

# PENGARUH PERLAKUAN PANAS ANNEALING TERHADAP PENGUJIAN KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PADA MATERIAL API 5L GRADE X65

Hamdan Nur Haryanto, Adhe Arywan dan Mega Gemala

\*Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani Batam Kota, Kota Batam, Kepulauan Riau, 29461, Indonesia E-

mail: [hamdannurharyanto@gmail.com](mailto:hamdannurharyanto@gmail.com)

## Abstrak

Pemilihan material yang tepat dalam industri minyak dan gas, terutama untuk infrastruktur pipa, sangat penting demi kebaikan infrastruktur transportasi fluida. Baja karbon rendah seperti API 5L Grade X65 sering digunakan karena memenuhi standar API 5L 46<sup>th</sup> untuk pipa baja dalam industri minyak dan gas. Proses perlakuan panas seperti *annealing*, merupakan bagian penting dari pengolahan material ini. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kekerasan dan ketangguhan pada material API 5L Grade X65 dengan dan tanpa perlakuan panas. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang terdiri dari beberapa tahapan. Penelitian dimulai dengan preparasi sampel material API 5L Grade X65 dengan Panjang material awal 33 cm dan lebar 30 cm dengan ketebalan material 17.48 mm dan akan melalui proses pemotongan untuk menjadi specimen uji perlakuan panas *annealing* dengan suhu 850°C dan didiamkan dalam tungku selama 1 jam dan didinginkan kembali ke suhu ruangan. Selanjutnya, dibuat specimen uji untuk pengujian kekerasan dan ketangguhan. Pengujian kekerasan menggunakan metode *vickers* dengan beban 10 kgf, sedangkan pengujian ketangguhan dilakukan dengan metode *charpy v-notch* pada suhu 0°C. Hasil pengujian akan diambil data untuk membandingkan nilai kekerasan dan ketangguhan material sebelum dan setelah perlakuan panas. Data yang diperoleh dari pengujian akan dibandingkan sesuai dengan tujuan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan panas terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan material pada API 5L Grade X65. Pengujian dilakukan pada spesimen tanpa perlakuan panas dan dengan perlakuan panas (*annealing*). Hasil pengujian kekerasan menunjukkan perbedaan perubahan nilai antara material tanpa perlakuan panas dan yang mengalami perlakuan panas, dengan nilai kekerasan tertinggi pada material tanpa perlakuan panas sebesar 230 HV dan pada material dengan perlakuan panas sebesar 179 HV. Pengujian ketangguhan juga menunjukkan adanya perubahan nilai, dengan nilai rata-rata ketangguhan pada material tanpa perlakuan panas sebesar 172 J dan pada material dengan perlakuan panas sebesar 225 J. Temuan ini menunjukkan bahwa perlakuan panas dapat merubah sifat mekanik material, dengan mengurangi kekerasan namun meningkatkan ketangguhan.

**Katakunci:** Perlakuan panas, *annealing*, ketangguhan, kekerasan

## Abstract

*The proper selection of materials in the oil and gas industry, particularly for pipeline infrastructure, is crucial for the fluid transportation infrastructure's integrity. Low carbon steel such as API 5L Grade X65 is commonly employed as it meets the API 5L 46<sup>th</sup> standards for steel pipes in the oil and gas industry. Heat treatment processes like annealing are integral parts of material processing. The study begins with preparing API 5L Grade X65 material samples, initially 33 cm long, 30 cm wide, and 17.48 mm thick. These samples undergo cutting to create annealing test specimens at 850°C for 1 hour in a furnace, followed by cooling to room temperature. Subsequently, test specimens are prepared for hardness and toughness testing. It begins with the preparation of API 5L Grade X65 material samples and conducting annealing heat treatment at a temperature of 850°C for 1 hour and cooled back to room temperature. Subsequently, test specimens are fabricated for hardness and toughness testing. Hardness testing utilizes the Vickers method with a 10 kgf load, while toughness testing is performed using the Charpy V-notch method at 0°C. The test results will be compared to compare the hardness and toughness values of the material before and after heat treatment. The data obtained from the tests will be analyzed according to*

*the research objectives. This study aims to analyze the effect of heat treatment on the hardness and toughness properties of API 5L Grade X65 material. Testing was conducted on specimens without heat treatment and with heat treatment (annealing). The hardness test results showed a significant difference between materials without heat treatment and those subjected to heat treatment, with the highest hardness value in the untreated material being 205 HV and in the annealed material being 159 HV. Toughness testing also revealed a significant difference, with the average toughness value in the untreated material being 172 J and in the annealed material being 225 J. These findings indicate that heat treatment can affect the mechanical properties of the material by reducing hardness while increasing toughness.*

**Keywords:** *Heat treatment, annealing, toughness, hardness.*

## 1. Pendahuluan

Dalam industri minyak dan gas, pemilihan material yang tepat untuk konstruksi pipa sangat penting untuk memastikan keamanan infrastruktur transportasi fluida. Material yang sering digunakan dalam konstruksi pipa minyak dan gas adalah baja karbon rendah seperti API 5L *Grade X65*. Material ini merupakan salah satu jenis pipa baja yang memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam standar API 5L, yang diterbitkan oleh *American Petroleum Institute* (API). Standar API 5L mengatur persyaratan untuk pipa baja yang digunakan dalam transportasi minyak, gas alam, dan cairan lainnya dalam industri minyak dan gas.[1]

Untuk mendapatkan sifat-sifat material yang diinginkan, dapat dilakukan perlakuan panas atau *heat treatment*. Salah satu metode perlakuan panas yang umum digunakan adalah *annealing*. Proses *annealing* adalah suatu proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang dilakukan terhadap logam atau baja. Prinsip *annealing* adalah memanaskan baja sampai diatas temperatur kritis, kemudian dilakukan *holding time*, dan proses pendinginan didalam tungku dilakukan dengan lambat sampai temperature kembali ke suhu ruangan. Metode ini digunakan untuk menginduksi kelunakan pada material API 5L *Grade X65* Dalam metode ini, material dipanaskan pada suhu yang sesuai, kemudian dilakukan pendinginan secara perlahan di dalam tungku / *furnace*

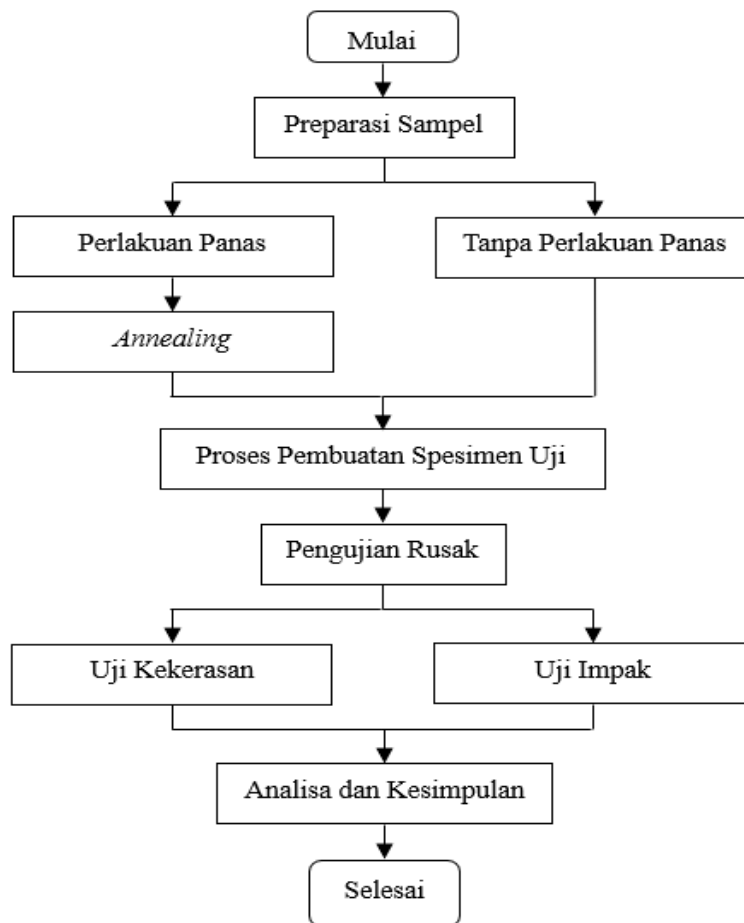
Sifat mekanik material sangat penting untuk aplikasinya dalam struktur. Di antaranya adalah kekerasan dan ketangguhan. Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap suatu penetrasi atau daya tembus dari benda lain yang lebih keras. Sedangkan ketangguhan merupakan ketahanan material terhadap beban kejut atau beban secara tiba-tiba[3]. Telah dilakukan studi uji kekerasan yang salah satunya melaporkan bahwa kenaikan suhu dan waktu penahanan (*holding time*) pada proses *annealing* dapat menurunkan kekerasan pada material[4].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai perbandingan pengaruh perlakuan panas *annealing* terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan pada material API 5L *Grade X65* [2]. Untuk mendapatkan perbandingan dari nilai kekerasan dan ketangguhan dari tersebut dilakukan pengujian rusak (*destructive test*). Dalam penelitian ini pengujian rusak yang paling tepat adalah uji kekerasan (*hardness test*) *Vickers* dan uji impak (*impact test*) *Charpy v-notch*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dengan metode *annealing* terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan material API 5L *Grade X65*.

## 2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT P selama empat bulan. Tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alur penelitian pada gambar 1 dibawah ini..

### 2.1 Diagram Alur Penelitian



Gambar 1 : Diagram alur peneliti

## 2.2 Preparasi Sample

Preparasi sampel pada tahap ini melibatkan pemilihan material yang akan digunakan dalam penelitian ini. Material yang dipilih adalah pipa API 5L *Grade X65* yang terbuat dari baja karbon rendah dengan dengan panjang material awal 33 cm dan lebar 30 cm dengan ketebalan material 17.48 mm dan akan melalui proses pemotongan untuk menjadi specimen yang akan mendapatkan perlakuan panas dan yang tidak mendapatkan perlakuan panas. Berikut Tabel 1 menunjukkan spesifikasi kandungan kimia material.

**Tabel 1 :Spesifikasi kandungan kimia material**

Chemical Composition				
Steel Grade ( Steel Name )	Mass Fraction , based upon heat and product analyses			
	%			
	C	Mn	P	S
	Max	Max	Max	Max
PSL 1 pipe with $t \leq 25.0$ mm (0.984 in )				
Seamless Pipe				
X65	0.28	1.40	0.030	0.030
Welded pipe				
X65	0.26	1.45	0.030	0.030
PSL 2 pipe with $t \leq 25.0$ mm (0.984 in )				
Seamless Pipe				
X65	0.18	1.70	0.025	0.025
Welded pipe				
X65	0.12	1.60	0.025	0.025

Sumber: API 5L 46<sup>th</sup>

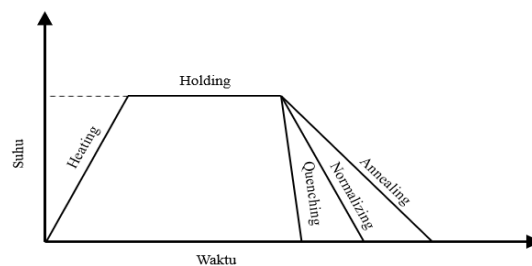
## 2.3 Perlakuan Panas ( *Heat Treatment* )

Proses perlakuan panas dimulai dengan memasukkan sampel ke dalam tungku/ *furnace* hingga mencapai suhu 850°C memakai suhu 850°C karena untuk merubah struktur dalam material yang dimana apabila suhu dibawah 723°C maka tidak akan merubah struktur yang ada didalam material sehingga pemilihan suhu yang tepat untuk dapat membandingkan kekerasan dan ketangguhan yaitu dengan suhu diatas 723°C selanjutnya penahan waktu *holding time* selama 1 jam dilakukan karena material kurang dari 25 inc sehingga dipilih waktu 1 jam sesuai dengan ASME B31.1 pada table 331.1.1.

Penahanan selama 1 jam diperlukan agar pemanasan merata dan untuk mendapatkan hasil maksimal dari proses perlakuan panas.

### 2.3.1 *Annealing*

Pada proses ini, material yang telah menjalani perlakuan panas pada suhu 850°C dan ditahan selama 1 jam kemudian didinginkan secara perlahan-lahan di dalam tungku *furnace* hingga mencapai suhu ruangan. Kecepatan pendinginan ini mempengaruhi sifat mekanik dari baja semakin lambat pendinginannya, maka baja akan memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih rendah, sedangkan jika pendinginannya lebih cepat, maka akan terjadi sebaliknya. Proses *annealing* ini diilustrasikan dalam Gambar 2.



**Gambar 2: Proses *annealing***

## 2.4 Spesimen Uji

Proses pembuatan spesimen uji, atau yang juga dikenal sebagai proses machining, merupakan tahap di mana material dipotong menjadi bentuk yang sesuai untuk pengujian. Proses ini dilakukan menggunakan *bandsaw*. Hasil pemotongan terdiri dari:

- 2 spesimen uji kekerasan: 1 dengan perlakuan panas annealing dan 1 tanpa perlakuan panas.
- 2 set spesimen uji impak: 1 dengan perlakuan panas annealing dan 1 tanpa perlakuan panas.

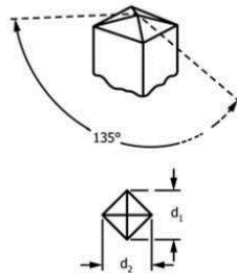
Pada tahap ini, material dipersiapkan untuk pengujian kekerasan dan ketangguhan, dengan memperhatikan perbedaan antara sampel yang telah menjalani perlakuan panas dan yang tidak menjalani perlakuan panas.

## 2.5 Pengujian Rusak

Tahapan pengujian rusak dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data kekerasan material sebelum dan sesudah perlakuan panas. Pada tahap ini pengujian dilakukan oleh teknisi yang terlatih dalam prosedur pengujian dan dilakukan dua metode pengujian rusak, yaitu pengujian kekerasan (*hardness*) dan pengujian impak (*impact tests*).

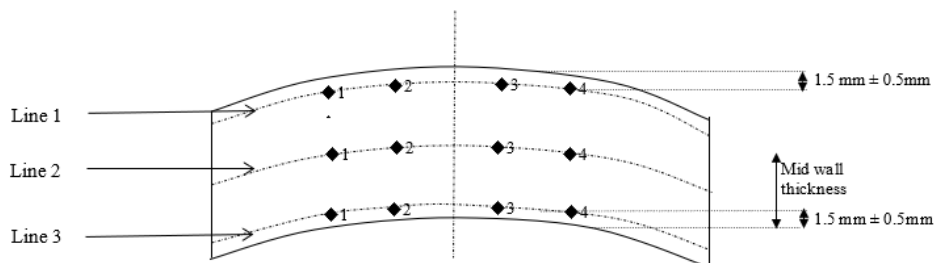
### 2.5.1 Pengujian kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan yang dilakukan dengan metode *vickers* sesuai dengan *test method* ASTM E92-2017[4] tercantum dalam API 5L-46th pada paragraf H.7.3.3 [5] dengan pembebanan 10 kgf. Uji kekerasan metode *vickers* menggunakan indentator yang berbentuk piramida dan berbahan intan dengan sudut piramida  $135^\circ$  yang sudah disertifikasi oleh Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) seperti pada gambar 3.



Gambar 3 : Indentator piramida

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan dari material dengan proses perlakuan panas (*Annealing*) dan tanpa perlakuan panas. Untuk lokasi pengambilan *indentasi hardness* sesuai dengan API 5L-46th pada bagian *Figure H.1* seperti gambar 4 dibawah ini

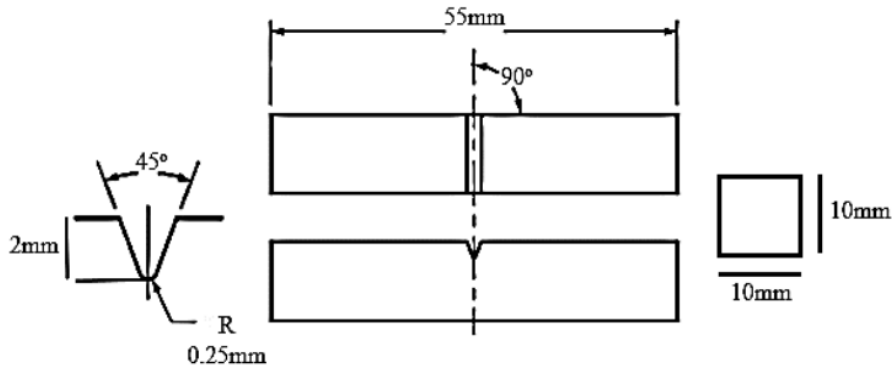


Gambar 4: Lokasi indentasi uji kekerasan (*Hardness*)

### 2.5.2 Pengujian Impak ( *Impact test* )

Pengujian impak dengan metode *charpy v-notch* yang sudah disertifikasi oleh Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T). Dilakukan dengan menggunakan *test methode* ASTM E23[6] dengan *strike* 8mm pada tahapan pengujian specimen harus melalui tahapan *conditioning temperature* dengan cara diletakkan pada *box temperature* dengan menggunakan *dry ice* dari CO<sub>2</sub> yang telah dipadatkan dan dilarutkan bersama cairan *acetone* pengujian ini dilaksanakan dengan menggunakan temperature 0°C sesuai standart API 5L-46<sup>th</sup> pada bagian paragraph 9.8.2.1 setelah temperature mencapai 0°C proses selanjutnya *holding temperature* selama minimum 5 menit kemudian satu persatu specimen diuji dan dipukul dengan sebuah pendulum.

Berikut gambar 5 menunjukkan dimensi specimen uji impak.



Gambar 5: Dimensi specimen uji impak *charpy v-notch* mengikuti ASTM E23-2018

### 3. Analisa Data Dan Pembahasan

Setelah melampirkan metodologi penelitian dan menerapkannya dilapangan sesuai prosedur yang ada, sehingga akan didapatkan hasil yang maksimal dari pengujian yang telah dilakukan, maka mendapatkan hasil pengujian yang akan dijelaskan sebagai berikut.

#### 3.1 Pengujian kekerasan

Berikut merupakan spesimen pengujian kekerasan sebelum dan setelah pengujian pada gambar berikut.



Gambar 6 : Spesimen pengujian kekerasan tanpa perlakuan panas



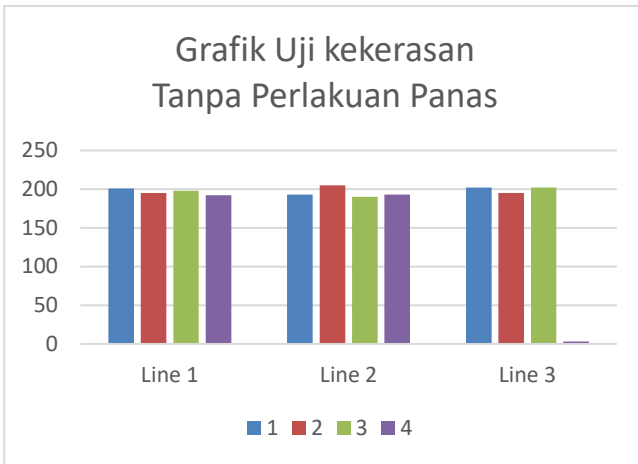
Gambar 7 : Spesimen pengujian kekerasan dengan perlakuan panas

Setelah pengujian dilakukan, maka diperoleh hasil pengujian kekerasan seperti table 2

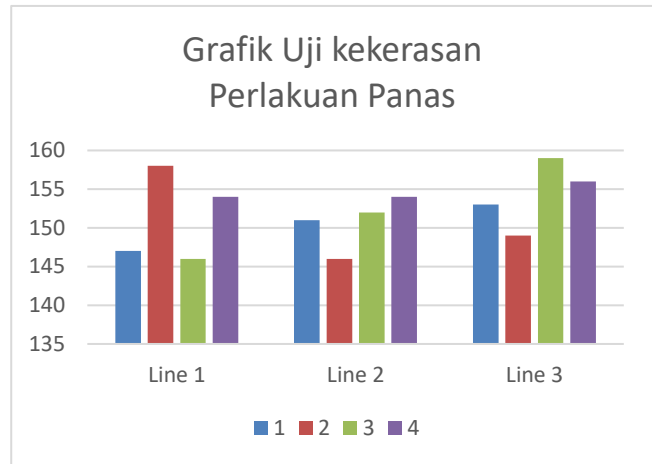
Table 2 : Nilai hasil pengujian kekerasan

Sample Identification	No	Line `1	Line 2	Line 3
Tanpa Perlakuan Panas	1	201 HV	193 HV	202 HV
	2	195 HV	205 HV	195 HV
	3	198 HV	190 HV	202 HV
	4	192 HV	193 HV	198 HV
Perlakuan Panas Anealing	1	147 HV	151 HV	153 HV
	2	158 HV	146 HV	149 HV
	3	146 HV	152 HV	159 HV
	4	154 HV	154 HV	156 HV

**A. Grafik uji kekerasan tanpa perlakuan panas**



**B. Grafik uji kekerasan dengan perlakuan panas**



Dari proses pengujian kekerasan (*hardness*) pada material uji yang sudah dilakukan terdapat perbedaan nilai kekerasan yang signifikan yang dimana material yang tidak menjalani proses perlakuan panas nilai kekerasannya lebih tinggi dengan nilai tertinggi 205HV dibandingkan dengan nilai yang didapat dari material yang menjalani proses perlakuan panas *annealing* terdapat nilai tertinggi ialah 159HV. Pada hasil pengujian kekerasan yang dilakukan sesuai dengan API 5L 46<sup>th</sup> pada paragraf H.4.4 *Hardness Test* mengenai nilai tertinggi hasil kekerasan yaitu  $\leq 250$  HV.

### 3.2 Pengujian Ketangguhan

Berikut merupakan specimen pengujian kekerasan sebelum dan setelah pengujian pada gambar berikut.



**Gambar 9 : Spesimen pengujian ketangguhan tanpa perlakuan panas**



**Gambar 10 : Spesimen pengujian ketangguhan dengan perlakuan panas**

Setelah pengujian dilakukan, maka diperoleh hasil pengujian impact seperti table 3.

**Table 3 : Nilai Hasil pengujian ketangguhan**

Testing Temperature (°C) : 0		
Jenis Material	No Spesimen	Impact Value (J)
Tanpa Perlakuan Panas	1	169 Joule
	2	179 Joule
	3	168 Joule
	<i>average</i>	172 Joule
Perlakuan Panas	1	225 Joule
	2	219 Joule
	3	230 Joule
	<i>average</i>	225 Joule

Dari proses pengujian ketangguhan (*impact*) pada material uji yang sudah dilakukan terdapat perbedaan nilai ketangguhan yang signifikan yang dimana material yang tidak menjalani proses perlakuan panas nilai ketangguhannya lebih rendah dibandingkan nilai yang didapat dari material yang menjalani proses perlakuan panas *annealing* dikarenakan ada perubahan struktur didalam material yang sudah melalui proses perlakuan panas. Pada hasil pengujian ketangguhan yang dilakukan sesuai dengan API 5L 46<sup>th</sup> pada paragraf 9.8.2.1 table 8 dengan minimum nilai *charpy test* dengan temperatur 0°C yaitu 27 joule.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan penelitian mengenai pengaruh perlakuan panas *annealing* terhadap pengujian kekerasan dan ketangguhan pada material API 5L GRADE X65, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut ;

1. Proses perlakuan panas *annealing* dapat mempengaruhi sifat mekanik terutama pada penetian yang dilakukan pada pengujian kekerasan dan ketangguhan pada baja karbon rendah. Perlakuan panas *annealing* dapat menurunkan kekerasan dan menaikkan ketangguhan pada material API 5L GRADE X65.
2. Perlakuan panas dengan *holding time* 1 jam dengan metode *annealing* pada temperature 850°C mendapatkan hasil yang berubah dari pengujian kekerasan (*hardness*) pada material API 5L GRADE X65 tanpa perlakuan panas *annealing* mendapatkan nilai tertinggi 205 HV dan yang melalui perlakuan panas mendapatkan nilai tertinggi 159 HV, dapat disimpulkan bahwa perbandingan material yang melalui proses perlakuan panas *annealing* dan diuji kekerasan nilai kekerasannya akan berubah menjadi lebih rendah dibandingkan sebelum melalui proses perlakuan panas *annealing*
3. Berbanding terbalik dengan pengujian kekerasan, pengaruh perlakuan panas *annealing* pada pengujian ketangguhan pada material API 5L GRADE X65 mendapatkan nilai rata-rata yang tidak melalui proses perlakuan panas *annealing* dengan pengujian kekerasan (*impact charpy test*) dengan temperatur 0°C mendapatkan nilai rata-rata 172 Joule dan yang melalui proses perlakuan panas *annealing* mendapatkan nilai rata-rata 225 Joule, dapat disimpulkan bahwa perbandingan material yang melalui proses perlakuan panas *annealing* dan diuji ketangguhan nilai ketangguhannya akan berubah menjadi lebih Tangguh dibandingkan sebelum melalui proses perlakuan panas *annealing*.
4. Meskipun terdapat perubahan nilai kekerasan dan ketangguhan material yang diuji masih sesuai kedalam standart yang di pakai yaitu API 5L 46<sup>th</sup> yang dimana nilai kekerasan tertera pada paragraph H.4.4 *Hardness Test* mengenai nilai tertinggi hasil kekerasan yaitu  $\leq 250$  HV. Sedangkan nilai ketangguhan tertera pada paragraph 9.8.2.1 dengan minimum nilai *impact harpy test* dengan temperature 0°C yaitu 27 joule.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apri malani putri, Imam Rochani, Heri Supomo Teknik ITS Vol 1 Tahun 2021 *STUDI LAJU KOROSI DAN SURFACE MORFOLOGI PIPA BAWAH LAUT API 5L GRADE X65 DENGAN VARIASI SUDUT BENDING*.
- [2] Huda fathu rohman, Gunawan D.H, Yusuf Umardani, Agus Tri Hardjuno, Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol.2, NO.3, Tahun 2014, *PENGARUH HEAT TREATMENT ANNEALING TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN NILAI KEKERASAN PADA SAMBUNGAN LAS THERMITE BAJA NP-42*.
- [3] Jandri Fan HT Saragi, Angga Bahri Pratama, Eka Putra Dairi Boangmanalu, Al Qadry, Franklin Tarayun Hudeardo Sinaga, Jurnal Mesin (Mesin Elektro Sipil), Vol. 04, Juni 2023 Hal 45-51, *PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KEKUATAN IMPAK PADA MATERUAL BESI NAKO 10 MM*.
- [4] Hesti Istiqlaliyah, Fatkur Rhohman, Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol.05, Edisi Spesial 2016, *PENGARUH VARIASI TEMPERATUR ANNEALING TERHADAP KEKERASAN SAMBUNGAN BAJA ST 37*
- [5] ASTM E92-2017
- [6] API 5L-46<sup>th</sup>
- [7] ASTM E23-2018