

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Feroze Nazneen (2013), dengan judul "*Electropolishing of medical-grade stainless steel in preparation for surface nano-texturing*" Mempelajari tentang *grade electropolishing* pada baja 316L untuk mendapatkan tingkat permukaan yang bersih dan bebas dari kerusakan dalam persiapan tekstur permukaan nano. Elektropolishing baja dilakukan di bawah kondisi stasioner dalam beberapa campuran elektrolit yaitu asam sulfat, asam fosfor dan gliserol. pengukuran tekstur permukaan menggunakan Ra dengan yang mempengaruhinya adalah suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Ra dari baja 316L adalah menurun dengan naiknya suhu *polishing*, tetapi meningkat ketika suhu lebih rendah.

Y.F. Chen (2001), melakukan penelitian dengan judul "*Electropolishing of 316L stainless steel for anti corrosion passivation* terhadap korosi permukaan logam yang disimpulkan bahwa *Electropolishing* dengan temperatur yang semakin menurun dengan penambahan glycerin memberikan permukaan logam yang halus.

Lin Hu (2008), dengan judul "*Electropolishing of 304 stainless steel surface roughness control using experimental design strategies and a summarized electropolishing model*" mempelajari kualitas dari material dengan *Electropolishing* pada stainless steel. Pengukuran kekasaran dilakukan dengan menggunakan parameter Ra dalam campuran yang mengandung asam sulfat. Kualitas kekasaran permukaan dipengaruhi oleh waktu dan suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Ra dari 304SS adalah menurun dengan penurunan suhu dan waktu *polishing*, tetapi meningkat ketika suhu lebih rendah.

Hryniewicz (1979), dengan judul "*The solution of electropolishing problems in some particular cases*" mempelajari solusi dari *elctropolishing* dimana yang perlu diperhitungkan yakni distribusi arus dan waktu proses *electropolishing*. Evaluasi permukaan menggunakan parameter Ra dan Rz.

2.2 Stainless Steel

Stainless Steel adalah material yang memiliki senyawa Ferum dan berkisar 10,5% Kromium yang dapat mencegah korosi. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida Kromium yang menghalangi proses oksidasi besi.

Stainless Steel dipakai pada berbagai bidang seperti, jembatan, Aviasi, Automotif, pertambangan.

Sifat-sifat dari *stainless steel* antara lain:

- Tahan Karat

Stainless steel memiliki kandungan unsur *Chromium* (Cr) yang tinggi yaitu 10.5% dan membuat material ini tahan terhadap karat tanpa memerlukan proses *galvanize* untuk perlindungan korosi. *Stainless steel* mempunyai lapisan oksida pada permukaanya yang tetap stabil apabila material mengalami kerusakan seperti dipotong.

- *Machinability* yang kurang baik

Stainless steel memiliki sifat *machinability* yang buruk dibanding dengan *carbon steel* karena *stainless steel* lebih tangguh dan membutuhkan pengerjaan yang berulang-ulang. Penambahan perlakuan panas *hardening* sebelum permesinan dapat memudahkan proses pemotongan.

- *Low Maintenance and High Durability*

Produk yang terbuat dari *stainless steel* tidak memerlukan *maintenance* yang rumit sehingga tidak memerlukan biaya yang tinggi untuk perawatan dan juga *stainless steel* tahan terhadap karat sehingga mampu dikatakan *stainless steel* memiliki durabilitas yang tinggi.

2.2.1 *Stainless Steel 316L*

Stainless steel 316L adalah *stainless steel chromium-Nikel* yang mengandung 2-3% molibdenum. Dengan adanya kandungan Molibdenum, material akan lebih tahan korosi, ketahanan *pitting resistance* meningkat serta menambah *hot strength*. *Stainless steel 316L* tidak dapat diberi perlakuan panas sehingga untuk meningkatkan sifat mekanisnya dapat menggunakan perlakuan mekanik (Dieter, 1988). Berikut adalah tabel properti kandungan senyawa kimia dan properti mekaniknya.

Tabel 2.1

Properti Mekanik *Strength Stainless Steel AISI 316L*

Grade	Tensile Strength (MPa) min	Yield Strength 0,2% Proof (MPa)	Elongation (% in 50 mm) min	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) max
316	515	205	40	95	217
316L	485	170	40	95	217
316H	515	205	40	95	217

Sumber: *Product data sheet stainless steel 316*, Atlas Steel (2010)

Tabel 2.2

Physical Properties Stainless Steel 316L

Grade	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Mean Coefficient of Thermal Expansion			Thermal Conductivity		Specific Heat 0- 100°C J/kg.K	Electrical Resistivity (nΩ.m)
			0-100°C μm/m/° C	0-315°C μm/m/ °C	0-538°C μm/m/ °C	at 100°C W/m.K	at 500°C W/m.K		
316 & 316L/H	8000	193	15.9	16.2	17.2	16.3	21.5	500	740

Sumber: *Product data sheet stainless steel 316*, Atlas Steel (2010)

Tabel 2.3

Unsur Kimia pada *Stainless Steel AISI 316L*

Grade		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
316	min.	-	-	-	-	-	16.0	2.00	10.0	-
	max.	0.08	2.0	0.75	0.045	0.030	18.0	3.00	14.0	0.10
316L	min.	-	-	-	-	-	16.0	2.00	10.0	-
	max.	0.030	0.20	0.75	0.045	0.030	18.0	3.00	14.0	0.10
316H	min.	0.04	-	-	-	-	16.0	2.00	10.0	
	max.	0.10	0.20	0.75	0.045	0.030	18.0	3.00	14.0	

Sumber: *Product data sheet stainless steel 316*, Atlas Steel (2010)

2.3 Non Conventional Machining

Proses permesinan *non conventional* adalah suatu proses pemotongan atau pembentukan material menggunakan pahat berupa pahat *non conventional*, melainkan menggunakan energi untuk memotongnya.

Mesin-mesin *non conventional* disini dapat dibagi menjadi beberapa menurut energi yang dipakai. salah satunya media pemotongan dengan energi elektromekanika yaitu *electrochemical machining* yang meliputi *electropolishing* dan *electroplating*.

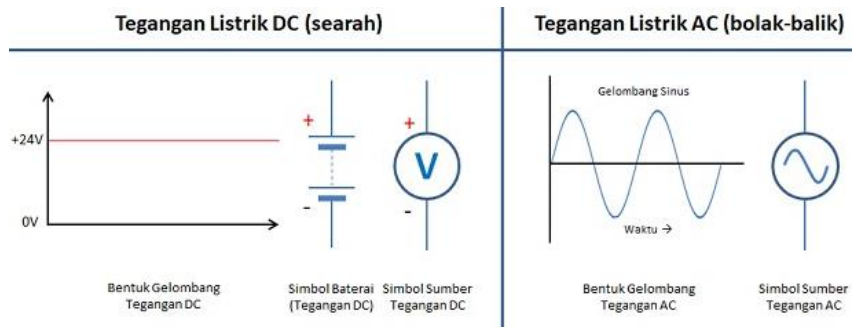
2.4 Electropolishing

Electropolishing juga dikenal sebagai *polishing* elektrokimia, anodik *polishing* atau *polishing Electrolyte* (terutama di metalografi), yang mana merupakan proses elektrokimia yang menghilangkan materi dari benda kerja logam. Ini digunakan untuk memoles, memusatkan, dan menghilangkan bagian logam. Hal ini sering digambarkan sebagai kebalikan dari elektroplating.

2.5 Tegangan

Tegangan Listrik adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan unit muatan listrik dari satu tempat ke tempat lainnya. Tegangan listrik yang dinyatakan dengan satuan Volt ini juga sering disebut dengan beda potensial listrik karena pada dasarnya tegangan listrik adalah ukuran perbedaan potensial antara dua titik dalam rangkaian listrik. Suatu benda dikatakan memiliki potensial listrik lebih tinggi dari pada benda lain karena

benda tersebut memiliki jumlah muatan positif yang lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah muatan positif pada benda lainnya. Sedangkan yang dimaksud dengan Potensial listrik itu sendiri adalah banyaknya muatan yang terdapat dalam suatu benda.



Gambar 2.1 Tegangan listrik DC (searah) dan AC (bolak-balik)
Sumber: Elektronika teknik (2014)

Pada *electropolishing* di gunakan tegangan listrik dengan arus DC (searah) karena memiliki bentuk gelombang yang stabil juga merubah aliran elektron dari suatu titik yang energi potensialnya tinggi ke titik lain yang energi potensialnya lebih rendah sehingga stabil di gunakan untuk *electropolish*. Tegangan listrik dapat juga dianggap sebagai gaya yang mendorong perpindahan elektron melalui konduktor dan semakin tinggi tegangannya semakin besar pula kemampuannya untuk mendorong elektron melalui rangkaian yang diberikan.

Semakin tingginya tegangan maka semakin banyak pula elektron yang di lepaskan, menyebabkan reaksi kimia akan berlangsung lebih cepat. Karena prinsip dari *electropolishing* menyerupai prinsip pada elektrolisis, yaitu merubah energi listrik menjadi reaksi kimia. Semakin besar energi listrik (tegangan) yang diberikan semakin cepat dan efektif reaksi kimia yang terjadi pada *electropolishing*.

2.6 Suhu

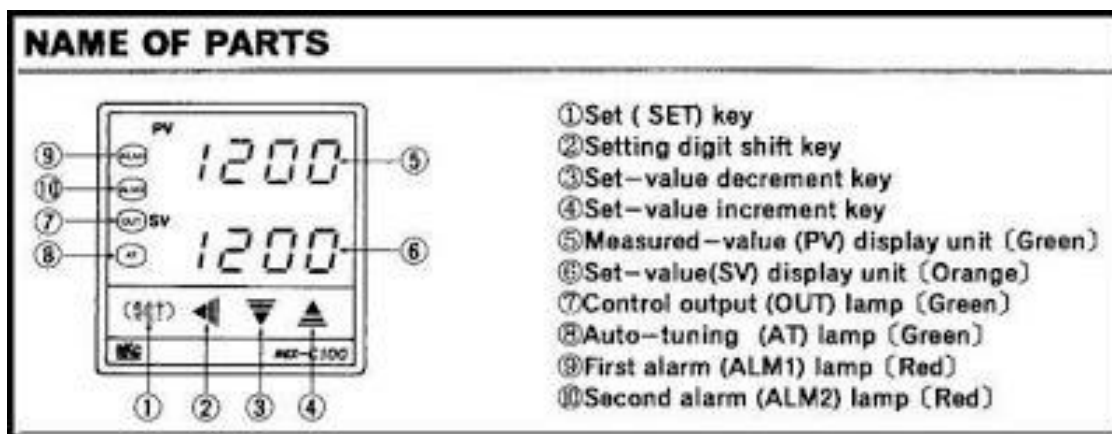
Suhu menunjukkan derajat panas benda. Semakin tinggi suhu suatu benda, semakin panas benda tersebut. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, semakin tinggi suhu suatu benda, maka semakin tinggi energi kinetik yang ada pada benda.

Pada umumnya reaksi *electrolyte* akan berlangsung lebih cepat bila suhu dinaikkan. Dengan menaikkan suhu maka energi kinetik molekul-molekul zat yang bereaksi akan bertambah sehingga akan lebih banyak molekul yang dapat mencapai keadaan transisi atau dengan kata lain kecepatan reaksi menjadi lebih besar.

2.7 Thermocontrol

Digital Temperature Controller adalah alat yang bisa mengontrol suhu untuk mengendalikan *cooler/ heater* sesuai dengan settingan yang diinginkan. Sama seperti prinsip kerja *Digital Counter Relay, Digital Thermostat* ini mempunyai kontak-kontak NO NC pada *output settingnya*.

Termokopel akan mengukur suhu oven sesuai dengan suhu tinggi stabil yang diinginkan. Setelah suhu didalam oven mencapai suhu tinggi yang dimaksud, maka kontak *relay* NC yang menghubungkan sumber listrik *power supply* oven akan terbuka dan memutuskan sumber listrik. Sehingga oven akan dalam kondisi *off* hingga mencapai suhu turun settingan. Setelah mencapai suhu turun tertentu, maka kontak NO akan terhubung kembali dan mencapai lagi suhu tinggi *settingan*.

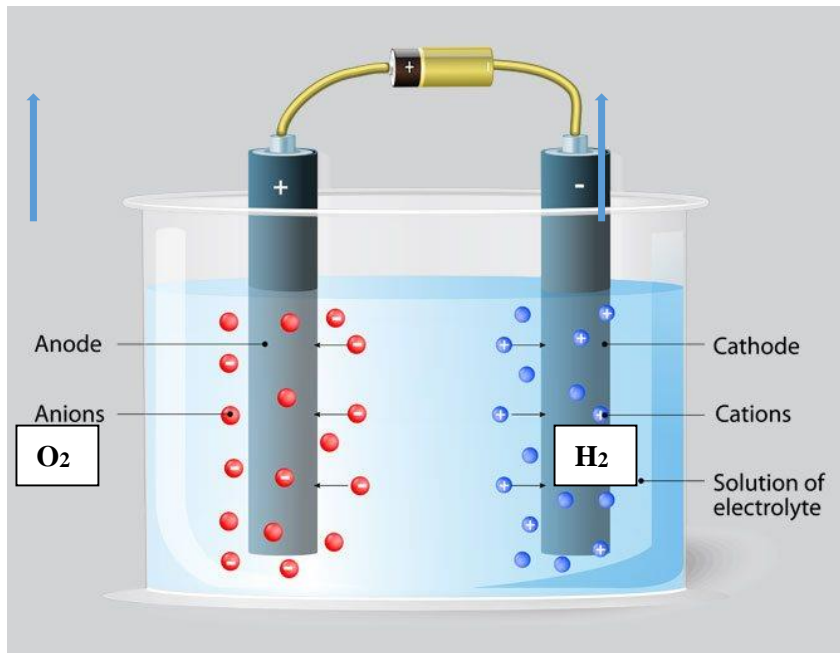


Gambar 2.2 Spesifikasi *digital temperature controller* tipe REX-C100

Sumber: Franklin Pty

2.8 Mekanisme *Electropolishing*

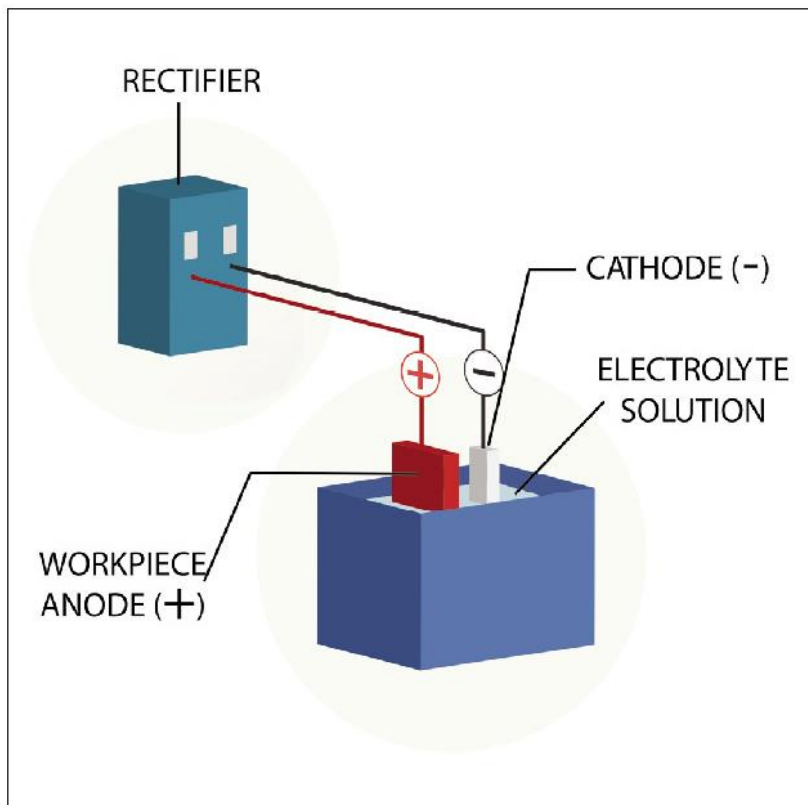
Mekanismenya yaitu menggunakan sistem elektrolisis yang terdiri dari anoda (+) dan katoda (-). Spesimen yang dimasukkan ke dalam larutan *electrolyte* asam berada di anoda sedangkan yang berada di katoda adalah logam yang harus tahan terhadap larutan *Electrolytenya* serta tidak boleh larut. Ketika proses, spesimen yang di anoda akan larut karena teroksidasi. Dalam proses ini di beri pengaduk agar logam yang terkikis meyebar merata. Pada katoda, sebuah pengurangan reaksi terjadi, biasanya menghasilkan hidrogen. *electrolyte* yang digunakan untuk *electropolishing* yang paling sering terkonsentrasi adalah larutan asam yang memiliki viskositas tinggi, seperti campuran asam sulfat dan asam fosfat.



Gambar 2.3 Mekanisme *electropolishing*

Sumber: Jen Lee (2003)

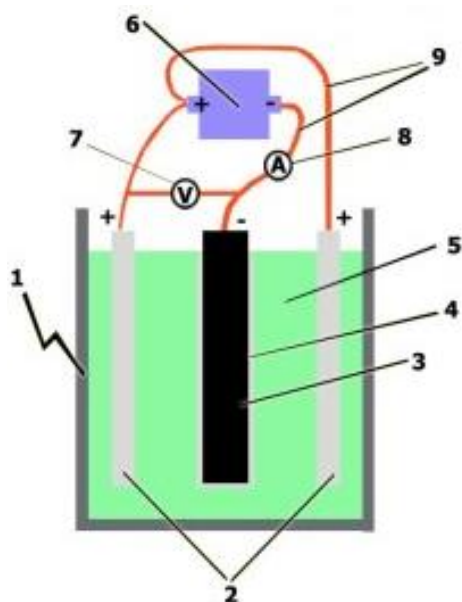
Untuk mencapai *electropolishing* dari permukaan kasar, bagian yang menonjol dari profil permukaan harus membubarkan lebih cepat, proses ini disebut meratakan.



Gambar 2.4 Skematic layout *electropolishing*

Sumber: John Anopol (2010)

2.8.1 Bagian-bagian pada Alat *Electropolishing*



Gambar 2.5 Bagian bagian *electropolishing*
Sumber: Metalindo abadi (2010)

1. Bak *Polishing*

Bak *polishing* harus terbuat dari bahan yang tahan dengan larutan *electrolyte* yang digunakan. Umumnya terbuat dari PVC atau PP. Untuk ukuran yang besar bisa menggunakan besi atau semen yang dilapisi PVC atau PP. Ukuran bak menentukan ukuran dan jumlah barang yang bisa diproses.

2. Anoda

Anoda dihubungkan dengan kutub positif dari *Rectifier*. Anoda biasanya adalah logam yang akan di *polish* atau dibersihkan dari pengotor seperti kromium, nikel, tembaga, seng, kuningan, *stainless steel*, dan lainnya. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai anoda adalah *stainless steel*. Anoda akan dihubungkan dengan kutub positif pada *Rectifier*. Arus listrik akan mengalir dari anoda, dimana dengan adanya arus listrik ini logam pada permukaan *stainless steel* akan mengalami reaksi oksidasi membentuk ion-ion yang larut dalam *electrolyte* dan akan melekat di permukaan katoda. Ada juga anoda yang tidak bisa larut dalam *electrolyte* membentuk ion, sehingga untuk mengoksidasi logam anoda menjadi ionnya harus ditambahkan bahan kimia ke dalam larutan *electrolyte*, seperti anoda kromium, karbon, platina, dan titanium.

3. Katoda

Katoda dihubungkan dengan kutub negatif dari *Rectifier*. Permukaan logam pada katoda yang lebih dekat dengan anoda akan lebih mudah terlapisi oleh ion-ion logam dari anoda yang akan tereduksi menjadi logam dibandingkan dengan yang lebih jauh

atau terhalang. Dengan mengatur posisi benda kerja terhadap anoda akan membantu dan mempercepat proses *polishing*.

4. Lapisan logam

Lapisan logam yang terbentuk mempunyai karakteristik yang khusus. Tergantung dari kadar kandungan bahan kimia dalam *electrolyte*, kondisi proses, dan kualitas arus listrik. Diperlukan pengetahuan yang lebih dalam tentang *electropolishing* untuk bisa mengetahui lapisan logam dengan karakteristik tertentu. Lapisan logam ini dalam satuan mikron, dan bisa diukur dengan menggunakan *thicknessmeter*.

5. Larutan *electrolyte*

Larutan *electrolyte* berfungsi sebagai penghantar listrik dan media pelarutan dari ion logam. Larutan *electrolyte* ini biasanya terdiri garam yang mengandung ion logam, *buffer* (pengatur pH), dan aditif (*Surfactant*, *Brightener*, dan Katalis). Umumnya yang digunakan sebagai *Electrolyte* adalah larutan yang mempunyai viskositas tinggi, seperti campuran asam sulfat (H_2SO_4) dan asam fosfat (H_3PO_4). Volume larutan *electrolyte* yang menyusut karena penguapan bisa dikembalikan lagi ke volume semula dengan menambahkan air bilasan dari proses *polishing* tersebut. Untuk mempertahankan kadar dari larutan *electrolyte*, bisa dilakukan tes secara berkala, dan menambahkan bahan kimia yang berkurang.

6. *Rectifier*

Rectifier merupakan sumber arus DC dari proses *electropolishing*. *Rectifier* sebaiknya yang bisa diatur Volt DC nya, sehingga bisa disesuaikan dengan ukuran benda kerja dan jenis *Polishingnya*. Sebuah penyearah adalah perangkat listrik yang mengkonversi *alternating current (AC)*, yang secara berkala berbalik arah, untuk mengarahkan arus (DC), yang mengalir hanya satu arah.

Rectifier memiliki banyak kegunaan, tetapi sering ditemukan sebagai komponen DC pasokan listrik dan tegangan tinggi arus searah sistem transmisi listrik. selain itu *Rectifier* menghasilkan arus searah untuk digunakan sebagai sumber listrik. Banyak aplikasi dari *Rectifier*, seperti pasokan listrik untuk radio, televisi dan peralatan komputer yang memerlukan stabil konstan arus DC (seperti yang akan dihasilkan oleh baterai). Dalam aplikasi ini *output* dari *Rectifier* merapikan penyaring elektronik (biasanya kapasitor) untuk menghasilkan arus yang stabil.

7. Volt meter

Volt meter disini untuk mengukur volt yang sedang digunakan dalam proses *Polishing*. volt diatur untuk mendapatkan ampere yang diinginkan atau sesuai dengan

perhitungan standar. Pengaturan volt yang tidak tepat akan mempengaruhi kualitas dan lamanya proses kerja.

8. Ampere meter

Ampere meter untuk mengukur ampere dari arus listrik selama proses *Polishing*. Ampere meter idealnya yang digital agar lebih akurat dalam pembacaannya. Ampere ini juga sebagai parameter standar dari *Polishing*, sebab setiap proses *Polishing* mempunyai standar ampere per-desimeter persegi yang berbeda-beda.

9. Tembaga

Tembaga untuk penghantar listrik dari *Rectifier* ke anoda atau katoda. Ukuran dari tembaga disesuaikan dengan ampere yang digunakan. Sebisa mungkin jangan banyak sambungan, karena dapat memperburuk aliran arus listrik. Setiap sambungan yang ada harus sering di cek dan dibersihkan agar arus listrik tetap lancar.

10. *Temperature control*

Temperature control disini merupakan suatu proses di mana perubahan suhu suatu ruang (dan benda-benda yang secara kolektif ada di dalamnya) diukur atau dideteksi, dan perjalanan energi panas masuk atau keluar dari ruang disesuaikan untuk mencapai suhu rata-rata yang diinginkan.

2.9 Reaksi Reaksi yang Terjadi Saat Proses *Elektropolishing*

1. Reaksi yang terjadi dalam larutan

H₂SO₄ akan terhidrolisis dengan reaksi sebagai berikut.



H₃O⁺ akan terhidrolisis dengan reaksi sebagai berikut.



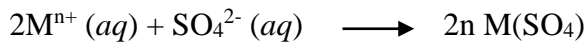
2. Reaksi yang terjadi pada anoda

Reaksi yang terjadi pada anoda adalah reaksi oksidasi, dimana terjadi perubahan logam (pengotor) yang ada pada permukaan *stainless steel* menjadi ion-ion yang akan larut pada *electrolyte*. Larutnya logam (pengotor/ pelapis) ke dalam *electrolyte* akan mengakibatkan logam (pengotor/pelapis) akan habis lama kelamaan dan *stainless steel* akan mengkilat. Reaksi pada anoda sebagai berikut.

- Oksidasi logam (pengotor/pelapis) menjadi ion-ion logam:



- Ion logam akan larut ke dalam *Electrolyte*, sehingga larutan *Electrolyte* lama kelamaan berubah warna dari tidak berwarna (bening) menjadi keruh, reaksinya sebagai berikut.



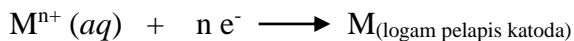
- H₂O hasil hidrolisis pada *Electrolyte* (penjelasan di poin 1) akan teroksidasi dan menghasilkan gas oksigen, sehingga pada permukaan *stainless steel* anoda akan terbentuk gelembung-gelembung gas, reaksinya sebagai berikut.



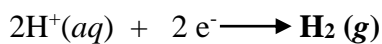
3. Reaksi yang terjadi pada katoda

Reaksi yang terjadi pada katoda adalah reaksi reduksi, dimana ion-ion logam dari anoda yang larut dalam *Electrolyte* akan direduksi menjadi logam-logam yang akan melapisi permukaan logam katoda. Berubahnya ion-ion menjadi logam pada permukaan katoda mengakibatkan lapisan logam pada katoda semakin tebal (banyak) dan warna logam katoda menjadi berubah menjadi lebih gelap, reaksinya sebagai berikut.

- Reduksi ion logam yang larut dalam *Electrolyte* menjadi logam pelapis katoda:



- Ion H⁺ yang dihasilkan dari hidrolisis *Electrolyte* (penjelasan di poin 1) direduksi pada katoda menjadi gas H₂, sehingga pada permukaan katoda akan terbentuk gelembung-gelembung gas, reaksinya sebagai berikut.



2.10 Parameter Proses pada *Electropolishing*

Parameter yang dapat digunakan untuk proses pada alat *Electropolishing* adalah:

1. Tegangan (Voltage)

Tegangan pada alat ini merupakan seberapa besar arus listrik yang di berikan pada proses *electropolishing*.

2. Waktu Lama Proses

Waktu adalah dimana lama durasi yang dilakukan selama proses *electropolishing*.

3. Suhu

Suhu merupakan pemanasan yang diberikan pada larutan untuk proses *electropolishing*.

4. *Electrolyte*

Electrolyte merupakan zat yang bila dilarutkan dalam air menghasilkan larutan yang dapat menghasilkan listrik, *electrolyte* yang digunakan pada penelitian ini:

- a. Asam Sulfat (H_2SO_4) adalah asam kuat dan tergolong sebagai elektrolit kuat sehingga konduktivitas listriknya tinggi. Dalam penelitian ini H_2SO_4 yang disediakan adalah H_2SO_4 96% atau bisa dikatakan bahwa H_2SO_4 itu termasuk pekat. Semakin pekat suatu larutan maka semakin tinggi konduktivitasnya. H_2SO_4 merupakan larutan yang mempunyai viskositas yang tinggi.
- b. Asam Phospor (H_3PO_4) adalah asam lemah dan tergolong sebagai elektrolit lemah sehingga konduktivitas listriknya rendah. Dalam penelitian ini H_3PO_4 yang disediakan adalah H_3PO_4 85% dengan kategori larutan cukup pekat. H_3PO_4 mempunyai konduktivitas listrik lebih rendah dibanding H_2SO_4 .

2.11 Kekasaran Permukaan

Menurut ISO 1302-1978 yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga dari rata-rata kekasaran permukaan. Dalam dunia industri, kebutuhan yang diinginkan masing-masing perusahaan berbeda, sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Nilai kekasaran permukaan sendiri memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda. Dimana menurut ISO, nilai kualitas kekasaran permukaan dapat diklasifikasikan dari yang paling kecil adalah N1 dengan nilai kekasaran permukaan (Ra) $0,025\mu m$ hingga nilai tertinggi adalah N12 dengan nilai kekasaran permukaan (Ra) $50\mu m$.

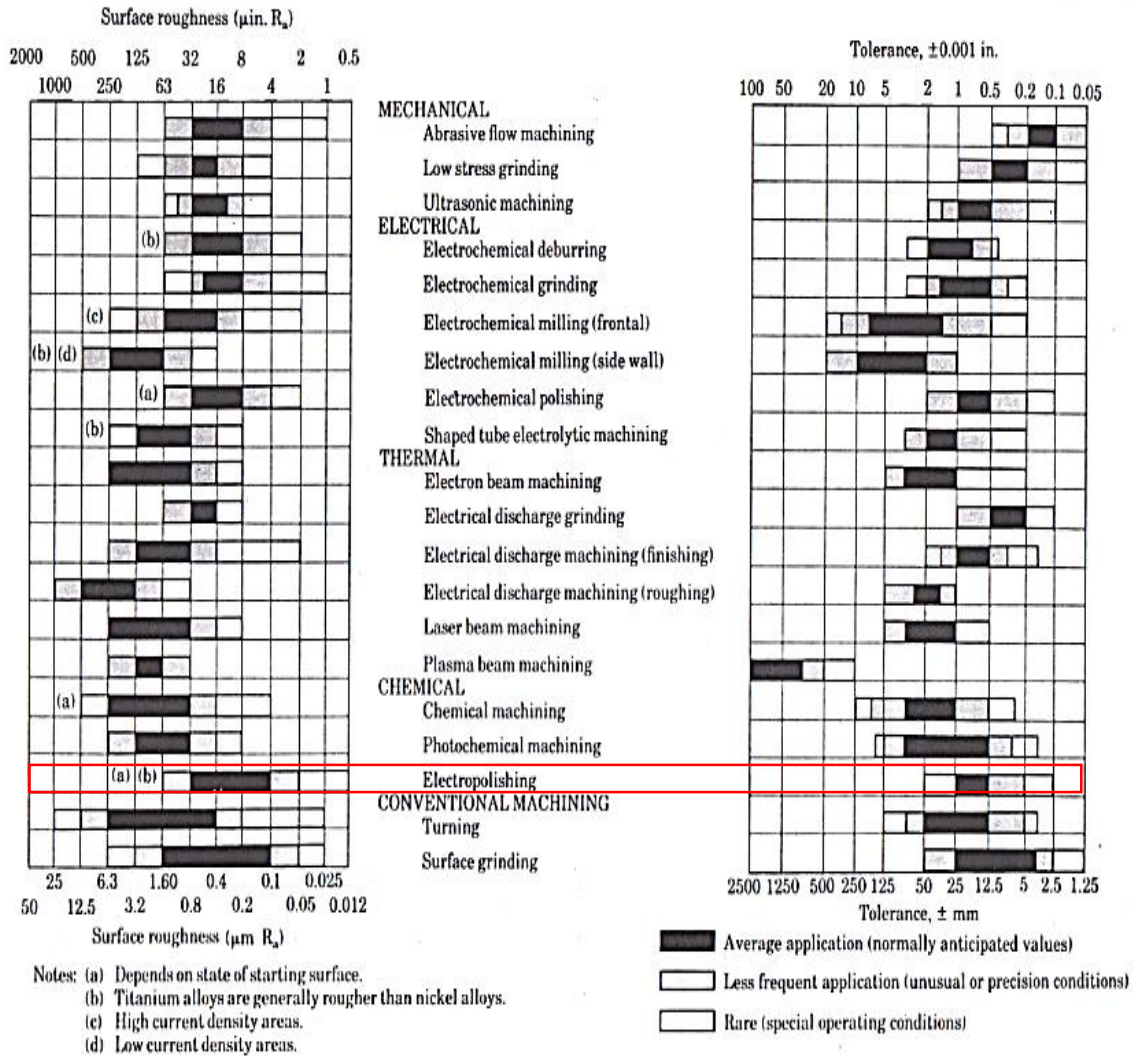
Tabel 2.4

Tabel Nilai Kualitas Kekasaran Permukaan (Ra)

Kelas Kekasaran	Harga Ra (μm)	Toleransi (μm) (+50% & 25%)	Panjang sampel (mm)
N1	0,025	0,02-0,04	0,08
N2	0,05	0,04-0,08	0,25
N3	0,1	0,08-0,15	
N4	0,2	0,15-0,03	
N5	0,4	0,03-0,06	0,8
N6	0,8	0,6-1,2	
N7	1,6	1,2-2,4	
N8	3,2	2,4-4,8	
N9	6,3	4,8-9,6	2,5
N10	12,5	9,6-18,75	
N11	25	18,5-37,5	8
N11	50	37,5-75,0	

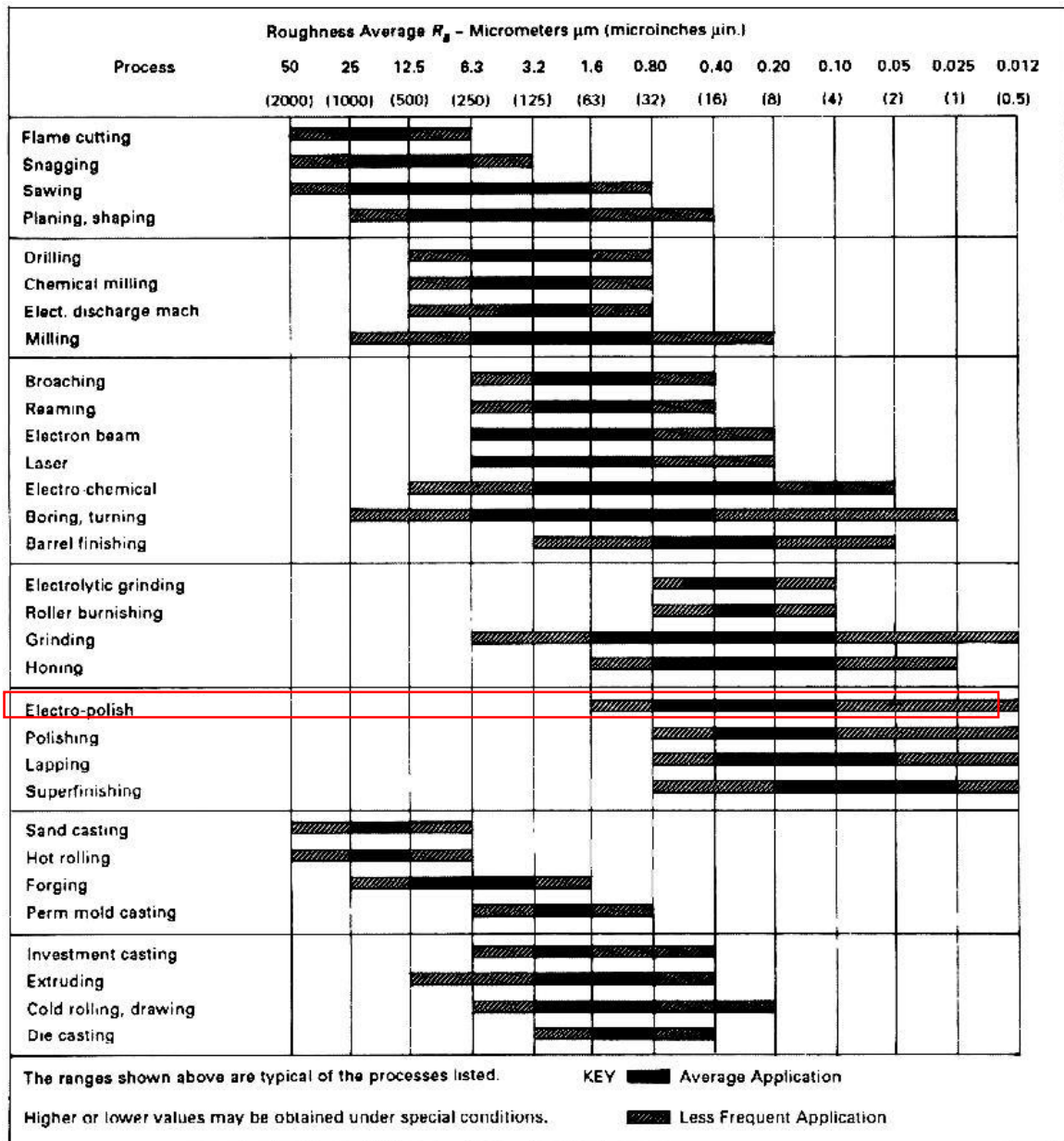
Sumber: Munadi (1980:230)

Tabel 2.5
 Nilai Kekasaran Permukaan Mesin Non Tradisional



Sumber: Kalpakjian (1984:514)

Tabel 2.6
 Nilai Kekasaran Permukaan Setelah di *Finishing* dengan Macam-macam Proses Permesinan Menurut *Mechanical Support*

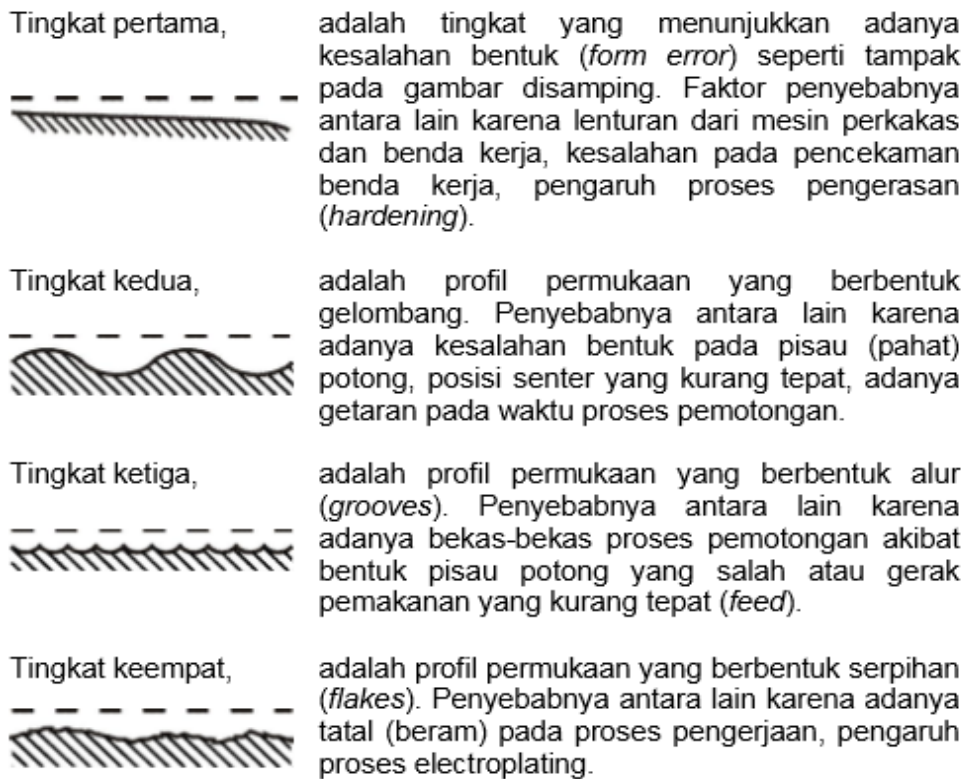


Sumber: *Mechanical support* (2014)

2.11.1 Perbedaan Permukaan dan Profil

Permukaan adalah suatu titik yang membatasi antara sebuah benda padat dengan lingkungan sekitarnya (Munadi, 1980:223). Apabila dilihat dengan skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan produk juga termasuk karakteristik geometrik yang tergolong dengan golongan mikrogeometrik. Permukaan produk yang membentuk rupa dapat disebut golongan makrogeometrik, sebagai contohnya adalah: poros, sisi, lubang.

Sedangkan profil adalah sebuah garis tiruan permukaan yang meng-simulasikan keadaan permukaan bidang dari benda kerja tersebut ketika dipotong secara normal atau serong (Munadi, 1980:224). Karena dalam pembuatan benda kerja dapat terjadi penyimpangan maka pada permukaan geometri ideal tidak dapat dibuat. Didunia kerja, perancang tersebut akan menuliskan syarat permukaan pada gambar teknik. Suatu keadaan permukaan yang diberi syarat pada gambar teknik disebut permukaan nominal (*nominal surface*). Macam-macam contoh dari bentuk profil pada Gambar 2.4.



Gambar 2.6 Tabel ketidak teraturan pada profil

Sumber: Munadi (1980:225)

2.11.2 Parameter Kekasaran Permukaan

Ada beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan kekasaran permukaan, yakni:

1. R_a adalah penyimpangan rata-rata dari garis rata-rata profil

Kekasaran Rata-rata Aritmetis (*Mean Roughness Indec/Center Line Average, CLA*), merupakan harga-harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l H_i \cdot dx \ (\mu m) \quad (2-1)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980:56)

$$R_a = \frac{1}{l} [H_i \cdot x]_0^l \ (\mu m) \quad (2-2)$$

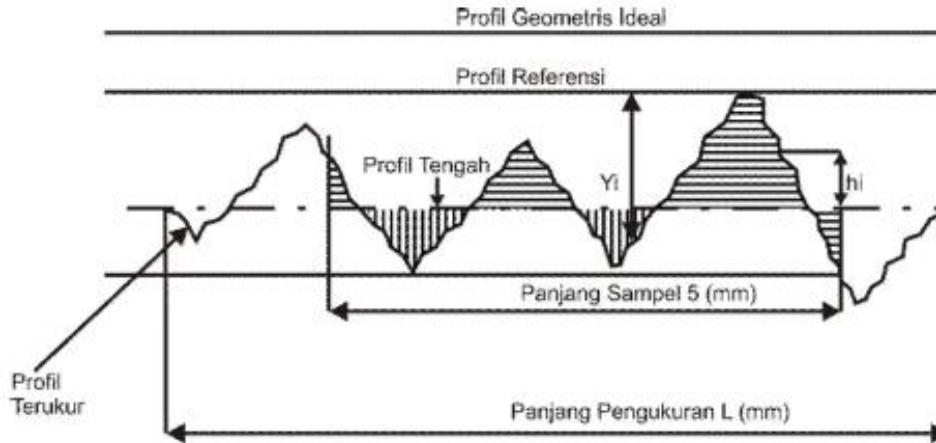
Sumber: Taufiq rochim (1980)

$$R_a = \frac{1}{l} \sum H_i \cdot l - \frac{1}{l} \sum H_i \cdot 0 \quad (\mu m) \quad (2-3)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980)

$$R_a = \frac{\sum H_i l}{l} \quad (\mu m) \quad (2-4)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980)



Gambar 2.7 Kekasaran permukaan (R_a)

Sumber: Taufiq rochim (1980:56)

Untuk menentukan kekasaran rata-rata (R_a) dapat pula dilakukan secara grafis. Adapun caranya sebagai berikut.

- Pertama, gambar sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X – X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam.
- Kedua, ambillah beberapa sampel panjang pengukuran sepanjang L yang dapat memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama.
- Ketiga, ambillah luasan daerah A di bawah kurva dengan menggunakan metode ordinat. Dengan demikian diperoleh jarak garis *center* C – C terhadap garis X – X secara tegak lurus yang besarnya adalah:

$$H_m = \frac{\text{daerah A}}{L} \quad (2-5)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980)

- Keempat, sekarang diperoleh garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah di atas ($P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ dan seterusnya) dan luasan daerah di bawah ($Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$ dan seterusnya).

Dengan demikian maka R_a dapat ditentukan besarnya yaitu:

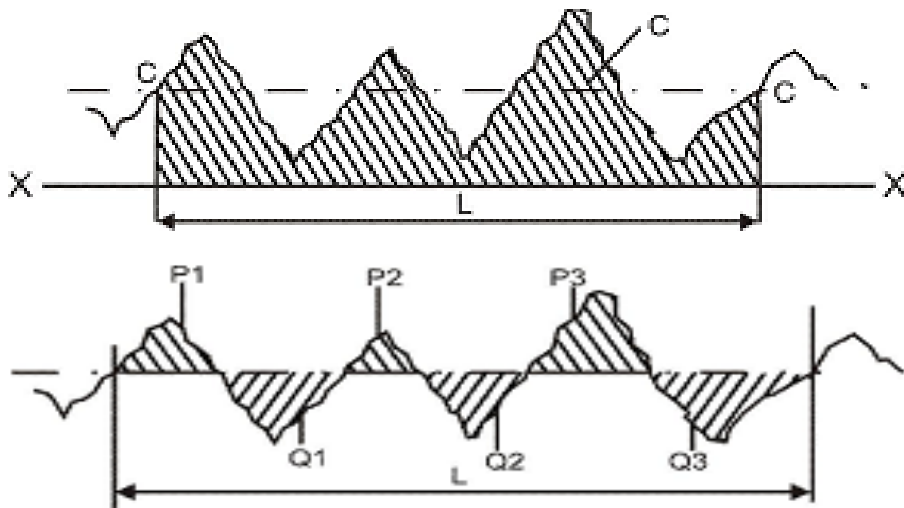
$$R_a = \frac{\text{Luas daerah P} + \text{Luas daerah Q}}{L} \times \frac{1000}{V_v} \quad (\mu m) \quad (2-6)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980)

dengan:

V_v = perbesaran vertikal, luas P dan Q dalam milimeter

L = panjang sampel pengukuran dalam milimeter

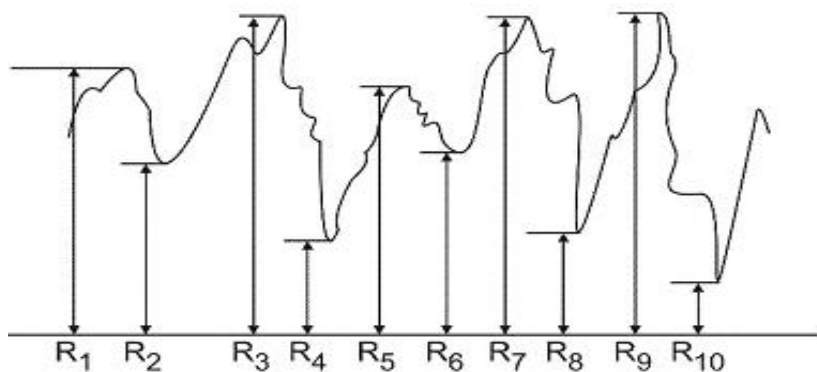


Gambar 2.8 Kekasaran rata-rata, Ra
Sumber: Munadi (1980:229)

2. Rz adalah ketidakrataan ketinggian pada sepuluh titik

Rz sebetulnya hampir sama dengan kekasaran rata-rata aritmetis Ra, tetapi cara menentukan Rz adalah lebih mudah daripada menentukan Ra. Gambar 2.9. menunjukkan cara menentukan Rz. Sampel pengukuran diambil sejumlah profil yang memuat, misalnya 10 daerah yaitu 5 daerah puncak dan 5 daerah lembah.

Kemudian buat garis lurus horizontal di bawah profil permukaan. Tarik garis tegak lurus dari masing-masing ujung puncak dan lembah ke garis horizontal. Dengan cara ini maka diperoleh harga Rz yang besarnya adalah:

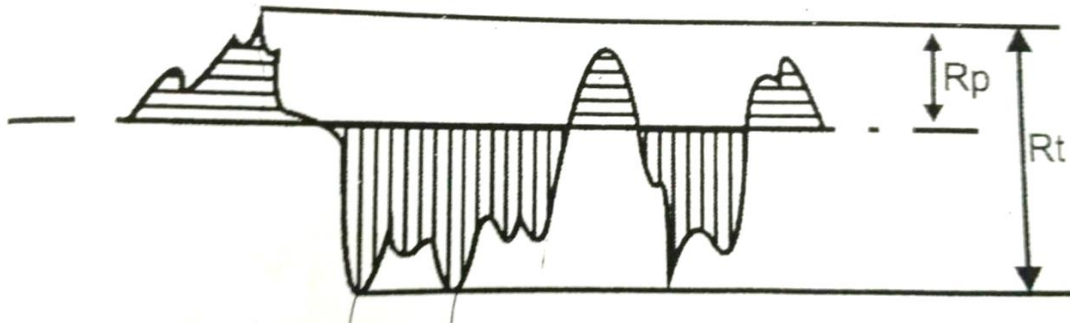


Gambar 2.9 Kekasaran permukaan Rz
Sumber: Munadi (1980:229)

$$Rz = \frac{1}{5}(R1 + R3 + R5 + R7 + R9 + Pa) - \frac{1}{5}(R2 + R4 + R6 + R8 + R1) \times \frac{1000}{Vv} \quad (2-7)$$

Sumber: Taufiq rochim (1980)

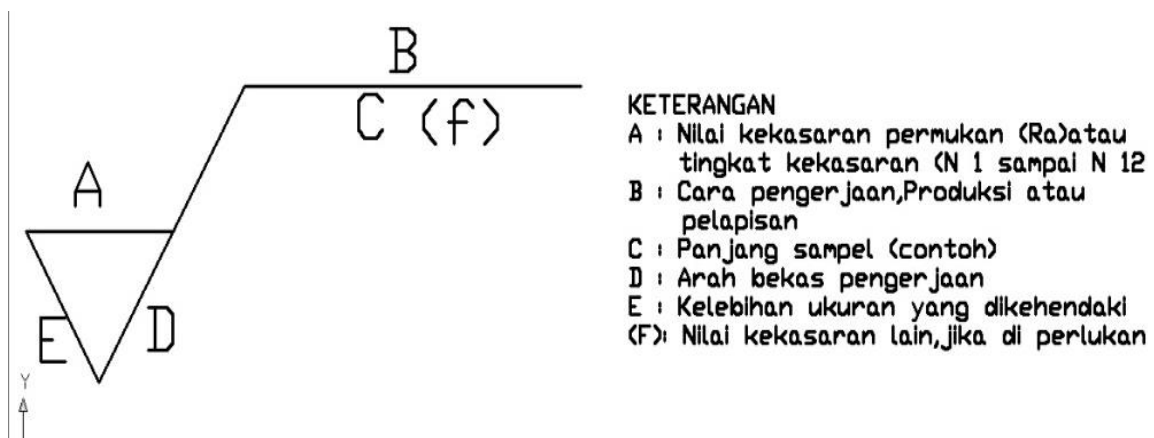
3. Kekasaran perataan (Rp) merupakan jarak rata-rata antara garis referensi dengan garis terukur.
4. Rt, kedalaman total (Peak to Valley) adalah besar jarak dari profil referensi hingga profil dasar dengan satuan μm .



Gambar 2.10 Kedalaman total dan kedalaman perataan
Sumber: Munadi (1980:227)

2.11.3 Penulisan Kekasaran Permukaan pada Gambar Teknik

Di dalam gambar teknik, kekasaran permukaan sering dilambangkan dengan simbol berbentuk segitiga sama sisi dengan salah satu ujung menempel pada permukaan. Pada segitiga tersebut terdapat angka dan simbol yang memiliki arti seperti berikut.



Gambar 2.11 Lambang konfigurasi kekasaran permukaan
Sumber: Choirul (2014:21)

Sebagai contoh penjelasan dari lambang konfigurasi kekasaran permukaan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7
Simbol dan Perintah Pengerjaan Gambar Teknik

Simbol	Pengertian
	Permukaan harus dikerjakan dengan mesin tertentu, misalnya dengan mesin frais
	Kelebihan ukuran yang harus diberikan pada permukaan, misalnya harus diberi kelebihan ukuran sebesar 0,3 mm
	Arah bekas pengerjaan (tekstur) yang diinginkan, misalnya harus tegak lurus terhadap bidang proyeksi
	Panjang sampel (contoh) yang dianjurkan, misalnya 2,5 mm

Sumber: Choirul (2014:21)

2.11.4 Cara Pengukuran Kekasaran Permukaan

Banyak cara yang bisa dilakukan untuk memeriksa tingkat kekasaran permukaan. Cara yang paling sederhana adalah dengan meraba atau menggaruk permukaan yang diperiksa. Cara ini sudah tentu ada beberapa kelemahannya, karena sifatnya hanya membandingkan saja. Dan dasar pengambilan keputusan baik tidaknya suatu permukaan adalah berdasarkan perasaan si pengukur belaka yang antara pengukur yang satu dengan lainnya sudah tentu terdapat perbedaan. Cara lain yang lebih teliti lagi adalah dengan menggunakan peralatan yang dilengkapi dengan jarum peraba (*stylus*). Peralatan ini memiliki sistem kerja berdasarkan prinsip elektrik. Dengan peralatan yang dilengkapi dengan *stylus* ini maka hasil pengukuran permukaan bisa langsung dibaca. Bila dilihat dari proses pengukurannya maka cara pengukuran permukaan dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu: pengukuran permukaan secara tak langsung atau membandingkan dan pengukuran permukaan secara langsung.

1. Pengukuran Kekasaran Permukaan Secara Tidak Langsung

Dalam pemeriksaan permukaan secara tidak langsung atau membandingkan ini ada beberapa cara yang bisa dilakukan, antara lain yaitu dengan meraba (*touch inspection*), dengan melihat/ mengamati (*visual inspection*), dengan menggaruk (*scratch inspection*), dengan mikroskop (*microscopic inspection*) dan dengan potografi permukaan (*surface photographs*).

2. Pemeriksaan Kekasaran Permukaan Secara Langsung

Telah dikemukakan sebelumnya bahwa pemeriksaan permukaan secara langsung adalah dengan menggunakan peralatan yang dilengkapi dengan peraba yang disebut *stylus*. *Stylus* merupakan peraba dari alat ukur kekasaran permukaan yang bentuknya piramida. Bagian ujung dari *stylus* ini ada yang berbentuk rata dan ada pula yang berbentuk radius. Untuk ujung *stylus* yang berbentuk radius. Bila *stylus* bergeser maka setiap perubahan yang dialami oleh *stylus* karena permukaan yang tidak halus akan nampak pada kertas grafik dari peralatan ukurnya karena perubahan ini terekam secara otomatis. Dengan adanya bagian pembesar pada peralatan ukurnya (*amplifier*) kekasaran permukaan yang tidak jelas dilihat dengan mata akan nampak lebih jelas tergambar pada kertas di bagian rekorder (perekam) jalannya *stylus*. Pada bagian daerah *stylus* biasanya dilengkapi dengan *skid* atau *datum attachment*. Fungsi *skid* ini pada dasarnya adalah penahan dan pengatur menyentuhnya *stylus* terhadap permukaan ukur. Bentuk *skid* ini ada yang berbentuk kurva dan ada pula yang rata. Jadi, perlengkapan secara umum dari peralatan ukur kekasaran permukaan dengan *stylus*

yang bekerjanya berdasarkan prinsip kelistrikan adalah peraba (*stylus*), *skid*, *amplifier*, perekam (*recorder*) dan bagian pencatat semua profil kekasaran yang direkam. Beberapa peralatan ukur permukaan yang menggunakan *stylus* ini antara lain adalah profilometer, *The Tomlinson Surface Meter* dan *The Taylor-Hobson Taysurf*.

2.12 Hipotesis

Berdasarkan dasar teori dan penelitian sebelumnya dapat dibuat hipotesis bahwa tegangan juga suhu pada proses *electropolishing* mempengaruhi perubahan kekasaran permukaan stainless steel 316L. Dengan semakin tingginya tegangan maka semakin banyak pula elektron yang di lepaskan, menyebabkan reaksi kimia akan berlangsung lebih cepat dan dengan tingginya suhu maka energy kinetic molekul-molekul zat yang bereaksi akan bertambah sehingga akan lebih banyak molekul yang dapat mencapai keadaan transisi atau dengan kata lain kecepatan reaksi menjadi lebih besar yang menyebabkan massa ion yang berpindah semakin cepat, sehingga permukaan material akan semakin halus dan *glossy*. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya tegangan dan meningkatnya suhu pada proses *electropolishing* meningkatkan tingkat kehalusan dan menurunkan nilai kekasaran permukaan.

