

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Komposit

Material komposit adalah material gabungan dari dua atau lebih material yang memiliki sifat fisis dan mekanis berbeda yang menghasilkan material baru dengan sifat fisis dan mekanis tertentu yang lebih baik dari material penyusunnya. (Fahmi & Zainuri. M, 2011).

Material komposit adalah sistem bahan terdiri dari kombinasi dua atau lebih unsur mikro atau makro yang berbeda dalam bentuk, komposisi, kimia dan yang pada dasarnya tidak larut dalam satu sama lain. Salah satunya yang disebut matriks dan yang lainnya adalah penguat. Fase yang memperkuat tertanam dalam matriks untuk memberikan karakteristik yang diinginkan. (Mahalingegowda. B & Mahesh. B, 2014).

2.1.1 Penyusun Komposit.

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi (pecahan) volume terbesar (dominan) yang berfungsi sebagai pemisah serat, mentransfer tegangan keserat, dan perekat (pengikat) dan pelindung filler (pengisi) dari kerusakan eksternal. Bahan matriks yang digunakan harus *Ductility* lebih tinggi dari pada penguat. Memiliki modulus elastisitas (kekakuan) lebih rendah dari pada penguat. Mempunyai ikatan yang bagus antara matriks dan penguat. membentuk ikatan koheren, permukaan *matriks/serat*, menjadikan bahan lebih ringan. Melindungi serat. Memisahkan serat. Melepas ikatan. Tetap stabil setelah proses manufaktur. (Fahmi & Zainuri. M, 2011).

Serat/Penguat (*Reinforcement*). Salah satu bagian utama dari komposit adalah reinforcement (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutnya : Matriks (Penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), *Interphase* (pelekat antar dua penyusun), *Interface* (permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain).

Secara struktur mikro, material komposit tidak merubah material pembentuknya (dalam orde kristalan) tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya, karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan penguat.

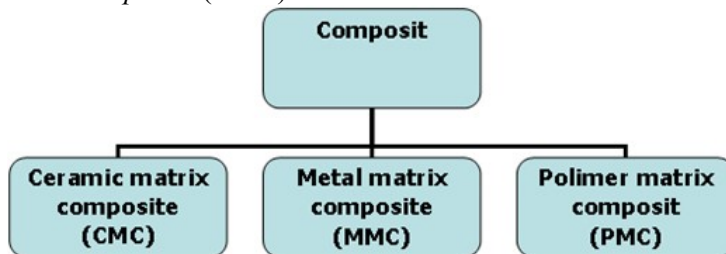
Syarat terbentuknya komposit, yaitu : adanya ikatan permukaan antara matriks dan penguat. Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi.

Dalam material komposit gaya adhesi-kohesi terjadi melalui 3 cara : Interlocking antar permukaan → Ikatan yang terjadi karena kekasaran bentuk permukaan partikel. Gaya elektrostatis → Ikatan yang terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara atom yang bermuatan (ion). Gaya vanderwalls → Ikatan yang terjadi karena adanya pengutapan antar partikel.

Kualitas ikatan antar matriks dan penguat dipengaruhi oleh beberapa variable, antara lain : Ukuran partikel, Rapat jenis bahan yang digunakan, Fraksi volume material, Komposisi material, Bentuk partikel, Kecepatan dan waktu pencampuran, Penekanan (kompaksi), Pemanasan (sintering).

2.1.2 Klasifikasi Komposit.

Komposit berdasarkan matrik penyusunnya dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu : *Polymer Matrix Composite* (PMC), *Metal Matrix Composite* (MMC), *Ceramic Matrix Composite* (CMC).



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit berdasarkan bentuk dari matriksnya.

Matrix phase/Reinforcement Phase	Metal	Ceramic	Polymer
Metal	Fiber reinforced plastic - reinforcing nonmetallic matrix	Ceramic reinforced metal composite	Fibered plastic
Ceramic	Ceramic, TiC, TiN, Ceramic reinforced metal in fiber, Fiber reinforced matrix	SiC reinforced, AlN/SiC, Tool materials	Fiberglass
Polymer			Kevlar fibers in an epoxy matrix
Elemental (Carbon, Boron, etc.)	Fiber reinforced acetals, Aramid particle composite		Rubber with carbon (Buna) fibers, Carbon reinforced plastics
	↓ MMC's Metal Matrix Composite	↓ CMC's Ceramic Matrix Composite	↓ PMC's Polymer Matrix Composite

Gambar 2.2 Matriks dari beberapa tipe komposit.

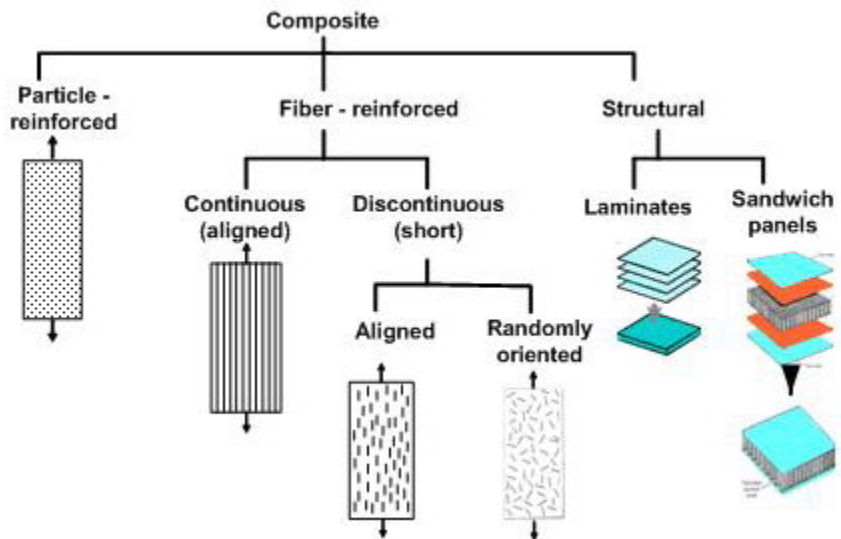
Klasifikasi komposit berdasarkan bahan matriksnya menurut (Sallahuddin Attar dkk, 2015) : *Ceramic Matrix Composite* (CMC), komposit keramik digunakan dalam lingkungan suhu yang sangat tinggi. CMC merupakan material dua fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*) dan 1 fasa sebagai matriks, dimana matriksnya terbuat dari keramik. Penguat yang umum digunakan dalam pembuatan CMC adalah oksida, carbide dan nitrid. Salah satu proses pembuatan dari

CMC yaitu dengan proses DIMOX, yaitu dimana proses pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi leburan logam untuk pertumbuhan matriks keramik disekeliling daerah penguat. Stabilitas thermal CMC sangat besar serta sangat kaku, tapi kebanyakan rapuh.

Metal matrix composites adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam. Semakin banyak penggunaan komposit berbasis logam dalam industri penerbangan dan industri otomotif. Bahan-bahan ini menggunakan logam seperti aluminium, magnesium, titanium, dan tembaga sebagai matrik dan penguatnya menggunakan serat, partikel atau whisker seperti silicon carbide, TiC, B4C, TiO2. MMC memiliki stabilitas thermal yang baik dan dapat dibuat tahan korosi oleh paduannya.

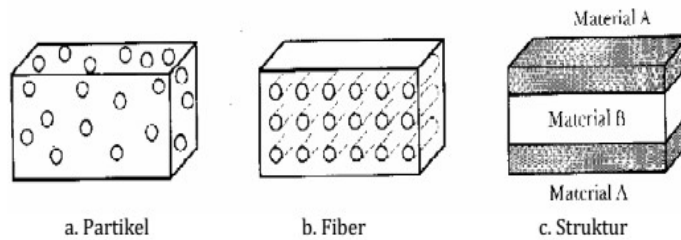
MMC berbasis aluminium umumnya lebih disukai untuk kepadatan yang rendah, terjangkau, kekuatan tinggi untuk rasio berat dan respon yang baik terhadap perlakuan panas. Oleh karena itu MMC banyak digunakan dalam industri kelautan, otomotif dan luar angkasa (Praveen Kittali dkk, 2016).

Polymer Matrix Composite (PMC) juga dikenal sebagai FRP-*Fiber Reinforce Polymer* (plastik). Bahan-bahan ini menggunakan resin berbasis polimer sebagai matrik dan berbagai serat seperti kaca, karbon dan aramid sebagai penguat. Adapun pembagian komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat dari gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pembagian komposit berdasarkan penguatnya.

Dari gambar 2.3 komposit berdasarkan jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai berikut :*Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel, *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat, *Structural composite*, cara penggabungan material komposit. Adapun ilustrasi dari komposit berdasarkan penguatnya dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2.4. Ilustrasi komposit berdasarkan penguatannya.

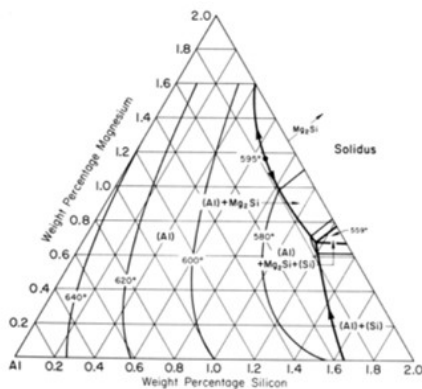
2.2. Bahan Komposit Al6061/Abu dasar batu bara.

2.2.1. Aluminium 6061

Yaitu paduan aluminium seri 6xxx yang mengandung magnesium dan silicon sebagai unsur paduan utama. Density adalah $2,7 \text{ gr/cm}^3$ dan mencair pada suhu sekitar 630° C dua digit terakhir dari Al 6061 mengidentifikasi paduan aluminium yang berbeda dalam kelompok. Angka kedua menunjukkan modifikasi paduan. Sebuah digit kedua nol menunjukkan paduan asli dan bilangan bulat 1 sampai 9 menunjukkan modifikasi paduan berturut-turut. Komposisi Al 6061 ditunjukkan pada tabel berikut :

Komponen	Komposisi %
Si	0.55
Cu	0.3
Fe	0.15
Mn	0.15
Mg	0.9
Zn	0.12
Cr	0.23
Ti	0.1
Al	96.5

Tabel 2.1. Komposisi Al 6061 (Veigas. dkk, 2016).



Gambar 2.5 diagram fasa aluminium 6061

Paduan aluminium seri 6061 akan menghasilkan dua fasa dan satu karbida yang bisa dianalisis berdasarkan diagram fasa yang ada. Fasa-fasa dan karbida yang terbentuk dari paduan aluminium seri 6061 adalah β -AlFeSi, α -Al(FeSi) dan Mg_2Si .

Alloy	Phase constituents ^(a)	
	Rough state	Treated state
Wrought alloys		
1xxx (Al > 99.00%), Al-Fe-Si, Al-Cu	Al ₃ Fe, α -Al(FeSi)	Al ₆ Mn, α -Al(FeSi)
2xxx (Cu), Al-Si-Cu-Mn-Mg, Al-Si-Cu-Mn, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Ni, Al-Cu-Mn-Ti-V-Zr, Al-Cu-Mg-Ni-Fe-Ti	Al ₂ Cu, Al ₂ CuMg, Al ₂₀ Cu ₃ Mn ₃ , α -Al(FeMnSi), Al ₃ FeMn, Al ₆ MnFe, Al ₇ Cu ₂ Fe, Mg ₂ Si, Al ₃ Cu ₂ Mg ₈ Si ₆	Al ₂ Cu, Al ₂ CuMg, Al ₂₀ Cu ₃ Mn ₃ , α -Al(FeMnSi), Al ₇ Cu ₂ Fe, Al ₁₂ Mn ₃ Si
3xxx (Mn), Al-Cu-Mn, Al-Fe-Si-Mg-Mn, Al-Si-Mn-Fe	α -Al(FeMnSi), Al ₆ MnFe	α -Al(FeMnSi), Al ₆ MnFe

4xxx (Si)	β -AlFeSi	...
5xxx (Mg), Al-Mn-Mg-Cr, Al-Mn-Mg-Cr, Al-Mn-Mg, Al-Mg	Mg ₂ Si, Al ₁₈ Mg ₃ Cr ₂ , Al ₆ Mn	Mg ₂ Si, Al ₃ Ni
6xxx (Mg, Si), Al-Si-Cu-Mg-Cr, Al-Si-Mg, Al-Si-Mg-Cr, Al-Si-Mn-Mg	β -AlFeSi, Mg ₂ Si, α -Al(FeSi)	Mg ₂ Si

(ASM Metal Handbook Volume 9, 2004)

Tabel 2.2. Fasa-fasa dan karbida Al 6061.

Magnesium dan silika menjadi unsure paduan yang sangat penting bagi paduan aluminium seri 6061 karena magnesium dan silika akan membentuk karbida Mg_2Si yang menyebabkan paduan seri 6061 ini bisa diberikan perlakuan panas untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Adanya unsure besi (Fe) menyebabkan kelarutan silika (Si) dalam Aluminium (Al) akan berkurang. Adanya fasa α dan β disebabkan oleh terjadinya reaksi peritektik dan reaksi solidifikasi diakhiri dengan reaksi eutektik.

Adapun larutan etsa yang digunakan untuk menganalisis struktur mikro dari paduan aluminium 6061 adalah keller. Keller merupakan etsa yang dibuat dari campuran larutan 2ml HF + 3ml HCl + 5ml HNO₃ + 190ml H₂O.

No.	Reagent		Remarks
1	Hydrofluoric acid (40%) Hydrochloric acid (1.19) Nitric acid (1.40) Water Keller's etch)f	0.5 ml 1.5 ml 2.5 ml 95.5 ml	15s immersion is recommended. Particles of all common micro-constituents are outlined. Colour indications: Mg ₂ Si and CaSi ₂ : blue to brown α (AlFeSi) and (AlFeMn): darkened β (AlCuFe): light brown MgZn ₂ , NiAl ₃ , (AlCuFeMn), Al ₂ Cu Mg and brown to black Al ₄ CuMg: α (AlCuFe) and (AlCuMn): blackened Al ₃ Mg ₂ : heavily outlined and pitted The colours of other constituents are little altered. Not good for high Si alloys
2	Hydrofluoric acid (40%) Water	0.5 ml 99.5 ml	15s swabbing is recommended. This reagent removes surface flowed layers, and reveals small particles of constituents, which are usually fairly heavily outlined. There is little grain contrast in the matrix.

Tabel 2.3. etsa keller

Dari tabel di atas, etsa keller digunakan untuk melihat fasa β -AlFeSi, α -Al(FeSi) yang akan berwarna gelap dan melihat karbida Mg₂Si yang akan berwarna biru hingga orange. Adapun gambar dari struktur mikro yang dihasilkan dari paduan aluminium seri 6061 yang difoto dengan ukuran perbesaran berbeda, mulai dari perbesaran 20 mikro, 50 mikro, dan 100 mikro.

2.2.2. Abu dasar batu bara

Abu dasar batubara merupakan salah satu material oksida yang tersusun lebih dari 70% Abu dasar batu bara, SiO₂ dan Fe₂O₃ yang mempunyai angka kekerasan yang cukup tinggi dan mempunyai titik cair hingga diatas 2000°C. Permasalahan utama pada pembuatan material komposit yang diperkuat dengan bahan oksida adalah sifat kebasahan (wettability). Maka dari itu untuk meningkatkan kebasahan pada permukaan partikel abu dasar batubara perlu ditambahkan Mg untuk bahan pembasahnya, dengan melalui proses pelapisan serbuk abu dasar batubara menggunakan metode electroless plating dengan bahan pengaktif Mg yang terlarut dalam larutan HNO₃. Di dapat bahwa penguat Abu dasar batu bara pada proses electroless plating partikel abu dasar batu bara dengan larutan elektrolit (HNO₃+Al+Mg) dapat meningkatkan wettability dari Abu Dasar Batu Bara dengan membentuk fasa spinel (MgAl₂O₄) (Andhika Insan Adiyatma 2004).

Penambahan aditif Mg saat proses electroless plating pada partikel penguat abu dasar batubara dapat mempengaruhi densitas dan porositas komposit pada waktu pengecoran. Penelitian yang sudah dilakukan oleh

(G.N. Anastasia Sahari, 2009) mengatakan bahwa permasalahan utama dari komposit matrik Abu dasar batu bara/Al adalah sulitnya aluminium berinfiltrasi ke Abu dasar batu bara. Hal ini dikarenakan pada permulaan oksidasi dipermukaan aluminium akan terbentuk lapisan tipis yang sangat stabil dan tidak mudah ditembus. Mg ditambahkan karena memiliki reaktivitas yang tinggi dan energi bebas yang kecil untuk terjadinya oksidasi lebih lanjut yang dapat menaikkan penetrasi kapilaritas pada lapisan oksida dan mempermudah terbentuknya interface juga mempengaruhi tegangan permukaan dan menurunkan sudut kontak.

2.3. Metode *Squeeze Casting*.

Pengecoran *Squeeze* sering disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*), yaitu suatu proses dimana logam cair didinginkan sambil diberikan tekanan. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan keuntungan pada proses *forging* dan *casting*.

Perlengkapan proses antara lain : dapur pemanas, mekanisme press, punch, dan die (direct), pouring hole, injection chamber plunger dan gating system (indirect). Kontak logam cair dengan permukaan die memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat, menghasilkan strukturmikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik. (Firdaus, 2002).

Tabel Perbandingan Sifat Mekanis Beberapa Paduan ⁽⁷⁾

Alloy	Process	Tensile strength		Yield strength		Elongation %
		MPa	ksi	MPa	ksi	
356-T6 Al	<i>Squeeze casting</i>	309	44.8	265	38.5	3
	Permanent mold	262	38.0	186	27.0	5
	Sand casting	172	25.0	138	20.0	2
535 Al (quenched)	<i>Squeeze casting</i>	312	45.2	152	22.1	34.2
	Permanent mold	194	28.2	128	18.6	7
6061-T6 Al	<i>Squeeze casting</i>	292	42.3	268	38.8	10
	Forging	262	38.0	241	35.0	10
A356 -T4 Al (a)	<i>Squeeze casting</i>	265	38.4	179	25.9	20
A206 -T4 Al (a)	<i>Squeeze casting</i>	390	56.5	236	34.2	24

Tabel 2.4.perbandingan sifat mekanis paduan

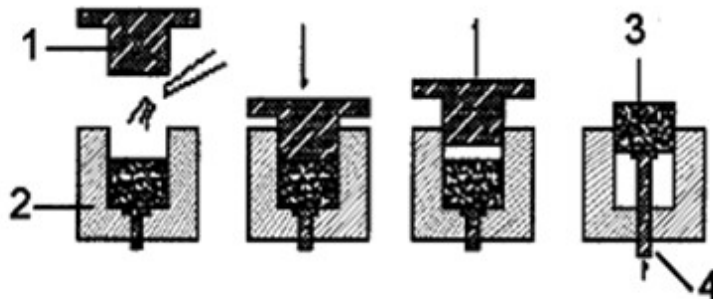
Metode *Squeeze casting* pertama kali dikemukakan oleh Chernov pada tahun 1878. Penelitian mengenai pengaruh tekanan terhadap perilaku logam cair selama proses pendinginan pertama kali diselidiki oleh Welter pada tahun 1931 yaitu dengan bahan paduan Al-Si. Sejak itu tidak ada lagi penelitian mengenai *Squeeze casting* hingga tahun 1960, yaitu penelitian mengenai sifat struktur paduan aluminium A356 setelah dilakukan *Squeeze casting* dengan berbagai kondisi pengecoran.

2.3.1 *Direct Squeeze Casting (DSC)*

Keuntungan utama proses DSC adalah sebagai berikut :

- Mampu menghasilkan produk cor tanpa porositas gas dan penyusutan.
- Tidak diperlukan *gating system*, dengan demikian tidak terjadi pembuangan material.

- Tidak begitu mempertimbangkan *castability* karena pemberian tekanan dapat mengeliminir kebutuhan akan *high fluidity*, baik untuk coran secara umum maupun paduan kasar.
- Mikrostruktur coran dapat dimanipulasi dengan mudah melalui suatu proses kontrol yang baik seperti temperatur penuangan dan besarnya tekanan. Untuk mencapai sifat coran yang optimum dapat juga ditambahkan bahan inti tertentu, akan tetapi hal ini biasanya tidak begitu penting .
- Dikarenakan tidak adanya cacat pada proses *squeeze* yang baik maka biaya perlakuan setelah coran selesai dan biaya untuk pengetesan *non destructive* dapat dihemat atau tidak diperlukan.
- Sifat mekanik hasil coran dengan komposisi yang sama, bisa sebaik atau bahkan lebih baik dibandingkan produk coran dengan teknik yang lain.
- *Squeeze casting* merupakan salah satu teknik yang paling efektif dan efisien untuk menghasilkan komponen komposit/paduan *ferrous* maupun *non ferrous* dengan bentuk mendekati kesempurnaan.



Gambar 2.6 Mekanisme direct squeeze casting [2]

Keterangan gambar:

1. *Punch*
2. *Dies*
3. Benda Cetak
4. Plunyer Pendorong

Metoda DSC dapat diadopsi untuk menghasilkan komponen otomotif, seperti piston, brake-disc, velg/wheel; dan industri rekayasa umum lainnya dengan kualitas yang cukup tinggi. (Firdaus, 2002).

2.3.2 Parameter Proses Pengecoran *Squeeze*.

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu sound – cast, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu :

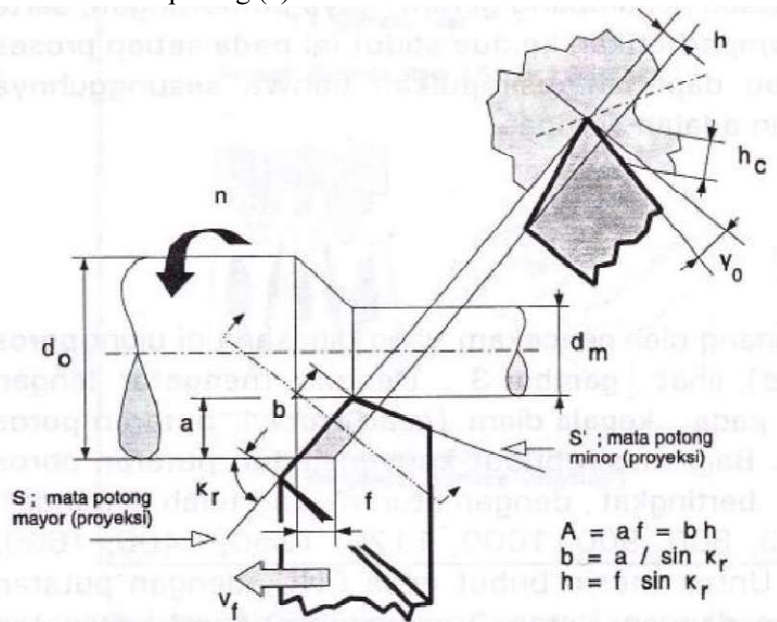
- Temperatur Tuang (*Casting Temperature*) Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6 – 55°C di atas temperatur *liquidus*.

- Waktu Tuang (*Time Delay*) Adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair. Bentuk penampang yang kompleks memerlukan waktu yang cukup bagi logam cair mengisi keseluruhan rongga cetakan; untuk itu perlu adanya tenggang waktu yang cukup sebelum *punch* menyentuh dan menekan logam cair. Hal ini untuk menghindari terjadinya porositas akibat penyusutan (*shrinkage porosity*).

2.4 Proses Permesinan Pembuatan Baut dan Mur

Setelah proses pengecoran membentuk specimen mur dan baut dengan metode Squeeze casting, specimen dikeluarkan dari dalam cetakan dan dilakukan proses permesinan dengan mesin bubut manual.

Dalam Teori dan Teknologi Proses Permesinan (Rochim, 1993) secara umum pada proses bubut terdapat tiga parameter utama yaitu kecepatan potong (v), pemakanan (f), dan kedalaman potong (a).



Gambar 2.7 Parameter Proses Pembubutan (Taufiq Rochim, 1993)

Elemen dasar pada proses bubut dapat diketahui menggunakan rumus yang dapat diturunkan berdasarkan gambar di atas dimana kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut :

Benda kerja ; d_o = diameter awal ; mm,
 d_m = diameter akhir ; mm,

l_t = panjang permesinan ; mm,

Pahat ; K_r = sudut potong utama ; °,
 γ_o = sudut geram ; °,

Mesin bubut ; a = kedalaman potong ; mm,
 $a = (d_o - d_m)^2$; mm,(2.1)
 f = gerak makan ; mm/r,
 n = putaran poros utama (benda kerja) ; r/min.

Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut :

Kecepatan potong :
 $v = \pi \cdot d \cdot n / 1000$; m/min,(2.2)

dimana, d = diameter rata-rata ; mm, yaitu,
 $d = \frac{d_o + d_m}{2}$; mm,(2.3)

Kecepatan makan :
 $v_f = f \cdot n$; mm/min,(2.4)

Waktu pemotongan :
 $t_c = l_t v_f$; min,(2.5)

Kecepatan penghasil geram :
 $Z = A \cdot v$; cm³/menit,(2.6)
dimana, $A = a \cdot f$; mm²,(2.7)

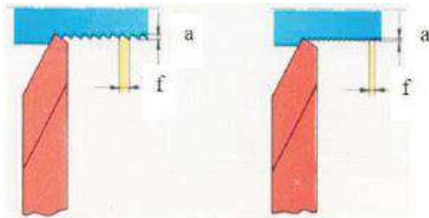
Dari parameter yang disebutkan diatas, parameter utama yang secara umum dapat diatur pada mesin bubut yaitu kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feeding*) dan kedalaman. Potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada Mesin Bubut.

Kecepatan putar, n (*speed*), selalu dihubungkan dengan sumbu utama (*spindel*) dan benda kerja. Kecepatan putar dinotasikan sebagai putaran per menit (*rotations per minute, rpm*). Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut

adalah kecepatan potong (*cutting speed atau v*) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/keliling bend kerja. Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar atau seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.2 (Widarto, dkk. 2008).

Dengan demikian kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja. Selain kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja faktor bahan benda kerja dan bahan pahat sangat menentukan harga kecepatan potong. Pada dasarnya pada waktu proses bubut kecepatan potong ditentukan berdasarkan bahan benda kerja dan pahat.

Gerak makan, *f (feed)*, adalah jarak yang ditempuh pahat pada setiap putaran benda kerja, dengan gerakan ini maka akan mengalir geram yang dihasilkan, sehingga satuan *f* adalah mm/putaran (Farizi Z., dkk., 2014). Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong (*a*).



Gambar 2.8Gerak Makan (*f*) dan Kedalaman Potong (*a*) (Farizi Z., 2014)

Kedalaman potong (*a*) (*depth of cut*), adalah dalamnya pahat menusuk benda kerja saat penyayatan atau tebalnya tatal bekas pembubutan (Aditya S., dan Mahendra S., 2013). Ketika pahat memotong sedalam *a*, maka diameter benda kerja akan berkurang dua kali kedalaman *a*, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar (Widarto, dkk., 2008).

Selain dari penurunan rumus parameter proses pembubutan juga dapat ditentukan dari material benda kerja dan diameter benda kerja serta material pahat. Berikut adalah tabel pengaruh material terhadap parameter proses pembubutan.

Material	Pekerjaan Kasar		Pekerjaan Penyelesaian	
	mm/min	inch/min	mm/min	inch/min
Baja Mesin	0,25 - 0,50	0,010 - 0,020	0,07 - 0,25	0,003 - 0,010
Baja Perkakas	0,25 - 0,50	0,010 - 0,020	0,07 - 0,25	0,003 - 0,010
Besi Tuang	0,40 - 0,65	0,015 - 0,025	0,13 - 0,30	0,005 - 0,012
Perunggu	0,40 - 0,65	0,015 - 0,025	0,13 - 0,30	0,005 - 0,012
Aluminium	0,40 - 0,75	0,015 - 0,030	0,13 - 0,25	0,005 - 0,010

Tabel 2.5.Kecepatan Pemakanan untuk Pahat HSS (Mujabirul Khoir, 2011)

Material	Tipe Pemotongan	Diameter (mm)	Kecepatan Potong (mm/min)	Kedalaman Potong Maksimum (mm)	Kecepatan Putar Spindle (rpm)
Aluminium (Rekomendasi dari Light Machine Corporation)	Finishing	9,525 - 12,7	50,8	0,20	2000
		12,71 - 19,05	50,8	0,13	2000
		19,051 - 38,1	50,8	0,08	2000
	Kasar	9,525 - 12,7	50,8	0,51	2000
		12,71 - 19,05	50,8	0,25	2000
		19,051 - 38,1	50,8	0,15	2000
Kuningan (Rekomendasi dari Light Machine Corporation)	Finishing	9,525 - 12,7	50,8	0,25	2000
		12,71 - 19,05	50,8	0,15	2000
		19,051 - 38,1	50,8	0,08	2000
	Kasar	9,525 - 12,7	76,2	0,56	2000
		12,71 - 19,05	76,2	0,36	2000
		19,051 - 38,1	76,2	0,18	2000
Kayu Keras (Rekomendasi dari J. Flowers)	Finishing	9,525 - 12,7	76,2	0,51	2000
		12,71 - 19,05	76,2	0,51	2000
		19,051 - 38,1	76,2	0,51	2000
	Kasar	9,525 - 12,7	101,6	1,27	2000
		12,71 - 19,05	101,6	1,02	2000
		19,051 - 38,1	101,6	0,76	2000

Tabel 2.6.Tabel Kecepatan Potong dan Kedalaman Maksimum (Rekomendasi oleh Light Machines Corporation for the ProLight 3000) (Sumber : Flowers, 2015)

Bahan	Cutter HSS		Cutter Karbida	
	Halus	kasau	Halus	kasau
Baja perkakas	75 – 100	25 – 45	185 – 230	110 – 140
Baja karbon rendah	70 – 90	25 – 40	170 – 215	90 – 120
Baja karbon menengah	60 – 85	20 – 40	140 – 185	75 – 110
Besi cor kelabu	40 – 45	25 – 30	110 – 140	60 – 75
Kuningan	85 – 110	45 – 70	185 – 215	120 – 150
aluminium	70 – 110	30 – 45	140 – 215	60 – 90

Tabel 2.7.Kecepatan Potong Untuk Beberapa Jenis Bahan (mm/min) (Sumber : Mujabirul Khoir, 2011)

D (mm)	Vc (m/min)	Kecepatan Putar (rpm)
5	20 - 40	1250 - 2500
6	20 - 40	1050 - 2100
7	20 - 40	900 - 1800
8	20 - 40	800 - 1550
9	20 - 40	700 - 1400
10	20 - 40	650 - 1250
12	30 - 70	780 - 1225
14	40 - 70	900 - 1550
16	40 - 70	780 - 1400
18	40 - 70	700 - 1250
20	40 - 70	625 - 1100
25	40 - 70	500 - 900
30	40 - 70	425 - 750
35	40 - 70	360 - 650
40	50 - 100	400 - 800
45	50 - 100	350 - 700
50	50 - 100	225 - 650

Tabel 2.8. Hubungan Diameter Benda Kerja, Kecepatan Potong dan Putaran Mesin (Lilih, 2011)

2.5. Pengujian Densitas

Densitas ukuran kerapatan suatu zat yang dinyatakan banyaknya zat / massa per satuan volume. Jadi satuannya adalah satuan massa persatuan volume. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat. setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. dan satu zat berapapun massanya berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama.

Perbedaan nilai kepadatan setiap bahan yang disebabkan oleh komponen penyusunnya akan menyisakan oleh komponen penyusunnya akan menyisakan celah celah kosong diantara rapat serbuk penyusun material tersebut. (Puji Kumala Pertiwi, 2015)

Densitas merupakan salah satu sifat penting dari suatu zat adalah kerapatan atau massa jenisnya atau disebut densitas (density) dimana perbandingan massa terhadap volume zat. Dimana ρ adalah massa jenis zat (kg/m^3), m adalah massa zat (kg) dan W adalah berat massa zat (N).

Setiap benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya ke dalam fluida, akan mendapat gaya ke atas sebesar berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut itulah hukum Archimedes. Benda yang dicelupkan ke dalam air maka ada tiga kemungkinan yang akan dialami oleh benda tersebut, yaitu mengapung, melayang dan tenggelam. Benda yang dikatakan terapung dalam zat cair bila sebagian benda tercelup dan sebagian lagi muncul diudara, karena massa jenis benda lebih kecil dari massa jenis zat cair (**Puji Kumala Pertiwi, 2015**).

Dalam percobaan kali ini berlaku hukum archimedes sehingga persamaan yang digunakan untuk menghitung densitas adalah sebagai berikut :

$$\rho_{\text{batuan}} = \frac{\rho_{\text{air}} \times m_k \times g}{W_k - W_b}$$

Dengan :

ρ_{air} = massa jenis air (1000 kg/m^3)

m_k = massa kering spesimen (kg)

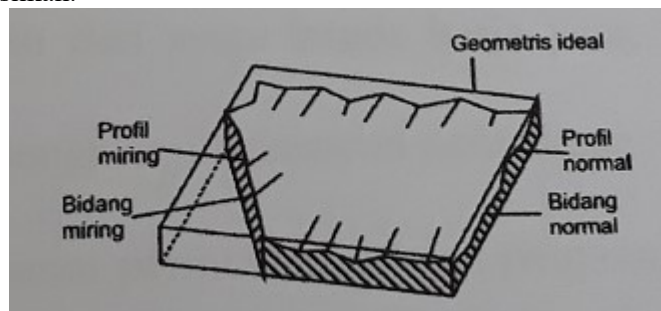
W_k = berat kering spesimen ($\text{N} = \text{kg.m/s}^2$)

W_b = berat basah spesimen ($\text{N} = \text{kg.m/s}^2$)

g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

2.6 Pengujian kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan (*Surface Roughness*) merupakan suatu nilai dimana besar kecilnya profil permukaan benda. Kekasaran dalam proses permesinan yaitu hasil dari proses permesinan tersebut. Dalam proses permesinan itu nilai kekasaran permukaan merupakan sifat yang penting karena sangatlah menentukan kualitas produk yang dihasilkan.



Gambar 2.9 bidang dan profil permukaan

Setiap permukaan dari suatu benda kerja yang telah mengalami proses permesinan tentu akan mengalami kekasaran permukaan (*Surface Roughness*). Yang

dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata - rata aritmetik dari garis rata - rata permukaan. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga rata - rata dari kekasaran permukaan.

Dalam dunia perindustrian, permukaan pada benda kerja memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan dari alat tersebut. Nilai kekasaran permukaan permukaan (*Surface Roughness*) memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda. Nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh ISO dimana harga yang sangatlah kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) 0,025 μm dan yang paling tinggi N12 yang nilai kekasarannya 50 μm . (Sigit Pratama, 2017).

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 - 0,3	
N5	0,4	0,3 - 0,6	
N6	0,8	0,6 - 1,2	0,8
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
N12	50	37,5 - 75,0	

Gambar 2.10 Angka kekasaran permukaan.

2.6.1 Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Alat ukur kekasaran permukaan yang digunakan adalah Surface Roughness Mitutoyo, alat ini dapat digunakan untuk mengamati ataupun mengukur kekasaran permukaan dengan standart ISO. Beberapa data yang dapat ditunjukkan oleh alat kekasaran permukaan (Surface Roughness) ini adalah nilai parameter - parameter dari kekasaran permukaan beserta grafik pada kekasaran permukaannya. Alat ukur kekasaran permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.6c.



Gambar 2.11 Alat Surface Roughness Tester Mitutoyo.

Surface Roughness Tester adalah alat uji yang digunakan untuk mengukur kekasaran pada suatu permukaan benda. Setiap komponen atau benda mempunyai permukaan yang berbeda dan bervariasi menurut struktur ataupun menurut dari hasil proses pemesinannya. Kekasaran (*Roughness*) dapat didefinisikan sebagai ketidak halusan pada bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan pemesinan. Nilai kekasaran permukaan dinyatakan dalam *Roughness Average (Ra)*, merupakan parameter kekasaran yang paling banyak digunakan. Ra merupakan rata - rata aritmatika dan suatu penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah rata - rata.

Pengukuran kekasaran permukaan didapatkan dari sinyal pergerakan *Stylus* berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat indikator pengukuran kekasaran permukaan benda yang diuji. Prinsip kerja dari alat *Surface Roughness Tester* adalah dengan menggunakan Transduser dan diolah dengan *Microprocessor*. Alat ini dapat digunakan dilantai dan semua posisi baik horizontal, vertikal, dan lain-lain.

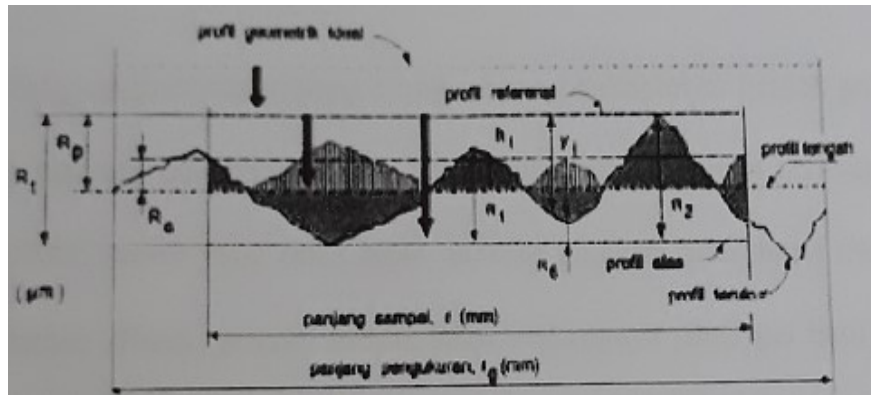


Gambar 2.12 *Stylus Surface Roughness Tester*

Cara kerja dari alat ukur kekasaran permukaan (*Surface Roughness*) adalah dengan meletakkan jarum sensor (*Stylus*) yang dipasangkan pada alat uji tersebut, selanjutnya sejajarkan alat ukur permukaan tersebut dengan bidang material yang akan diuji. Pada saat pengerjaannya, alat ukur tidak boleh bergerak karena akan mengganggu sensor dalam membaca kekasaran dari permukaan material tersebut. Nilai pengukuran yang didapatkan akan muncul pada display yang kompetibel dengan empat standart dunia antara lain ISO, SIN, ANSI, dan JIS sehingga tidak diragukan lagi ketepatan dan keakuratan ketelitian dalam pengukuran.

2.6.2 Parameter Kekasaran Permukaan

Profil adalah garis yang dihasilkan pada proses pemotongan, khususnya pemotongan lurus (*Orthogonal Cutting*) dan pemotongan miring (*Oblique Cutting*). Untuk memproduksi profil suatu permukaan, sensor / peraba (*Stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu. Panjang lintasan tersebut dengan panjang pengukuran (*Traversing Length*). Sesaat setelah jarum bergerak dan sebelum jarum berhenti secara elektronikalat ukur kekasaran melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Bagian panjang pengukuran yang dibaca oleh sensor alat ukur kekasaran permukaan disebut panjang sampel.



Gambar 2.13 Bentuk profil kekasaran permukaan.

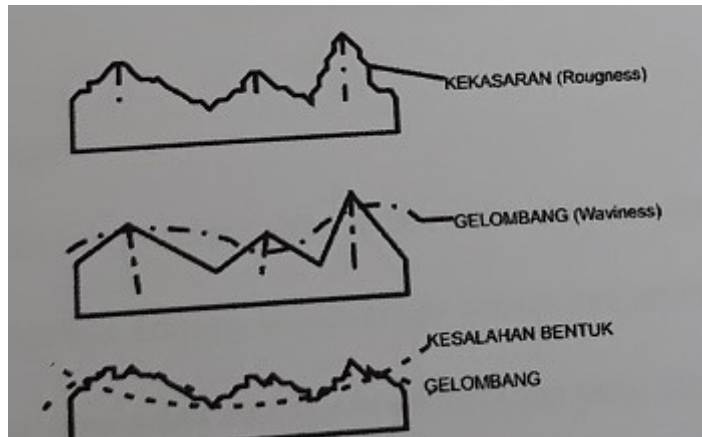
Dari gambar diatas, dapat didefinisikan beberapa parameter kekasaran permukaan yaitu :

1. Kekasaran Total (R_t) merupakan jarak antara garis referensi dengan garis alas.
2. Kekasaran Perataan (R_p) merupakan jarak antara garis referensi dengan garis terukur.
3. Kekasaran Rata-rata Aritmatik (R_a) merupakan nilai aritmatik dari antara garis tengah dan garis terukur.

Bentuk profil sesungguhnya dengan beberapa keterangan lain, seperti :

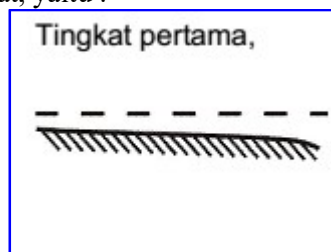
1. Profil Geometric ideal adalah garis permukaan yang sempurna didapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
2. Profil Terukur adalah garis permukaan yang terukur.
3. Profil Referensi / puncak acuan merupakan garis yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidak aturan bentuk permukaan.
4. Profil Alas adalah garis yang berada dibawah yang menyinggung terendah.
5. Profil Tengah merupakan garis yang berada ditengah-tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam.

Sedangkan permukaan yang bergelombang mempunyai bentuk gelombang yang lebih panjang dan tidak teratur yang dapat terjadi karena beberapa faktor misalnya posisi senter yang tidak tepat, adanya gerakan tidak lurus (*Non Linier*) dari permukaan (*Feed*), getaran mesin, tidak imbangnya (*Balance*) batu gerindra, perlakuan panas (*Heat Treatment*) yang kurang baik, dan lain sebagainya. Dari kekasaran (*Roughness*) dan gelombang (*Wanivess*) inilah yang kemudian timbul kesalahan bentuk.



Gambar 2.14 Kekasaran, Gelombang dan kesalahan bentuk dari suatu permukaan benda atau material.

Secara lebih rinci lagi, ketidakteraturan dari bentuk permukaan dapat dibedakan menjadi empat tingkat, yaitu :

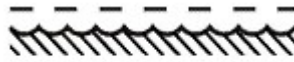


Gambar 2.15 tingkat 1 ketidakteraturan permukaan. adalah tingkat yang menunjukkan adanya kesalahan bentuk (*form error*) seperti tampak pada gambar disamping. Faktor penyebabnya antara lain karena lenturan dari mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan pada pencekaman benda kerja, pengaruh proses pengerasan (*hardening*).



Gambar 2.16 tingkat 2 ketidakteraturan permukaan. adalah profil permukaan yang berbentuk gelombang. Penyebabnya antara lain karena adanya kesalahan bentuk pada pisau (pahat) potong, posisi senter yang kurang tepat, adanya getaran pada waktu proses pemotongan.

Tingkat ketiga,



Gambar 2.17 tingkat 3 ketidakteraturan permukaan. adalah profil permukaan yang berbentuk alir (*grooves*). Penyebabnya antara lain karena adanya bekas-bekas proses pemotongan akibat bentuk pisau potong yang salah atau gerak pemakanan yang kurang tepat (*feed*).

Tingkat keempat,

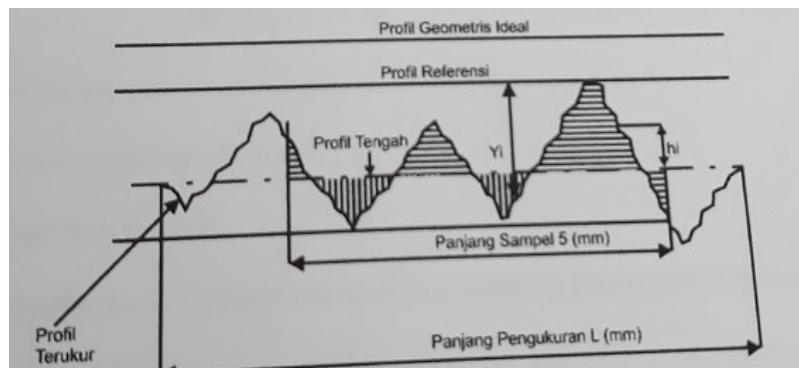


Gambar 2.18 tingkat 4 ketidakteraturan permukaan. adalah profil permukaan yang berbentuk serpihan (*flakes*). Penyebabnya antara lain karena adanya tatal (beram) pada proses pengerjaan, pengaruh proses *electroplating*.

Sebelum membicarakan parameter - parameter permukaan yang perlu dibicarakan terlebih dahulu ialah mengenai profil permukaan.

1. Profil Tengah (*Centre Profile*)

Profil tengah adalah profil yang berbeda ditengah tengah dengan posisi sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagian atas profil tengah sampai pada profil terukur sama dengan jumlah luas bagian bawah profil tengah sampai pada profil terukur. Profil tengah ini juga sebetulnya merupakan profil referensi yang digeserkan ke bawah dengan arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal sampai pada batas tertentu yang membagi luas penampang permukaan menjadi dua bagian yang sama yaitu atas dan bawah.



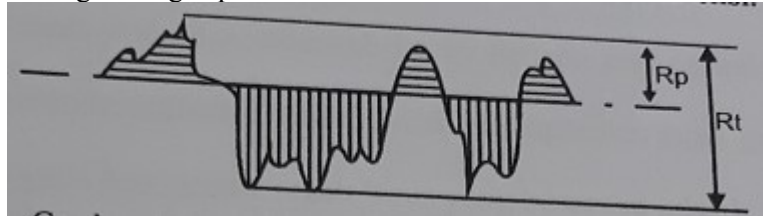
Gambar 2.19 Profil suatu permukaan

2. Kedalaman Total (*Peak to Valley*) R_t

Kedalaman total adalah besarnya jarak dari profil referensi sampai dengan profil dasar. Satuannya adalah dalam *Micron* (μm).

3. Kedalaman Perataan (*Peak to Mean Line*) R_p

Kedalaman perataan (R_p) merupakan jarak rata-rata dari profil referensi sampai dengan profil terukur. Juga dikatakan bahwa kedalaman perataan merupakan jarak antara profil tengah dengan profil referensi.



Gambar 2.20 Kedalaman total dan kedalaman perataan.

2.6.3 Kekasaran Rata-Rata Aritmetis (R_a)

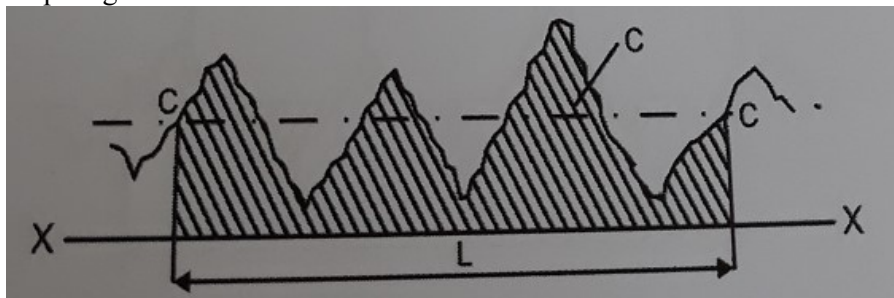
Kekasaran rata-rata merupakan harga-harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan harga profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{s} \int_0^1 h_i^2 \cdot dx \quad (\mu\text{m}) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Menentukan kekasaran rata-rata (R_a) dapat dilakukan secara grafis. Adapun caranya sebagai berikut :

1. Langkah Pertama

Gambarkan sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari hasil pengukuran (*Profil Terukur*) yaitu garis X-X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam.



Gambar 2.21 Menentukan nilai R_a

2. Langkah Kedua

Ambil sampel panjang pengukuran sepanjang (*Length*) yang memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama.

3. Langkah Ketiga

Ambil luasan daerah A dibawah kurva dengan menggunakan planimeter dengan metode ordinat. Dengan demikian diperoleh jarak garis center C-C terhadap garis X-X secara tegak lurus yang besarnya adalah :

$$Hm = \frac{\text{Daerah A}}{L} \dots\dots\dots (2.12)$$

4. Langkah Keempat

Sekarang diperoleh suatu garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya yaitu luasan daerah di atas (P1+P2+ . . . dan seterusnya).

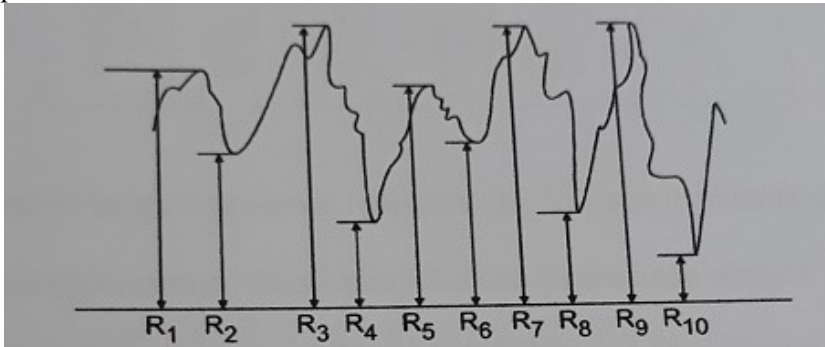
Dengan demikian nilai Ra dapat ditentukan besarnya yaitu :

$$Ra = \frac{\text{Luas daerah P} + \text{Luas daera Q}}{L} \times \frac{1000}{Vv} \quad (\mu\text{m}) \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

- Vv : Perbesaran vertikal. Luas P dan Q dalam milimeter.
- L : Panjang pengukuran sampel dalam milimeter.

Kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah, Rz sebetulnya hampir sama dengan kekasaran rata-rata aritmetis Ra, tetapi cara menentukan Rz adalah lebih mudah daripada menentukan Ra. Gambar 2.26. menunjukkan cara menentukan Rz. Sampel pengukuran diambil sejumlah profil yang memuat, misalnya 10 daerah yaitu 5 daerah puncak dan 5 daerah lembah.



Gambar 2.22 Menentukan kekasaran rata - rata dari puncak ke lembah.

Kemudian buat garis lurus horizontal dibawah 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 :

$$Rz = \frac{1}{5}(R1 + R3 + R5 + R7 + R9 + Pa) - \frac{1}{5}(R2 + R4 + R6 + R8 + R10) \times \frac{1000}{Vv}$$

2.6.4 Toleransi Harga Ra

Seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata - rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing - masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N1 sampai N12. Besarnya toleransi untuk Ra biasanya diambil antara 50% keatas dan 50% ke bawah.

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (µm)	Harga Ra (µm)	Toleransi $N_{+25\%}$ $N_{-25\%}$	Panjang sampel (mm)
N1	1	0.0025	0.02 - 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 - 0.08	
N3	4	0.0	0.08 - 0.15	
N4	8	0.2	0.15 - 0.3	
N5	16	0.4	0.3 - 0.6	0.25
N6	32	0.8	0.6 - 1.2	
N7	63	1.6	1.2 - 2.4	
N8	125	3.2	2.4 - 4.8	
N9	250	6.3	4.8 - 9.6	0.8
N10	500	12.5	9.6 - 18.75	
N11	1000	25.0	18.75 - 37.5	2.5
N12	2000	50.0	37.5 - 75.0	
				8

Tabel 2.9.Toleransi Harga kekasaran rata - rata Ra

Toleransi harga kekasaran rata - rata, Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda yang sudah tentu lebih halus dari pada proses dengan menggunakan mesin bubut . Tabel 2.6. berikut ini memberikan contoh harga kelas kekerasan rata - rata menurut proses pengerjaannya.

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga R_a
<i>Flat and cylindrical lapping, Superfinishing Diamond turning</i>	$N_1 - N_4$	0.025 - 0.2
<i>Flat cylindrical grinding Finishing</i>	$N_1 - N_5$ $N_4 - N_5$	0.025 - 3.2 0.1 - 3.2
<i>Face and cylindrical turning, milling and reaming</i>	$N_5 - N_{12}$	0.4 - 50.0
<i>Drilling</i>	$N_7 - N_{10}$	1.6 - 12.5
<i>Shapping, planing, horizontal milling</i>	$N_6 - N_{12}$	0.8 - 50.0
<i>Sandcasting and forging</i>	$N_{10} - N_{11}$	12.5 - 25.0
<i>Extruding, cold rolling, drawing</i>	$N_6 - N_5$	0.8 - 3.2
<i>Die casting</i>	$N_6 - N_7$	0.8 - 1.6

Tabel 2.10.Tingkat kekasaran menurut proses pengerjaan

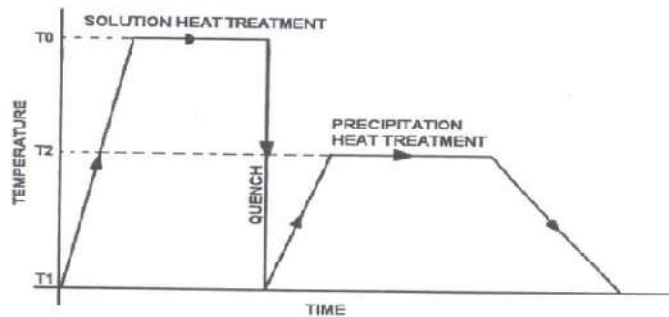
2.7. Perlakuan Panas T6

Perlakuan panas merupakan suatu proses kombinasi antara pemanasan dan pendinginan terhadap logam dalam bentuk padat selama waktu tertentu, dengan tujuan mendapatkan sifat-sifat mekanik tertentu. Proses perlakuan panas ini bergantung pada pemakaiannya, seperti dapat digunakan untuk mengeraskan,

melunakkan, menghilangkan tegangan sisa, dan untuk meningkatkan mampu mesin (**Mursalin dkk, 2009**)

Langkah - langkah berikut yang di lakukan selama proses penuaan :

1. Solution treatment pada temperatur 530°C selama 120 detik.
2. Quenching dalam air pada temperatur 80°C .
3. Stabilisasi pada suhu kamar selama 30 detik.
4. Penuaan pada temperatur 180°C dengan variasi waktu yang berbeda dimulai dari 120 detik. (**Benal. M & Shivanand). K, 2006**).



Gambar 2.23. Siklus Perlakuan Panas (**Rahman. K & Benal. M, 2012**).