

# Pengaruh Internal Pressure Pada Pengelasan Sleeve Pada Pipa ASTM A 106 Grade B

Very Dwi Prasetyo<sup>1</sup>, Resmana Lim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prodi Pendidikan Profesi Insinyur & Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra  
Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia  
vdprasetyo@gmail.com

<sup>2</sup> Prodi Pendidikan Profesi Insinyur & Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra  
Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia  
resmana@petra.ac.id

**Abstract** — Sleeve is a maintenance or repair method commonly applied in-service pipelines or piping system. This method is essentially identical to the principle of doubling plate but has more complicated problem. This method is applicable if the pipelines or piping system suffered minor damage such as internal corrosion that cause reducing the pipe thickness from the minimum required thickness. Before applying the sleeve, mock-ups must be made first. This method is also one of the procedures when hot tapping is performed. This study used material pipe ASTM A 106 grade B which equivalent to API 5L grade B NPS 12 sch 40, sleeve SA 516 grade 70 of 8 mm of thickness and A 36 backing with 3 mm of thickness. Welding process is performed by the method of SMAW welding in position 4G and 2F by using the AWS E-7016 electrode for the root and the AWS E-7018 for the fill, while AWS E-7018 for 1 F with internal pressure variation of 0 (without pressure), 2,5, and 5 bar. From hardness test, it is shown that the greater pressure will make the higher hardness, but this will only happen after pressure 2,5 bar. Then, the increasing of pressure will cause lower hardness. This thing happened because there is no grace period between welding with pressure 0, 2,5, and 5 bar, so that the water temperature in the pipeline increased from the previous welding process with 0 and 2,5 bar pressure and unable to provide such a quenching effect that occurs at 2,5 bar.

**Intisari** — Sleeve merupakan metode maintenance atau repair yang biasa diaplikasikan in-service pipelines atau piping system. Metode ini prinsip dasarnya identik dengan doubling plate tapi memiliki masalah yang lebih rumit. Metode ini diaplikasikan jika pipelines atau piping system mengalami kerusakan minor seperti internal corrosion yang mengakibatkan tebal dari pipa sudah berkurang dari tebal minimum yang dipersyaratkan. Sebelum sleeve diaplikasikan haruslah dibuat mock-up terlebih dahulu. Metode ini juga merupakan salah satu prosedur bila akan dilakukan hot tapping. Dalam pengelasan ini menggunakan material pipa ASTM A 106 grade B setara dengan API 5L grade B NPS 12 sch 40, sleeve SA 516 grade 70 dengan tebal 8 mm dan backing A 36 dengan tebal 3 mm. Proses pengelasan dilakukan dengan metode SMAW pada posisi 4G dan 2F dengan elektroda pada 4G menggunakan AWS E-7016 untuk root dan fill menggunakan AWS E-7018, sedangkan untuk 1F menggunakan AWS E-7018 dengan variasi internal pressure 0 (tanpa pressure), 2,5, dan 5 bar. Dari uji kekerasan, semakin besar pressure hasil kekerasannya meningkat, akan tetapi hal ini hanya terjadi pressure sampai 2,5 bar. Kemudian kenaikan pressure akan menghasilkan kekerasan yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena tidak adanya tenggang waktu antar pengelasan dengan pressure 0, 2,5, dan 5 bar sehingga temperatur air yang ada di dalam pipa meningkat akibat proses pengelasan sebelumnya yaitu dengan pressure 0 dan 2,5 bar sehingga tidak mampu memberikan efek quenching seperti yang terjadi pada 2,5 bar.

**Kata Kunci** — Sleeve, In-service pipelines, Welding

## I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir pengoperasian pipelines mengalami perkembangan yang cukup pesat. Pipelines merupakan alat transportasi air, minyak, dan gas yang aman dan ekonomis. Namun dengan bertambahnya operasi pipelines, menyebabkan meningkatnya potensi kecelakaan pada saat pipelines beroperasi. Kecelakaan yang terjadi banyak dikarenakan terjadinya penipisan ketebalan pipa akibat korosi.

Proses distribusi dan transmisi pipelines tersebut ada kalanya melewati kawasan pemukiman penduduk yang padat, seperti perkotaan, atau ekosistem lain yang penting seperti laut, sungai, dan danau [1]. Pipelines harus beroperasi dengan aman agar tidak menimbulkan kerugian yang membahayakan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan pemeriksaan berkala untuk mendeteksi cacat

yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui tekanan operasi yang diizinkan serta memperoleh status apakah pipelines masih layak beroperasi atau tidak serta apakah perlu repair. Salah satu cacat yang biasa terjadi pada pipelines yang sudah beroperasi adalah penipisan ketebalan pipa akibat korosi. Walaupun dalam tahap desain penipisan dinding pipa ini sudah dipertimbangkan dengan memberikan batas umur operasi, namun akibat sulitnya mengontrol dan tidak seragamnya laju korosi untuk setiap lokasi, maka kegagalan pipelines yang diakibatkan oleh korosi masih sering terjadi. Salah satu metode pemeriksaan yang digunakan adalah intelligent pigging.

Pipelines memiliki dua macam jenis korosi yaitu external corrosion dan internal corrosion. External corrosion pada pipa disebabkan oleh faktor-faktor lingkungan dan proses coating yang kurang baik, sedangkan internal corrosion pipa salah satunya disebabkan oleh jumlah kandungan bakteri SRB (Sulfide Reduced Bacteria) yang

bersifat korosif yang terkandung dalam fluida yang mengalir di dalam pipa.

Sleeve merupakan metode maintenance atau repair yang biasa diaplikasikan in-service pipelines atau piping system [2]. Metode ini prinsip dasarnya identik dengan doubling plate tapi memiliki masalah yang lebih rumit. Metode ini diaplikasikan jika pipelines atau piping system mengalami kerusakan minor seperti internal corrosion yang mengakibatkan tebal dari pipa sudah berkurang dari tebal minimum yang dipersyaratkan. Sebelum sleeve diaplikasikan haruslah dibuat mock-up terlebih dahulu. Metode ini juga merupakan salah satu prosedur bila akan dilakukan hot tapping. Sleeve akan aman dilakukan jika pipelines tersebut off/shutdown. Semakin besar flow akan meningkatkan cooling rate dan resiko terjadinya retak [3]. Terkadang perusahaan memiliki kebijakan agar target produksi tetap terpenuhi, sleeve diaplikasikan saat terdapat aliran di dalam pipeline tetapi dengan memodifikasi flow yang ada di dalamnya.

Metode pengelasan sleeve pada pipa yang masih terdapat aliran di dalamnya diatur di API 1104 Appendix B tentang in-service welding. API 1104 merupakan code yang mengatur prosedur pengelasan pada pipelines serta fasilitas pendukungnya [4].

API 1104 mengatur *essential variables* yang perlu diperhatikan dan pada appendix B ada penambahan tentang essential variabelnya. Essential variable adalah variabel dimana terjadi perubahan diluar range yang telah ditentukan maka harus dikualifikasi ulang. Salah satu essential variables tersebut adalah weld deposition sequence karena berpengaruh ke temper bead.

Ada dua masalah utama dalam metode pengelasan sleeve ini. Masalah pertama adalah burning through. Masalah ini akan lebih besar jika pipelines atau piping system mengandung fluida yang mudah terbakar. Masalah kedua adalah hydrogen cracking. Retak ini terjadi akibat dari adanya pendinginan cepat (quench) akibat dari fluida yang mengalir di dalam pipa, sehingga hydrogen tidak sempat untuk keluar dan berdifusi ke daerah HAZ (Heat Affected Zone) yang mampu mengubah struktur material menjadi martensit yang bersifat getas [4].

Burning through merupakan salah satu cacat pengelasan akibat dari overheating. Pada in-service welding, burning through sangat diperhatikan karena bila sampai terjadi, kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja sangat besar apabila kandungan fluida di dalamnya bersifat mudah terbakar. API 1104 appendix B telah mengatur untuk mencegah terjadinya burning through, yaitu dengan menentukan ketebalan minimal 0,250-inch (6,4 mm) dan menggunakan electrode low hydrogen (Exx18). Pengelasan pada material yang tipis mungkin sudah biasa bagi beberapa perusahaan tapi untuk in-service welding, heat input harus dibatasi [4]. Untuk hydrogen cracking menggunakan low hydrogen process, belum mampu menjamin mencegah terjadi hydrogen cracking. Pada umumnya membatasi heat input merupakan salah satu cara untuk meminimalisir terjadinya hydrogen cracking.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Material Pipa

API 1104 mengelompokkan material kedalam 3 group, yaitu:

- Material dengan yield strength  $\leq 42.000$  psi (290 MPa).
- Material dengan yield strength  $42.000$  psi (290 MPa)  $<$  yield  $< 65.000$  psi (448 Mpa).
- Material dengan yield strength  $\geq 65.000$  psi (448 Mpa).

SA 106 identik dengan A 106 yang merupakan pipa seamless baja karbon untuk high temperatur service [5]. SA merupakan identifikasi material dari ASME sedang A dari ASTM dan masuk kedalam grade B. Pada API 5L material SA 106 grade B termasuk kedalam material API 5L grade B. Gambar 1 berikut menunjukkan komposisi kimia material API 5L grade B dan Gambar 2 menunjukkan kekuatan tarik material API 5L grade B.

Table 4—Chemical Composition for PSL 1 Pipe with  $t \leq 25.0$  mm (0.984 in.)

Steel Grade (Steel Name)	Mass Fraction, Based on Heat and Product Analyses <sup>a,b</sup>						
	%						
	C	Mn	P	S	V	Nb	Ti
max <sup>d</sup>	max <sup>d</sup>	max	max	max	max	max	max
Seamless Pipe							
L175 or A25	0.21	0.60	—	0.030	0.030	—	—
L175P or A25P	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030	—	—
L210 or A	0.22	0.90	—	0.030	0.030	—	—
L245 or B	0.28	1.20	—	0.030	0.030	0.01	0.01
L290 or X42	0.28	1.30	—	0.030	0.030	0.01	0.01
L320 or X45	0.28	1.40	—	0.030	0.030	0.01	0.01
L360 or X52	0.28	1.40	—	0.030	0.030	0.01	0.01
L380 or X55	0.28	1.40	—	0.030	0.030	0.01	0.01
L415 or X60	0.28 <sup>e</sup>	1.40 <sup>e</sup>	—	0.030	0.030	0.01	0.01
L450 or X65	0.28 <sup>e</sup>	1.40 <sup>e</sup>	—	0.030	0.030	0.01	0.01
L485 or X70	0.28 <sup>e</sup>	1.40 <sup>e</sup>	—	0.030	0.030	0.01	0.01

Gambar 1, Komposisi kimia API 5L grade B [7].

ASME BPVC.III.2021 SA 106/SA-106M

TABLE 2  
TENSILE REQUIREMENTS

	Grade A	Grade B	Grade C
Tensile strength, min, psi (MPa)	48 000 [330]	60 000 [415]	70 000 [485]
Yield strength, min, psi (MPa)	36 000 [250]	38 000 [260]	40 000 [275]
	Longitu- dinal	Transverse	Longitu- dinal
	Longitu- dinal	Transverse	Longitu- dinal
	Longitu- dinal	Transverse	Longitu- dinal

Gambar 2, Kekuatan tarik API 5L grade B [5] dan [7].

### B. Kodifikasi Pipa

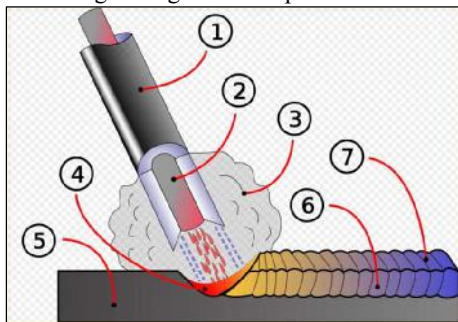
Pengkodifikasian pipa yang digunakan menggunakan NPS. Sebagai contoh, NPS 12 sch 40, NPS merupakan singkatan dari nominal pipe size. Angka 12 menunjukkan outside diameter, sedangkan sch singkatan dari schedule atau tingkat ketebalan pipa. Gambar 3 menunjukkan dimensi pipa berdasarkan NPS.

NPS [Note (2)]	Customary Units			Identification [Standard (S19), Extra-Strong (XS), or Double Extra- Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units			
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m	
10	10.750	0.500	56.79	KS	60	250	273.0	12.70	81.53	
10	10.750	0.562	61.21	...	...	250	273.0	14.27	91.05	
10	10.750	0.594	64.49	...	...	80	250	273.0	15.09	95.88
10	10.750	0.625	67.65	...	...	...	250	273.0	15.88	100.69
10	10.750	0.719	77.10	...	...	100	250	273.0	18.26	114.71
10	10.750	0.812	86.36	...	...	...	250	273.0	20.67	128.34
10	10.750	0.844	89.38	...	...	120	250	273.0	21.44	133.01
10	10.750	0.875	92.37	...	...	...	250	273.0	22.23	137.48
10	10.750	0.938	98.39	...	...	...	250	273.0	23.83	146.43
10	10.750	1.000	104.23	XXS	140	250	273.0	25.40	155.10	
10	10.750	1.125	115.75	...	160	250	273.0	28.58	172.27	
10	10.750	1.250	126.94	...	...	250	273.0	31.75	188.90	
12	12.750	0.156	21.00	...	5	300	323.8	3.96	31.24	
12	12.750	0.172	23.13	...	...	300	323.8	4.37	34.63	
12	12.750	0.180	24.19	...	...	300	323.8	4.67	35.98	
12	12.750	0.188	25.25	...	...	300	323.8	4.78	37.61	
12	12.750	0.203	27.23	...	...	300	323.8	5.14	40.55	
12	12.750	0.219	29.34	...	...	300	323.8	5.56	43.64	
12	12.750	0.250	33.41	...	20	300	323.8	6.35	49.71	
12	12.750	0.281	37.16	...	...	300	323.8	7.14	55.76	
12	12.750	0.312	41.48	...	...	300	323.8	7.92	61.70	
12	12.750	0.330	43.81	...	...	300	323.8	8.38	65.29	
12	12.750	0.344	45.62	...	...	300	323.8	8.74	67.91	
12	12.750	0.375	49.61	SD	...	300	323.8	9.51	73.86	
12	12.750	0.406	53.57	...	40	300	323.8	10.31	79.71	
12	12.750	0.438	57.65	...	...	300	323.8	11.13	85.82	
12	12.750	0.500	65.48	KS	...	300	323.8	12.70	97.44	
12	12.750	0.562	73.22	...	60	300	323.8	14.27	108.99	

Gambar 3, Dimensi pipa berdasarkan NPS [10].

C. Las Busur Listrik

Las busur listrik atau juga disebut Shielded Metal Arc Welding (SMAW) adalah proses penyambungan logam dimana panas didapat dari nyala busur yang memancar antara elektroda dengan selubung flux dan benda kerja. Flux atau slag berfungsi sebagai pelindung molten dari efek oksidasi (Bereaksi dengan O<sub>2</sub>). Pada proses pengelasan, flux ikut mencair. Flux tersebut memiliki berat jenis lebih ringan dari besi, maka flux akan mengapung di atas molten besi sekaligus sebagai pelindung dari udara luar, begitu pula asap hasil pembakarannya [17]. Flux juga akan memberi keuntungan selain berfungsi sebagai deoksidator, juga memberi efek paduan pada logam lasnya sehingga memperkuat logam las [15]. Pengelasan busur dengan elektroda terbungkus digambarkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4, Las busur dengan elektroda terbungkus.

Keterangan Gambar 4:

1. Flux.
2. Rod.
3. Shielding gas.
4. Weld pool.
5. Base metal.
6. Weld metal.
7. Solided slag.

D. Elektroda

API 1104 appendix B menyarankan menggunakan elektroda EXX18 [4]. E7018 merupakan sistem klasifikasi elektroda berdasarkan AWS/ASTM yang memiliki makna sebagai berikut:

- E : Arc welding electrode.
- 70 : Tegangan tarik minimum (x 1.000 psi).
- 1 : Menunjukkan all posisi.
- 8 : Kandungan flux berupa serbuk besi & hydrogen rendah.

Diameter elektroda yang digunakan untuk pengelasan ini adalah ukuran diameter 2,6 mm untuk root dan diameter 3,2 mm untuk filler dan cap [4]. Electrode ini mempunyai kadar hydrogen yang rendah yaitu kurang dari 0.6%. Dalam penggunaannya harus dipanaskan terlebih dahulu di drying oven pada suhu 260°C - 425°C dan pada holding oven 30°C - 140°C atau diatas temperature kamar untuk mengurangi kadar air dalam selaput / flux. Semakin rendah kadar hydrogen dalam selaput, maka deposit las akan semakin bebas dari porositas.

Elektroda ini setipe dengan Exx27, Exx24 karena elektroda ini mengandung oksida besi pada fluxnya. Semakin tebal selaput dari elektroda ini akan semakin besar pula presentase dari serbuk besinya. Dengan demikian elektrode ini dapat dipakai pada arus pengelasan yang lebih tinggi dan deposit bahan lasnya juga tinggi. Bila dipakai untuk pengelasan fillet, akan menghasilkan bentuk yang agak rata [18].

E7018 memiliki persentase serbuk besi lebih dari 40 %, maka selaput akan lebih tebal dan memungkinkan untuk dipakai pada posisi vertikal, overhead, dan horizontal. Tetapi pada EXX24, EXX27, dan EXX28 dengan persentase serbuk besi sekitar 40% hanya dapat dipakai pada posisi di bawah tangan dan horizontal karena fluiditas dari cairan selaput sangat tinggi [18].

E. Heat Input

Heat input adalah asupan panas yang diterima oleh suatu pengelasan yang mampu mempengaruhi kekuatan pada daerah sekitar lasan yang terkena efek panas [11].

$$HI = \frac{V \times I \times 60}{s} \quad (1)$$

Dimana:

- HI : heat input ( $\frac{joule}{mm}$ ).
- V : Tegangan (volts).
- I : Kuat arus (ampere).
- S : Travel speed ( $\frac{mm}{min}$ ).

1. Tegangan Busur Las

Tegangan busur yang dibutuhkan pada pengelasan tergantung dari jenis elektroda yang dipakai. Besar kecilnya tegangan busur ini berbanding lurus dengan panjangnya busur sendiri, sesuai formula berikut:

$$E = I \times R \quad (2)$$

Dimana:

- E : Tegangan busur.
- I : Arus pengelasan.
- R : Tahanan, yang berbanding lurus dengan panjangnya (jarak electrode kelogam induk).

Pemakaian busur yang panjang tidak disarankan karena stabilitasnya mudah terganggu, sehingga hasil pengelasan tidak rata. Panjang busur tidak mempengaruhi pencairan logam, tetapi busur yang panjang akan menambah energi listrik.

$$H = E \times I \quad (3)$$

$$H = I^2 \times R \quad (4)$$

Dimana:

H : Masukan panas (joule).

R : Tahanan.

Semakin besar R semakin besar tegangan akan membuang energi percuma. Panjang busur dianggap baik bila kurang lebih sama diameter electrode.

Kestabilan tegangan ini sangat menentukan mutu pengelasan. Menjaga kestabilan panjang busur ini merupakan salah satu kesulitan yang dialami dalam proses pengelasan busur listrik manual.

## 2. Arus Listrik

Besarnya arus listrik pada pengelasan tergantung dari material, geometri sambungan, posisi pengelasan, jenis dan diameter inti elektroda. Pada material yang memiliki heat expansion yang cukup tinggi, diperlukan arus listrik yang lebih besar.

## 3. Kecepatan Pengelasan

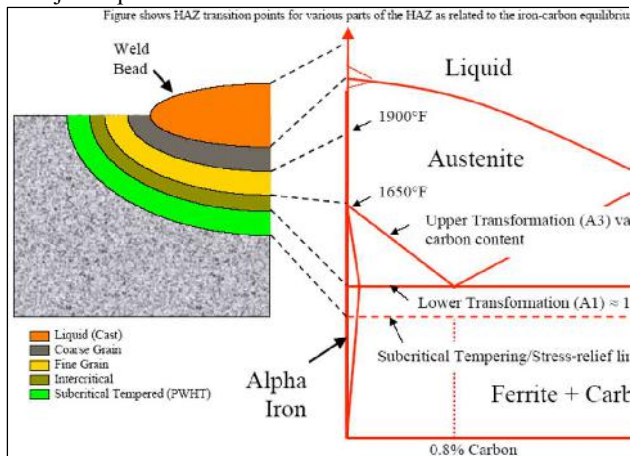
Kecepatan pengelasan tergantung dari material, jenis serta diameter inti electrode, deometri, dan ketelitian sambungan, dll. Kecepatan pengelasan dapat ditinjau dari tiga segi, yaitu:

1. Menurut panjang deposit tanpa mempertimbangkan luas maupun tebal deposit.
2. Menurut luas deposit, tanpa mempertimbangkan tebal deposit.
3. Menurut jumlah (isi deposit yang diperoleh).

Untuk arus tetap, yang berarti kecepatan mendeposit menurut isi tetap, maka bila kecepatan mendeposit menurut luas dipercepat daerah HAZ (Heat Affected Zone) semakin sempit dan pendinginan akan lebih cepat, karena masukan panas setempat kecil, dan sebaliknya [15].

## F. Prinsip Metalurgi

Tujuan dari temper bead adalah untuk memberikan efek temper pada las yang ada di bawahnya. Gambaran daerah pengelasan yang terbentuk pada daerah HAZ ditunjukkan pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5, Diagram transformasi pada HAZ [12].

Gambar 5 menunjukkan bagian dari diagram fasa dan pada diagram tersebut terdapat garis putus-putus yang menunjukkan lokasi transisi pada daerah HAZ. HAZ yang menerima dampak suhu diatas A1 pada proses pendinginannya akan terjadi perubahan sifat serta struktur

mikronya. Pada baja karbon rendah, perubahan yang terjadi bisa bervariasi tergantung dari kandungan Cr, Mo dan V. Faktor yang menentukan terbentuknya suatu mikrostruktur:

1. Chemical analysis suatu material.
2. Cooling rate (laju pendinginan).

Daerah HAZ yang mengalami pemanasan pada suhu sekitar 1.050°C akan mengalami pertumbuhan butir. Pertumbuhan butir pada daerah HAZ berdampak turunnya nilai ketangguhan (ductile) suatu hasil pengelasan. Pengaruh cooling rate apabila pendinginannya cepat, maka area HAZ akan lebih kecil dan ketangguhan yang hilang juga sedikit, sebaliknya pada pendinginan lambat [12].

## G. Aspek Safety

Pengelasan pada in-service pipelines harus mempertimbangkan aspek safety selain manfaat dari aspek teknik. Sebelum pelaksanaan pekerjaan, tiap resiko harus sudah diperhitungkan untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan dengan membuat JSA (Job Safety Analysis). Potensi bahaya bisa berasal dari kandungan materialnya seperti: karat, racun, kemampuan akan mudahnya terbakar, kandungan kimia dan kekuatan mekanik dari muatan yang mengalir [3]. Selain itu diperlukan PPE (Personnal Protective Equipment) yang sesuai dengan jenis pekerjaan sehingga dapat menghindari terjadinya kecelakaan kerja. Pada pelaksanaan pengelasan dilapangan, pressure harus diturunkan  $\frac{1}{3}$  sampai  $\frac{1}{2}$  dari maximum working pressure dan tidak melebihi 70 bar.

Pada saat proses pengelasan pada pengujian ini, resiko yang paling besar adalah naiknya internal pressure akibat dari naiknya suhu akibat pengelasan. Untuk meminimalkan terjadinya pressure yang berlebih, maka pada pengujian ini perlu dipasang pressure gate dan kran air. Pressure gate berfungsi sebagai indikator internal pressure yang terjadi akibat proses pengelasan. Kran air ini berfungsi sebagai penurun pressure apabila naik  $\pm 10\%$  atau dirasa perlu dirubah.

## H. Hardness Test

Kekerasan suatu material adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap identasi, goresan, aus dan abrasi. Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strength (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya.

Pada dasarnya metode pengujian kekerasan Vickers hampir sama dengan Brinells hanya identornya saja yang berbeda. Gambar 6 menunjukkan metode Vickers dan Gambar 7 menunjukkan hasil tapak tekan pengujian Vickers. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada metode pengujian kekerasan Vickers adalah sebagai berikut:

1. Spesimen harus memenuhi persyaratan:
  - a. Permukaan harus rata dan halus.
  - b. Dapat ditumpu dengan baik dan permukaan horizontal.
2. Identor yang digunakan adalah intan yang berbentuk pyramid yang beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136°.
3. Pada dasarnya semua beban bisa digunakan, kecuali untuk pelat yang tipis harus digunakan beban yang ringan.
4. Pada pelaksanaannya, pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan identor pada permukaan



- specimen selama 10 – 30 detik.
- Nilai kekerasan pengujian ini dinyatakan dalam satuan DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) yang dihitung berdasarkan diagonal indentasi dengan persamaan sebagai berikut [14]:

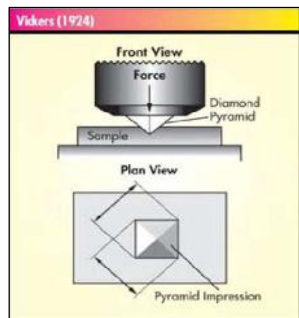
$$DPH = \frac{[2 \times P \times \sin(\frac{\alpha}{2})]}{d^2} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \quad (5)$$

Untuk:  $\alpha = 136^\circ$

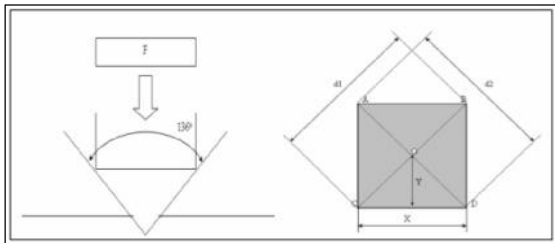
Dimana:

P = Gaya tekan (Kgf)

d = Diagonal indentasi (mm)



Gambar 6, Metode kekerasan Vickers.



Gambar 7, Hasil tapak tekan pengujian Vickers.

Persamaan ini didapatkan dari:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$X = d \times \cos 45^\circ = \frac{1}{2} \times d \times \sqrt{2}$$

$$Y = \frac{X}{\cos 22,5^\circ} = \frac{\frac{1}{2} \times d \times \sqrt{2}}{\cos 22,5^\circ}$$

$$L \Delta AOB = \frac{1}{2} \times X \times Y = \frac{(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times d \times \sqrt{2} \times \frac{1}{2} \times d \times \sqrt{2})}{\cos 22,5^\circ}$$

$$= \frac{(\frac{1}{8} \times d^2)}{\cos 22,5^\circ}$$

$$A = 4 \times L \times \Delta \times AOB = \frac{4 \times (\frac{1}{8} \times d^2)}{\cos 22,5^\circ}$$

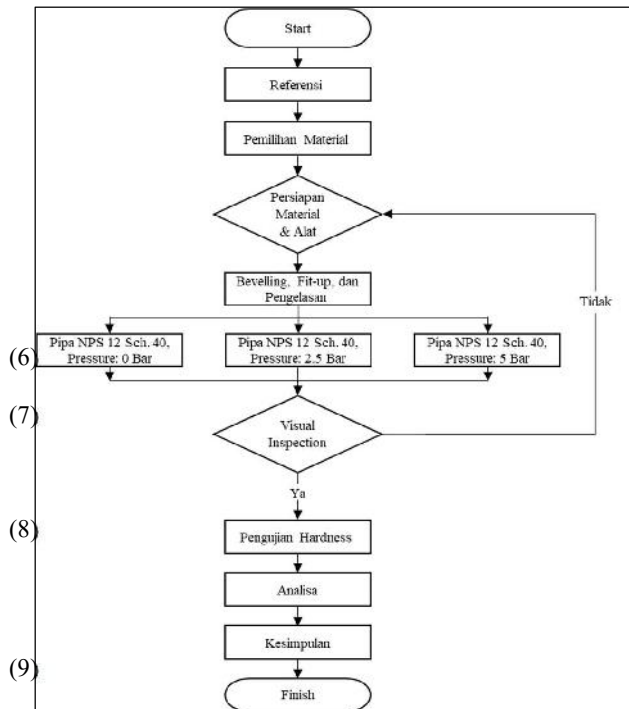
$$\begin{aligned} &= \frac{(\frac{1}{2} \times d^2)}{\cos 22,5^\circ} \\ \blacksquare \quad HVN &= \frac{P}{A} = \frac{1,854 \times P}{d^2} \end{aligned} \quad (11)$$

- Penulisan nilai kekerasan seperti contoh berikut: 150 DPH 150/10.  
Dimana:  
150 : Nilai Kekerasan (Kgf/mm<sup>2</sup>)  
DPH : Metode Pengujian Vickers  
150 : Gaya Pembebanan (Kgf)  
10 : Waktu Pembebanan (Detik).
- Sama dengan pengujian kekerasan dengan Brinells, karena pengukuran dilakukan secara manual maka memberikan kemungkinan untuk terjadinya kesalahan ukur. Kesalahan itu dimungkinkan terutama pada saat peletakan alat ukur pada objek dan pembacaan pengukurannya.

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Flowchart Metodologi Pengujian

Metode pengujian dalam proyek ini ditunjukkan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dibawah ini.



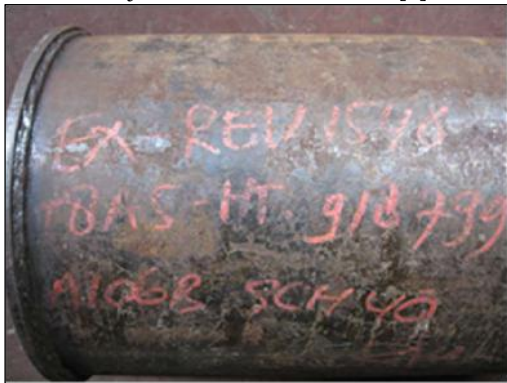
Gambar 5, Flowchart Metodologi Pengujian.

#### B. Studi Literatur / Referensi

Studi literatur meliputi pengumpulan sumber-sumber referensi dan data yang dijadikan referensi untuk pembuatan spesimen, pengujian serta penyelesaian laporan, beberapa referensi yang berhubungan dengan objek yang akan dibahas serta sumber – sumber lainnya.

#### C. Material

Material yang akan digunakan yaitu pipa A 106 grade B atau setara API 5L grade B dengan NPS 12 Sch 40 [8] dan sleeve menggunakan SA 516 grade 70 dengan tebal 8 mm sedangkan backing menggunakan A 36 dengan tebal 3 mm. Material yang dipilih harus bebas dari cacat material. Gambar 8 menunjukkan identifikasi material [7].



Gambar 8, Identifikasi material.

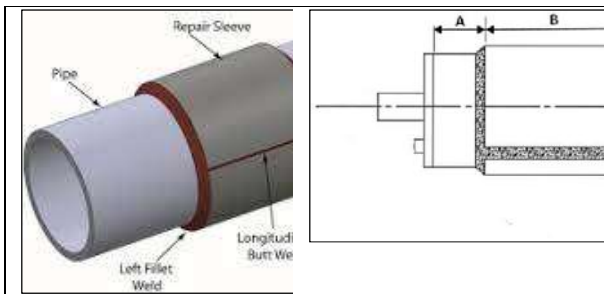
D. *Persiapan dan Peralatan*

Pengujian ini membutuhkan peralatan-peralatan dan consumable yang mendukung dalam proses pembentukan dan penganalisaan specimen untuk mendapatkan ukuran dan bentuk specimen yang sesuai dengan standard. Peralatan sangat diperlukan dalam proses pembentukan spesimen:

1. Mesin las dan assesoriesnya.
2. Elektrode (kawat las).
3. Gerinda tangan dan grinding disk.
4. Safety equipments, PPE untuk welder (Welding google, gloves, fire cloth, dll.).
5. Kran air sebagai safety valve.
6. Pressure gate.
7. Sikat kawat.
8. Mesin hydrotest.

E. *Dimensi Spesimen*

Dimensi serta posisi yang digunakan seperti Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9, Spesimen uji.

Keterangan :

A : 150 mm

B : 200 mm

Posisi flat atau 2G dan 5F fixed.

F. *Langkah – Langkah Persiapan Spesimen*

1. Gambar 10 menunjukkan sudut kampuh pada longitudinal seam.



Gambar 10, Sudut kampuh pada longitudinal seam.

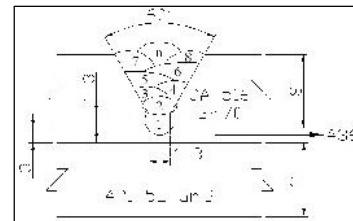
2. Penandaan specimen untuk masing - masing variable.
  - a. 5 untuk specimen dengan pressure 5 bar.
  - b. 2.5 untuk specimen dengan pressure 2,5 bar.
  - c. 0 untuk specimen dengan pressure 0 bar.
3. Pemasangan pressure gate sebagai indikator pressure yang ada di dalam pipa.

G. *Proses Pengelasan*

Pengelasan sleeve dilakukan dengan menggunakan proses pengelasan SMAW, Shielded Metal Arc Welding [9] dan parameter las sesuai dengan prosedur sebagai berikut:

1. *Longitudinal Seam (2G)*

Pengelasan longitudinal seam ini menggunakan plat SA 516 grade 70 dengan ketebalan 8 mm dengan posisi 2 G atau posisi horizontal untuk butt joint. Design joint dan welding sequences seperti ditunjukkan pada Gambar 11 dengan parameter pengelasan sesuai dengan Tabel 1 dibawah ini.



Gambar 11, Design joint dan welding sequences longitudinal seam.

TABEL 1  
PARAMETER PENGLASAN LONGITUDINAL SEAM

No. Pass	Dia. Elec.	Ampere (A)	Volt. (V)	Speed (mm/min)	HI (Kj/mm)
1	2,6	75-90	23-28	90-110	1,13-2,10
2	3,2	100-130	23-28	91-110	1,26-2,43
Fill	3,2	110-130	23-28	90-120	1,27-2,43
Cap	3,2	120-140	24-28	100-150	1,20-2,36

2. *Circum Fillet (5F)*

Pengelasan circum fillet ini menyambung main pipe API 5L grade B NPS 12 sch 40 dengan plat SA 516 grade 70 dengan ketebalan 8 mm dengan posisi 5 F untuk fillet weld. Design joint dan welding sequences seperti ditunjukkan pada



**Table 1A (Cont'd)**  
**Section I: Section III, Division 1, Classes 2 and 3; Section VIII, Division 1; and Section XII**  
**Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials**  
 (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding														
	40	65	100	125	150	200	250	300	325	350	375	400	425	450	475
1	118	118	118	118	118	118	118	115	107	104	101	97,8	94,1	78,9	62,6
2	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	98,9	78,9	62,7	45,5
3	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	98,9	78,9	62,7	45,5
4	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	—	—	—	—
5	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	—	—	—	—
6	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	—	—	—	—
7	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	—	—	—	—
8	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	—	—	—	—
9	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	—	—	—	—
10	118	118	118	118	118	118	118	115	112	108	104	—	—	—	—
11	118	118	118	118	118	118	118	118	115	111	—	—	—	—	—
12	118	118	118	118	118	118	118	118	110	110	117	105	98,9	78,9	62,7
13	101	101	101	101	101	101	101	101	101	99,7	99,7	78,9	62,7	33,3	30,9
14	118	118	118	118	118	118	118	118	118	117	105	98,9	78,9	62,7	45,5
15	118	118	118	118	118	118	118	118	118	117	105	98,9	78,9	62,7	45,5
16	118	118	118	118	118	118	118	118	118	117	105	98,9	78,9	62,7	45,5
17	101	101	101	101	101	101	101	101	101	99,7	99,7	78,9	62,7	33,3	30,9
18	118	118	118	118	118	118	118	118	118	117	105	98,9	78,9	62,7	45,5
19	118	118	118	118	118	118	118	118	118	117	105	98,9	78,9	62,7	45,5
20	101	101	101	101	101	101	101	101	101	99,7	99,7	—	—	—	—

Gambar 14, Maximum allowable stress value (lanjutan) [13].

**Table UW-12**  
**Maximum Allowable Joint Efficiencies for Welded Joints**

Type and Position	Description	Efficiency	Welds in Butt Joints or in T-Joints		
			ASME Section VIII, Division 1, Class 2, Subsection (c)	ASME Section VIII, Division 1, Class 3, Subsection (c)	ASME Section VIII, Division 1, Class 3, Subsection (d)
1	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with full penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint.	See note	1.0	1.0	1.0
2	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint.	See note	0.85	0.85	0.85
3	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded.	See note	0.75	0.75	0.75
4	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed.	See note	0.75	0.75	0.75
5	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods.	See note	0.75	0.75	0.75
6	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods.	See note	0.75	0.75	0.75
7	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods, and the joint is not inspected by dye penetrant methods.	See note	0.75	0.75	0.75
8	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods, and the joint is not inspected by dye penetrant methods, and the joint is not inspected by liquid penetrant methods.	See note	0.75	0.75	0.75
9	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods, and the joint is not inspected by dye penetrant methods, and the joint is not inspected by liquid penetrant methods, and the joint is not inspected by eddy current methods.	See note	0.75	0.75	0.75
10	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods, and the joint is not inspected by dye penetrant methods, and the joint is not inspected by liquid penetrant methods, and the joint is not inspected by eddy current methods, and the joint is not inspected by acoustic emission methods.	See note	0.75	0.75	0.75
11	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods, and the joint is not inspected by dye penetrant methods, and the joint is not inspected by liquid penetrant methods, and the joint is not inspected by eddy current methods, and the joint is not inspected by acoustic emission methods, and the joint is not inspected by stress corrosion cracking methods.	See note	0.75	0.75	0.75
12	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods, and the joint is not inspected by dye penetrant methods, and the joint is not inspected by liquid penetrant methods, and the joint is not inspected by eddy current methods, and the joint is not inspected by acoustic emission methods, and the joint is not inspected by stress corrosion cracking methods, and the joint is not inspected by fatigue crack growth methods.	See note	0.75	0.75	0.75
13	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods, and the joint is not inspected by dye penetrant methods, and the joint is not inspected by liquid penetrant methods, and the joint is not inspected by eddy current methods, and the joint is not inspected by acoustic emission methods, and the joint is not inspected by stress corrosion cracking methods, and the joint is not inspected by fatigue crack growth methods, and the joint is not inspected by creep crack growth methods.	See note	0.75	0.75	0.75
14	Butt-jointed pipe, sleeve, or vessel wall with partial penetration groove welds, including those with bevels or chamfers at the ends of the joint, where the groove is not welded and the joint is not radiographed, and the joint is not inspected by ultrasonic methods, and the joint is not inspected by magnetic particle methods, and the joint is not inspected by dye penetrant methods, and the joint is not inspected by liquid penetrant methods, and the joint is not inspected by eddy current methods, and the joint is not inspected by acoustic emission methods, and the joint is not inspected by stress corrosion cracking methods, and the joint is not inspected by fatigue crack growth methods, and the joint is not inspected by creep crack growth methods, and the joint is not inspected by hydrogen embrittlement methods.	See note	0.75	0.75	0.75

Gambar 15, Maximum allowable joint efficiency [6].

Diketahui:

NPS 12 Sch 40

OD = 12,75 inch

R = 6,375 inch

t<sub>1</sub> = 0,375 inch

(Pipa)

t<sub>2</sub> = 0,18 inch

(Sleeve)

1 Bar = 14,50337 psi

API 5L / A Grade B

1 Mpa = 145,2282 psi

S<sub>1</sub> = 118 Mpa = 118 x

145,2282 psi = 17.136,93 psi

[13]

S<sub>2</sub> = 75,3 Mpa (Mpa pada

suhu 800°F=426,67°C)

= 75,3 x 145,2282 psi =

10.935,68 psi

E = 0,5 [Joint

Efficiency, Gambar 15]

Ditanya:

P<sub>1</sub> = ?

P<sub>2</sub> = ?

Jawab:

$$P_1 = \frac{2 \times S_1 \times E \times t_1}{R - 0,4 \times t_1}$$

$$= \frac{2 \times 17.136,93 \times 0,5 \times 0,375}{6,375 - (0,4 \times 0,375)}$$

$$= 1.032,35 \text{ psi}$$

$$= 71,18 \text{ bar}$$

$$P_2 = \frac{2 \times S_2 \times E \times t_2}{R - 0,4 \times t_2}$$

$$= \frac{2 \times 10.935,68 \times 0,5 \times 0,18}{6,375 - (0,4 \times 0,18)}$$

$$= 312,30 \text{ psi}$$

$$= 21,53 \text{ bar}$$

Perhitungan di atas menunjukkan nilai paling rendah untuk internal pressure yang mampu diterima dengan asumsi ketebalan yang efektif menerima internal pressure sebesar 0,18 inch atau sekitar 4,53 mm adalah 21,53 bar. Tekanan 21,53 bar menjadi batas maksimum pressure yang boleh bekerja pada desain pressure vessel. Jadi berdasarkan perhitungan di atas pemilihan variasi pressure 0, 2,5, dan 5 bar masih aman karena masih lebih kecil atau lebih rendah dari batas maksimum sebesar 21,53.

B. Data Hasil Proses Pengelasan

1. Data Parameter Las Pada Internal Pressure 0 Bar

Dari pengelasan yang telah dilakukan, didapatkan parameter pengelasan untuk longitudinal seam yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan untuk circum fillet pada Tabel 4 dibawah ini.

TABEL 3  
 RECORD PARAMETER PADA PENGELASAN LONGITUDINAL SEAM 0 BAR

No. Pas s	Elec.	Dia. Elec	Amp (A)	Volt (V)	Speed (mm/min)	H input (Kj/mm)
1	E7016	2,6	85	25	159,38	0,80
2	E7016	2,6	87	24	130,77	0,96
3	E7018	3,2	107	25	134,21	1,20
4	E7018	3,2	110	24	118,60	1,34
5	E7018	3,2	106	24	124,39	1,23
6	E7018	3,2	102	27	124,39	1,33
7	E7018	3,2	108	26	159,38	1,06

TABEL 4  
 RECORD PARAMETER PADA PENGELASAN CIRCUM FILLET 0 BAR

No. Pas s	Elec.	Dia. Elec	Amp (A)	Volt (V)	Speed (mm/min)	H input (Kj/mm)
1	E7016	2,6	94	24	90,00	1,50
2	E7018	3,2	108	26	75,00	2,25

2. Data Parameter Las Pada Internal Pressure 2,5 Bar

Dari pengelasan yang telah dilakukan, didapatkan parameter pengelasan untuk longitudinal seam yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan untuk circum fillet pada Tabel 6, serta Gambar 16 menunjukkan gambar indikator pressure.



Gambar 16, Pressure 2.5 bar.



TABEL 5  
RECORD PARAMETER PADA PENGELASAN LONGITUDINAL SEAM 2,5 BAR

No. Pass	Elec.	Dia. Elec.	Amp. (A)	Volt. (V)	Speed (mm/min)	H input (Kj/mm)
1	E7016	2,6	87	26	144,83	0,94
2	E7016	2,6	86	26	144,83	0,93
3	E7018	3,2	105	27	131,25	1,30
4	E7018	3,2	103	27	140,00	1,19
5	E7018	3,2	106	25	155,56	1,02
6	E7018	3,2	105	25	144,83	1,09
7	E7018	3,2	105	27	190,91	0,89

3. Data Parameter Las Pada Internal Pressure 5 Bar

Dari pengelasan yang telah dilakukan, didapatkan parameter pengelasan untuk longitudinal seam yang ditunjukkan pada Tabel 7 dan untuk circum fillet pada Tabel 8 serta Gambar 17 menunjukkan indikator pressure.



Gambar 17, Pressure 5 bar.

TABEL 7  
RECORD PARAMETER PADA PENGELASAN LONGITUDINAL SEAM 5 BAR

No. Pas s	Elec.	Dia. Elec.	Am p. (A)	Vol t. (V)	Speed (mm/mi n)	H input (Kj/m m)
1	E7016	2,6	82	25	107,69	1,14
2	E7018	3,2	87	22	131,25	0,87
3	E7018	3,2	104	27	127,27	1,32
4	E7018	3,2	107	26	190,91	0,87
5	E7018	3,2	110	24	140,00	1,13
6	E7018	3,2	107	24	190,91	0,81

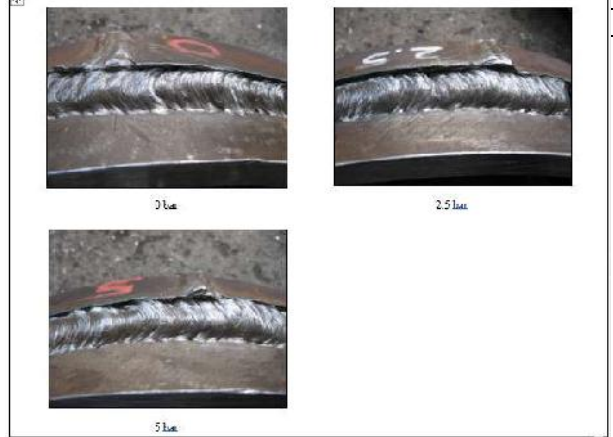
TABEL 8  
RECORD PARAMETER PADA PENGELASAN CIRCUM FILLET 5 BAR

No. Pass	Elec.	Dia. Elec.	Amp. (A)	Volt. (V)	Speed (mm/min)	H input (Kj/mm)
1	E7016	2,6	92	25	76,83	1,80
2	E7018	3,2	110	28	78,75	2,35

C. Visual Inspection

TABEL 6  
RECORD PARAMETER PADA PENGELASAN CIRCUM FILLET 2,5 BAR

No. Pass	Elec.	Dia. Elec.	Amp. (A)	Volt. (V)	Speed (mm/min)	H input (Kj/mm)
1	E7016	2,6	87	26	144,83	0,94
2	E7016	2,6	86	26	144,83	0,93
3	E7018	3,2	105	27	131,25	1,30
4	E7018	3,2	103	27	140,00	1,19
5	E7018	3,2	106	25	155,56	1,02
6	E7018	3,2	105	25	144,83	1,09
7	E7018	3,2	105	27	190,91	0,89

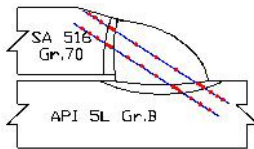


Gambar 18, Hasil visual inspections.

D. Data Hasil Pengujian Hardness

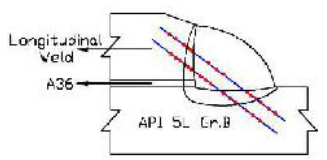
Pengujian hardness merupakan pengujian yang berfungsi untuk melihat apakah internal pressure memiliki pengaruh terhadap nilai kekerasan pada hasil pengelasan. Tabel 9 sampai 17 dibawah ini merupakan hasil pengujian hardness yang telah dilakukan:

**TABEL 9**  
**DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 0 BAR (L)**  
**Hardness Vickers Test Specimen 0 Bar (L)**



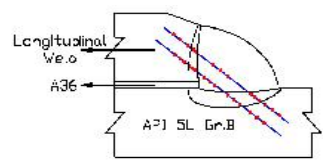
		Load:	10 Kgf			
		Time:	15 s			
		Identor:	Diamond Pyramid			
		HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )			
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN	
Base Metal API 5L	1	0,38	0,36	0,37	136,53	
	2	0,37	0,37	0,37	136,90	
	3	0,35	0,33	0,34	158,05	
	4	0,36	0,38	0,37	135,43	
	5	0,37	0,36	0,36	141,87	
	6	0,34	0,38	0,36	141,09	
	Average					141,65
HAZ API 5L	1	0,33	0,32	0,33	175,53	
	2	0,30	0,35	0,32	179,93	
	3	0,30	0,30	0,30	205,32	
	4	0,29	0,29	0,29	221,98	
	5	0,30	0,31	0,30	200,61	
	6	0,30	0,32	0,31	193,55	
	Average					196,15
Weld Metal	1	0,36	0,38	0,37	133,62	
	2	0,31	0,32	0,31	191,07	
	3	0,32	0,32	0,32	181,62	
	4	0,29	0,29	0,29	217,44	
	5	0,28	0,27	0,28	242,50	
	6	0,29	0,29	0,29	221,98	
	Average					198,04
HAZ 516 Gr.70	1	0,33	0,33	0,33	171,28	
	2	0,31	0,32	0,31	187,44	
	3	0,32	0,32	0,32	183,92	
	4	0,33	0,33	0,33	174,45	
	5	0,35	0,34	0,34	157,13	
	6	0,33	0,33	0,33	167,19	
	Average					175,30
Base Metal 516 Gr.70	1	0,33	0,33	0,33	171,28	
	2	0,32	0,32	0,32	179,37	
	3	0,32	0,32	0,32	179,37	
	4	0,33	0,33	0,33	166,19	
	5	0,32	0,32	0,32	182,19	
	6	0,33	0,33	0,33	173,39	
	Average					175,30

**TABEL 10**  
DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 0 BAR C(A)  
Hardness Vickers Test Specimen 0 Bar C(A)

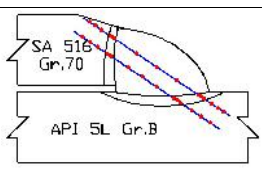


					Load:	10 Kgf
					Time:	15 s
					Identor:	Diamond Pyramid
					HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN	
Base Metal API 5L	1	0,37	0,37	0,37	133,62	
	2	0,36	0,36	0,36	143,85	
	3	0,36	0,36	0,36	144,66	
	4	0,37	0,36	0,36	141,87	
	5	0,35	0,35	0,35	153,98	
	6	0,36	0,35	0,35	147,53	
	Average					144,25
HAZ API 5L	1	0,34	0,33	0,34	161,33	
	2	0,33	0,33	0,33	170,77	
	3	0,33	0,33	0,33	175,53	
	4	0,33	0,33	0,33	171,28	
	5	0,32	0,32	0,32	177,71	
	6	0,32	0,31	0,32	186,85	
	Average					173,91
Weld Metal	1	0,29	0,29	0,29	218,19	
	2	0,29	0,29	0,29	217,44	
	3	0,29	0,30	0,30	212,32	
	4	0,31	0,31	0,31	194,80	
	5	0,31	0,31	0,31	194,17	
	6	0,31	0,31	0,31	198,00	
	Average					205,82
HAZ Longitudinal Weld	1	0,33	0,33	0,33	172,86	
	2	0,33	0,33	0,33	168,71	
	3	0,33	0,34	0,34	162,28	
	4	0,34	0,32	0,33	171,81	
	5	0,34	0,34	0,34	160,85	
	6	0,34	0,34	0,34	165,20	
	Average					166,95
Longitudinal Weld	1	0,33	0,32	0,32	179,93	
	2	0,33	0,33	0,33	170,25	
	3	0,33	0,33	0,33	172,33	
	4	0,32	0,32	0,32	181,05	
	5	0,32	0,33	0,33	173,92	
	6	0,33	0,33	0,33	168,71	
	Average					174,36

**TABEL 11**  
DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 0 BAR C(B)  
Hardness Vickers Test Specimen 0 Bar C(B)

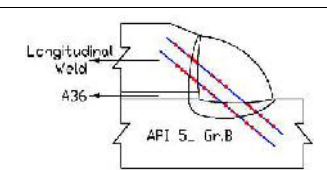


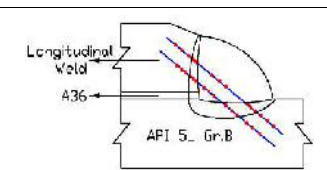
					Load:	10 Kgf
					Time:	15 s
					Identor:	Diamond Pyramid
					HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN	
Base Metal API 5L	1	0,35	0,35	0,35	149,63	
	2	0,36	0,36	0,36	144,66	
	3	0,34	0,35	0,34	156,67	
	4	0,36	0,35	0,36	145,47	
	5	0,36	0,36	0,36	145,88	
	6	0,37	0,36	0,36	141,09	
	Average					147,23
HAZ API 5L	1	0,32	0,31	0,31	191,07	
	2	0,30	0,31	0,31	199,30	
	3	0,30	0,29	0,29	217,44	
	4	0,32	0,31	0,32	185,67	
	5	0,31	0,31	0,31	194,17	
	6	0,32	0,32	0,32	186,85	
	Average					195,75
Weld Metal	1	0,29	0,29	0,29	220,45	
	2	0,30	0,30	0,30	210,89	
	3	0,43	0,42	0,42	102,89	
	4	0,30	0,29	0,30	210,18	
	5	0,29	0,30	0,29	213,77	
	6	0,30	0,32	0,31	196,07	
	Average					192,38
HAZ Longitudinal Weld	1	0,32	0,32	0,32	178,81	
	2	0,33	0,32	0,32	178,81	
	3	0,33	0,33	0,33	171,81	
	4	0,33	0,32	0,32	178,26	
	5	0,33	0,32	0,32	177,71	
	6	0,33	0,33	0,33	170,25	
	Average					175,94
Longitudinal Weld	1	0,30	0,30	0,30	208,77	
	2	0,30	0,30	0,30	209,48	
	3	0,29	0,30	0,29	213,77	
	4	0,31	0,32	0,32	182,76	
	5	0,30	0,32	0,31	194,17	
	6	0,29	0,32	0,31	198,65	
	Average					201,27

TABEL 12 DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 2,5 BAR (L) Hardness Vickers Test Specimen 2,5 Bar (L)					
				Load:	10 Kgf
				Time:	15 s
				Identor:	Diamond Pyramid
				HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN
Base Metal API 5L	1	0,36	0,37	0,36	139,55
	2	0,36	0,34	0,35	150,49
	3	0,35	0,34	0,35	155,32
	4	0,35	0,34	0,34	156,67
	5	0,34	0,34	0,34	157,59
	6	0,34	0,36	0,35	150,49
	Average				
HAZ API 5L	1	0,33	0,32	0,32	177,16
	2	0,33	0,33	0,33	169,22
	3	0,33	0,33	0,33	168,71
	4	0,33	0,33	0,33	170,25
	5	0,33	0,33	0,33	171,81
	6	0,33	0,33	0,33	169,22
	Average				
Weld Metal	1	0,30	0,30	0,30	209,48
	2	0,30	0,28	0,29	220,45
	3	0,29	0,29	0,29	221,21
	4	0,29	0,30	0,30	211,61
	5	0,30	0,30	0,30	211,61
	6	0,29	0,29	0,29	225,08
	Average				
HAZ 516 Gr.70	1	0,31	0,32	0,31	187,44
	2	0,31	0,31	0,31	195,44
	3	0,31	0,31	0,31	193,55
	4	0,30	0,30	0,30	203,28
	5	0,30	0,30	0,30	206,69
	6	0,32	0,31	0,31	189,85
	Average				
Base Metal 516 Gr.70	1	0,32	0,30	0,31	198,65
	2	0,32	0,32	0,32	186,26
	3	0,31	0,30	0,31	199,30
	4	0,31	0,31	0,31	194,80
	5	0,31	0,31	0,31	192,92
	6	0,31	0,31	0,31	193,55
	Average				

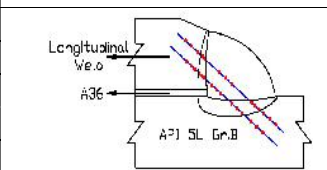


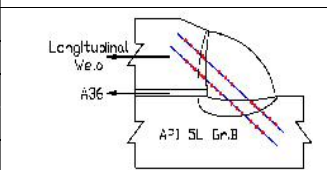
**TABEL 13**  
DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 2,5 BAR C(A)  
Hardness Vickers Test Specimen 2,5 Bar C(A)

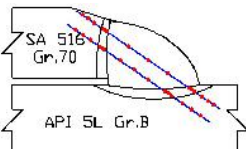


TABEL 13					
DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 2,5 BAR C(A)					
Hardness Vickers Test Specimen 2,5 Bar C(A)					
				Load:	10 Kgf
				Time:	15 s
				Identor:	Diamond Pyramid
				HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN
Base Metal API 5L	1	0,34	0,36	0,35	148,36
	2	0,34	0,35	0,34	158,51
	3	0,35	0,35	0,35	155,32
	4	0,35	0,36	0,35	148,36
	5	0,33	0,33	0,33	171,28
	6	0,34	0,34	0,34	159,91
	Average				
HAZ API 5L	1	0,30	0,31	0,30	200,61
	2	0,32	0,31	0,31	188,64
	3	0,31	0,32	0,31	191,07
	4	0,32	0,32	0,32	179,37
	5	0,32	0,32	0,32	181,05
	6	0,31	0,33	0,32	183,92
	Average				
Weld Metal	1	0,30	0,28	0,29	221,21
	2	0,30	0,28	0,29	221,21
	3	0,30	0,30	0,30	207,38
	4	0,30	0,30	0,30	204,63
	5	0,31	0,29	0,30	202,61
	6	0,29	0,30	0,29	213,77
	Average				
HAZ Longitudinal Weld	1	0,31	0,31	0,31	190,46
	2	0,32	0,32	0,32	181,05
	3	0,32	0,33	0,32	178,81
	4	0,31	0,32	0,31	188,64
	5	0,31	0,30	0,31	196,71
	6	0,32	0,31	0,32	186,85
	Average				
Longitudinal Weld	1	0,32	0,31	0,31	187,44
	2	0,31	0,32	0,32	182,76
	3	0,31	0,31	0,31	189,85
	4	0,31	0,32	0,31	187,44
	5	0,32	0,32	0,32	184,50
	6	0,31	0,32	0,32	185,67
	Average				

**TABEL 14**  
DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 2,5 BAR C(B)  
Hardness Vickers Test Specimen 2,5 Bar C(B)

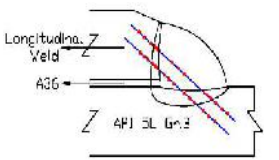


TABEL 14					
DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 2,5 BAR C(B)					
Hardness Vickers Test Specimen 2,5 Bar C(B)					
				Load:	10 Kgf
				Time:	15 s
				Identor:	Diamond Pyramid
				HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN
Base Metal API 5L	1	0,34	0,35	0,35	154,87
	2	0,35	0,34	0,34	156,22
	3	0,35	0,35	0,35	153,09
	4	0,35	0,35	0,35	154,42
	5	0,35	0,34	0,34	156,45
	6	0,35	0,35	0,35	154,42
	Average				
HAZ API 5L	1	0,30	0,30	0,30	206,69
	2	0,31	0,31	0,31	194,80
	3	0,34	0,34	0,34	164,22
	4	0,34	0,34	0,34	163,73
	5	0,33	0,34	0,34	164,22
	6	0,33	0,34	0,33	167,19
	Average				
Weld Metal	1	0,28	0,30	0,29	221,21
	2	0,29	0,29	0,29	220,45
	3	0,30	0,29	0,30	212,32
	4	0,30	0,30	0,30	208,08
	5	0,31	0,32	0,32	186,26
	6	0,30	0,31	0,30	201,28
	Average				
HAZ Longitudinal Weld	1	0,38	0,38	0,38	131,14
	2	0,31	0,30	0,31	198,65
	3	0,32	0,32	0,32	186,26
	4	0,32	0,30	0,31	196,07
	5	0,31	0,31	0,31	194,17
	6	0,32	0,32	0,32	184,50
	Average				
Longitudinal Weld	1	0,30	0,30	0,30	205,32
	2	0,30	0,30	0,30	206,00
	3	0,30	0,30	0,30	207,38
	4	0,30	0,30	0,30	206,00
	5	0,30	0,30	0,30	203,96
	6	0,30	0,30	0,30	210,18
	Average				

TABEL 15 DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 5 BAR (L) Hardness Vickers Test Specimen 5 Bar (L)					
				Load:	10 Kgf
				Time:	15 s
				Identor:	Diamond Pyramid
				HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN
Base Metal API 5L	1	0,37	0,36	0,37	138,40
	2	0,37	0,37	0,37	136,90
	3	0,36	0,35	0,36	147,11
	4	0,37	0,37	0,37	135,43
	5	0,36	0,36	0,36	140,31
	6	0,36	0,36	0,36	140,31
	Average				
HAZ API 5L	1	0,31	0,30	0,30	203,28
	2	0,30	0,30	0,30	205,32
	3	0,31	0,31	0,31	190,46
	4	0,32	0,33	0,32	176,61
	5	0,32	0,32	0,32	181,05
	6	0,33	0,34	0,33	167,19
	Average				
Weld Metal	1	0,30	0,28	0,29	221,21
	2	0,28	0,27	0,28	238,18
	3	0,30	0,29	0,30	212,32
	4	0,29	0,28	0,28	231,49
	5	0,29	0,29	0,29	220,45
	6	0,30	0,30	0,30	210,89
	Average				
HAZ 516 Gr.70	1	0,33	0,33	0,33	170,77
	2	0,32	0,32	0,32	178,81
	3	0,32	0,32	0,32	184,50
	4	0,32	0,33	0,32	179,93
	5	0,32	0,31	0,32	186,26
	6	0,31	0,32	0,31	189,24
	Average				
Base Metal 516 Gr.70	1	0,34	0,34	0,34	161,33
	2	0,32	0,32	0,32	181,05
	3	0,32	0,32	0,32	179,93
	4	0,32	0,32	0,32	180,49
	5	0,33	0,33	0,33	175,53
	6	0,33	0,32	0,32	176,07
	Average				

**TABEL 16**  
**DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 5 BAR C(A)**

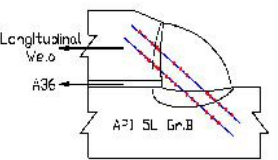
**Hardness Vickers Test Specimen 5 Bar C(A)**



					Load:	10 Kgf
					Time:	15 s
					Indentor:	Diamond Pyramid
					HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN	
Base Metal API 5L	1	0,37	0,37	0,37	135,43	
	2	0,38	0,38	0,38	128,39	
	3	0,36	0,36	0,36	145,47	
	4	0,37	0,36	0,36	140,31	
	5	0,37	0,36	0,37	139,16	
	6	0,36	0,36	0,36	143,45	
	Average					138,70
HAZ API 5L	1	0,31	0,31	0,31	190,46	
	2	0,31	0,33	0,32	181,05	
	3	0,31	0,31	0,31	193,55	
	4	0,31	0,31	0,31	190,46	
	5	0,32	0,32	0,32	177,71	
	6	0,35	0,35	0,35	154,87	
	Average					181,35
Weld Metal	1	0,30	0,30	0,30	209,48	
	2	0,29	0,29	0,29	220,45	
	3	0,30	0,29	0,29	215,23	
	4	0,31	0,31	0,31	194,17	
	5	0,30	0,29	0,29	215,23	
	6	0,29	0,29	0,29	218,94	
	Average					212,25
HAZ Longitudinal Weld	1	0,34	0,33	0,34	165,20	
	2	0,36	0,37	0,36	139,93	
	3	0,34	0,34	0,34	162,77	
	4	0,34	0,34	0,34	158,97	
	5	0,33	0,33	0,33	170,25	
	6	0,33	0,33	0,33	171,81	
	Average					161,49
Longitudinal Weld	1	0,33	0,33	0,33	170,25	
	2	0,33	0,33	0,33	172,33	
	3	0,33	0,33	0,33	172,86	
	4	0,33	0,33	0,33	171,81	
	5	0,33	0,33	0,33	172,33	
	6	0,33	0,33	0,33	172,33	
	Average					171,98

**TABEL 17**  
**DATA HASIL UJI KEKERASAN PADA SPECIMEN 5 BAR C(B)**

**Hardness Vickers Test Specimen 5 Bar C(B)**



					Load:	10 Kgf
					Time:	15 s
					Indentor:	Diamond Pyramid
					HVN:	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
Lokasi	No.	d1	d2	d rata	HVN	
Base Metal API 5L	1	0,36	0,36	0,36	145,47	
	2	0,35	0,36	0,36	147,11	
	3	0,36	0,36	0,36	141,87	
	4	0,36	0,36	0,36	145,47	
	5	0,36	0,36	0,36	143,85	
	6	0,36	0,36	0,36	143,06	
	Average					144,47
HAZ API 5L	1	0,31	0,31	0,31	194,17	
	2	0,31	0,32	0,31	188,64	
	3	0,32	0,33	0,32	176,61	
	4	0,34	0,34	0,34	157,59	
	5	0,35	0,35	0,35	154,87	
	6	0,35	0,35	0,35	153,09	
	Average					170,83
Weld Metal	1	0,30	0,30	0,30	207,38	
	2	0,30	0,30	0,30	211,61	
	3	0,31	0,32	0,32	184,50	
	4	0,30	0,29	0,30	213,04	
	5	0,32	0,32	0,32	183,34	
	6	0,30	0,30	0,30	205,32	
	Average					200,86
HAZ Longitudinal Weld	1	0,33	0,33	0,33	175,53	
	2	0,34	0,33	0,33	166,19	
	3	0,34	0,33	0,33	167,19	
	4	0,33	0,33	0,33	167,19	
	5	0,34	0,33	0,34	164,22	
	6	0,33	0,33	0,33	173,39	
	Average					168,95
Longitudinal Weld	1	0,33	0,32	0,33	175,53	
	2	0,31	0,32	0,32	186,26	
	3	0,32	0,32	0,32	177,71	
	4	0,32	0,32	0,32	179,37	
	5	0,32	0,32	0,32	181,62	
	6	0,31	0,31	0,31	188,04	
	Average					181,42

Dari Tabel 9 sampai Tabel 11 yang merupakan data kekerasan untuk specimen 0 bar. Hasil uji kekerasan dapat disimpulkan dan kemudian diambil rata-rata untuk tiap daerah pengaruh panas akibat proses pengelasan seperti pada Tabel 18 berikut.

TABEL 18  
HASIL HARDNESS RATA-RATA SPECIMEN 0 BAR

No.	Location	HVN (Kgf/mm <sup>2</sup> ), 0 Bar			
		L	CA	CB	Ave.
1	Base Metal API 5L	141,65	144,25	147,23	144,38
2	HAZ API 5L	196,15	173,91	195,75	188,60
3	Weld Metal	198,04	205,82	192,38	198,75
4	HAZ 516 Gr.70	175,30			175,30
5	Base Metal 516 Gr.70	175,30			175,30
6	HAZ Longitudinal Seam		166,95	175,94	171,45
7	Longitudinal Seam		174,37	201,27	187,82

Dari Tabel 12 sampai Tabel 14 yang merupakan data kekerasan untuk specimen 2,5 bar. Hasil uji kekerasan dapat disimpulkan dan kemudian diambil rata-rata untuk tiap daerah pengaruh panas akibat proses pengelasan seperti pada Tabel 19 berikut.

TABEL 19  
HASIL HARDNESS RATA-RATA SPECIMEN 2,5 BAR

No.	Location	HVN (Kgf/mm <sup>2</sup> ), 2,5 Bar			
		L	CA	CB	Ave.
1	Base Metal API 5L	151,68	156,96	154,91	154,52
2	HAZ API 5L	171,06	187,44	176,81	178,44
3	Weld Metal	216,57	211,80	208,27	212,21
4	HAZ 516 Gr.70	196,04			196,04
5	Base Metal 516 Gr.70	194,25			194,25
6	HAZ Longitudinal Seam		187,09	181,80	184,44
7	Longitudinal Seam		186,28	206,47	196,38

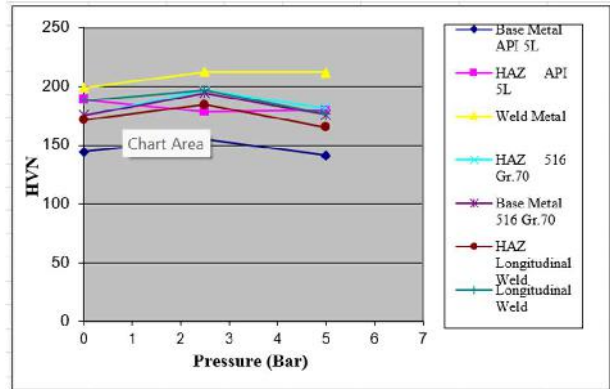
Dari Tabel 15 sampai Tabel 17 yang merupakan data kekerasan untuk specimen 5 bar. Hasil uji kekerasan dapat disimpulkan dan kemudian diambil rata-rata untuk tiap daerah pengaruh panas akibat proses pengelasan seperti pada Tabel 20 berikut.

TABEL 20  
HASIL HARDNESS RATA-RATA SPECIMEN 5 BAR

No.	Location	HVN (Kgf/mm <sup>2</sup> ), 5 Bar			
		L	CA	CB	Ave.
1	Base Metal API 5L	139,75	138,70	144,47	140,97
2	HAZ API 5L	187,32	181,35	170,83	179,83
3	Weld Metal	222,43	212,25	200,86	211,85
4	HAZ 516 Gr.70	181,58			181,58
5	Base Metal 516 Gr.70	175,73			175,73
6	HAZ Longitudinal Seam		161,49	168,95	165,22
7	Longitudinal Seam		171,98	181,42	176,70

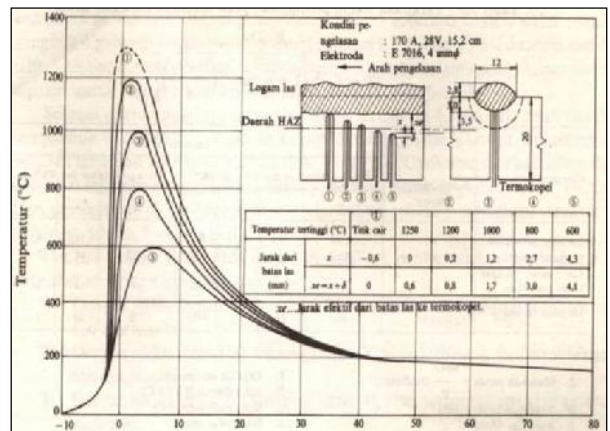
E. Analisa Hasil Uji Kekerasan dan Pembahasan Data

Dilihat dari uji kekerasan, semakin besar pressure, hasil kekerasannya akan meningkat. Tetapi hal ini hanya terjadi pressure sampai 2,5 bar, setelah itu kenaikan pressure akan menghasilkan kekerasan yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena temperatur air yang ada didalam pipa meningkat akibat proses pengelasan yaitu dengan proses pengelasan dengan pressure 0 dan 2,5 bar sehingga tidak mampu memberikan efek quenching seperti yang terjadi pada 2,5 bar.



Gambar 18, Grafik distribusi kekerasan pada 0, 2.5, dan 5 bar.

Berdasar Gambar 18 di atas bisa dilihat bahwa nilai kekerasan tiap-tiap daerah pengelasan berbeda-beda, hal ini disebabkan oleh perbedaan siklus termal yang dialami ketiga daerah tersebut pada saat pengelasan berlangsung. Siklus termal yang terjadi berpengaruh terhadap laju pendinginan. Semakin jauh dari weld metal laju pendinginan semakin lambat. Gambar 19 dibawah ini menunjukkan grafik distribusi temperatur yang terjadi pada masing-masing daerah pengelasan.



Gambar 19, Siklus termal pada beberapa jarak dari batas las.

Jika dikorelasikan antara data hasil kekerasan yang dihasilkan dengan grafik di atas maka bisa dilihat daerah HAZ longitudinal weld memiliki nilai lebih rendah di banding HAZ yang lain padahal memiliki jarak yang sama dengan fusion line dan menerima panas yang sama. Penurunan kekerasan terjadi karena secara tidak langsung karena pengelasan longitudinal mendapat efek tempering dari pengelasan circum fillet. Tempering tersebut memberikan efek seperti PWHT yang mampu menghilangkan tegangan sisa. Tegangan sisa tersebut didapat dari terjadinya proses solidifikasi dari weld pool. Pelepasan tegangan sisa tersebut



mengakibatkan nilai kekerasan turun dan ketangguhan naik, serta cenderung menaikkan kekuatan material.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya mengenai pengaruh internal pressure terhadap hardness, maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar pressure, hasil kekerasannya akan meningkat. Tetapi hal ini hanya terjadi pressure sampai 2,5 bar. Setelah itu kenaikan pressure akan akan menghasilkan kekerasan yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena tidak adanya tenggang waktu antar pengelasan dengan pressure 0, 2,5, dan 5 bar sehingga temperatur air yang ada didalam pipa meningkat akibat proses pengelasan sebelumnya yaitu dengan pressure 0 dan 2,5 bar sehingga tidak mampu memberikan efek quenching seperti yang terjadi pada 2,5 bar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *ASME B31.8, Gas Transmission and Distribution Piping Systems, Revision of ASME B31.8-2016*, The American Society of Mechanical Engineers, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2018, page 41, Table, 841.1.6-2, Design Factors for Steel Pipe Construction, page 43.
- [2] *ASME PCC-2, Repair of Pressure Equipment and Piping, Revision of ASME PCC-2-2015*, The American Society of Mechanical Engineers, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2018, page 33, page 28, Article 206, Full Encirclement Steel Reinforcing Sleeves for Piping.
- [3] *API RP 2201, Procedures for Welding or Hot Tapping on Equipment in Service, Fourth Edition*, American Petroleum Institute, 1220 L Street, Northwest Washington, D.C. 20005, 1995, page 2, 3, Section 3, Hot Tap and Welding Metallurgy and Design.
- [4] *API Standard 1104, Welding of Pipelines and Related Facilities, Twenty-First Edition*, American Petroleum Institute, 1220 L Street, Northwest Washington, D.C. 20005, 2016, page 15, 29, page 50, Section 10.3.7.3, Hardness Testing, page 102, 103.
- [5] *ASME Section II, Materials, Boiler and Pressure Vessel Code, Part A, Ferrous Material Specifications (Beginning to SA-450)*, The American Society of Mechanical Engineers, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2021, page 177, Section SA-106/SA-106M, page 185.
- [6] *ASME Section VIII, Boiler and Pressure Vessel Code, Rules for Construction of Pressure Vessel*, The American Society of Mechanical Engineers, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2021, page 21, page 105, Table UW-12, Maximum Allowable Joint Efficiencies for Welded Joints.
- [7] *API Specification 5L, Specification for Line Pipe, Forty-Second Edition*, American Petroleum Institute, 1220 L Street, Northwest Washington, D.C. 20005, 2000, page 29 & 31, Table 4, Chemical Composition for PSL 1 Pipe with  $t \leq 25.0$  mm (0.984 in.) & Table 6, Requirements for the Results of Tensile Tests for PSL 1 Pipe, page 179, 180.
- [8] *ASME B31.4, Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries*, The American Society of Mechanical Engineers, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2016, page 13, 18, 19, page 106, Section Referenced Standard.
- [9] *Welding Metallurgy, Second Edition. Sindo Kou*, Copyright, 2003, John Wiley & Sons, Inc, page 11, Section 1.3, Shielded Metal Arc Welding.
- [10] *ASME B36.10M, Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*, The American Society of Mechanical Engineers, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2015, page 7, Table1, Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe.
- [11] *ASME BPVC.IX Section IX, Boiler & Pressure Vessel Code, Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders, Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*, The American Society of Mechanical Engineers, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2021, page 89, Section QW-409, Electrical Characteristics.
- [12] Walter J. Sperko, P. E., Exploring Temper Bead Welding, Sperco Engineering Services, Inc. 4803 Archwood Dr. Greensboro, NC 27406, 2005 page 8, Figure 1, HAZ Transition Point in Various Parts.
- [13] *ASME BPVC.II.D.M Section II, Boiler & Pressure Vessel Code, Materials Part D, Properties (Metric)*, The American Society of Mechanical Engineers, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2021, page 16, Table 1A (Cont'd), Section I; Section III, Division 1, Classes 2 and 3; \* Section VIII, Division 1; and Section XII Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials, page 16, 18.
- [14] *ASTM Designation E 384 – 05a, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Material*, The American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 2005, page 3, Section 3.3.5, The Vickers Hardness.
- [15] *Welding Inspector Course, Metalurgi Las*, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya-ITS.
- [16] *Welding Inspector Course, Teknologi Las Proses*, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya-ITS.
- [17] *Petunjuk Kerja Las*, Sri Widharto, Pradnya Paramita, Jakarta, (2008).
- [18] *ASME BPVC.II.C Section II, Boiler & Pressure Vessel Code, Materials Part C, Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*, Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990, 2021, page 151, Figure 1, Order of Electrode Mandatory and Optional Supplemental Designators.