



**PENGARUH KECEPATAN PUTAR, GAYA GESEK, WAKTU
GESEK TERHADAP KEKERASAN, KEKUATAN IMPAK, LAJU
KOROSI DAN STRUKTUR MIKRO HASIL PENGELASAN LAS
GESEK MATERIAL BERBEDA BAJA SUH 3 DAN SUH 35**

**ALI SAI'IN
NRP 2114201003**

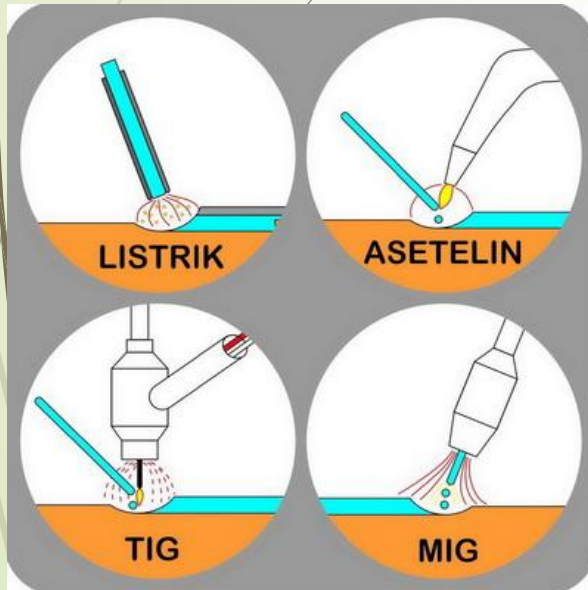
**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc
Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA DAN SISTEM MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

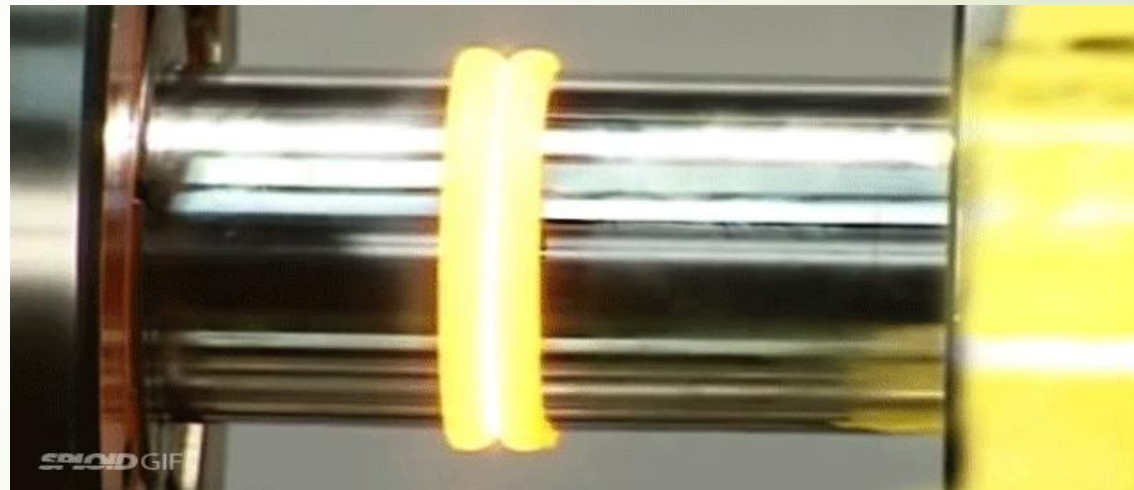


PROSES PENGELASAN

Pengelasan dengan peleburan



Pengelasan
Kondisi padat





Parameter proses las gesek

- Kecepatan putar
- Gaya gesek
- Waktu gesek
- Gaya tempa
- Waktu tempa



Penelitian sebelumnya

No	Nama, (tahun)	Material	Variabel proses	Respon
1	Ihsan Kirik, dkk., (2014)	AISI 1040 dan AISI 304L	Putaran spindle Gaya gesek Waktu gesek	Kekuatan tarik Kekerasan Struktur mikro

kekerasan tertinggi terdapat pada daerah sambungan. Pada pengamatan struktur mikro terjadi perubahan ukuran butiran di daerah *deformation zone* (DZ) pada ke dua material.

No	Nama, (tahun)	Material	Variabel proses	Respon
2	Sigied P.dkk, (2012)	AISI 1045	Tekanan gesek Tekanan tempa Durasi gesek	Kekuatan impak Kekerasan Struktur mikro

Sambungan lasan memiliki kekuatan impak yang semakin meningkat seiring dengan penambahan tekanan gesek dan tekanan tempa. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada *sambungan*, nilai kekerasan terendah terdapat pada *base metal* Struktur mikro pada base metal tidak terjadi banyak perubahan.

No	Nama, (tahun)	Material	Varisbel proses	Respon
3	Shubhavardhan R.N dkk, (2012)	AISI 304 dan Alumunium alloy	Gaya gesek Waktu gesek	Kekuatan tarik kekerasan

Kekuatan tarik meningkat seiring meningkatnya gaya gesek dan waktu gesek sampai nilai tertentu, saat mencapai titik optimum. Sedangkan kekerasan kedua material di sekitar daerah las lebih besar dari pada material induknya.



Rumusan Masalah

- 1.** Bagaimana perubahan struktur mikro hasil lasan pada proses penyambungan dengan las gesek baja SUH 3 dan SUH 35.
- 2.** Bagaimana perubahan komposisi kimia di Daerah sambungan pada kecepatan putar 2500 rpm dan 4500 rpm
- 3.** Bagaimana pengaruh kecepatan putar, gaya gesek, waktu gesek terhadap kekerasan, kekuatan impak, dan laju korosi hasil lasan pada proses penyambungan dengan las gesek baja SUH 3 dan SUH 35.



Tujuan penelitian

- 1.** Mengetahui perubahan struktur mikro hasil lasan pada proses penyambungan dengan las gesek baja SUH 3 dan SUH 35.
- 2.** Mengetahui perbedaan komposisi kimia di Daerah sambungan pada kecepatan putar 2500 rpm dan 4500 rpm
- 3.** Mengetahui pengaruh kecepatan putar, gaya gesek, waktu gesek terhadap kekerasan, kekuatan impak, dan laju korosi hasil lasan pada proses penyambungan dengan las gesek baja SUH 3 dan SUH 35.



BATASAN MASALAH ASUMSI PENELITIAN



Waktu tempa dibuat konstan selama 1 detik.



Mesin las yang digunakan dalam kondisi baik.



Gaya tempa dibuat konstan sebesar 16 kN.



Material yang digunakan bersifat homogen.



Material yang digunakan baja SUH 3 dan SUH 35 dengan diameter 7.45 mm.



Alat pengujian yang digunakan dalam kondisi terkalibrasi.



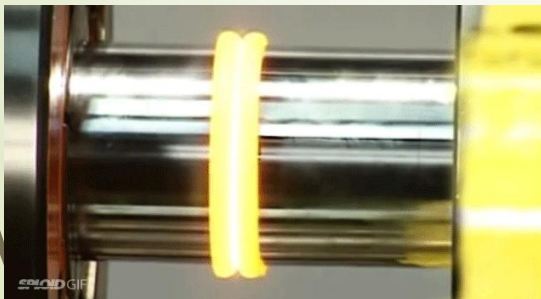
MANFAAT PENELITIAN



Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenis dalam pengembangan ilmu



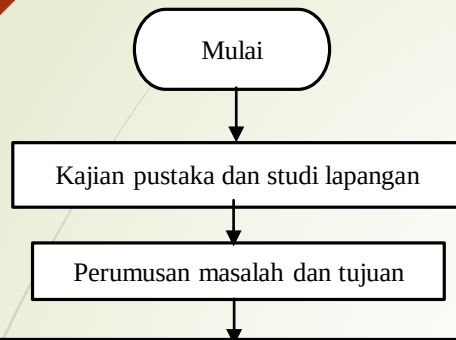
Menambah pengetahuan tentang teknologi las gesek



Masukan pada industri yang menggunakan las gesek dalam proses penyambungan logam



Tahapan penelitian



1. Variabel proses:

- a. Kecepatan putar (v)
2500, 3000, 3500, 4000, dan 4500 rpm
- b. Gaya gesek (F_1)
6, 8, 10, 12, dan 14 kN
- c. Waktu gesek (T_1)
0.6, 0.7, 0.8, 0.9, dan 1 detik

3. Variabel konstan

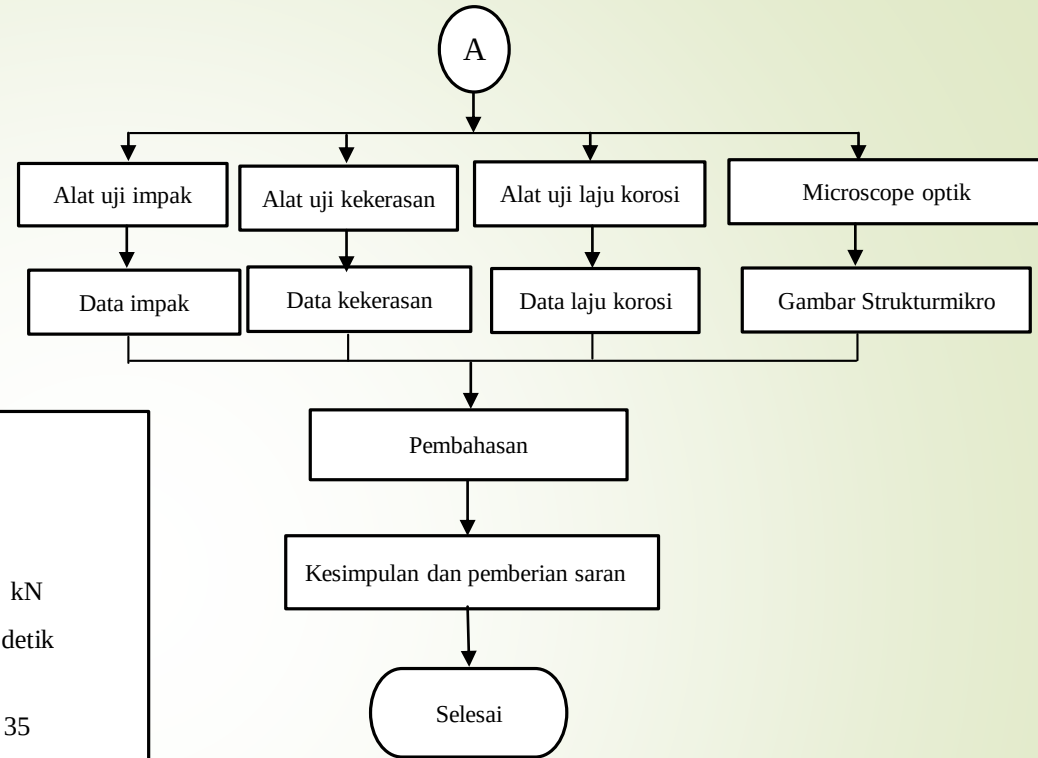
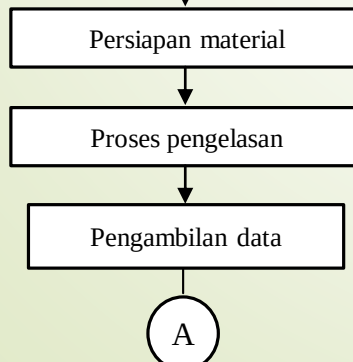
- a. Gaya tempa (F_2) : 16 kN
- b. Waktu tempa (T_2) : 1 detik

Material : SUH 3 dan SUH 35

Mesin : FW 10 NC

2. Variabel Respon

- a. Kekerasan (HRC)
- b. Kekuatan Impak (Kj/mm^2)
- c. Laju korosi ($mm/year$)
- d. Pengamatan struktur mikro

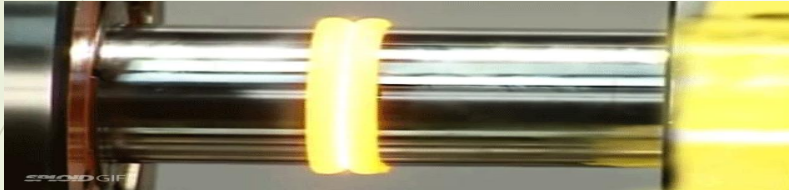




Variabel penelitian

Variabel proses

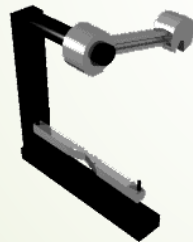
$V = 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 \text{ rpm}$



➔ $F_1 = 6, 8, 10, 12, \text{ dan } 14 \text{ kN}$

➔ $T_1 = 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, \text{ dan } 1 \text{ detik}$

Variabel respon



Laju korosi

Pengamatan struktur mikro

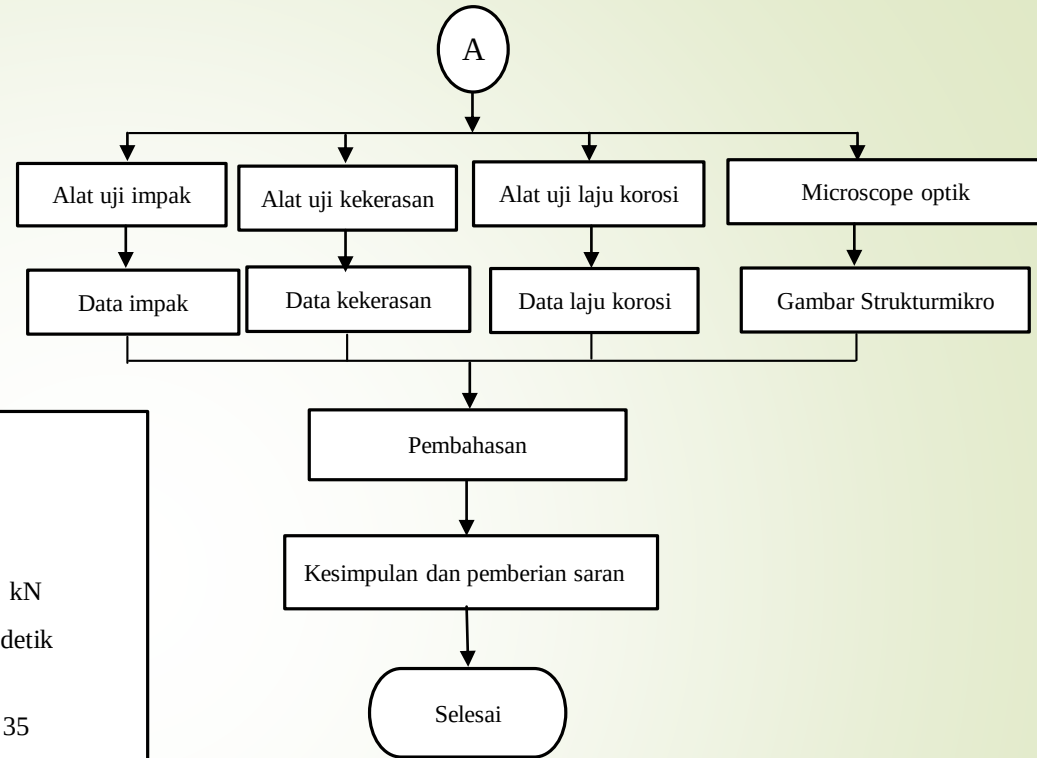
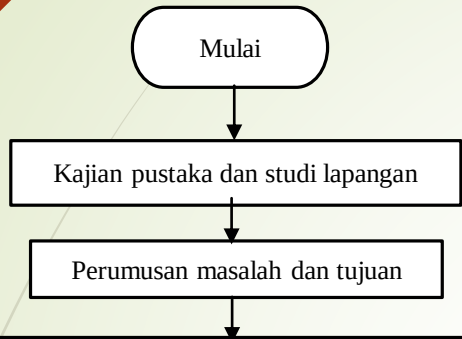
Variabel konstan

- 1. Gaya tempa**
- 2. Waktu tempa**

Rancangan penelitian

No Sampel	Variabel proses			Variabel respon		
	Kecepatan putar (rpm)	Gaya gesek (kN)	Waktu gesek (detik)	Kekerasan	Kekuatan impak	Laju korosi
1.	2500	10	1			
2.	3000	10	1			
3.	3500	10	1			
4.	4000	10	1			
5.	4500	10	1			
6.	4500	6	1			
7.	4500	8	1			
8.	4500	10	1			
9.	4500	12	1			
10.	4500	14	1			
11.	4500	10	0.6			
12.	4500	10	0.7			
13.	4500	10	0.8			
14.	4500	10	0.9			
15.	4500	10	1			

Tahapan penelitian



1. Variabel proses:

- Kecepatan putar (v)
2500, 3000, 3500, 4000, dan 4500 rpm
- Gaya gesek (F_1)
6, 8, 10, 12, dan 14 kN
- Waktu gesek (T_1)
0.6, 0.7, 0.8, 0.9, dan 1 detik

3. Variabel konstan

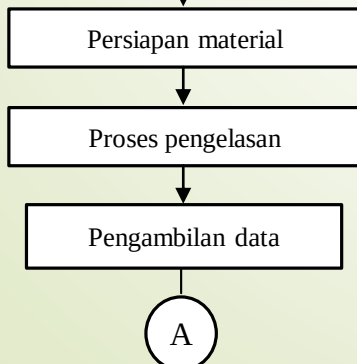
- Gaya tempa (F_2) : 16 kN
- Waktu tempa (T_2) : 1 detik

Material : SUH 3 dan SUH 35

Mesin : FW 10 NC

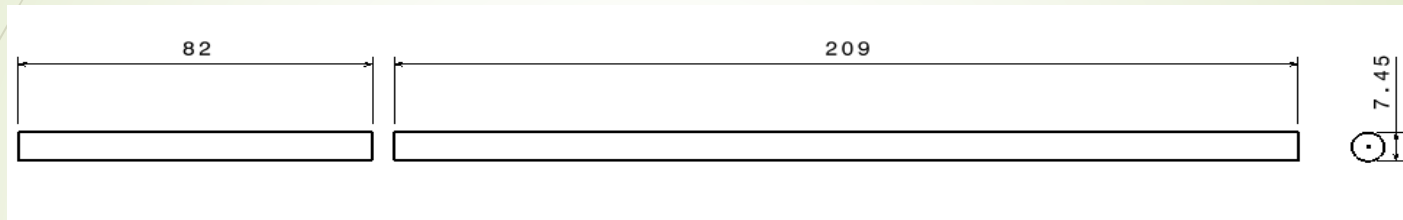
2. Variabel Respon

- Kekerasan (HRC)
- Kekuatan Impak (Kj/mm^2)
- Laju korosi (mm/year)
- Pengamatan struktur mikro





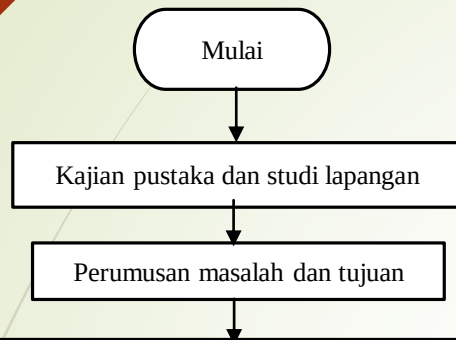
Persiapan material



Jenis	Komposisi Kimia (%)									
Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	Cu	Mo
SUH 3	0.42	1.89	0.28	0.25	0.009	0.27	10.14	-	0.12	0.71
SUH 35	0.56	0.20	8.52	0.026	0.001	3.71	21.13	0.42	-	-



Tahapan penelitian



1. Variabel proses:

- a. Kecepatan putar (v)
2500, 3000, 3500, 4000, dan 4500 rpm
- b. Gaya gesek (F_1)
6, 8, 10, 12, dan 14 kN
- c. Waktu gesek (T_1)
0.6, 0.7, 0.8, 0.9, dan 1 detik

3. Variabel konstan

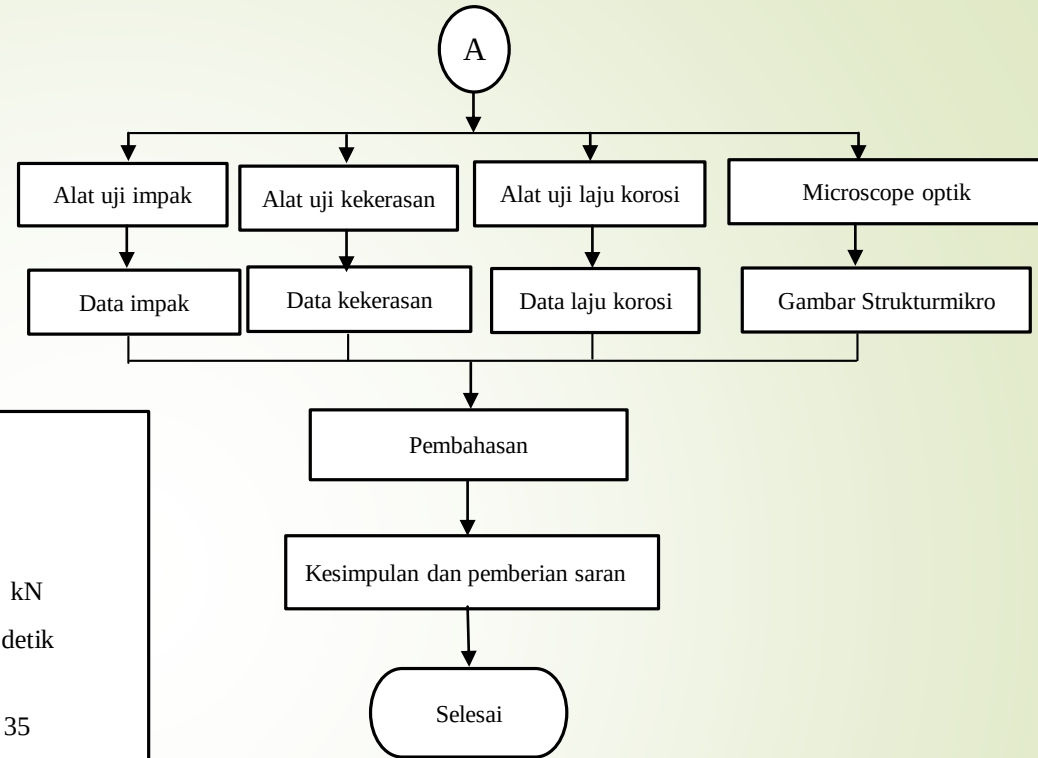
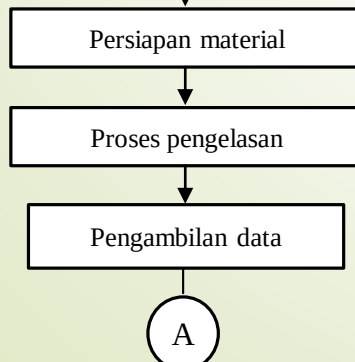
- a. Gaya tempa (F_2) : 16 kN
- b. Waktu tempa (T_2) : 1 detik

Material : SUH 3 dan SUH 35

Mesin : FW 10 NC

2. Variabel Respon

- a. Kekerasan (HRC)
- b. Kekuatan Impak (Kj/mm^2)
- c. Laju korosi (mm/year)
- d. Pengamatan struktur mikro





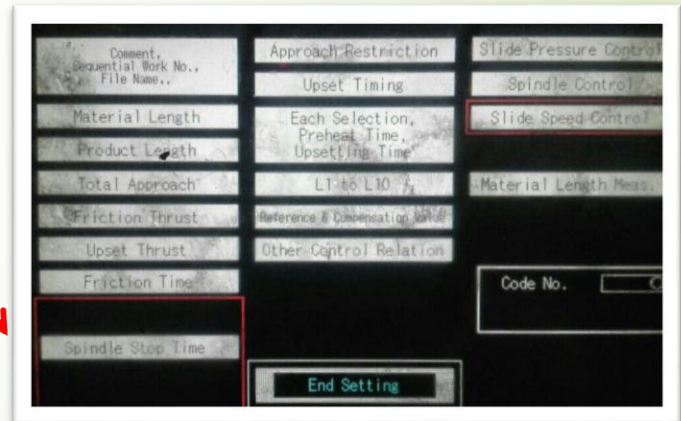
Proses pengelasan



SUH 3

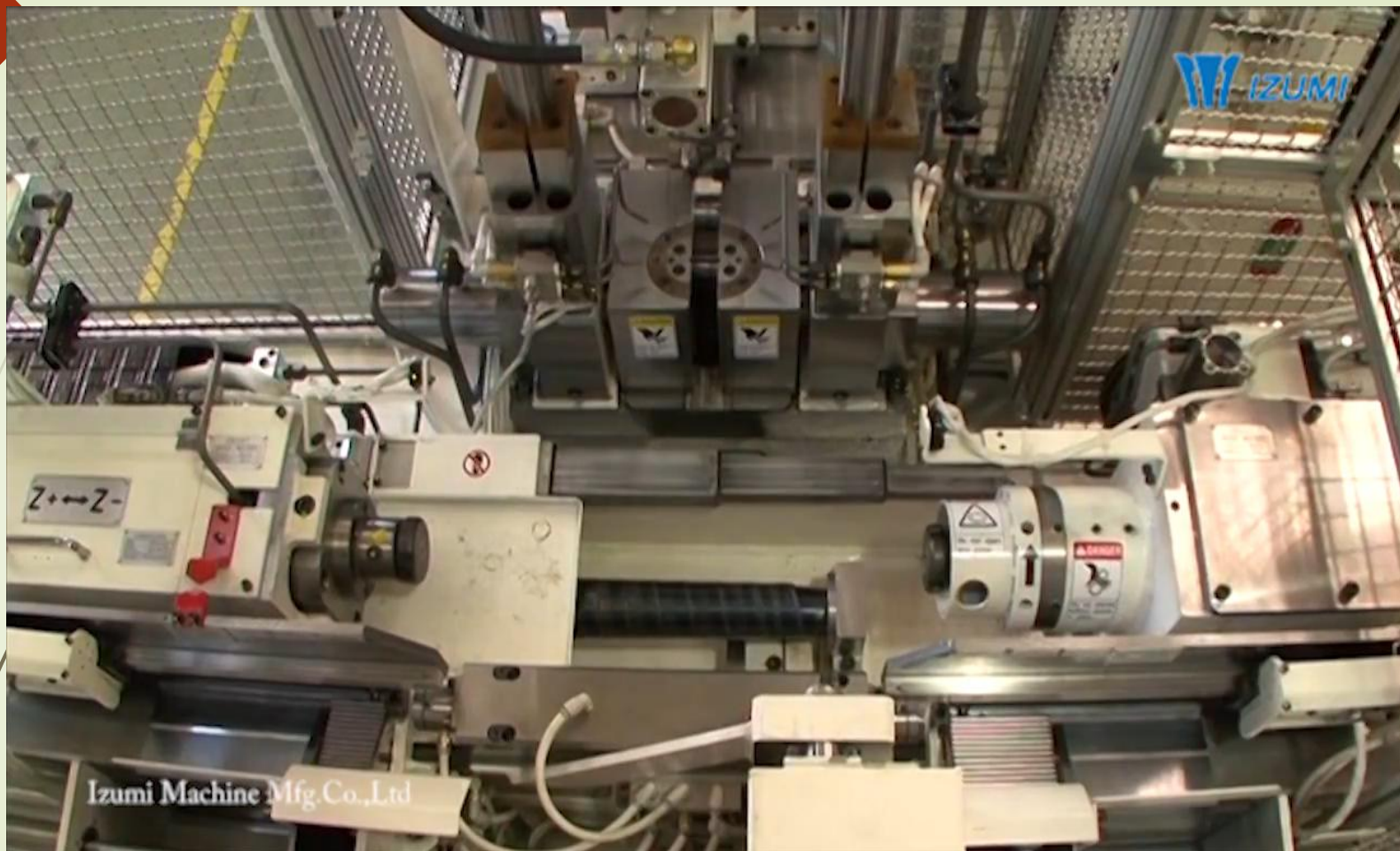


SUH 35



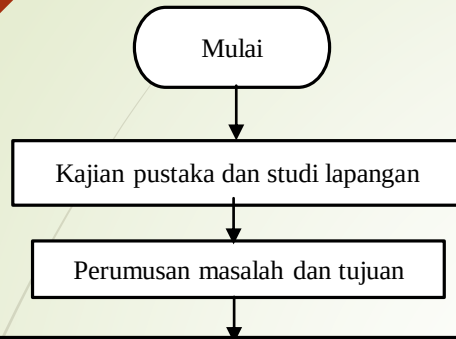
Atur parameter proses las gesek sesuai rancangan penelitian, meliputi:

- Kec.putaran spindel
- Gaya gesek
- Gaya tempa
- Waktu gesek
- Waktu tempa





Tahapan penelitian



1. Variabel proses:

- a. Kecepatan putar (v)
2500, 3000, 3500, 4000, dan 4500 rpm
- b. Gaya gesek (F_1)
6, 8, 10, 12, dan 14 kN
- c. Waktu gesek (T_1)
0.6, 0.7, 0.8, 0.9, dan 1 detik

3. Variabel konstan

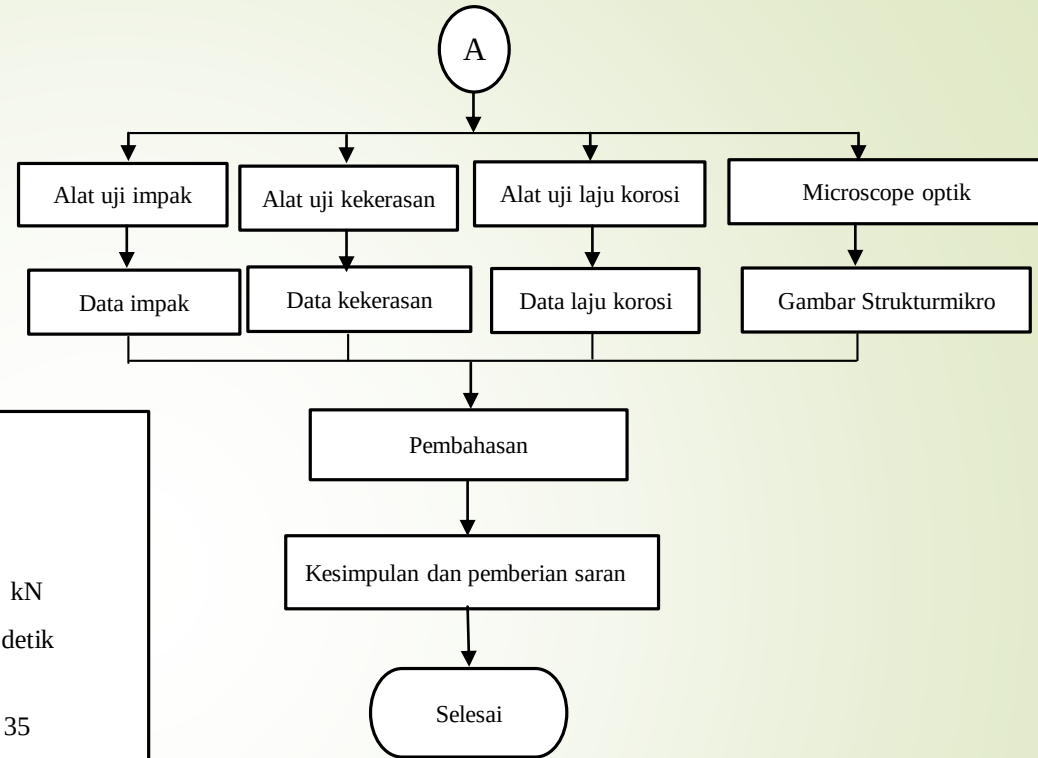
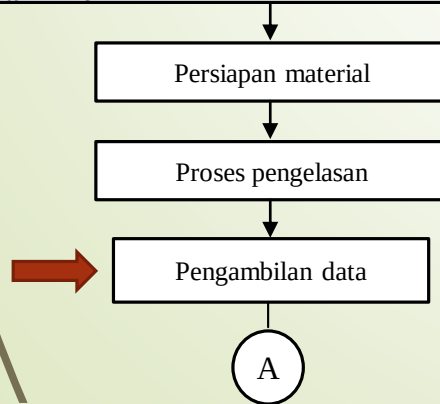
- a. Gaya tempa (F_2) : 16 kN
- b. Waktu tempa (T_2) : 1 detik

Material : SUH 3 dan SUH 35

Mesin : FW 10 NC

2. Variabel Respon

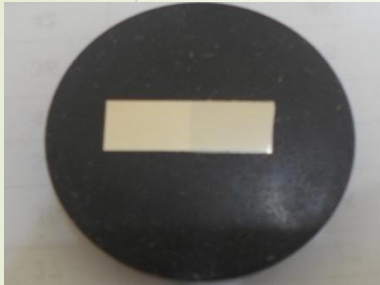
- a. Kekerasan (HRC)
- b. Kekuatan Impak (Kj/mm^2)
- c. Laju korosi (mm/year)
- d. Pengamatan struktur mikro



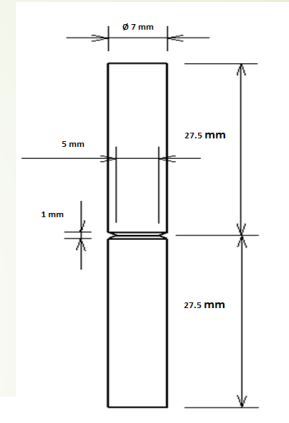


Pengujian data respon

Pengujian kekerasan



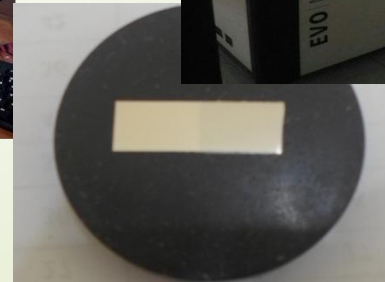
Pengujian impak



Pengujian laju korosi

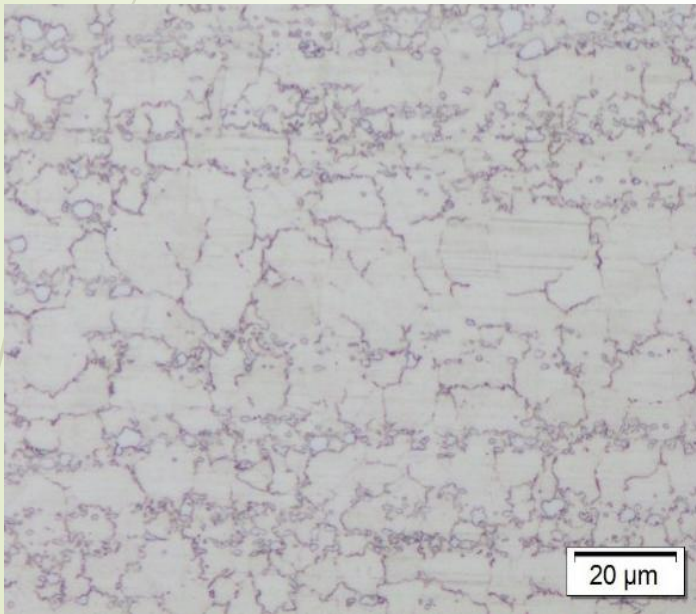


Pengamatan Struktur Mikro

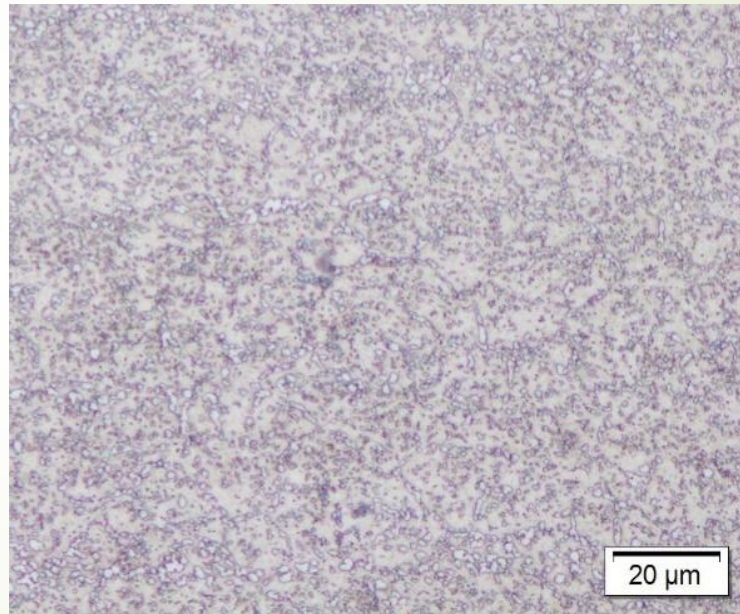




Pengamatan Struktur Mikro



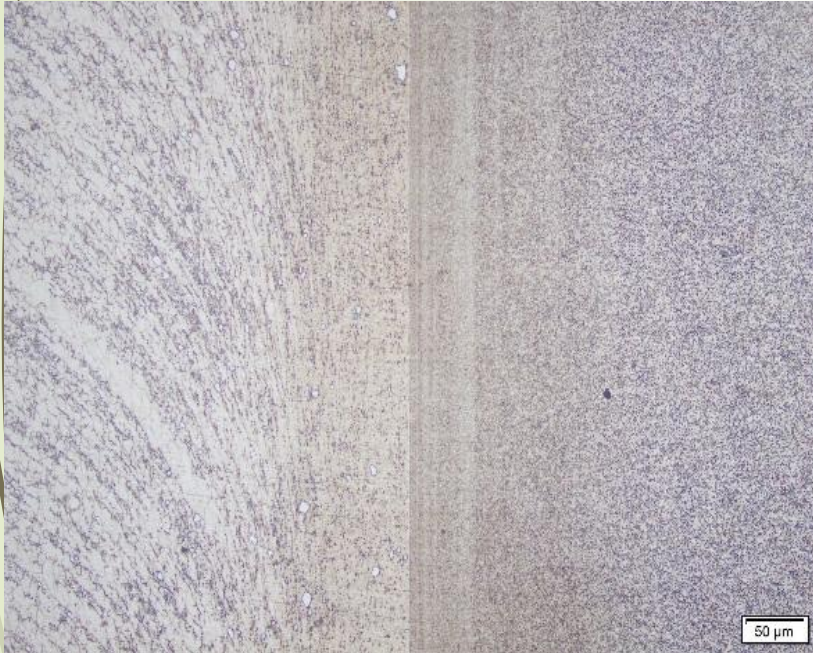
Baja SUH 35



Baja SUH 3

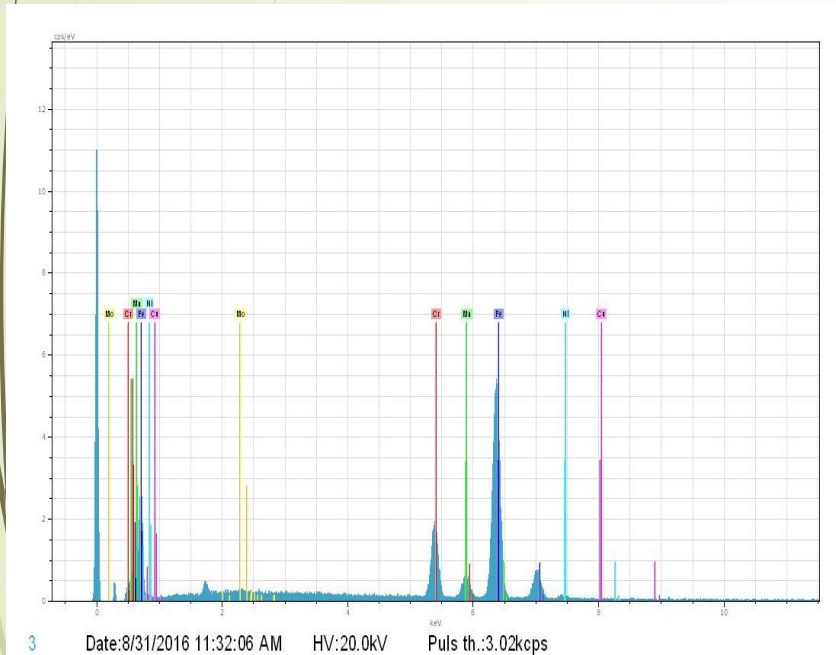


Daerah Sambungan





Scanning Elektron Microscopy-EDX pada Kecepatan Putar 2500 rpm



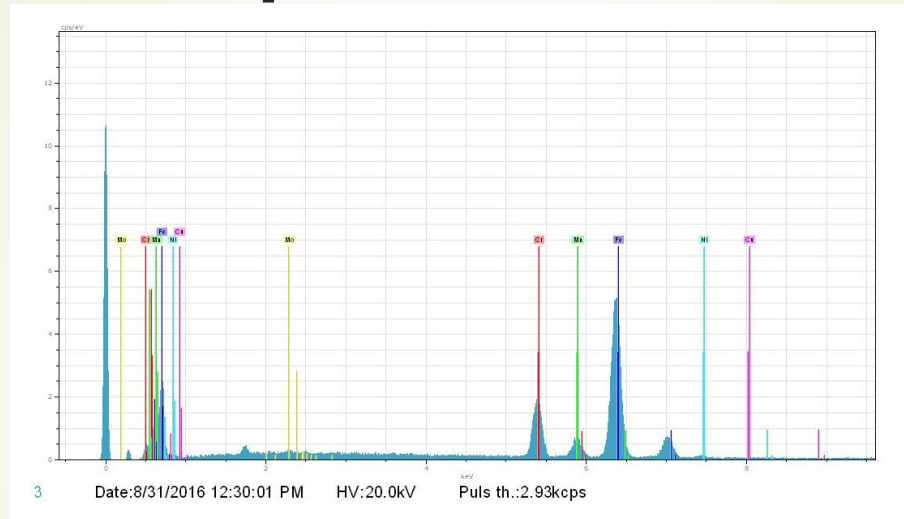
El	AN	Serie s	Unn. C (wt.%)	Norm. C (wt.%)	Atom. C (at.%)	Error (%)
Cr	24	K	13,25	14,00	14,99	0,4
Mn	25	K	4,29	4,54	4,60	0,2
Fe	26	K	72,99	77,12	76,89	2,0
Ni	28	K	1,89	2,00	1,90	0,1
Cu	29	K	0,87	0,92	0,80	0,1
Mo	42	L	1,35	1,43	0,83	0,1
Total			94,65	100,00	100,00	-

Komposisi material induk

Jenis Material	Komposisi Kimia (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	Cu	Mo
SUH 3	0.42	1.89	0.28	0.25	0.009	0.27	10.14	-	0.12	0.71
SUH 35	0.56	0.20	8.52	0.026	0.001	3.71	21.13	0.42	-	-



Scanning Elektron Microscopy-EDX pada Kecepatan Putar 4500 rpm



Putaran 4500 rpm

El	AN	Serie s	Unn. C (wt.%)	Norm. C (wt.%)	Atom. C (at.%)	Error (%)
Cr	24	K	14,07	14,77	15,82	0,5
Mn	25	K	4,71	4,94	5,01	0,3
Fe	26	K	72,11	75,71	75,47	2,0
Ni	28	K	1,83	1,92	1,82	0,1
Cu	29	K	1,08	1,13	0,99	0,1
Mo	42	L	1,46	1,53	0,89	0,1
Total			95,24	100,00	100,00	-

Putaran 2500 rpm

El	AN	Serie s	Unn. C (wt.%)	Norm. C (wt.%)	Atom. C (at.%)	Error (%)
Cr	24	K	13,25	14,00	14,99	0,4
Mn	25	K	4,29	4,54	4,60	0,2
Fe	26	K	72,99	77,12	76,89	2,0
Ni	28	K	1,89	2,00	1,90	0,1
Cu	29	K	0,87	0,92	0,80	0,1
Mo	42	L	1,35	1,43	0,83	0,1
Total			94,65	100,00	100,00	-



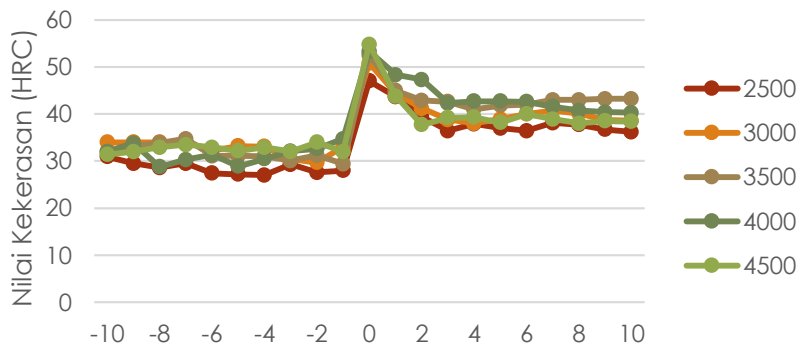
Hasil Pengujian Respon

No sampel	Parameter			Respon		
	Kecepatan putar (rpm)	Gaya gesek (kN)	Waktu gesek (detik)	Kekerasa (HRC)	Kekuatan impak (kJ/m ²)	Laju korosi (mm/tahun)
1.	2500	10	1	47	294,19	0.069
2.	3000	10	1	50.8	333,42	0.068
3.	3500	10	1	52.5	353,03	0.063
4.	4000	10	1	53.3	392,26	0.059
5.	4500	10	1	54.8	588,39	0.051
6.	4500	6	1	48.3	294,19	0.064
7.	4500	8	1	48.4	392,26	0.062
8.	4500	10	1	54.8	588,39	0.051
9.	4500	12	1	51.8	490,33	0.057
10.	4500	14	1	50.9	392,26	0.062
11.	4500	10	0.6	48.1	392,26	0.056
12.	4500	10	0.7	49.4	235,35	0.055
13.	4500	10	0.8	49.8	411,87	0.053
14.	4500	10	0.9	50.3	490,33	0.052
15.	4500	10	1	54.8	588,39	0.051

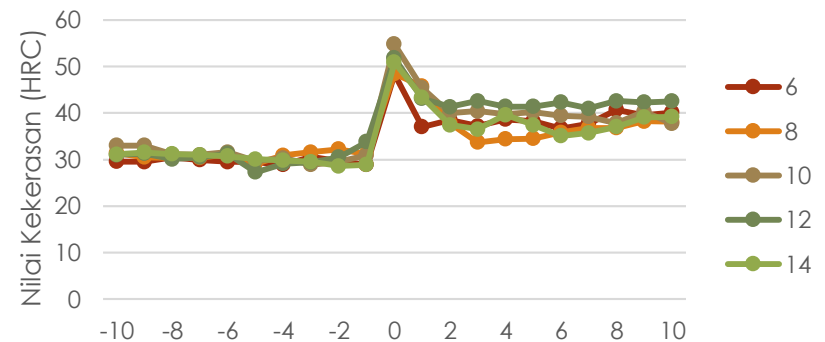


Grafik Pengujian Kekerasan

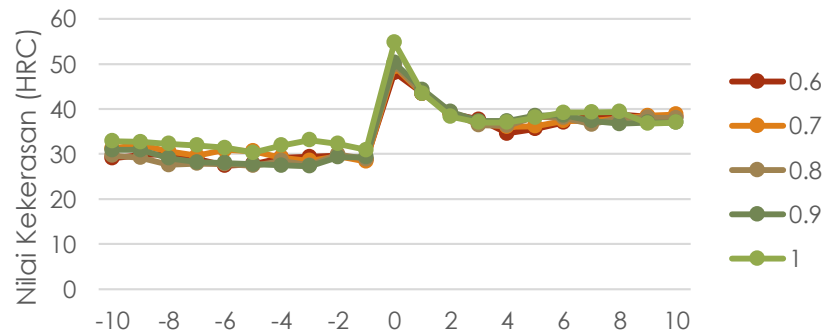
Grafik Distribusi Kekerasan Variasi Kecepatan Putar



Grafik Distribusi Kekerasan Variasi Gaya gesek

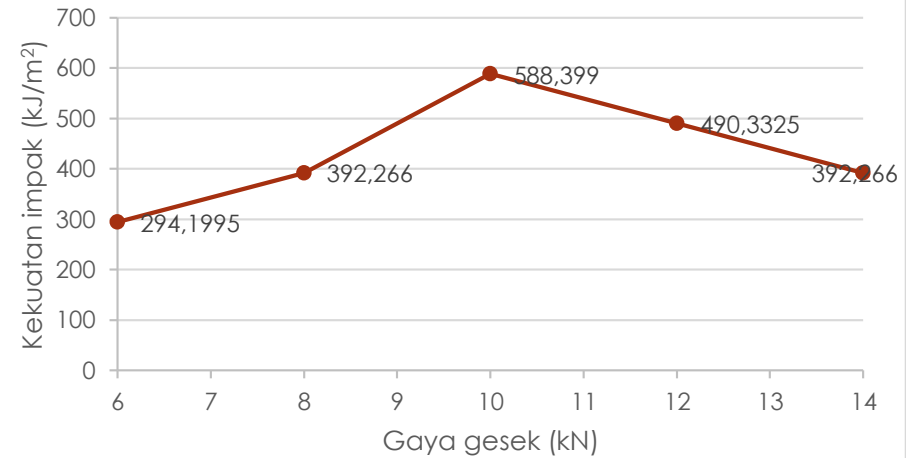
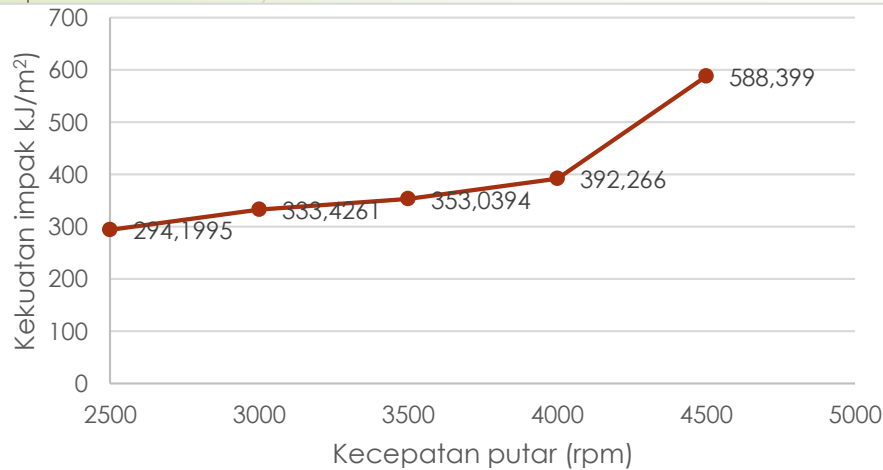


Distribusi Kekerasan Variasi Waktu Gesek



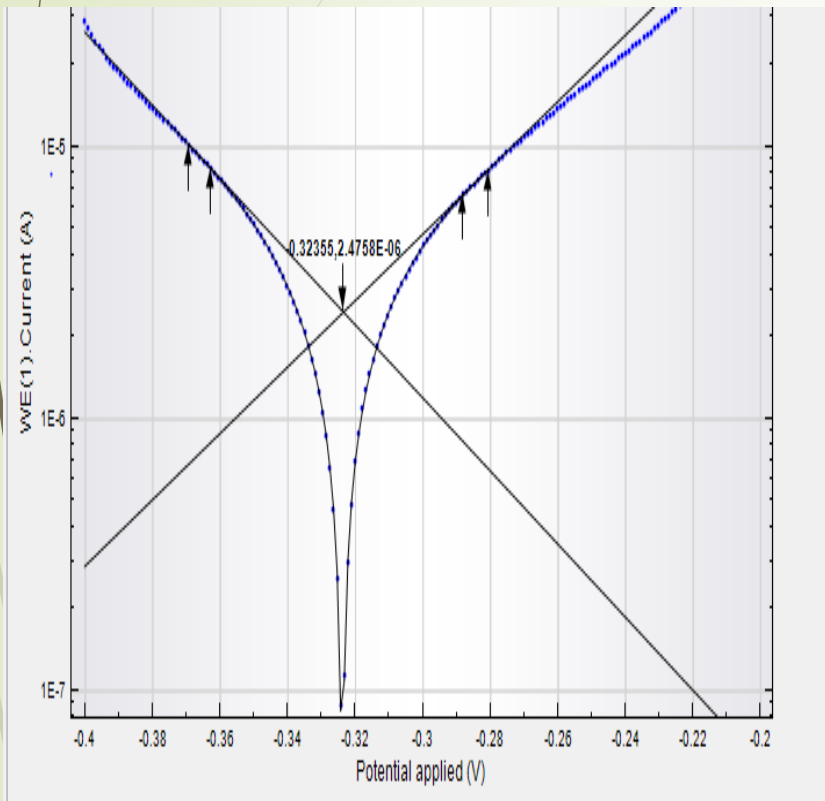


Grafik Kekuatan Impak

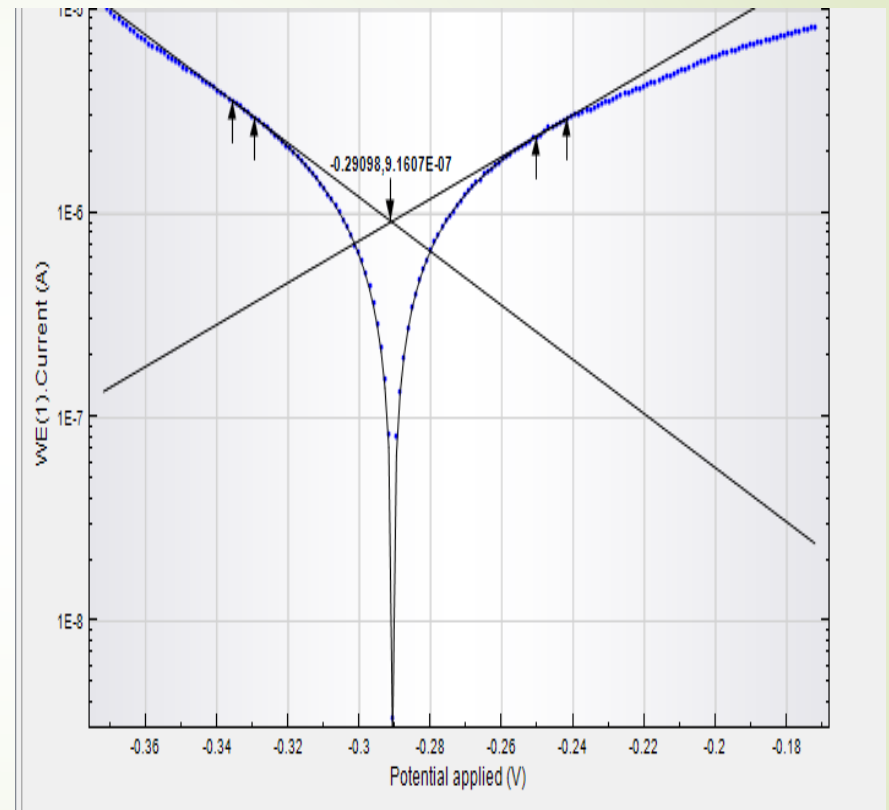




Kurva Polarisasi pengujian laju korosi SUH 3 dan SUH 35



**Hasil perhitungan laju
korosi baja SUH 3
0.086 mm/tahun**



**Hasil perhitungan laju
korosi baja SUH 35
0.032 mm/tahun.**



Reaksi redoks yang terjadi pada pengunaan NaCl sebagai elektrolit

1. Reaksi Anoda/Oksidasi



2. Reaksi Katoda/Reduksi

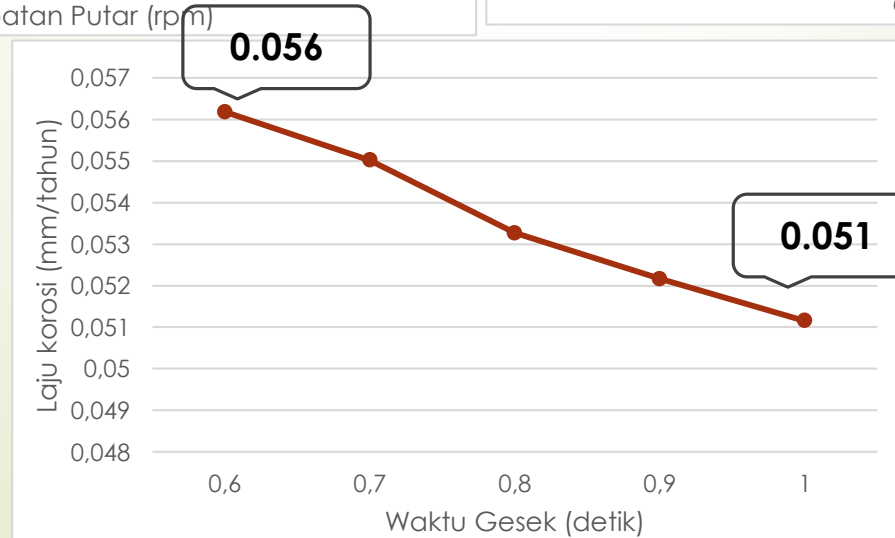
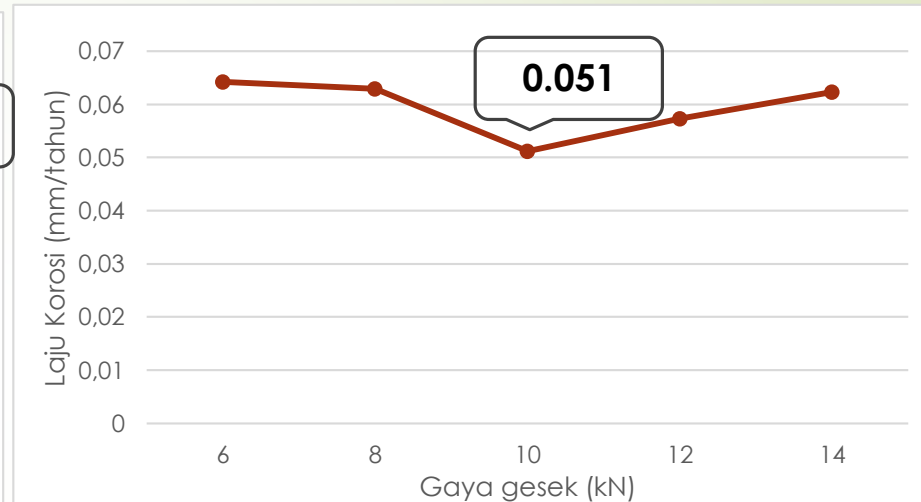
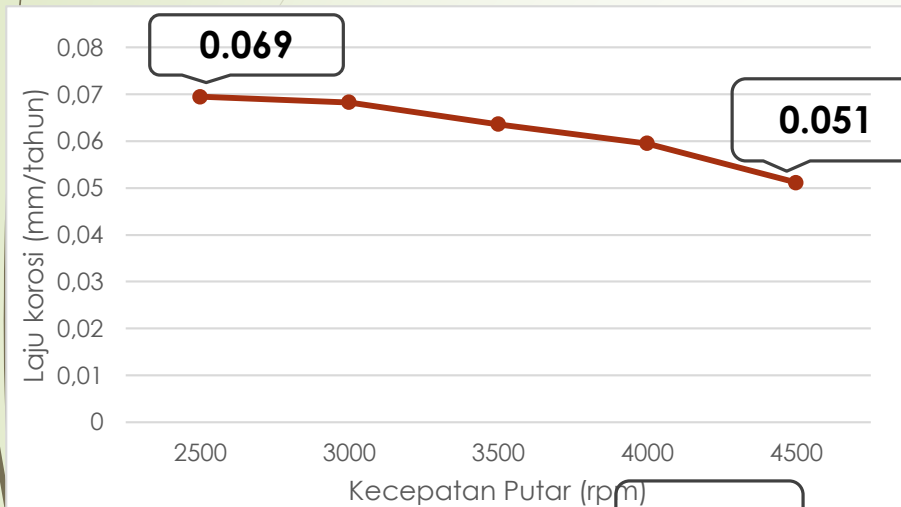


3. Reaksi Pembentukan Korosi





Grafik Hasil Laju Korosi





KESIMPULAN

- 1.** Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pada pengelasan baja SUH 3 dan SUH 35 terjadi perubahan struktur mikro dan perbedaan orientasi kristal pada daerah sambungan.
- 2.** Pengamatan menggunakan SEM-EDX hasil pengelasan dengan kecepatan putar 2500 rpm dan 4500 rpm menunjukkan perubahan komposisi kimia pada daerah sambungan. Kandungan Cr meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar dari 14.99% menjadi 15.82%.
- 3.** Sifat mekanis sambungan yang terkait dengan kekerasan dan kekuatan impak dipengaruhi oleh pemilihan parameter pengelasan. Kekerasan pada daerah sambungan mencapai 54.8 HRC, dengan kekuatan impak sebesar 588.39 kJ/m² dan dapat menurunkan laju korosi hingga 0.051 mm/tahun.



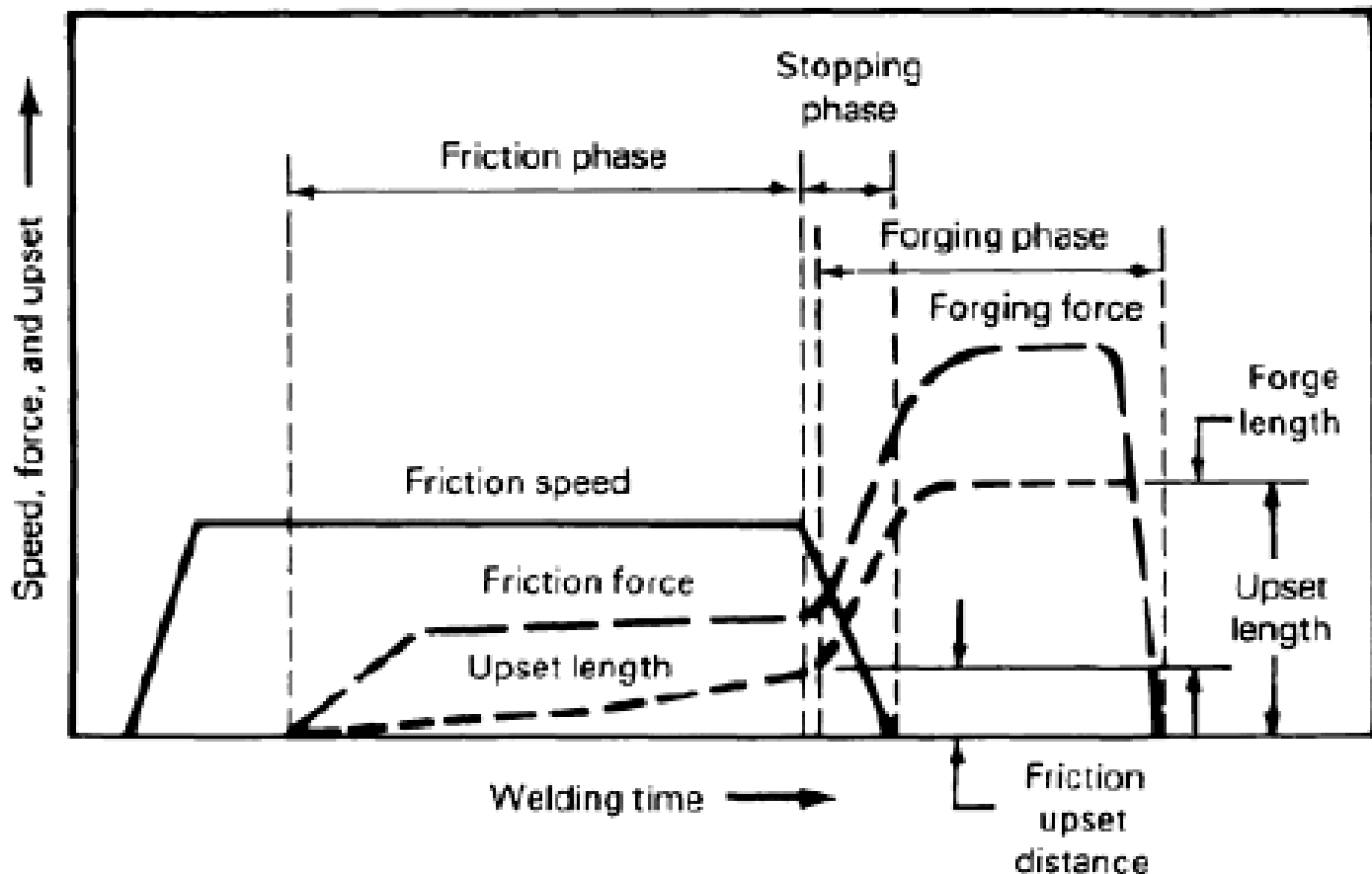
SARAN PENELITIAN SELANJUTNYA

1. Hendaknya melakukan pengamatan lanjutan distribusi nilai kekerasan pada daerah horizontal pada hasil pengelasan.
2. Melakukan tambahan pengujian tarik untuk melengkapi data kekuatan mekanik sambungan baja SUH 3 dan SUH 35.
3. Melakukan penelitian serupa dengan mengamati perubahan temperatur pada variasi kecepatan putar, gaya gesek dan waktu gesek.



Terima kasih

Parameter proses las gesek



Penentuan Level parameter

Pengalaman lapangan

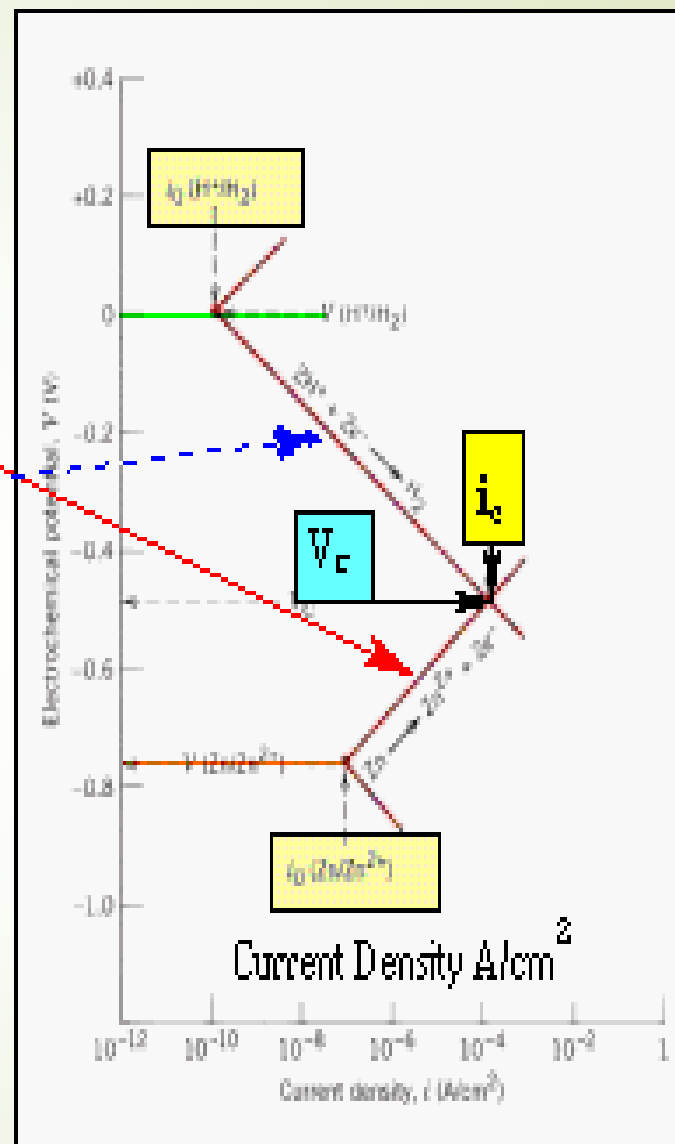
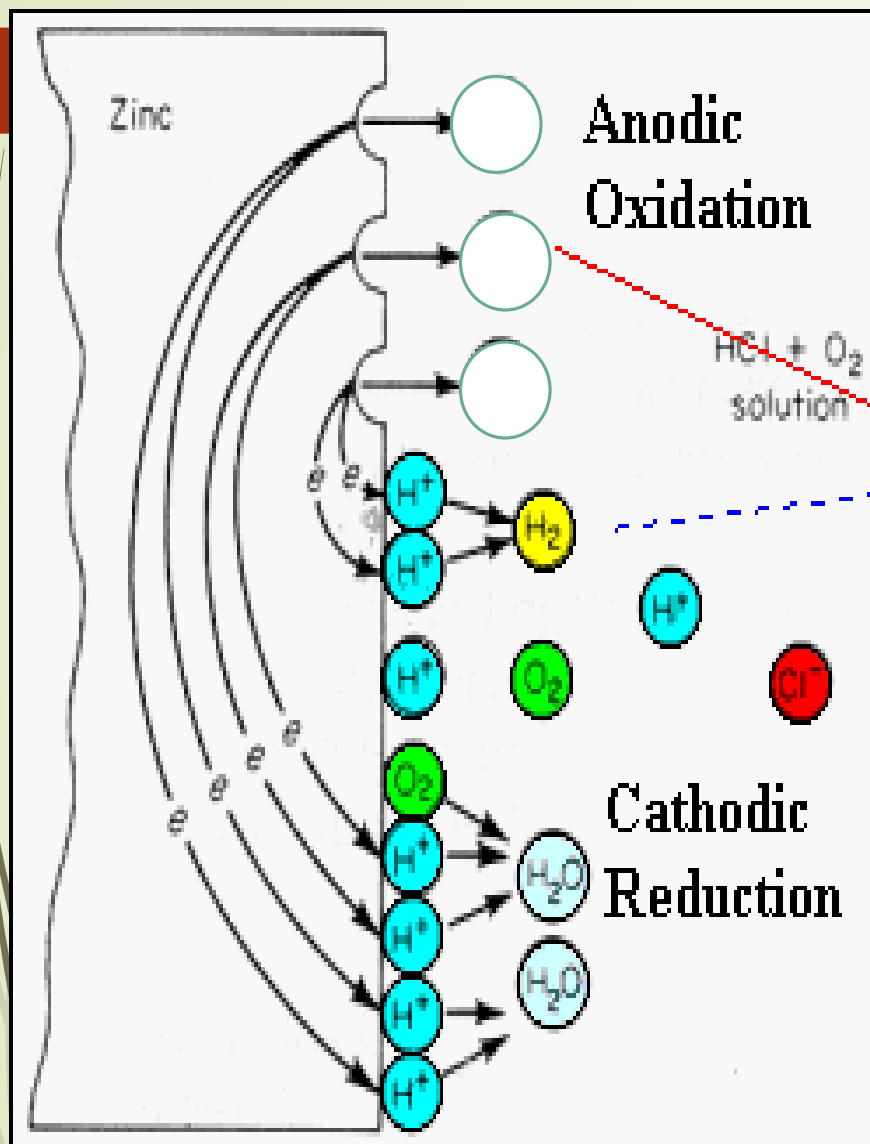
$$F_1 = \frac{d^2 X \pi}{4} X (A X 9,8/1000)$$

$$F_2 = \frac{d^2 X \pi}{4} X (B X 9,8/1000)$$

MATERIAL		NILAI KOEFISIEN	
MARTENSITIS	AUSTENITIS	F1 [A]	F2 [B]
SUH 1, 3, 11	SUH 35	20	40
SUH 1, 3, 11	SUH 38	20	40
SUH 1, 3, 11	NCF	20	40
SUH 1, 3, 11	NMC	20	40

$$F_1 = 8,42 \text{ kN}$$

$$F_2 = 16,85 \text{ kN}$$



NOVA Getting started

3.8 – Linear polarization

Hardware Tags	None
Profile Tags	Basic
Application Tags	Corrosion

The Linear polarization procedure measures the OCP potential (using the *OCP determination* command⁴⁴) for the sample and then uses the *Set reference potential* command set the potential values of the linear sweep voltammetry relative to the averaged OCP (a moving average of 5 seconds is used).

The Linear polarization procedure has the following parameters:

- Measure OCP for 120 seconds with cutoff when $dOCP/dt < 1 \mu V/s$
- Preconditioning potential: -100 mV (vs. OCP)
- Duration: 5 s
- LSV Staircase:
 - Start potential: -100 mV (vs. OCP)
 - Stop potential: 100 mV (vs. OCP)
 - Step potential: 1 mV
 - Scan rate: 1 mV/s

Figure 3.11 shows an overview of the Linear polarization procedure.

Commands	Parameters
Linear polarization	
Remarks	Linear polarization: no extra modules required
End status Autolab	
Signal sampler	Time, WE(1).Potential, WE(1).Current
Options	1 Options
Instrument	
Instrument description	
Timed procedure	
Autolab control	
OCP determination	[0.000]
Set reference potential	0.000
Set potential	-0.100
Set cell	On
Wait time (s)	5
Optimize current range	5
LSV staircase	[-0.100, 0.100, 0.0010000]
Start potential (V)	-0.100
Stop potential (V)	0.100
Step potential (V)	0.00100
Scan rate (V/s)	0.0010000
Estimated number of points	213
Interval time (s)	1.000000
Signal sampler	Time, WE(1).Potential, WE(1).Current
Options	1 Options
Potential applied	<.array.> (V)
Time	<.array.> (s)
WE(1).Current	<.array.> (A)
WE(1).Potential	<.array.> (V)
Index	<.array.>
Log(i) vs E	
Corrosion rate, fit	
Set cell	Off

Figure 3.11 – The standard Linear polarization procedure

During the OCP determination, the following signals are sampled:

- Time
- WE(1).Potential

The signals sampled during the linear sweep voltammetry measurement are:

- Potential applied
- Time
- WE(1).Current
- WE(1).Potential
- Index

At the end of the measurement, a corrosion rate calculation is performed.

Figure 3.12 shows a measurement on the dummy cell (c) with the Autolab Linear polarization procedure.

04.08.2016

04.08.2016

NOVA Getting started

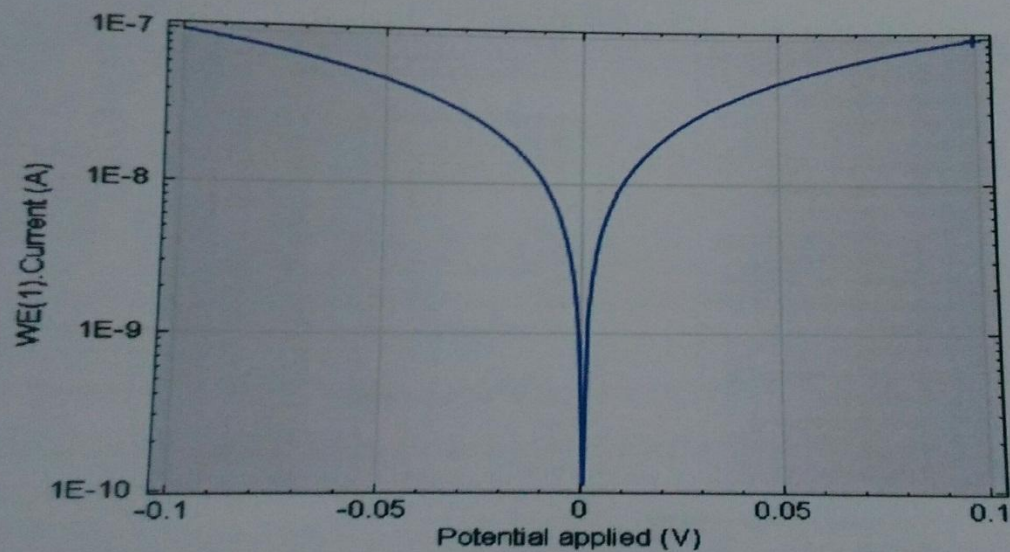


Figure 3.12 – The measured data obtained with the standard dummy cell (a) with the Linear polarization procedure

9 – Hydrodynamic linear sweep

Hardware Tags

Autolab RDE connected to DAC164 or V_{out} of Autolab

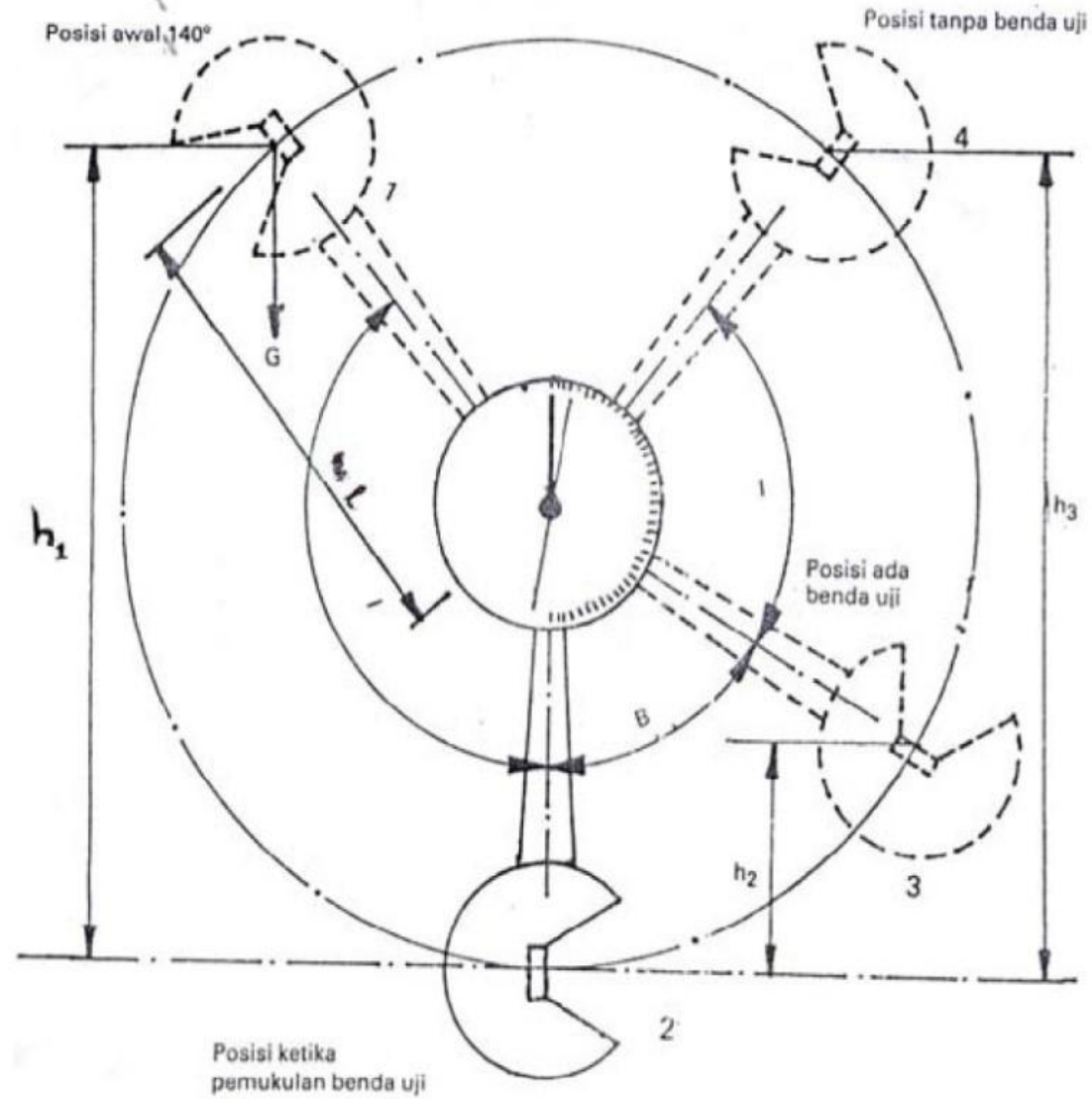
File Tags

Basic

Application Tags

Corrosion, Education, Electroanalysis, Energy,

04.08.2016



Equivalent Weights

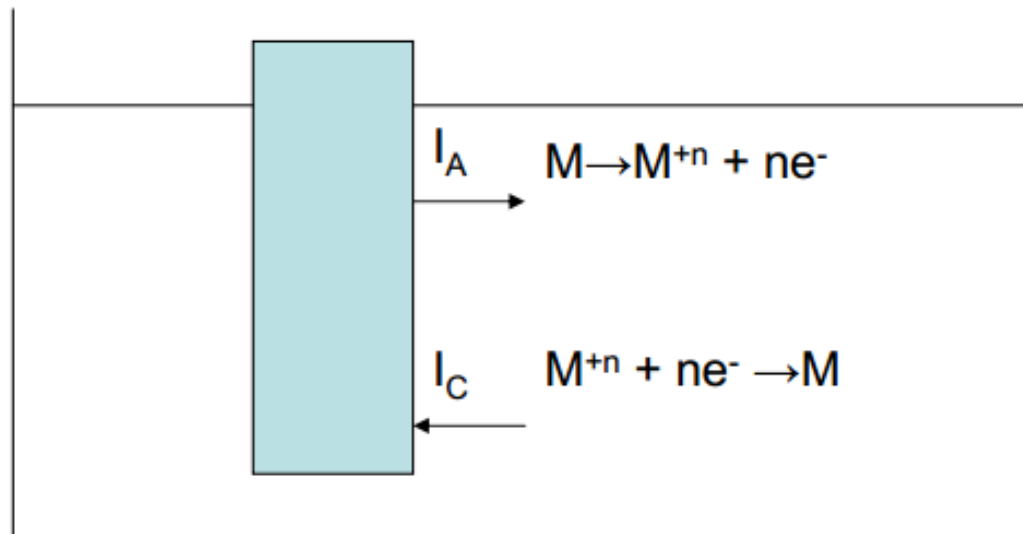
15

- Calculate the EW for 304 stainless steel (71.75%Fe, 19%Cr, 9.25%Ni)
- $N_{EQ} = \Sigma(f_i n_i / AW_i) = 0.7175 \cdot 2 / 55.85 + 0.19 \cdot 3 / 52 + 0.0925 \cdot 2 / 58.71 = 0.03981$
- $EW = 1 / N_{EQ} = 1 / 0.03981 = 25.12$
- Example: what is the penetration rate for stainless steel if $i = 0.001 \text{ mA/cm}^2$.
- $P.R. = 0.00327 i \cdot EW / D$
- $P.R. = 0.00327 \cdot 1 \cdot 25.12 / 7.9 = 0.02 \text{ mm/y}$

Consider an electrode (M) at **equilibrium**:



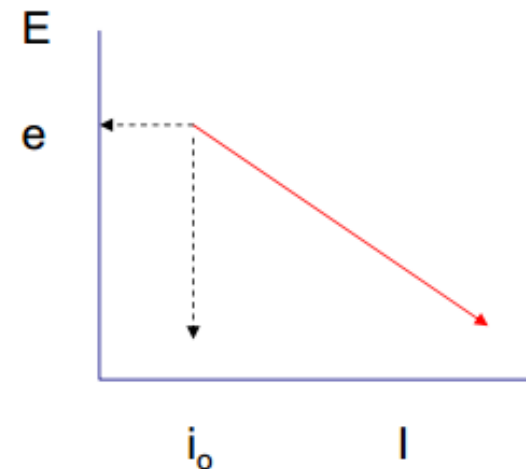
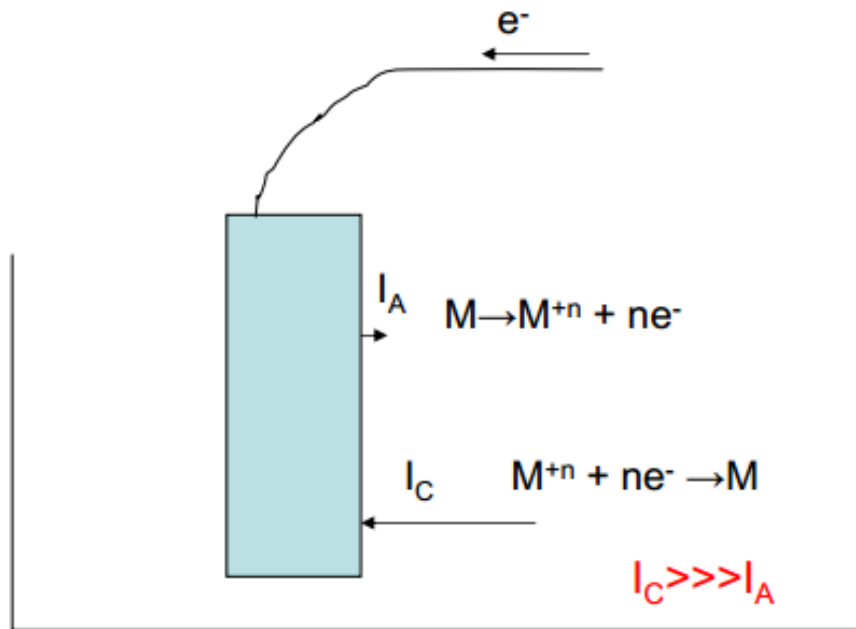
– $I_A = I_C = I_o$ (exchange current density)



Polarization of a single half-cell reaction in the cathodic direction

19

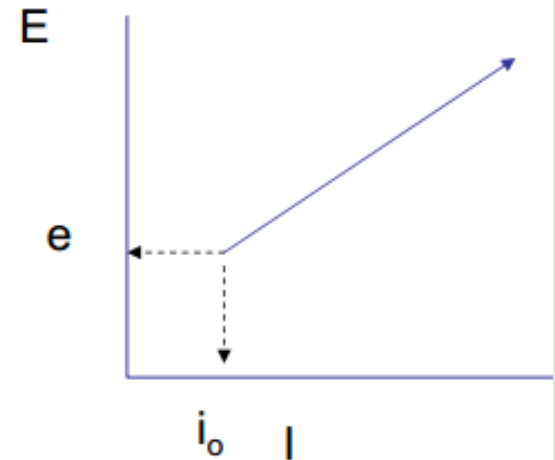
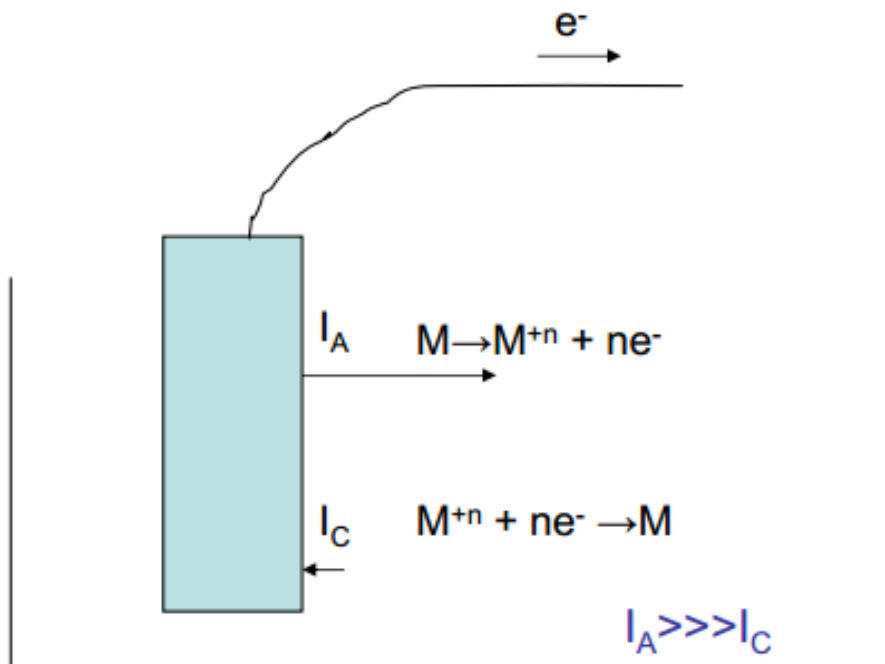
- If we disturb equilibrium by pumping current to the electrode reaction
 $M^{+n} + ne^- \leftrightarrow M$, then
 - The reaction will not be in equilibrium; it will proceed faster in the cathodic reaction direction
 $M^{+n} + ne^- \rightarrow M$
 - The reaction becomes faster in the cathodic direction and the potential becomes more -ve

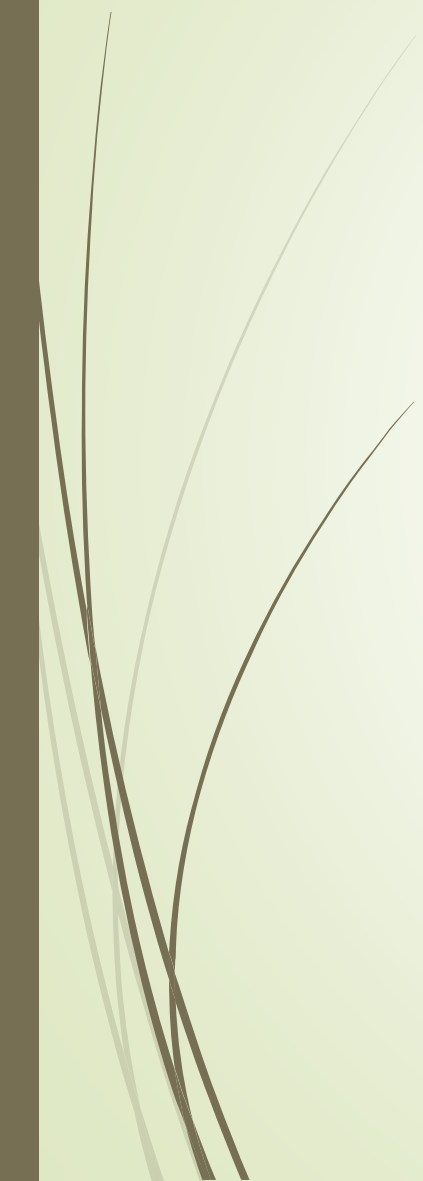


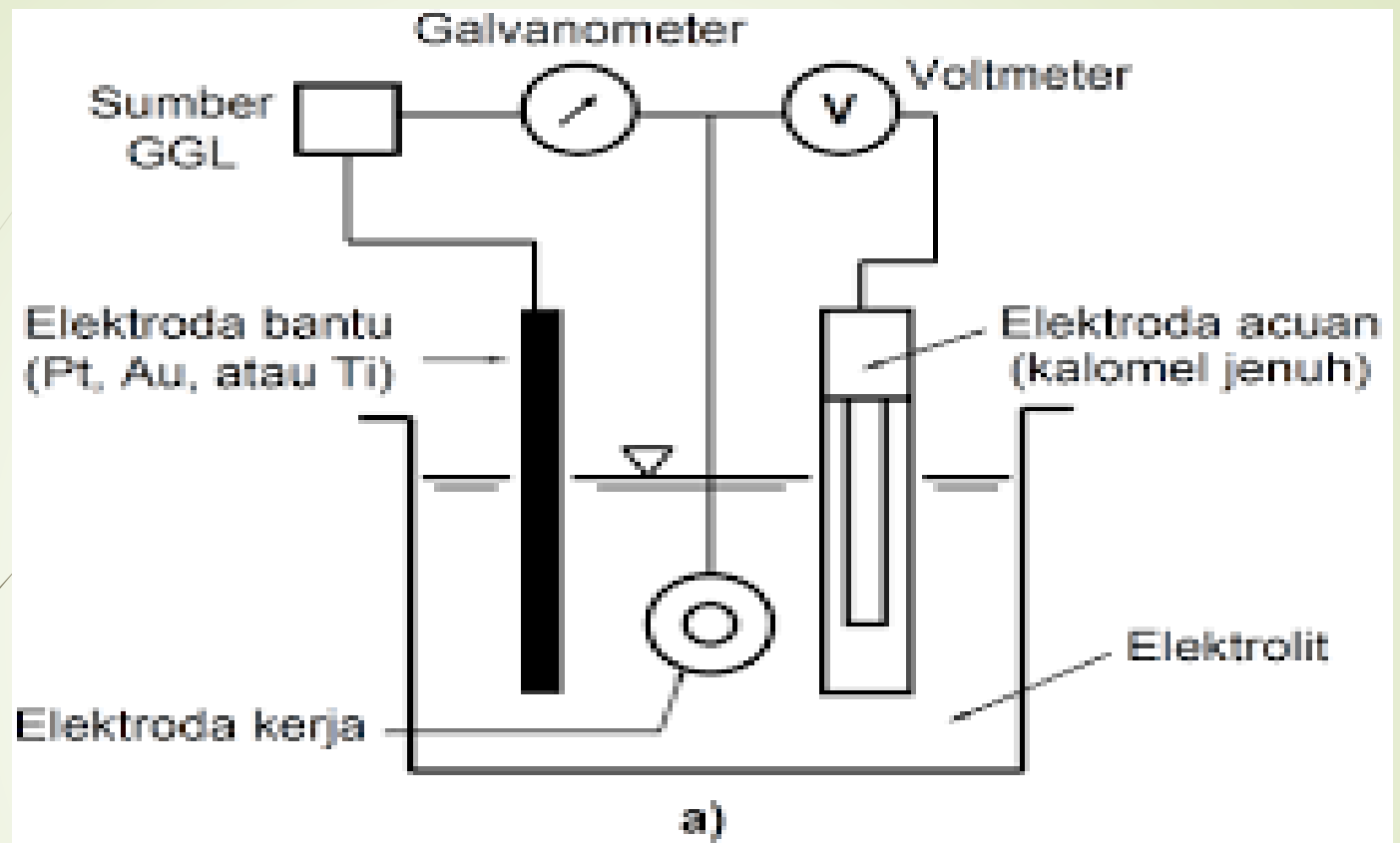
Polarization of a single half-cell reaction in the anodic direction

20

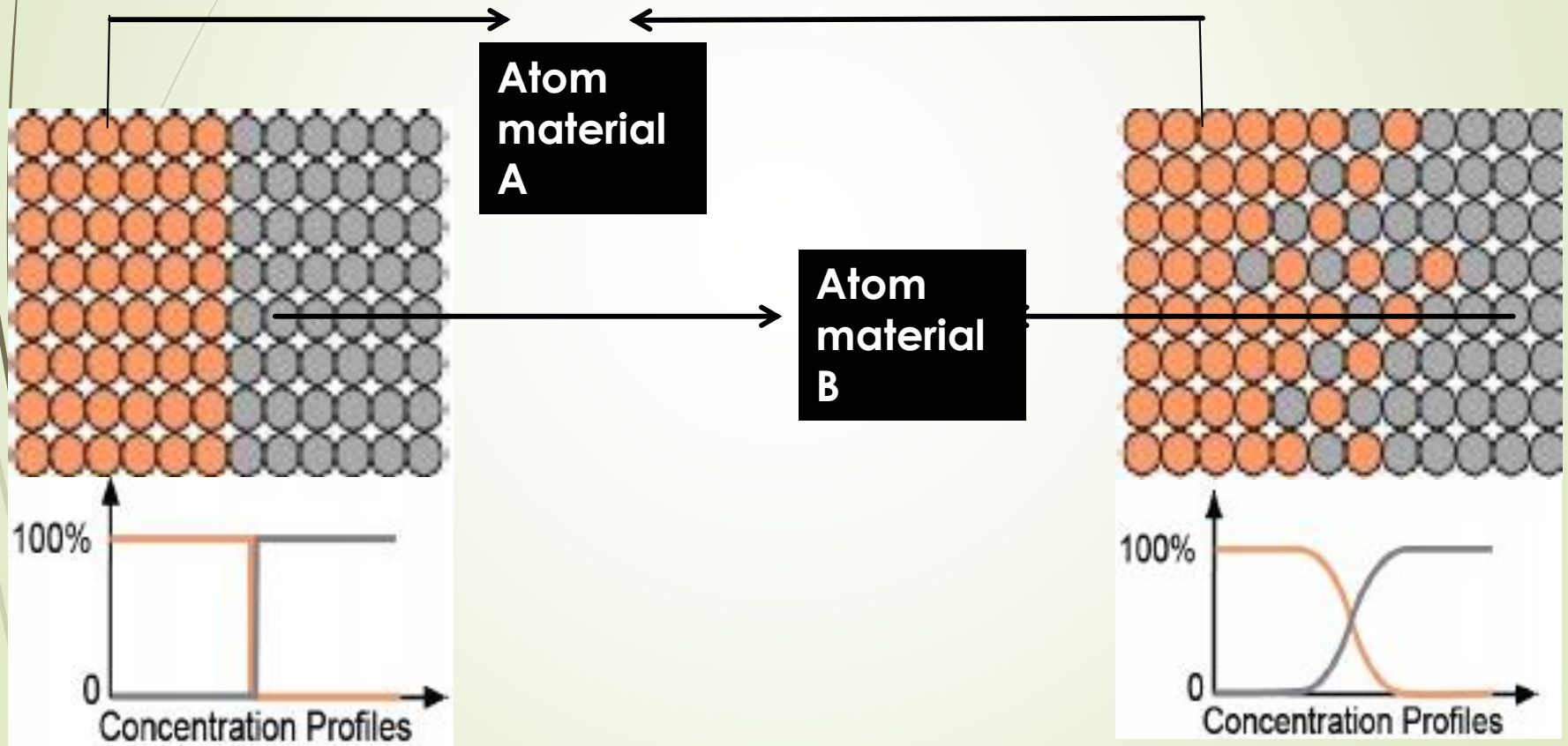
- If we disturb equilibrium by taking away current from the electrode reaction
 $M^{+n} + ne^- \leftrightarrow M$, then:
 - The reaction will not be in equilibrium; it will proceed faster in the anodic reaction direction
 $M \rightarrow M^{+n} + ne^-$
 - The reaction becomes faster in the anodic direction and the potential becomes more +ve



- 
- 
- Polarisasi terjadi ketika suatu logam tidak berada dalam keseimbangan dengan larutan yang mengandung ion, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas (Trethewey, 1991).



DIFUSI ATOM



SEBELUM PENGELASAN

SETELAH PENGELASAN

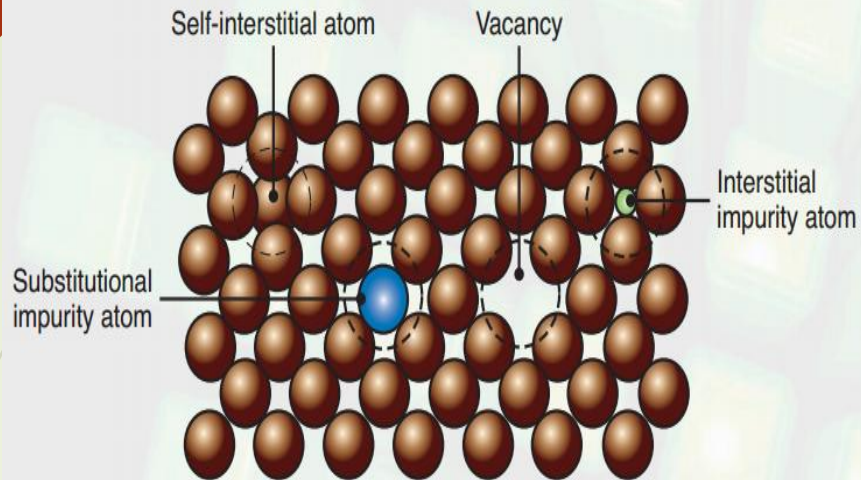


FIGURE 3.9 Various defects in a single-crystal lattice. Source: After W.G. Moffatt.

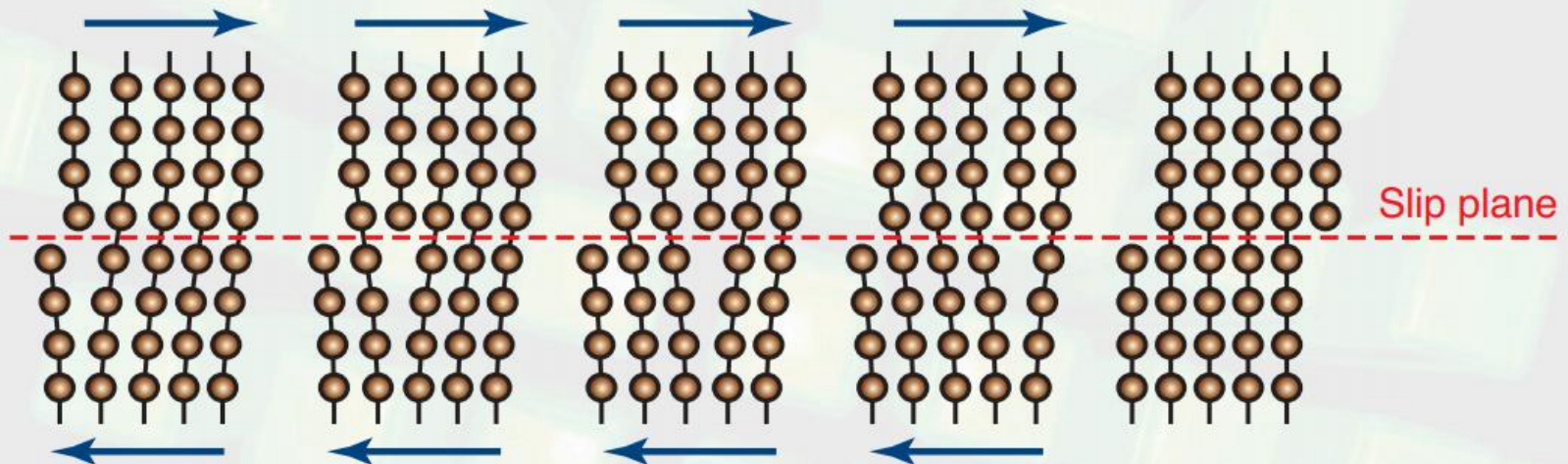


FIGURE 3.11 Movement of an edge dislocation across the crystal lattice under a shear stress. Dislocations help explain why the actual strength of metals is much lower than that predicted by atomic theory.

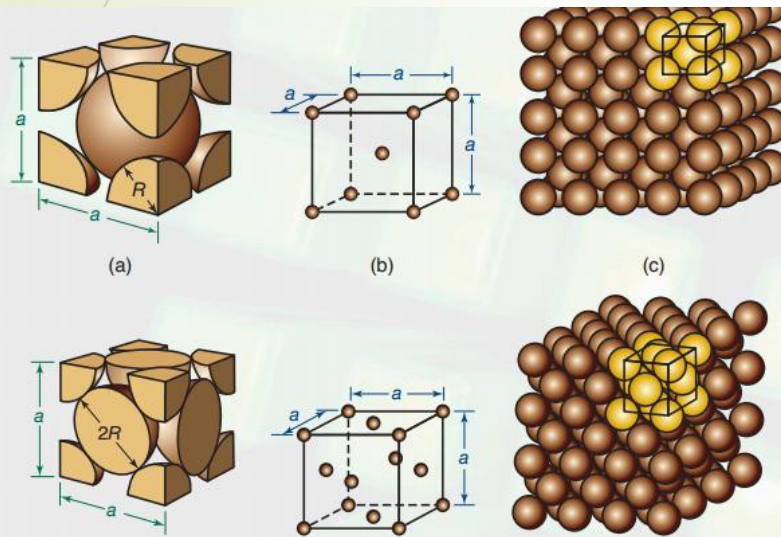


FIGURE 3.2 The body-centered cubic (bcc) crystal structure: (a) hard-ball model; (b) unit cell; and (c) single crystal with many unit cells. Common bcc metals include chromium, titanium, and tungsten. *Source:* After W.G. Moffatt.

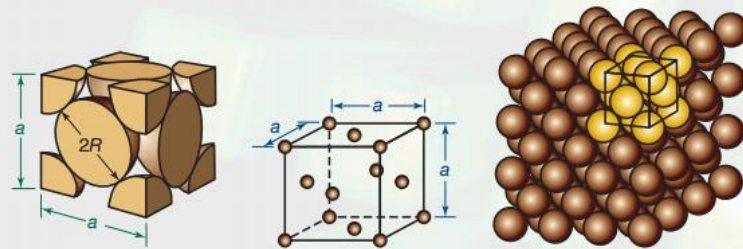


FIGURE 3.3 The face-centered cubic (fcc) crystal structure: (a) hard-ball model; (b) unit cell; and (c) single crystal with many unit cells. Common fcc metals include aluminum, copper, gold and silver. *Source:* After W.G. Moffatt.

