

DESAIN EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK BAHAN ST 41 PADA PROSES *HEAT TREATMENT*

Fransisca Diah Ayu Verayanti¹⁾, dan Sumiati²⁾

^{1, 2)} Program Studi Teknik Industri

Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

e-mail: fransiscadiah62@gmail.com¹⁾, sumiati.ti@upnjatim.ac.id²⁾

ABSTRAK

Baja ST 41 merupakan baja yang tergolong sebagai baja karbon rendah dengan komposisi paduan 0,37-0,43%C, 0,5-0,35%Si, 0,60-0,90%Mn. Baja tersebut terkadang memiliki karakter yang tidak sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan, sehingga perlu adanya perlakuan lain untuk merubah sifat dan struktur dari baja ST 41 itu sendiri. Karakteristik baja dapat diubah dengan metode perlakuan panas atau heat treatment, salah satu cara adalah dengan menggunakan metode quenching. Quenching dengan media pendingin tertentu dapat mempengaruhi sifat kekerasan baja ST 41 tersebut. Proses Pemanasan (Normalizing) pada penelitian ini menggunakan suhu 723oC dengan penahanan suhu selama satu jam. Kemudian didinginkan (Quenching) secara cepat dengan berbagai media pendingin. Media pendingin yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, air garam, minyak kelapa, dan oli, dengan menggunakan holding time pada masing-masing media pendingin yaitu 5 menit sampai 20 menit. Setelah dilakukan proses quenching, baja ST 41 dilakukan uji kekerasan dan Uji Kekuatan Tarik menggunakan metode uji Rockwell dan di analisis Hasil penelitian ini juga merekomendasikan sebuah persamaan umum untuk memprediksi kekerasan bahan ST 41 apabila menggunakan dua komposisi tersebut, yaitu: $Y = 97,2118 + 0,0983 * x - 0,4223 * y + 0,0114 * x * x + 0,0026 * x * y + 0,0023 * y * y$. Dan Hasil penelitian ini juga merekomendasikan sebuah persamaan umum untuk memprediksi kekuatan Tarik bahan ST 41 apabila menggunakan dua komposisi tersebut, yaitu $Y = 46,7828 + 0,3293 * x + 0,2271 * y - 0,0132 * x * x - 1,1689E-14 * x * y - 0,0009 * y * y$. Dengan x_1 dan x_2 masing-masing adalah waktu penahanan dan suhu.

Kata Kunci: Baja ST 41, Holding time, kekerasan dan kekuatan tarik bahan. media Pendingin, suhu. Weights.

ABSTRACT

ST 41 steel is a steel classified as low carbon steel with an alloy composition of 0.37-0.43% C, 0.5-0.35% Si, 0.60-0.90% Mn. The steel sometimes has a character that is not in accordance with the needs that are needed, so the need for other treatments to change the nature and structure of the ST 41 steel itself. The characteristics of steel can be changed by the heat treatment method, one way is to use the quenching method. Quenching with certain cooling media can influence the hardness of the ST 41 steel. The process of heating (Normalizing) in this study uses a temperature of 723oC with a temperature hold for one hour. Then cooled (Quenching) quickly with a variety of cooling media. The cooling media used in this study were water, salt water, coconut oil, and oil, using holding time in each of the cooling media that is 5 minutes to 20 minutes. After quenching, the ST 41 steel is tested for hardness and Tensile Strength Test using the Rockwell test method and analyzed. The results of this study also recommend a general equation to predict the hardness of the ST 41 material when using these two compositions, namely: $Y = 97.2118 + 0.0983 * x - 0.4223 * y + 0.0114 * x * x + 0.0026 * x * y + 0.0023 * y * y$. And the results of this study also recommend a general equation to predict the tensile strength of ST 41 when using these two compositions, namely $Y = 46.7828 + 0.3293 * x + 0.2271 * y - 0.0132 * x * x - 1,1689E-14 * x * y - 0,0009 * y * y$. With x_1 and x_2 respectively the holding time and temperature.

Keywords: ST 41 steel, Holding time, hardness and tensile strength of materials. Cooling media, temperature. Weights.

I. PENDAHULUAN

Baja ST 41 merupakan jenis logam karbon sedang, artinya logam ini terdiri dari campuran ferrite dan pearlite yang kandungannya sama-sama besar atau setara dengan baja S 40 C (JIS, G4051), dengan komposisi paduan 0,37-0,43% C, 0,5-0,35% Si, 0,60-0,90% Mn. Daya tambah baja ST 41 ini memiliki kekuatan dan keuletan cukup baik, artinya kadang kala perlu dinaikkan kekuatannya. Baja ST 41 dipilih pada eksperimen ini dikarenakan bahannya yang mudah didapatkan, selain itu baja ST 41 merupakan logam karbon sedang, dimana baja ini tergolong bersifat lunak namun keuletan dan ketangguhan baja sangat baik, karena sifat tersebut maka dirasa perlu diadakan penelitian kembali, untuk mengetahui rumus kekerasan dan ketangguhan baja ST 41.

Adapun salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menaikkan kekuatannya dengan melakukan pemanasan dan pendinginan dengan bertahap atau cepat sesuai dengan kebutuhan. Perubahan sifat fisik baja ST 41 akan tergantung dengan cara perlakuan pendinginan dengan media pendingin yang telah ditentukan. Dari kendala tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan kekerasan dan kekuatan tarik pada baja ST 41 setelah dilakukan perlakuan panas dengan beberapa macam variasi pendingin seperti air, minyak kelapa, dan OLI SAE. Metode yang digunakan yaitu Uji kekerasan Rockwell, Uji Tarik, *Respon Surface Method*, dan *Analysis Of Variance*, dengan hasil yang menunjukkan kekerasan yang optimal, diharapkan keempat metode penelitian tersebut dapat menemukan rumus yang tepat terhadap kekerasan dan kekuatan tarik bahan ST 41, sehingga metode tersebut akan digunakan sebagai sarana baru guna usaha industri dapat menentukan media pendingin, *holding time*, dan suhu yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik yang optimal dari sebuah baja ST 41.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Desain Eksperimen

Desain eksperimen atau yang sering disebut dengan Rancangan Percobaan adalah suatu pengamatan yang direncanakan dengan baik untuk menemukan fakta-fakta baru untuk memperkuat dan bahkan menolak hasil-hasil percobaan yang pernah dilakukan sebelumnya. (Arikunto, 2011) Fakta-fakta baru ini akan dapat membantu menentukan suatu rekomendasi, misalnya rekomendasi: dosis pemupukan tanaman, ransum pakan yang baik dan murah bagi sapi perah, dosis obat yang tepat untuk pemberantasan penyakit, dan lain-lain. (Sugiyono, 2010) Perancangan percobaan adalah seperangkat aturan yang dipakai untuk mengambil contoh dari populasi yang diteliti, agar diperoleh penduga parameter yang tepat dan teliti dengan biaya, waktu serta tenaga yang terbatas. Dengan kata lain, perancangan percobaan adalah cara untuk mendapatkan jawaban bagi suatu permasalahan dengan tepat dan teliti, sesuai dengan biaya dan tenaga kerja yang tersedia. (Fatimah, 2017)

B. Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi yang berfungsi sebagai unsur dasar dicampur dengan beberapa elemen lainnya, termasuk unsur karbon. Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). (Bachtiar, 2012) Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penambahan kandungan unsur kimia lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn) dan unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2 % hingga 2,14 %, dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur peneras dalam struktur baja. (Taryana, 2017)

Baja ST 41 merupakan jenis logam karbon rendah, artinya logam ini terdiri dari campuran ferrite dan pearlite yang kandungannya sama-sama besar atau setara dengan baja S 40 C (JIS, G4051), dengan komposisi paduan 0,37-0,43% C, 0,5-0,35% Si, 0,60-0,90% Mn.

Daya tambah baja ST 41 ini memiliki kekuatan dan keuletan cukup baik, artinya kadang kala perlu dinaikkan kekuatannya. (Ardiansah, 2019)

C. *Heat Treatment*

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) merupakan suatu proses untuk merubah sifat-sifat dari logam sampai suhu tertentu kemudian didinginkan dengan media pendingin tertentu pula. (Cahyono, 2015) Perlakuan panas atau *Heat Treatment* mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. (Thoriq, 2015)

D. *Holding time*

Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses hardening dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga struktur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. (Sunaryo, 2013) Pedoman untuk menentukan *holding time* dari berbagai jenis baja:

1. Baja Konstruksi dari Baja Karbon dan Baja Paduan Rendah Yang mengandung karbida yang mudah larut, diperlukan *holding time* yang singkat, 5 - 20 menit setelah mencapai temperatur pemanasannya dianggap sudah memadai.
2. Baja Konstruksi dari Baja Paduan Menengah Dianjurkan menggunakan *holding time* 15 -25 menit, tidak tergantung ukuran benda kerja.
3. *Low Alloy Tool Steel* Memerlukan *holding time* yang tepat, agar kekerasan yang diinginkan dapat tercapai. Dianjurkan menggunakan 0,5 menit per milimeter tebal benda, atau 10 sampai 30 menit. (Surdia, 2010)
4. *High Alloy Chrome Steel* Membutuhkan *holding time* yang paling panjang di antara semua baja perkakas, juga tergantung pada temperatur pemanasannya. Juga diperlukan kombinasi temperatur dan *holding time* yang tepat. Biasanya dianjurkan menggunakan 0,5 menit permilimeter tebal benda dengan minimum 10 menit, maksimum 1 jam.
5. *Hot Work Tool Steel* Mengandung karbida yang sulit larut, baru akan larut pada 1000°C. Pada temperatur ini kemungkinan terjadinya pertumbuhan butir sangat besar, karena itu *holding time* harus dibatasi, 15-30 menit. *High Speed Steel* memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi, 1200-1300°C. Untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir *holding time* diambil hanya beberapa menit saja. Misalkan kita ambil waktu *holding* adalah selama 15 menit pada suhu 8500 . (Rianto, 2014)

E. *Quenching*

Quenching atau pendinginan cepat adalah suatu operasi yang bila cukup cepat akan menghasilkan martensite yang keras. Dengan *Quenching* maka timbulah perbedaan suhu antara permukaan dan inti. Perbedaan ini mengakibatkan tegangan yang tinggi di dalam baja. (Jordi, 2017) Karenanya apabila *quenching* dilakukan begitu drastis dengan mudah akan timbul apa yang disebut *quenching cracks*. Laju *quenching* tergantung pada beberapa faktor yaitu temperatur medium, panas spesifik, panas pada penguapan, konduktivitas termal medium, viskositas dan agretasi (aliran media pendingin). Kecepatan pendinginan dengan air lebih besar dibandingkan pendinginan dengan oli. Pendinginan dengan udara memiliki kecepatan yang paling kecil. (Perdana, 2011)

F. *Media Pendingin*

Media pendingin pada proses perlakuan panas sangat penting dalam pembentukan struktur logam. Pendinginan adalah pemindahan panas dari suatu tempat ke tempat yang lain yang diikuti oleh adanya perubahan-perubahan pada tempat yang diinginkan (dari panas ke dingin). (Januar, 2016)

1. Media pendingin air ($V = 998 \text{ kg/m}^3$)

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H_2O . Artinya satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air memiliki sifat tidak berwarna, tidak terasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku 0°C dan titik didih 100°C . Massa jenis air lebih rendah dari pada air garam sehingga laju pendinginannya lebih lambat dibandingkan dengan air garam. Hal ini disebabkan karena jarak antara atom-atom di dalam air lebih rapat dan menghasilkan struktur martensit yang butirannya lebih besar (Sumanto, 2010)

2. Media pendingin Air Garam ($V = 1025 \text{ kg/m}^3$)

Air Garam dipakai sebagai bahan pendinginan disebabkan memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Bahan yang didinginkan di dalam cairan garam yang akan mengakibatkan ikatannya menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan mengikat zat arang. Laju pendinginan lebih sepat dari media pendinginan yang lain. Hal ini disebabkan karena massa jenisnya yang lebih besar dari media pendingin lain. Butiran kristal mampu menyerap menghasilkan martensit bersifat keras dan getas.

3. Media pendingin minyak ($V = 981 \text{ kg/m}^3$)

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah yang dapat memberikan lapisan karbon pada kulit (permukaan) benda kerja yang diolah. Selain minyak yang khusus digunakan minyak bakar atau oli. Viskositas oli dan bahan dasar oli sangat berpengaruh dalam proses pendinginan sampel. Oli mempunyai viskositas lebih rendah, pendinginan lebih lambat karena massa jenisnya lebih kecil dibandingkan dengan air dan air garam sehingga laju pendinginannya lebih lambat dibanding keduanya. Menghasilkan struktur ferit dan pearlit bahkan lebih cepat dibandingkan solar. Minyak dan Oli memiliki titik didih 100°C .

4. Media pendingin udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Untuk keperluan tersebut udara disirkulasikan ke dalam ruangan pendinginan dibuat dengan kecepatan yang rendah. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara. (Prasetyo, 2019)

G. Uji Kekerasan Dan Uji Tarik

1. Uji Kekerasan

Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri adalah suatu keadaan dari material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Di dalam aplikasi manufaktur, material dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik material dan melihat mutu serta spesifikasi kualitas tertentu. (Mustofa, 2016)

Adapun uji kekerasan yang digunakan dalam percobaan ini adalah uji kekerasan Rockwell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Rockwell merupakan metode yang paling umum digunakan karena simple dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi indenter dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras.

Berdasarkan besar beban minor dan major, uji kekerasan rockwell dibedakan atas 2 yaitu Rockwell dan Rockwell superficial untuk bahan tipis. Kekerasan Rockwell bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap

indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.

2. Uji Tarik

Adapun kemampuan bahan untuk menyerap energi sampai patah. Energi merupakan hasil kali gaya dan jarak yang dinyatakan dalam joule, dan ada hubungannya dengan luas daerah dibawah kurva tegangan regangan. (Wiriyosumarto, 2010) Suatu bahan yang ulet memerlukan energi perpatahan yang lebih besar dibanding dengan bahan rapuh (tidak ulet), dan bahan ulet mempunyai sifat tangguh yang lebih baik. Uji tarik ini dilakukan menggunakan mesin sampai bahan uji patah. (Setyawan, 2018)

H. Metode Response Surface

Metode response surface adalah metode yang sering digunakan dalam sebuah desain eksperimen, ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen dengan bantuan statistika untuk mencari nilai yang optimal dari suatu respon. (Irianto, 2010) Peneliti dapat mengetahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal dengan menyusun suatu model matematika.

Permasalahan umum metode permukaan respon adalah hubungan antara variabel respon dengan variabel independen tidak diketahui. Oleh karena itu, langkah pertama dalam metode permukaan respon adalah mencari bentuk hubungan antara respon dengan beberapa variabel independen melalui bentuk hubungan yang dicobakan pertama kali karena merupakan bentuk hubungan yang paling sederhana (*low order polynomial*). Bentuk hubungan linier merupakan jika ternyata bentuk hubungan antara respon dengan variabel independen adalah fungsi linier, pendekatan fungsinya disebut *first order* model, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan berikut $Z = \beta_0 + \beta_1 y_1 + \beta_2 y_2 + \dots + \beta_l y_l + \epsilon_j$. Jika bentuk hubungannya merupakan kuadrat, maka untuk pendekatan fungsinya digunakan derajat polinomial yang lebih tinggi yaitu *second order*. (Iriawan, 2012)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \dots \dots \dots (1)$$

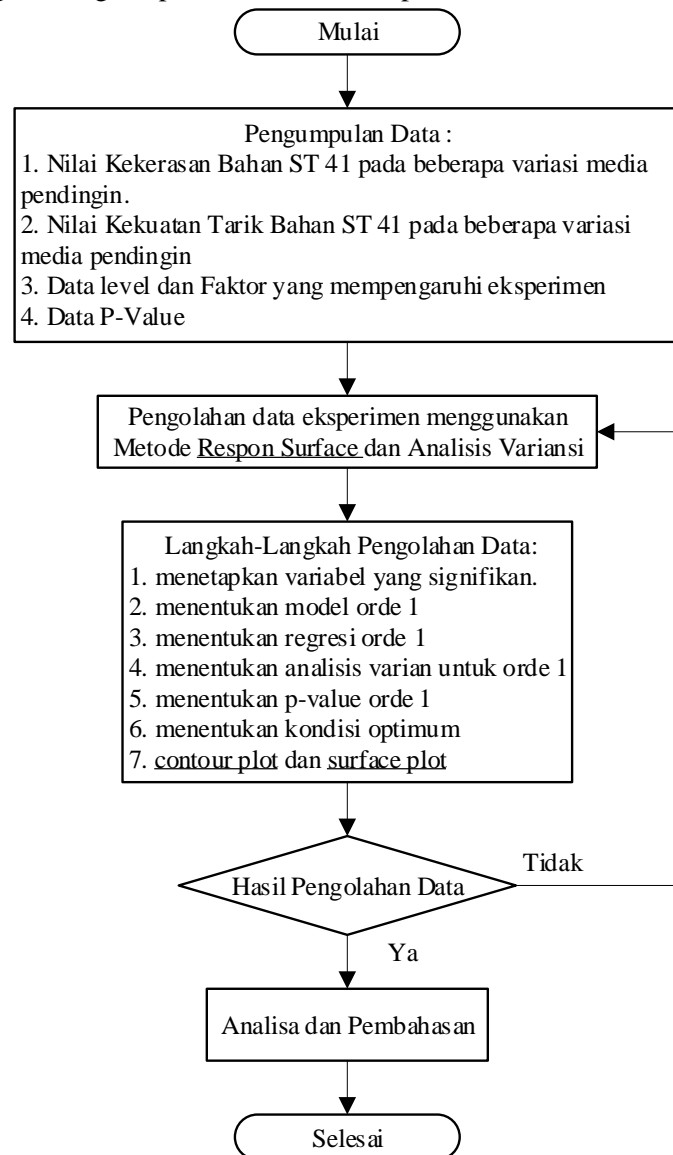
Hampir semua permasalahan dalam metode permukaan respon menggunakan salah satu atau kedua model diatas, setelah diperoleh bentuk hubungan yang paling sesuai, langkah selanjutnya adalah mengoptimisasi hubungan tersebut. Jika permukaan yang paling sesuai dicari melalui pendekatan yang cukup, maka hasil analisis ini akan mendekati fungsi yang sebenarnya. (Yamin, 2014)

I. Analysis Of Variance

Analisis variansi adalah metode statistik untuk menganalisis efek satu atau lebih variabel independen berskala kategorik, yang dinamakan “faktor”, terhadap variabel dependennya, yaitu responnya yang berskala kontinu. Pada awal perkembangannya, analisis variansi dirancang untuk menganalisis data studi eksperimental, namun dalam perkembangan selanjutnya, karena berbagai kendala teoritik ataupun substantif untuk melaksanakan studi eksperimental, analisis variansi juga digunakan untuk menganalisis data studi observasi, walaupun secara teoritik nilai validitas hasilnya dianggap lebih rendah daripada hasil analisis data studi eksperimental. (Sugiyono, 2016)

III. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian, perlu dilakukan langkah-langkah pemecahan masalah. Berikut langkah-langkah pemecahan masalah penelitian ini,



GAMBAR 1 LANGKAH-LANGKAH PEMECAHAN MASALAH

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Sebelum melakukan pengolahan data, maka langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengumpulkan data yang berhubungan dengan objek penelitian yaitu material ST 41.

1. Data Standar Kekerasan Awal Material ST 41

Data historis kekerasan awal material ST 41 yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kekerasan awal pada JIS (*Japanese industrial standards*) SGD290-D *Chemical Composition, standards and properties*. Data tersebut meliputi:

TABEL 1 DATA KEKERASAN AWAL MATERIAL ST 41

Material	Brinell HBW/HB	Rockwell C HRC	Rockwell B HRBS/HRB	Vickers HV
SGD290-D Cold Finished	90-204	-	50-99	-

Sumber: Data JIS SGD290-D *Chemical Composition, standards and properties*.

2. Data Standar Kekuatan Tarik Awal Material ST 41

Data historis kekuatan tarik awal material ST 41 yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kekerasan awal pada JIS (*Japanese industrial standards*) SGD290-D *Chemical Composition, standards and properties*. Data tersebut meliputi:

TABEL II DATA KEKUATAN TARIK AWAL MATERIAL ST 41

<i>Assortment</i>	<i>Yield point or Proof Stress</i>	<i>Tensile strength</i>	<i>Elongation</i>	<i>Reduction of area</i>	<i>Charpy impact strength</i>
-	N/mm ²	N/mm ²	%	%	J/cm ²
340-740					

Sumber: Data JIS SGD290-D *Chemical Composition, standards and properties*.

3. Data *Holding time*

Adapun data *Holding time* yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut: meliputi:

TABEL III DATA *HOLDING TIME*

<i> Holding time</i>	Media pendingin
5 menit	Air
	Air Garam
	Minyak Kelapa
	Oli
10 menit	Air
	Air Garam
	Minyak Kelapa
	Oli
15 menit	Air
	Air Garam
	Minyak Kelapa
	Oli
20 menit	Air
	Air Garam
	Minyak Kelapa
	Oli

4. Data Temperatur Suhu *Heat Treatment*

Dalam penelitian ini digunakan suhu temperatur *heat treatment* sebagai berikut:

TABEL IV DATA TEMPERATUR SUHU *HEAT TREATMENT*

Struktur mikro	Kelarutan karbon	Temperatur
<i> Ferrite</i>	0,025 % - 0,83%	723°C
<i> Pearlite</i>	1% - 2 %	723°C
<i> Austenite</i>	2%	1130°C
<i> Cementite</i>	2% - 4,3 %	1130°C
<i> Lediburite</i>	4,3% - 6,67%	1450°C

5. Data Kekerasan Material ST 41 Setelah Hasil Uji (HRC)

Berdasarkan table 1 diketahui standar awal kekerasan material ST 41, kemudian didapatkan hasil kekerasan dari material ST 41 yang telah diuji oleh mesin Rockwell, yaitu sebagai berikut:

TABEL V HASIL UJI MESIN ROCKWELL

Media pendingin	Holding time (menit)	Kekerasan Baja ST 41 (HRC)
Air	5	79
	10	79,5
	15	82
	20	82,5
Air Garam	5	69
	10	69,5
	15	70
	20	73
Minyak Kelapa	5	59
	10	62
	15	62,5
	20	63
Oli	5	52
	10	52,5
	15	53,5
	20	55

6. Data Kekuatan Tarik Material ST 41 Setelah Hasil Uji (kN)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil kekuatan tarik dari material ST 41 yang telah diuji oleh mesin uji tarik, yaitu sebagai berikut:

TABEL VI DATA KEKUATAN TARIK MATERIAL ST 41 SETELAH HASIL UJI (KN)

Media pendingin	Holding time (menit)	Kekuatan Tarik Baja ST 41 (kN)
Air	5	60
	10	61
	15	62
	20	64
Air Garam	5	59
	10	59,5
	15	60
	20	63
Minyak Kelapa	5	59,4
	10	59,5
	15	60
	20	61
Oli	5	52
	10	52,5
	15	53,5
	20	60

B. Pengolahan Data

Berdasarkan data pada tabel 1 maka selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk menentukan kekerasan yang optimal pada material ST 41 dengan media pendingin yang berbeda dan *Holding time* yang akan di analisis menggunakan *Analysis Of Variance* .

1. Proses *Heat Treatment*

Proses ini digunakan untuk memodifikasi struktur mikro baja sehingga dapat mengubah karakteristik mekanik baja. Perubahan struktur mikro baja dengan perlakuan panas sangat bergantung pada kombinasi proses pemanasan dengan suhu tertentu dan kecepatan pendinginan tertentu.

2. Proses *Normalizing*

Proses ini diawali dengan memanasi benda uji dengan suhu 723OC hingga satu jam supaya seluruh bagian dari spesimen uji bersuhu sama. Kemudian benda uji dikeluarkan dari oven dan didinginkan dengan media pendingin.

3. Proses *Quenching*

Suatu proses pengerasan baja, dengan cara baja dipanaskan hingga mencapai batas austenit dan kemudian diikuti dengan proses pendinginan cepat melalui media pendingin Air, Air Garam, Minyak Kelapa, dan Oli. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk

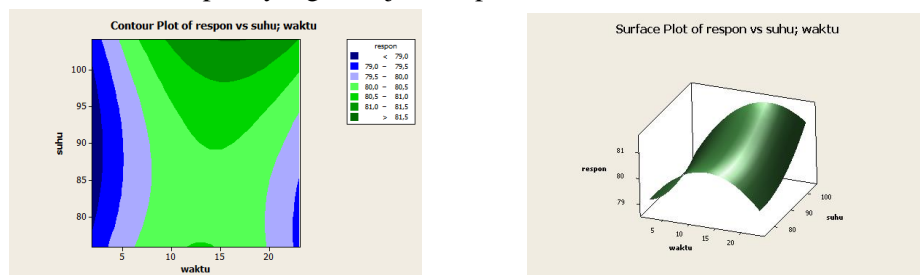
menghasilkan baja dengan sifat kekerasan yang tinggi. Sebelumnya media pendingin dipanaskan dengan suhu 100°C.

4. Analisis Hasil Eksperimen Kekerasan dengan Metode *Response Surface*

Hasil analisis Orde I menunjukkan bahwa nilai nilai P lebih besar yaitu 0,509 dari tingkat signifikansi yang sudah ditentukan yakni 0,05. Karena nilai P nya lebih besar dari α , maka hal tersebut berarti variabel berpengaruh signifikan terhadap respon. Karena semua variabel berpengaruh signifikan terhadap respon, maka dapat dikatakan bahwa ada kesesuaian antara model yang dihasilkan dengan model Orde I. Sehingga menghasilkan sebuah persamaan untuk mencari nilai kekerasan air pada bahan ST 41 sebagai berikut $Y = 97,2118 + 0,0983 * x - 0,4223 * y + 0,0114 * x * x + 0,0026 * x * y + 0,0023 * y * y$.

5. Analisis Karakteristik Permukaan Respon

Hasil analisis dengan *software* Minitab 16 menghasilkan dua gambar berupa grafik contour dan surface seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



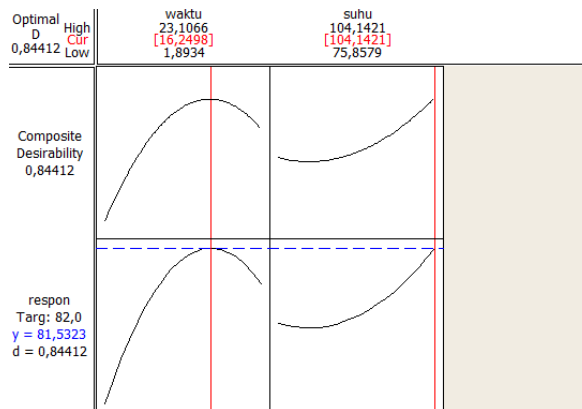
GAMBAR 2 CONTOUR PLOT DAN SURFACE PLOT KEKERASAN

Gambar 2 menunjukkan *contour plot* dan *Surface Plot* yang dihasilkan, terdiri dari berbagai variasi warna yang masing-masing menunjukkan range besarnya respon yang dihasilkan. Kondisi paling maksimal untuk plot diatas berada di warna hijau tua dengan nilai kekerasan diatas 81,5 HRC. *Range* warna inilah yang akan memberi garis besar petunjuk letak titik optimum variabel. Penentuan kondisi optimum dari faktor diatas dibuktikan dengan bentuk kurva tiga dimensi yang membentuk puncak optimum seperti ditunjukkan pada Gambar 2 Gambar ini menampilkan *contour plot* dalam tiga dimensi. Terlihat dengan jelas bahwa kekerasan akan semakin besar apabila proporsi *holding time* lebih besar. Untuk lebih mengetahui nilai yang mampu mengoptimalkan respon dengan plot permukaan respon, perlu dilakukan optimasi lanjutan lagi dengan menggunakan fitur *optimazion plot* pada Minitab16.

6. Plot Optimasi

Untuk menentukan kombinasi level-level variabel proses yang dapat menghasilkan respon yang optimal dapat dilakukan dengan bantuan *optimazion plot* yang ada pada *software Minitab* dengan cara random di pusat kontur optimum. Penentuan kombinasi level-level ini berdasarkan analisis dengan model kuadrat sehingga bisa diperoleh proporsi setiap variable x_1 , dan x_2 yang akan menghasilkan respon y yang paling optimal.

Hasil *optimization plot* diperlihatkan pada gambar 3, yang menunjukkan dengan jelas proporsi untuk setiap variabel bebas yang akan menghasilkan variabel respon yang paling besar. Dimana untuk variable waktu (x_1) sebesar 16 menit dan variabel suhu (x_2) sebesar 104,1421 °C. kedua variabel berpengaruh secara signifikan dapat terlihat dari optimum plot yang membentuk kurva linear yang naik kearah kondisi optimum dengan hasil kekerasan optimal yaitu 81,5 HRC, berarti dengan penambahan variabel ini akan meningkatkan kekerasan Bahan ST 41.



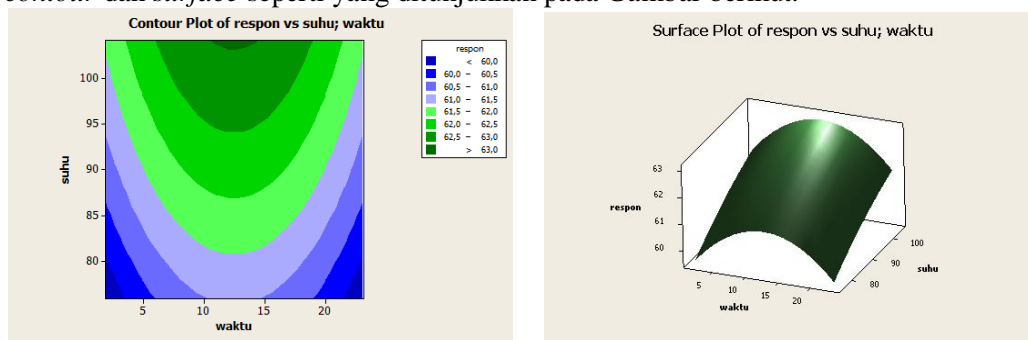
GAMBAR 3 HASIL OPTIMUM PLOT

7. Analisis Hasil Eksperimen Tarik dengan Metode *Response Surface*

Hasil analisis Orde I menunjukkan nilai P lebih besar yaitu 0,866 dari tingkat signifikansi yang sudah ditentukan yakni 0,05. Karena nilai P nya lebih besar dari α , maka hal tersebut berarti variabel berpengaruh signifikan terhadap respon. Karena semua variabel berpengaruh signifikan terhadap respon, maka dapat dikatakan bahwa ada kesesuaian antara model yang dihasilkan dengan model Orde I. Sehingga menghasilkan sebuah persamaan untuk mencari nilai kekerasan air pada bahan ST 41 sebagai Berikut $Y = 46,7828 + 0,3293 * x + 0,2271 * y - 0,0132 * x * x - 1,1689E-14 * x * y - 0,0009 * y * y$.

8. Analisis Karakteristik Permukaan Respon

Hasil analisis dengan *software* Minitab 16 menghasilkan dua gambar berupa grafik *contour* dan *surface* seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



GAMBAR 4 CONTOUR PLOT DAN SURFACE PLOT KEKUATAN TARIK

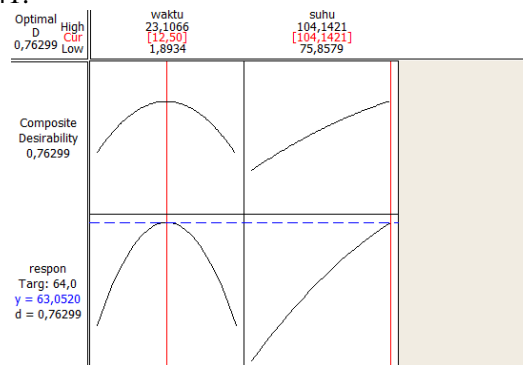
Gambar 4 menunjukkan *contour plot* dan *Surface Plot* yang dihasilkan, terdiri dari berbagai variasi warna yang masing-masing menunjukkan range besarnya respon yang dihasilkan. Kondisi paling maksimal untuk plot diatas berada di warna hijau tua dengan nilai uji tarik diatas 63 HRC. *Range* warna inilah yang akan memberi garis besar petunjuk letak titik optimum variabel. Penentuan kondisi optimum dari faktor diatas dibuktikan dengan bentuk kurva tiga dimensi yang membentuk puncak optimum seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar ini menampilkan *contour plot* dalam tiga dimensi. Terlihat dengan jelas bahwa kekerasan akan semakin besar apabila proporsi *holding time* lebih besar. Untuk lebih mengetahui nilai yang mampu mengoptimalkan respon dengan plot permukaan respon, perlu dilakukan optimasi lanjutan lagi dengan menggunakan fitur *optimazion plot* pada Minitab16.

9. Plot Optimasi

Untuk menentukan kombinasi level-level variabel proses yang dapat menghasilkan respon yang optimal dapat dilakukan dengan bantuan *optimazion plot* yang ada pada *software* Minitab dengan cara random di pusat kontur optimum. Penentuan kombinasi level-

level ini berdasarkan analisis dengan model kuadratik sehingga bisa diperoleh proporsi setiap variabel x_1 , dan x_2 yang akan menghasilkan respon y yang paling optimal.

Hasil *optimization plot* diperlihatkan pada Gambar 5, yang menunjukkan dengan jelas proporsi untuk setiap variabel bebas yang akan menghasilkan variabel respon yang paling besar. Dimana untuk variabel waktu (x_1) sebesar 12 menit dan variabel suhu (x_2) sebesar 104,1421 oC. kedua variabel berpengaruh secara signifikan dapat terlihat dari optimum plot yang membentuk kurva linear yang naik ke arah kondisi optimum dengan hasil kekerasan optimal yaitu 63 kN, berarti dengan penambahan variabel ini akan meningkatkan kekerasan Bahan ST 41.



GAMBAR 5 HASIL OPTIMUM PLOT

C. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian uji kekerasan bahan ST 41 didapatkan nilai kekerasan pada media pendingin air dengan *holding time* 5,10,15, dan 20 menit sebesar 79, 79,5, 8, dan 82,5, pada media pendingin air garam 69, 69,5, 70, dan 73, pada media pendingin minyak kelapa 59, 62, 62,5, dan 63, dan pada media pendingin oli 52, 52,5, 53,5, dan 55.

Dari penelitian uji kekuatan Tarik bahan ST 41 didapatkan nilai kekuatan tarik pada media pendingin air dengan *holding time* 5,10,15, dan 20 menit sebesar 60, 61, 62, dan 64, pada media pendingin air garam 59, 59,5, 60, dan 65, pada media pendingin minyak kelapa 59,4, 59,5, 60, dan 61. dan pada media pendingin oli 52, 52,5, 53,5, dan 60.

Sebuah studi yang berhubungan dengan aplikasi metode respon permukaan (Response Surface Method), sebuah metode desain eksperimen berbasis analisa statistik, telah menghasilkan sebuah komposisi optimum untuk pengujian kekerasan bahan. Dari penelitian ini didapat hasil proporsi bahan yang dapat menghasilkan kekerasan yang paling optimal untuk bahan ST 41 adalah dengan *holding time* 21 menit dengan suhu 104oC dapat menghasilkan kekerasan yang optimum yaitun 82 HRC. Juga menghasilkan persamaan umum untuk memprediksi kekerasan bahan ST 41 apabila menggunakan campuran bahan tersebut $Y = 97,2118 + 0,0983 * x - 0,4223 * y + 0,0114 * x * x + 0,0026 * x * y + 0,0023 * y * y$.

Sebuah studi yang berhubungan dengan aplikasi metode respon permukaan (Response Surface Method), sebuah metode desain eksperimen berbasis analisa statistik, telah menghasilkan sebuah komposisi optimum untuk pengujian kekerasan bahan. Dari penelitian ini didapat hasil proporsi bahan yang dapat menghasilkan kekuatan tarik yang paling optimal untuk bahan ST 41 adalah dengan *holding time* 12 menit dengan suhu 104oC dapat menghasilkan kekerasan yang optimum yaitun 63 kN. Juga menghasilkan persamaan umum untuk memprediksi kekerasan bahan ST 41 apabila menggunakan campuran bahan tersebut $Y = 46,7828 + 0,3293 * x + 0,2271 * y - 0,0132 * x * x - 1,1689E-14 * x * y - 0,0009 * y * y$.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian uji kekuatan Tarik bahan ST 41 didapatkan nilai kekuatan tarik pada media pendingin air dengan *holding time* 5,10,15, dan 20 menit sebesar 60, 61, 62, dan 64, pada media pendingin air garam 59, 59,5, 60, dan 65, pada media pendingin minyak kelapa 59,4, 59,5, 60, dan 61. dan pada media pendingin oli 52, 52,5, 53,5, dan 60. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, air dengan *holding time* 21 menit dengan suhu pemanasan air 104°C, memiliki nilai kekerasan yang paling optimal, karena semakin lamanya *holding time* maka akan berpengaruh untuk kekerasan dan kekuatan tarik bahan ST 41.

Air dengan *holding time* 21 menit dengan suhu pemanasan air 104°C, memiliki nilai kekerasan yang paling optimal, karena semakin lamanya *holding time* maka akan berpengaruh untuk kekerasan bahan ST 41. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, air dengan *holding time* 12 menit dengan suhu pemanasan air 104°C, memiliki nilai kekuatan tarik yang paling optimal, karena semakin lamanya *holding time* maka akan berpengaruh untuk kekuatan tarik bahan ST 41.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansah, A. 2019. Studi Hasil Proses Pengelasan Fcaw (Flux Cored Arc Welding) Pada Material St 41 Dengan Variasi Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2).
- Arikunto, S. 2011. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*, Ed Revisi VI. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Bachtiar. 2012. *Modul Ajar Praktek Las*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Cahyono, Azis. 2015. Heat treatment Perlakuan Panas Dengan Cara Normalizing. *Jurnal: Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang*.
- Fatimah, Nurul. 2017. Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekuatan Mekanik Pada Hasil Pengelasan Metode SMAW Baja ST 52. Balikpapan: Politeknik Negeri Balikpapan.
- Irianto, Agus. 2010. *Statistik Konsep Dasar & Aplikasinya*. Jakarta: Kencana
- Iriawan, N. 2012. *Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 16*. Yogyakarta: Andi.
- Januar, Aris. 2016. *Kajian Hasil Proses Pengelasan MIG dan SMAW Pada Material ST 41 Dengan Variasi Media Pendingin (Air, Collent, dan Es) Terhadap Kekuatan Tarik*. Surabaya: Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya.
- Jordi, Muhammad. 2017. *Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW*. Semarang: Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- Mustofa, Zainal. 2016. *Analisis Pengaruh Pendingin Terhadap Kekerasan Bahan Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment*. Kediri: Teknik Mesin Universitas Nusantara PGRI.
- Perdana. 2011. *Perlakuan Bahan Menggunakan Quenching*. *Jurnal: Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang*.
- Prasetyo, D. (2019). *Variasi Media Pendingin Pada Proses Heat Treatment Baja Karbon St41 Untuk Pisau Potong Plat Beton (Doctoral Dissertation, Universitas Pancasakti Tegal)*.
- Rianto, Endro. 2014. *Pengaruh Temperatur Quenching Terhadap Kekerasan Dan Ketangguhan Hasil Pengelasan Baja Keylos 50*. Surakarta: Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.
- Setyawan, D., Rhozman, F., & Mufarrih, A. (2018). *Pengaruh proses perlakuan panas terhadap penggunaan media pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Material St-41*. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 10-18.
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif & RND*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. 2016. *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta
- Sumanto. 2010. *Dasar-dasar Mesin Pendingin*. Penerbit Andi : Yogyakarta
- Sunaryo, Hery. 2013. *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1 dan 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- Surdia, T dan Chijiwi, K. 2010. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Taryana, Acang dan Nofri, Media. 2017. *Analisis Sifat Mekanik Baja SKD 61 Dengan Baja ST 41 Dilakukan Hardening Dengan Variasi Temperatur*. Jakarta: Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- Thoriq, Mohammad. 2015. *Modul Praktek Kualifikasi Las*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Wiryo Sumarto, Okumura. 2010. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Yamin, Sofyan dan Kurniawan, Heri. 2014. *Teknik Analisis Statistik Terlengkap Dengan Software SPSS*. Jakarta: Salemba Infotek