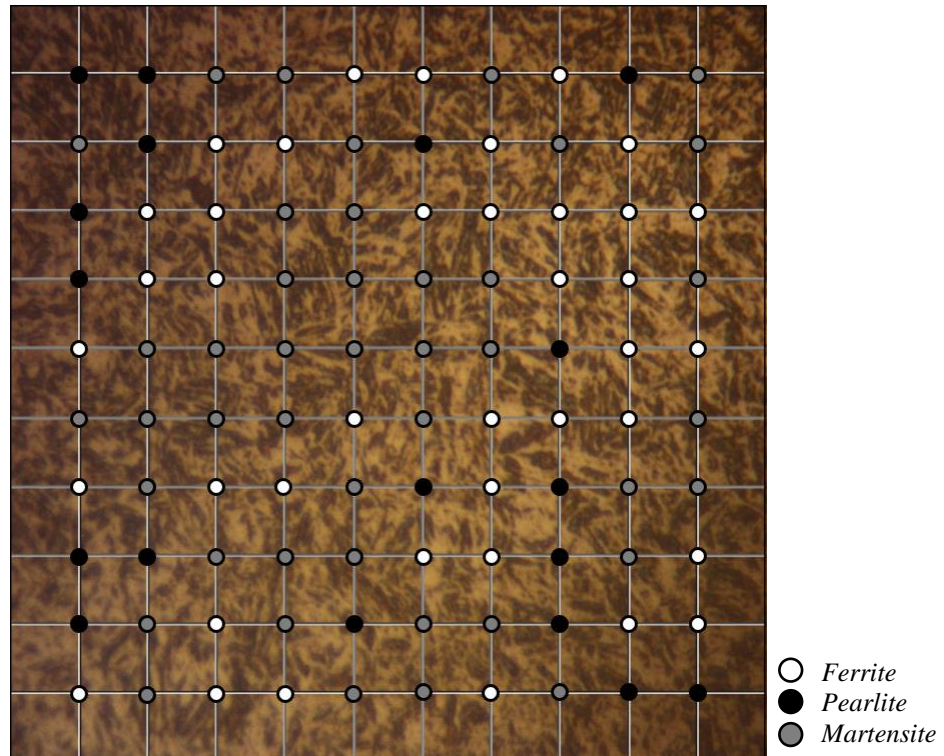
$$P_{MS}(M) = \frac{Q_{MS}(M)}{Q_n} \times 100\%$$

$$P_{MS}(M) = \frac{39}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(M) = 39\%$$

Tabel 20. Persentase fasa spesimen no. 24 (850 °C, 25', 15%) 56 HRC

| Spesimen                      | Ferrite | Pearlite | Martensite |
|-------------------------------|---------|----------|------------|
| No. 24 (850, 25', 15%) 56 HRC | 46%     | 15%      | 39%        |



Gambar 21. Persentase fasa spesimen no. 35 (900 °C, 20', 25%) 66 HRC

Dari gambar tersebut dicari persentase *ferrite* yaitu:

$$P_{MS}(F) = \frac{Q_{MS}(F)}{Q_o} \times 100\%$$

$$P_{MS}(F) = \frac{39}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(F) = 39\%$$

Maka, persentase *ferrite* dari hasil pengujian struktur mikro tersebut sebesar 39%.

Lalu dicari persentase *pearlite* yaitu:

$$P_{MS}(P) = \frac{Q_{MS}(P)}{Q_o} \times 100\%$$

$$P_{MS}(P) = \frac{18}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(P) = 18\%$$

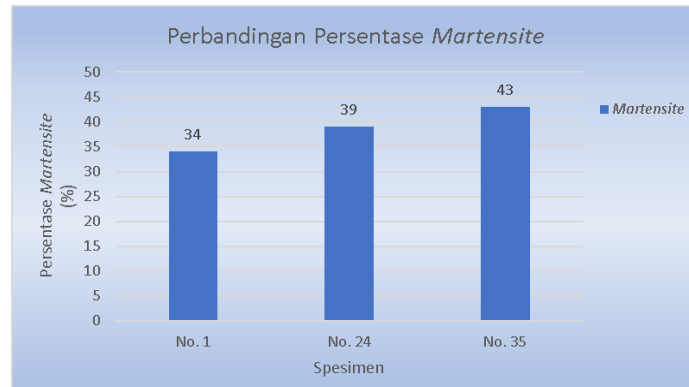
Kemudian dicari persentase *martensite* yaitu:

$$P_{MS}(M) = \frac{Q_{MS}(M)}{Q_o} \times 100\%$$

$$P_{MS}(M) = \frac{43}{100} \times 100\%$$

$$P_{MS}(M) = 43\%$$

| Tabel 21. Persentase fasa spesimen no. 35 (900 °C, 20', 25%) 66 HRC |                |                 |                   |
|---|----------------|-----------------|-------------------|
| Spesimen  | <i>Ferrite</i> | <i>Pearlite</i> | <i>Martensite</i> |
| No. 35 (900 °C, 20', 25%) 66 HRC                                    | 39%            | 18%             | 43%               |



Gambar 22. Perbandingan persentase *martensite* dari beberapa spesimen

Berdasarkan grafik pada gambar 22 terlihat bahwa adanya kenaikan persentase *martensite* dari spesimen no. 1 hingga spesimen no. 35. Spesimen no. 1 memiliki persentase *martensite* terendah yaitu sebesar 34%, sementara spesimen no. 35 dengan persentase *martensite* terbanyak yaitu sebesar 43%. Sedangkan untuk spesimen no. 24 terletak di antara kedua spesimen tersebut dengan persentase *martensite* yaitu sebesar 39%.

### 3.5. Pembahasan

#### 3.5.1. Hubungan kekerasan dan ketangguhan impact

Pada gambar 4 dan 10 terlihat jelas perbedaan pengaruh masing-masing faktor terhadap nilai dari kekerasan dan ketangguhan impact baja. Pada gambar 4 menunjukkan bahwa setiap faktor menghasilkan hasil yang meningkat pada nilai kekerasan baja, sedangkan untuk gambar 10 menunjukkan bahwa setiap faktor menghasilkan hasil yang menurun pada nilai ketangguhan baja. Hal ini membuktikan bahwa semakin keras baja maka semakin getas baja tersebut. Ini dikarenakan baja yang memiliki sifat keras memiliki fasa *martensite*, fasa yang dikenal memiliki sifat keras dan getas. *Martensite* memiliki sifat tersebut disebabkan oleh struktur kristalnya yang berbentuk BCT (*Body Centered Tetragonal*). Struktur kristal tersebut mempunyai kerapatan dislokasi yang tinggi. Kerapatan dislokasi mengakibatkan semakin sedikitnya pergerakan garis dislokasi, garis ini akan semakin sulit bergerak dengan adanya hambatan. Hambatan tersebut terbentuk karena disebabkan oleh banyaknya atom karbon yang membentuk garis dislokasi. (Abidah dan Drastiawati, 2019).

#### 3.5.2. Hubungan suhu pada sifat mekanik dan fisik baja

Pada tabel 7 dan 14, suhu pemanasan merupakan faktor yang paling berpengaruh bila dilihat dari nilai koefisiennya. Menurut Wibisono (2021) tinggi rendahnya suhu pemanasan berpengaruh terhadap kelarutan karbon, kerapatan dislokasi, struktur *martensite*, laju difusi kedalam permukaan, difusivitas karbon di dalam baja, getaran atom, dan laju reaksi pembentukan gas CO<sub>2</sub> dan CO. Dalam proses transisi, peningkatan suhu pemanasan akan mengakibatkan kenaikan kemampularutan karbon yang menyebabkan semakin banyak karbon yang larut ke dalam fasa *austenite*. Hal ini yang menjadi penyebab perbedaan persentase *martensite* dari setiap spesimen yang diberi variasi suhu pemanasan seperti yang tertera pada gambar 22. Semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin banyak atom karbon yang larut ke dalam fasa *austenite* dan semakin banyak pula fasa *martensite* yang terbentuk karenanya. Dan semakin rendah suhu pemanasan maka akan sedikit atom karbon yang larut ke dalam fasa *austenite* disebabkan kemampularutan karbon yang rendah, akibatnya fasa *martensite* yang terbentuk akan sedikit.

#### 3.5.3. Hubungan *holding time* pada sifat mekanik dan fisik baja

Pada gambar 4 dan 10 tentang grafik *factorial plots* dari masing-masing sifat mekanik terlihat bahwa adanya pengaruh yang signifikan dari variasi *holding time* atau waktu tahan yang diterapkan pada baja. Semakin lama *holding time* maka semakin tinggi tingkat kekerasan dan semakin rendah ketangguhan impact dari baja tersebut.

*Holding time* atau waktu tahan adalah salah satu faktor yang berpengaruh pada sifat mekanik baja. Hal ini karena waktu tahan berfungsi untuk memberikan waktu bagi *austenite* menjadi homogen dan terjadi difusi karbon yang tepat akan memaksimalkan peningkatan kekerasan. Menurut Thelning (1967) waktu penahanan atau *holding time* sangat berpengaruh terhadap transformasi fasa dan difusi karbon dengan elemen unsur lainnya yang terdapat pada baja. Bila waktu tahan terlalu cepat atau kurang tepat sesuai dengan klasifikasi baja maka akan mengakibatkan proses transformasi tidak sempurna dan tidak homogen. (Pramono, 2011).

Jika *holding time* yang ditentukan terlalu lambat ataupun terlalu cepat, maka perubahan yang terjadi akan menjadi tidak sempurna atau baik serta berbeda dari keinginan. Sementara itu, *holding time* yang cepat atau singkat akan menciptakan kekerasan yang rendah, ini disebabkan karena sedikitnya jumlah karbida yang larut. Selain itu

pula, jika waktu tahan terlalu lambat atau lama maka perubahan akan terjadi tetapi tumbuh butiran-butiran, hal ini yang bisa menurunkan nilai dari kekerasan. Apabila butir menjadi lebih besar maka dislokasi semakin mudah terjadi karena sedikit yang menghalangi pergerakannya sehingga membuat nilai kekerasan menurun. (Sitorus, 2011).

#### **3.5.4. Hubungan NaOH pada sifat mekanik dan fisik baja**

Pada gambar 4 dan 10 tentang grafik *factorial plots* dari masing-masing sifat mekanik terlihat bahwa adanya pengaruh yang signifikan dari variasi konsentrasi NaOH sebagai media quenching baja. Semakin tinggi konsentrasi NaOH maka semakin tinggi tingkat kekerasan dan semakin rendah ketangguhan impak dari baja tersebut.

Dalam *quenching* terdapat tiga tahapan dalam proses pendinginan dengan media pendingin dalam cairan. Tiga tahapan tersebut menurut Totten (1993) yaitu:

1. *Vapor blanket*
2. *Nucleate boiling*
3. *Convective cooling*

Pada tahap pertama adalah *vapor blanket stage* yang ditandai dengan munculnya selimut uap yang mengelilingi benda uji dan dikenal dengan fenomena Leidenfrost. Terjadinya selimut uap akibat suplai panas dari benda uji kepermukaan dengan jumlah panas yang mampu menguapkan media pendingin. Pada tahapan ini laju pendinginan relatif lambat karena selimut uap yang terbentuk bertindak sebagai isolator panas.

Pada tahap *nucleate boiling stage*, selimut uap yang terbentuk pada tahap pertama pecah. Pada tahap ini media pendingin telah menyentuh permukaan benda uji karena selimut uap yang terbentuk telah pecah. Cairan pendingin yang menyentuh permukaan benda uji dengan segera menguap.

Pada tahap ketiga yaitu tahap *convective cooling stage*, proses pendinginan memasuki tahap yang terakhir. Tahap ini dimulai ketika temperatur benda kerja turun dan berada di bawah temperatur didih dari media pendingin. Pada tahapan ini tidak lagi terdapat fasa uap. Proses pendinginan terjadi dengan mekanisme perpindahan panas konduktif dan konveksi ke media pendingin. Pada tahap tiga ini laju pendinginan bergantung pada viskositas dari media pendingin.

Penambahan garam (*Brine*) dan soda kaustik (NaOH) pada air berfungsi untuk meningkatkan kapasitas pendinginannya. Ketika baja di-*Quenching* di dalam larutan tersebut, lapisan NaOH akan mengganggu selimut uap yang terbentuk di sekitar baja. Tahap selimut uap tidak diinginkan pada pendinginan baja karena perpindahan panas yang rendah dan pendinginan non-seragam yang dapat menyebabkan distorsi dan retak, terutama karena tekanan panas dan transformasi yang tidak merata yang dihasilkan melalui bagian yang ter-*Quenching*. Semakin cepat selimut uap hancur atau menghilang maka semakin cepat pula proses pendinginan yang akan terjadi dan hal itu menyebabkan semakin banyak pula atom-atom karbon yang tidak sempat berdifusi keluar dan fasa *martensite* yang tercipta akan banyak pula. Dengan banyaknya fasa *martensite* akan menyebabkan baja memiliki sifat keras dan getas.

## **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **4.1. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Semakin tinggi suhu pemanasan, *holding time*, dan konsentrasi NaOH yang diaplikasikan pada baja maka nilai kekerasan yang dihasilkan semakin tinggi. Kekerasan optimum diperoleh pada variasi suhu 850 °C, *holding time* 20 menit, dan konsentrasi NaOH 20% dengan nilai 56 HRC.
2. Semakin tinggi suhu pemanasan, *holding time*, dan konsentrasi NaOH yang diaplikasikan pada baja maka nilai ketangguhan impak yang dihasilkan semakin rendah. Ketangguhan impak tertinggi diperoleh pada variasi suhu 800 °C, *holding time* 15 menit, dan konsentrasi NaOH 20% dengan rata-rata sebesar 1,54 J/mm<sup>2</sup>.

### **4.2. Saran**

Mengingat tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk penelitian selanjutnya diharapkan:

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan variasi konsentrasi NaOH dibuat lebih tinggi hingga batas larutnya agar dapat dilihat pengaruhnya terhadap sifat mekanik maupun fisik pada baja.
2. Usahakan pada saat menggunakan, mengambil, maupun mencampur NaOH dalam air selalu menggunakan sarung tangan agar tidak terkena larutan yang dapat menyebabkan iritasi.
3. Untuk penelitian selanjutnya terkait *heat treatment* dengan metode *quenching*, pengamatan struktur mikro dapat dilakukan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan diamati bagian patahan takik guna melihat seberapa dalam perubahan struktur mikro yang terjadi dari permukaan baja.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, yang telah memberikan petunjuk serta jalan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Yang kedua penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin di Universitas Negeri Mataram atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini. Yang terakhir penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan.

## DAFTAR NOTASI

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| %     | : Tanda persen        |
| °     | : Derajat             |
| °C    | : Derajat celcius     |
| '     | : menit               |
| in.   | : Inchi               |
| J     | : Joule               |
| mm    | : Milimeter           |
| $X$   | : Variabel bebas      |
| $X_1$ | : Variabel bebas ke 1 |
| $X_2$ | : Variabel bebas ke 2 |
| $X_3$ | : Variabel bebas ke 3 |
| $Y$   | : Respon              |

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidah, A. F., Drastiawati, N. S., Analisis SS400 hasil carburizing media arang Tempurung kelapa-BaCO<sub>3</sub> dengan variasi temperatur pemanasan dan holding time ditinjau dari pengujian kekerasan dan struktur mikro, *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 1-8, 2019.
- Achmadi, A., Studi eksperimen pengaruh perlakuan quenching dengan variasi pendingin konsentrasi air garam terhadap kekerasan dan kekuatan tarik pada baja ST 37, *SIMETRIS*, 11(2), 34-42, 2017.
- Alam, M. N., Pengaruh variasi waktu penahanan panas (holding time) pada proses heat treatment menggunakan baja karbon rendah pada pembuatan gear sepeda motor [Skripsi, Universitas Pancasakti Tegal], 2020.
- ASTM E18., Standard test methods for rockwell hardness of metallic materials, ASTM Internasional, 2019.
- ASTM E23., Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials, ASTM International, 2018.
- ASTM E562., Standard test method for determining volume fraction by systematic manual point count, ASTM Internasional, 2019.
- Bahtiar, B., Iqbal, M., Supramono, S., Pengaruh media pendingin minyak pelumas SAE 40 pada proses quenching dan tempering terhadap ketangguhan baja karbon rendah, *Jurnal Mekanikal*, 5(1), 2014.
- Hanafia, M. K., Pengaruh variasi viskositas pelumas terhadap proses quenching pada baja ST 60 [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang], 2017.
- Haryadi, G. D., Utomo, A. F., Ekaputra, I. M. W., Pengaruh variasi temperatur quenching dan media pendingin terhadap tingkat kekerasan baja AISI 1045, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 255-264, 2021.
- Hrisoulas, J., The master bladesmith, USA: Paladin Enterprises, Inc., 1991.
- Indah, R. P., Analisa pengaruh double hardening dengan media pendingin air dan oli 20 pada baja karbon medium terhadap keausan [Skripsi, Universitas Islam Riau], 2017.
- Lesmanah, U., & Margianto, M., Peningkatan sifat mekanis (ketangguhan) baja carbon rendah dengan perlakuan carburizing variasi holding time dan media quenching dengan standar uji ASTM, In *Konferensi Nasional Life Science dan Teknologi 2020*, 2020.
- Mubarok, F., *Metallurgy I*, Jurusan Teknik Mesin, ITS, 2008.
- Pramono, A., Karakteristik struktur mikro hasil proses hardening baja AISI 1045 media quenching untuk aplikasi sprocket Rantai, *Jurnal Sains dan Teknologi*, 7(2), 115-124, 2011.
- Purwanto, H., Analisa quenching pada baja karbon rendah dengan media solar, *Momentum*, 7(1), 2011.
- Sitorus, A. J., Pengaruh annealing terhadap kekuatan tarik baja karbon dan besi tuang, Blogspot, <http://ardilesjeremia.blogspot.com/2011/08/first-post.html>, 2011.
- Sitorus, S., Analisis sifat mekanik baja karbon menengah yang dipanaskan 850 °C dengan quenching pada larutan NaOH [Skripsi, Universitas Sumatra Utara], 2019.
- Suprayogi, Z. A., Luthfianto, S., Samyono, D., Pengaruh variasi media quenching terhadap sifat mekanis rantai elevator fruit kelapa sawit, *Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(1), 21-30, 2017.
- Taryana, A., Analisis sifat mekanik baja SKD 61 dengan baja ST 41 dilakukan hardening dengan variasi temperatur, *Bina Teknika*, 13(2), 189-199, 2017.
- Thelning, K. E., *Steel and its heat treatment*. Elsevier Ltd., 1967.

**Dinamika Teknik Mesin.** Adzima, dkk.: *Optimasi Ketangguhan Impak dan Kekerasan Baja Karbon Menengah Sebagai Bahan Pisau Dapur Pada Proses Heat Treatment Menggunakan Metode Response Surface.*

Totten, G. E., Bates, C. E., Clinton, N. A., *Handbook of quenchants and quenching technology*, ASM International, 1993.

Wibisono, Y. A., Pengaruh temperatur dan ukuran karbon pada pack carburizing terhadap kekerasan dan struktur mikro baja JIS S45C [Skripsi, Universitas Sanata Dharma], 2021.

Wiyono, K., Pengaruh variasi waktu tahan (holding time) terhadap struktur mikro dan kekerasan (vickers) pada baja St 60 [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang], 2018.