

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Menurut Rahman Hakim , dkk (2019) Tentang pengaruh *temperatur nozzle* dan *baseplate* pada material PLA terhadap nilai masa jenis dan kekasaran permukaan produk pada mesin *leapfrog creatr 3D Printing*.

3D Printing adalah sebuah *printing* yang menampilkan data dalam bentuk cetakan, namun berbeda dengan *printing* biasanya yang mencetak data dalam sebuah kertas ataupun lembaran lainnya. Dengan *teknologi* dari *3D Printing* sebuah perusahaan dapat membuat sebuah *prototype* tanpa harus menghabiskan bahan baku ataupun material. Dalam penelitian ini, dikaji tentang pengaruh *parameter temperature nozzle* dan *baseplate* pada material PLA terhadap kehalusan permukaan. Pada proses penelitian ini material yang dipakai adalah *Poly Lactid Acid* (Poly Lactic Acid) yang kemudian akan dibentuk menjadi *spesiment* dengan ukuran 30x30x10 mm. Dengan menggunakan *temperature nozzle* yaitu 190°C, 205°C, 220°C dan *temperatur base plate* 30°C dan 50°C serta menggunakan lem dan tidak menggunakan lem. Pada penelitian ini, didapatkan hasil *density* yang paling mendekati dengan *density* material adalah pada *temperature nozzle* 190°C dan *temperatur base plate* 50°C dengan menggunakan lem ataupun tidak pada *single nozzle* sebesar 1.734 g/cm³, sedangkan pada *dual nozzle temperature nozzle* 220°C dan *baseplate* 30°C dengan menggunakan lem sebesar 1.772 g/cm³. Sedangkan hasil kekasaran permukaan pada penelitian ini terdapat pada *temperature nozzle*

190°C dan *temperature baseplate* 30°C dengan menggunakan lem sebesar 5.709 µm, sedangkan *dual nozzle* terdapat pada *temperature nozzle* 220°C dan *temperature baseplate* 30°C dengan menggunakan lem sebesar 10.6 µm.

Tujuan penelitian yang disusun oleh (Sulayman, 2015) adalah untuk mencari tahu pengaruh suhu dari *heater nozzle* terhadap produk *printer 3D* dan tingkat keakurasian pada produk yang sudah jadi. Pada proses penelitian ini menggunakan bahan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* yang dibentuk menjadi spesimen pengukuran *dimensi* dengan tiga variasi suhu pada *heater nozzle* yaitu suhu 230°C, 245°C dan 260°C pembuatan spesimen ini berdasarkan (ASTM D955) dan pengukuran *spesiment* ini berdasarkan (ASTM D5947) dan mempelajari *spesiment* di foto *makro*.

2.2 Mesin 3D Printing

3D Printing merupakan sebuah mesin yang dapat melakukan proses membuat objek 3 dimensi yang menampilkan data dalam bentuk cetakan. Saat ini *teknologi 3D printer* semakin berkembang, *3D printing* digunakan untuk purwarupa (*model prototype*) dalam industri secara luas seperti *arsitektur, robotika, otomotif, prototype industri penerbangan, militer, industri medis, fashion, sistem informasi geografis* hingga biotech untuk membuat tiruan tubuh seperti *prosthetic limbs*. (Excell, 2013)

2.3 Jenis-Jenis Filament Berdasarkan Materialnya

Filament merupakan salah satu komponen yang sangat penting dari mesin *3D Printing*, yang biasanya berbentuk silinder berdiameter 1.75mm dan 3mm, adapun jenis-jenis *filament* sebagai berikut:

1. ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*)

ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) merupakan bahan yang cenderung mudah digunakan untuk mencetak tetapi cenderung untuk menyusut dalam proses pendinginannya sehingga sedikit mempengaruhi hasil cetak. Menggunakan ABS alas cetak harus dipanaskan 70 hingga 100°C dan diberi perekat.

2. HIPS (*High Impact Polystyrene*)

HIPS (*High Impact Polystyrene*) merupakan jenis plastik yang dapat larut dalam larutan *Limonene*. HIPS digunakan sebagai bahan pendukung/*support* yang dapat dengan mudah dihilangkan menggunakan Larutan *D-Limonene Oil*.

3. PVA (*Polyvinyl Alkohol*)

PVA (*Polyvinyl Alkohol*) merupakan filament *3D printer* mirip dengan jenis HIPS tetapi dapat larut dalam air saja.

4. Flexible PLA

Flexible PLA *3D Filament* yang *Flexible* dan *Elastis*, sehingga banyak digunakan untuk membuat model-model yang memerlukan permukaan yang *elastis* seperti tiruan tangan.

5. PETG (*Glycol-modified PET*)

PETG (*Glycol modified PET*) merupakan bahan plastik yang memiliki bahan dasar dari pengabungan plastik ABS dan PLA, serta memiliki warna yang bening atau *transparent* dan kilap.

6. PLA (*Poly Lactic Acid*)

Poli (asam laktat) atau *polylactic acid* atau *polylactide* (PLA) adalah *poliester alifatik termoplastik biodegradable* dan *bioaktif* yang berasal dari sumber

daya terbarukan , seperti pati jagung (di Amerika Serikat dan Kanada), akar singkong , keripik atau pati (kebanyakan di Asia) , atau tebu (di seluruh dunia). Pada tahun 2010, PLA memiliki volume konsumsi tertinggi kedua dari bioplastik manapun di dunia.

Membentuk *stereokompleks* yang sangat teratur dengan peningkatan *kristalinitas*. Stabilitas suhu dimaksimalkan ketika campuran 1: 1 digunakan, tetapi bahkan pada konsentrasi yang lebih rendah dari 3–10% dari PDLA, masih ada peningkatan *substansial*. Dalam kasus selanjutnya, PDLA bertindak sebagai agen *nukleasi*, sehingga meningkatkan laju *kristalisasi*. *Biodegradasi* PDLA lebih lambat daripada PLA karena kristalinitas PDLA yang lebih tinggi. Modulus lentur dari PLA lebih tinggi dari polistirena dan PLA memiliki ketahanan panas yang baik.

Beberapa *teknologi* seperti *annealing*, menambahkan *nukleasi* agen, membentuk komposit dengan serat atau *nano-partikel*, rantai memanjang dan memperkenalkan struktur silang memiliki telah digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik polimer *PLA*. Asam *polilaktat* dapat diproses seperti kebanyakan termoplastik menjadi serat (misalnya, menggunakan proses pemintalan lelehan konvensional) dan film. PLA memiliki sifat mekanik yang mirip dengan polimer PETE , tetapi memiliki suhu penggunaan terus menerus maksimum yang secara signifikan lebih rendah. Dengan energi permukaan yang tinggi, PLA memiliki printability mudah yang membuatnya banyak digunakan dalam pencetakan 3D. Kekuatan tarik untuk PLA cetak 3D telah ditentukan.

7. *Filament Wood*

Terakhir adalah *filament* yang terunik karena mempunyai tampilan dan tekstur yang identik dengan batang kayu. *Filament* kayu terbuat dari kombinasi plastik PLA dan serat kayu tertentu dengan perbandingan 70% : 30%. Sayangnya filamen kayu ini memiliki daya rekat antar material yang rendah sehingga hasilnya tidak terlalu kuat dan fleksibel. Material ini biasa digunakan untuk membuat karya seni, miniatur, dan dekorasi rumah.

2.4 Pengertian Kayu

Kayu merupakan hasil hutan dari sumber kekayaan alam, juga merupakan bahan mentah yang mudah diproses untuk dijadikan barang sesuai dengan kemajuan *teknologi*. Pengertian kayu disini adalah suatu bahan yang diperoleh dari hasil pemungutan pohon-pohon di hutan, yang merupakan bagian dari pohon tersebut, serta diperhitungkan bagian mana yang lebih banyak dapat dimanfaatkan untuk sesuatu tujuan penggunaan. Demikian halnya dengan serbuk kayu penggergajian merupakan salah satu jenis kayu partikel yang berukuran 0,25–2,00 mm, bobotnya sangat ringan dalam keadaan kering dan mudah diterbangkan oleh angin .(Rimbakita.com).

Kayu bersifat *anisotropy* dengan kekuatan yang berbeda-beda pada berbagai arah, sel kayu jika mendapat gaya tarik sejajar serat akan mengalami patah tarik sehingga kulit sel hancur dan patah. Jika gaya tarik terjadi pada arah tegak lurus serat maka gaya tarik menyebabkan zat lekat lignin akan rusak. Sel kayu yang mengalami desak dengan arah sejajar serat menyebabkan sel kayu bertekuk, sel- sel

kayu disampingnya akan mengalami tekuk ke arah luar sehingga sel kayu patah karena tekuk ke dalam.

Komponen kimia di dalam kayu mempunyai arti yang penting, dimana komponen kimia kayu itu adalah sebagai berikut :

1. Karbon terdiri dari selulosa dan hemiselulosa
2. Ion karbonat terdiri dari lignin kayu
3. Unsur yang diendapkan

Sifat fisik pada kayu antara lain daya hantar panas, daya hantar listrik, angka muai dan berat jenis. Perambatan panas pada kayu akan tertahan oleh pori-pori dan rongga-rongga pada sel kayu. Karena itu kayu bersifat sebagai penyekat panas, semakin banyak pori dan rongga udaranya maka kayu akan semakin kurang penghantar panasnya. Selain itu daya hantar panas juga dipengaruhi oleh kadar air kayu.

2.4.1 Sifat Kimia

Kandungan kimia kayu adalah selulosa $\pm 60\%$, lignin $\pm 28\%$ dan zat lain (termasuk zat gula) $\pm 12\%$. Dinding sel tersusun sebagian besar oleh *selulosa* ($C_6H_{10}O_5$). *Lignin* adalah suatu campuran zat-zat *organik* yang terdiri dari zat *karbon* (C), zat air (H_2) dan *oksigen* (O_2).

Serbuk gergaji kayu mengandung komponen utama *selulosa*, *hemiselulosa*, *lignin* dan zat *ekstraktif* kayu. *Lignin* mempunyai ikatan kimia dengan *hemiselulosa* bahkan ada indikasi mengenal adanya ikatan-ikatan antara *lignin* dan selulosa. Ikatan-ikatan tersebut dapat berupa tipe ester atau eter diusulkan bahwa ikatan-ikatan *glikosida* merupakan penyatu lignin dan *polisakarida*. *Treatment*

yang pada dasarnya bisa menghilangkan semua lignin adalah dengan menggunakan zat *penyoksil*, dimana zat tersebut akan mengakibatkan *lignin* meninggalkan komponen *karbohidrat* yang tidak terpecahkan atau terlarut menjadi preparat yang disebut *holoselulosa*. *Treatment* ini bisa menggunakan agregat penghilang lain yang kurang lebih efektif untuk menghilangkan lignin adalah asam *nitrat*, asam *parasitic*, *neroxides* dan larutan *alkali* panas (Rimbakita.com).

Selulosa merupakan homopolisakarida yang tersusun atas unit-unit β -D-*glukopiranososa* yang terikat satu sama lain dengan ikatan-ikatan *glikosida*, molekulmolekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan-ikatan *hidrogen* intra dan *intermolekul*. *Hemiselulosa* merupakan *heteropolisakarida* yang dibentuk melalui jalan *biosintesis* yang berbeda dari *selulosa*. *Lignin* merupakan *polimer* dari unit-unit *fenilpropana*. Banyak aspek dalam kimia *lignin* yang masih belum jelas, misalnya ciri-ciri struktur spesifik lignin yang terdapat dalam berbagai daerah morfologi dari xylem kayu (Rimbakita.com).

Komponen kimia di dalam kayu mempunyai arti yang penting, karena menentukan kegunaan sesuatu jenis kayu juga dengan mengetahuinya kita dapat membedakan jenis kayu. Komponen kayu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Komponen-komponen kayu terdiri dari:

1. Karbon terdiri dari *selulosa* dan *hemiselulosa*
2. *Ion karbohidrat* terdiri dari lignin kayu
3. Unsur yang diendapkan seperti:
 - a. Carbon : 50%
 - b. Hydrogen : 6%
 - c. Nitrogen : 0,04 – 0,10%

d. Abu : 0,20 – 0,50%

Tabel 2.1 Komponen – Komponen kayu (Rimbakita.com).

Komponen	Kayu keras	Kayu Lunak
Sellulosa	15	58
Pentosan	18	7
Lignin	23	26
Resin, gun, minyak	2	8
Abu	1	1

Sebelum serbuk gergaji kayu dijadikan bahan pengisi pada beton maka harus dilakukan proses mineralisasi terlebih dahulu. Proses ini dilakukan untuk mengurangi kadar zat *ekstraktif* seperti gula, tanin, dan asam-asam organik dari tumbuhan agar daya lekatan dan pengerasan tidak terganggu di samping persenyawaan-persenyawaan organik, di dalam kayu masih ada beberapa zat organik, yang disebut bagian-bagian abu (mineral pembentuk abu yang tertinggal setelah lignin dan selulosa habis terbakar). Kadar zat ini bervariasi antara 0,2 – 1% dari berat kayu (Rimbakita.com).

Sifat kimia kayu yang harus diperhatikan adalah kandungan elektratifnya. Pengerasan semen akan terlambat apabila bahan baku kayu yang berupa serbuk gergaji mempunyai kandungan *ekstratif* yang tinggi. Agar proses pengerasan tidak terlambat maksimum kandungan ekstratif pada kayu adalah 1% gula, 2% tannin, atau 3% minyak. Usaha untuk mengurangi kadar ekstraktif adalah dengan merendam serbuk gergaji ke dalam air panas ataupun dingin (Rimbakita.com).

2.4.2 Secara Fisik

Sifat-sifat ini antara lain daya hantar panas, daya hantar listrik, angka muai dan berat jenis. Perambatan panas pada kayu akan tertahan oleh pori-pori dan

rongga-rongga pada sel kayu. Kayu bersifat sebagai penyekat panas. Semakin banyak rongga-rongga pada sel kayu, Semakin banyak pori dan rongga udaranya kayu semakin kurang penghantar panasnya. Selain itu daya hantar panas juga dipengaruhi oleh kadar air kayu, pada kadar air yang tinggi daya hantar panasnya juga semakin besar. Daya hantar panas kayu sejajar serat adalah $0,10 \text{ kg-kal/m } ^\circ\text{C}$, sedangkan daya hantar panas tegak lurus serat adalah $0,03 \text{ kg-kal/m } ^\circ\text{C}$.

2.4.3 Sifat Higroskopik

Akibat air yang keluar dari rongga sel dan dinding sel, kayu akan menyusut dan sebaliknya kayu akan mengembang apabila kadar airnya bertambah. Sifat kembang susut kayu dipengaruhi oleh kadar air, angka rapat kayu dan kelembaban udara. Akan kembang susut pada berbagai arah disajikan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Kembang susut pada berbagai arah (Rimbakita.com).

Arah	Prosentase Susut
Tangensial (searah garis singgung)	4 – 14
Radial (menuju ke pusat)	2 – 10
Aksial (sejajar serat)	0,1 – 0,2
Volumetric	7 - 21

2.5 Pengertian Suhu / *Temperature*

Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda dan alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah *thermometer*. Dalam kehidupan sehari-hari masyarakat untuk mengukur suhu cenderung menggunakan indera peraba. Tetapi dengan adanya perkembangan teknologi maka diciptakanlah termometer untuk mengukur suhu dengan valid.

Pada abad 17 terdapat 30 jenis skala yang membuat para ilmuwan kebingungan. Hal ini memberikan inspirasi pada *Anders Celcius* (1701 – 1744) sehingga pada tahun 1742 dia memperkenalkan skala yang digunakan sebagai pedoman pengukuran suhu. Skala ini diberinama sesuai dengan namanya yaitu Skala *Celcius*. Apabila benda didinginkan terus maka suhunya akan semakin dingin dan partikelnya akan berhenti bergerak, kondisi ini disebut kondisi nol mutlak. Skala *Celcius* tidak bisa menjawab masalah ini maka *Lord Kelvin* (1842 – 1907) menawarkan skala baru yang diberi nama *Kelvin*. Skala *kelvin* dimulai dari 273 K ketika air membeku dan 373 K ketika air mendidih.

Sehingga nol mutlak sama dengan 0 K atau -273°C . Selain skala tersebut ada juga skala *Reamur* dan *Fahrenheit*. Untuk skala *Reamur* air membeku pada suhu 0°R dan mendidih pada suhu 80°R sedangkan pada skala *Fahrenheit* air membeku pada suhu 32°F dan mendidih pada suhu 212°F . Suhu memperlihatkan suatu drajat panas pada benda. Atau mudahnya, semakin tinggi suhu benda, maka semakin panas benda tersebut. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dipunya oleh suatu benda. Pada setiap atom dalam benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan ataupun gerak di lokasi getaran. Makin tinggi energi atom-atom penyusun benda, maka semakin tinggi suhu benda tersebut. Suhu juga dapat disebut sebagai temperatur yang diukur dengan alat bernama termometer. Ada empat jenis termometer yang paling dikenal, yaitu *Celcius*, *Fahrenheit*, *Reaumur* serta *Kelvin* (Kurniawan 2021, Hal: 13).

Tabel 2.3 Satuan Suhu (Kurniawan 2021, Hal: 13).

	<i>Celsius</i>	<i>Reamur</i>	<i>Fahrenheit</i>	<i>Kelvin</i>
Titik didih	100	80	212	373
Titik beku	0	0	32	273
Selisih kedua titik	100	80	180	100
Perbandingan	5	4	9	5

Rumus dari *Celsius* ke *Kelvin* = $Celsius + 273^{\circ} = ?$ Mengacu pada SI, satuan suhu adalah *Kelvin* (K). Skala-skala lain adalah *Celsius*, *Fahrenheit*, dan *Reamur*.

Tabel 2.4 Rumus Skala Suhu (Kurniawan 2021, Hal: 13).

	Ke			
	<i>Celsius</i>	<i>Reamur</i>	<i>Fahrenheit</i>	<i>Kelvin</i>
<i>Celsius</i>		$\frac{4}{5}C$	$\frac{9}{5}C+32$	$C + 273$
<i>Reamur</i>	$\frac{5}{4}R$		$\frac{9}{4}R+32$	$\frac{5}{4}R+273$
<i>Fahrenheit</i>	$\frac{5}{9}(F-32)$	$\frac{4}{9}(F-32)$		
<i>Kelvin</i>	$K - 273$	$\frac{4}{5}(K-273)$		

Ada kesalahan dalam peletakan rumus atau rumus yang bisa dipakai pada perubahan *celcius* ke *fahrenheit* adalah $C \times 1,8 + 32$ dan dari *fahrenheit* ke *celcius* $(F - 32)/1,8$.

2.6 Pengertian Pengukuran

Secara umum, pengukuran merupakan suatu proses membandingkan suatu besaran dengan besaran lain yang sejenis dan dipakai sebagai satuan. Definisi

pengukuran adalah penentuan besaran, dimensi, atau kapasitas biasanya terhadap suatu standar atau satuan ukur.

Disamping itu, pengukuran juga dapat diartikan sebagai pemberian angka terhadap suatu atribut atau karakteristik tertentu yang dimiliki oleh seseorang, hal, atau objek tertentu menurut aturan atau formulasi yang jelas dan disepakati. Dalam pengukuran, terdapat dua jenis satuan yaitu pengukuran dengan satuan tidak baku dan pengukuran dengan satuan baku.

2.6.1 Pengukuran Dengan Satuan Tidak Baku

Pengukuran dengan satuan tidak baku adalah satuan yang menghasilkan nilai ukuran yang berbeda antara satu orang dengan yang lainnya. Jenis pengukuran ini biasanya dilakukan dengan menggunakan jengkal telapak tangan, jengkal telapak kaki, lengan, hasta, ataupun depa.

Adapun contoh dari pengukuran ini dengan melakukan kegiatan pengukuran tinggi badan dengan menggunakan jengkal telapak tangan, yang artinya membandingkan tinggi badan dengan panjang jengkal tangan. Namun, hal tersebut tidak bisa dikatakan akurat karena, jika mengukur kembali dengan jengkal tangan orang lain maka hasilnya akan berbeda, hal ini dikarenakan ukuran jengkal tangan berbedabeda.

Dengan contoh tersebut maka, baik jengkal telapak tangan, jengkal telapak kaki, hasta, lengan, maupun depa tersebut menimbulkan perbedaan nilai hasil pengukuran yang mengakibatkan satuan tersebut tidak diakui secara internasional dan tidak dapat digunakan sebagai acuan untuk mengukur panjang.

2.6.2 Pengukuran dengan satuan baku

Pengukuran dengan satuan baku adalah satuan yang dapat diterima secara internasional. Kegunaan dari satuan baku ini untuk menyeragamkan hasil pengukuran yang disepakati oleh para ilmuwan yang dikumpulkan menjadi satuan besaran pokok seperti panjang, massa, waktu dan suhu. Kumpulan tersebut menjadi sistem satuan Standar Internasional (SI).

2.7 Pengertian Toleransi

Toleransi ukuran (*dimensional tolerance*) adalah perbedaan ukuran antara kedua harga batas (*two permissible limits*) dimana ukuran atau jarak permukaan/batas geometri komponen harus terletak. Untuk setiap komponen perlu didefinisikan suatu ukuran dasar (*basic size*) sehingga kedua harga batas (maksimum dan minimum, yang membatasi daerah toleransi; *tolerance zone*) dapat dinyatakan dengan suatu penyimpangan (*deviation*) terhadap ukuran dasar. Ukuran dasar ini sedapat mungkin, dinyatakan dengan bilangan bulat. Besar dan tanda (positif atau negatif) penyimpangan dapat diketahui dengan cara mengurangkan ukuran dasar terhadap harga batas yang bersangkutan.

Ada beberapa jenis toleransi, antara lain:

1. Toleransi Umum

Toleransi Umum ialah toleransi yang mengikat beberapa ukuran dasar. Berikut disampaikan tabel toleransi umum yang standar pada gambar kerja kualitas toleransi umum dipilih antara teliti, sedang atau kasar. Yang paling sering dipilih adalah kualitas sedang (*medium*). Umum (Omesin 2018, Hal: 9).

Tabel 2.5 Toleransi Umum (Omesin 2018, Hal: 9).

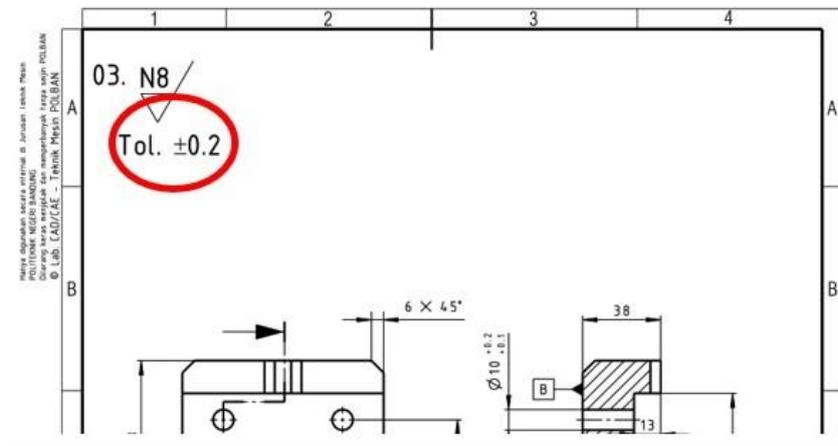
Ukuran Nominal (mm)		>0,5 - 3	>3 - 6	>6 - 30	>30 - 120	>120 - 315	>315 - 1000	>1000 - 2000
Penyimpangan yang diizinkan	Teliti	± 0.05	± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2	± 0.3	± 0.5
	Sedang	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2
	Kasar	-	± 0.2	± 0.5	± 0.8	± 1.2	± 2	3

Tabel 2.6 Toleransi Umum untuk Radius dan Chamfer (Omesin 2018, Hal: 9).

Ukuran Nominal (mm)		>0,5 - 3	>3 - 6	>6 - 30	>30 - 120	>120 - 315	>315 - 1000
Penyimpangan yang diizinkan	Teliti Sedang	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 4	± 8
	Kasar	± 0.5	± 1	± 2	± 4	± 8	± 16

Tabel 2.7 Toleransi Umum untuk Sudut (Omesin 2018, Hal: 9).

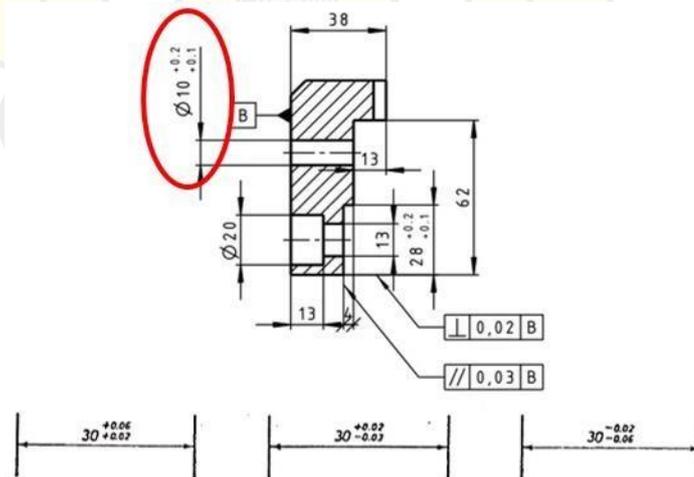
Panjang Sisi Terpendek (mm)		s.d. 10	>10 - 50	>50 - 120	>120 400
Penyimpangan yang diizinkan	Dalam Derajat dan Menit	± 10	± 30'	± 20'	± 10'
	Dalam mm tiap 100 mm	± 1.8	± 0.9	± 0.6	± 0.3



Gambar 2.1 Penambahan Toleransi Umum pada Gambar Teknik (Omesin 2018, Hal: 11).

1. Toleransi khusus

Toleransi khusus adalah toleransi di luar angka toleransi umum, dan diletakkan langsung setelah angka nominalnya. toleransi khusus hanya mewakili ukuran dasar dengan toleransi tersebut dicantumkan.



Gambar 2.2 Penambahan Toleransi Khusus pada Gambar Teknik (Omesin 2018, Hal: 11).

2. Toleransi geometri.

Toleransi geometrik mencakup toleransi bentuk, posisi, tempat dan penyimpangan putar. Dalam tabel ini jenis-jenis toleransi diperlihatkan dengan lambangnya masing-masing. Toleransi bentuk membatasi penyimpangan diri sebuah elemen (titik, garis, sumbu, permukaan, atau bidang meridian) dari bentuk *geometrik ideal*. Posisi, tempat dan penyimpangan putar membatasi penyimpangan posisi atau tempat bersama dari dua atau lebih elemen.

Tabel 2.8 Lambang Toleransi Geometri (Omesin 2018, Hal: 15).

Elemen dan toleransi		Sifat yang diberi toleransi	Lambang
Elemen Tunggal	Toleransi bentuk	Kelurusan	—
		Kedataran	
		Kebulatan	
		Kesilindrisan	
		Profil garis	
Elemen Tunggal atau yang berhubungan	Toleransi bentuk	Profil permukaan	
Elemen-elemen yang berhubungan	Toleransi orientasi	Kesejajaran	
		Ketegak lurus	
		Ketirusan	
	Toleransi lokasi	Posisi	
		Konsentrisitas dan koaksialitas	
		Kesimetrisan	
	Toleransi putar	Putar tunggal	
		Putar total	

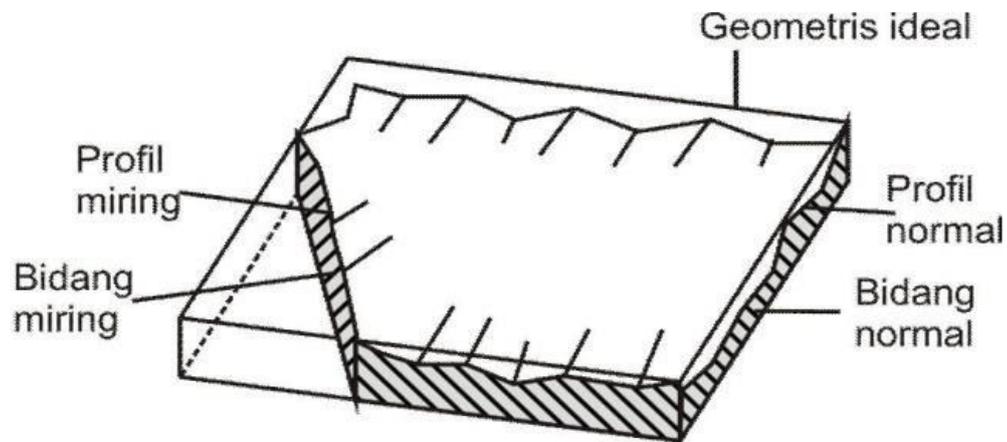
2.8 Surface Roughness

Permukaan suatu benda kerja atau produk yang telah melewati proses permesinan pasti akan mengalami kekasaran permukaan. Menurut ISO 1302 - 1978 yang pengertian dari kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata

aritmetik dari garis rata-rata profil. Kekasaran permukaan juga dapat dinyatakan dengan jarak rata-rata dari profil ke garis tengah antara puncak tertinggi dan lembah terdalam dari suatu permukaan yang menyertai proses produksi. Peristiwa ini bisa digunakan untuk menentukan nilai kekasaran permukaan. Menurut (Makmur, 2006) karakteristik suatu kekasaran permukaan memiliki peranan penting dalam perancangan komponen mesin. Hal ini perlu dinyatakan karena ada hubungannya dengan dampak yang akan terjadi pada mesin itu sendiri seperti keausan, gesekan, pelumasan, dan kelelahan material. Setiap produk akan memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda yang dipengaruhi dengan kualitas suatu proses pemesinan dan parameternya. Nilai kekasaran permukaan memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda, Nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh ISO dimana yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (R_a) $0,025 \mu\text{m}$ dan yang paling tinggi N12 yang nilai kekasarnya $50 \mu\text{m}$ (Choirul, 2014).

2.8.1 Pengujian Kekasaran Permukaan

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



Gambar 2.3 Bidang dan profil permukaan (Dasar metodologi industri, Hal: 224).

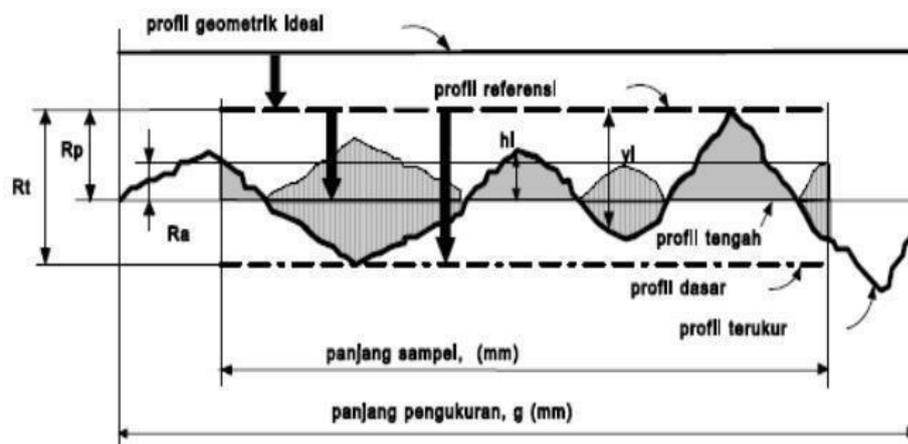
Setiap permukaan dari suatu benda kerja yang telah mengalami proses permesinan tentu akan mengalami kekasaran permukaan (*surface Roughness*) yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata - rata aritmetik dari garis rata - rata permukaan. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga 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) $0,025 \mu\text{m}$ dan yang paling tinggi N12 yang nilai kekasarannya $50\mu\text{m}$.

2.8.2 Permukaan dan Parameter-parameter Permukaan

Permukaan dapat diartikan titik yang membatasi sebuah benda padat dengan lingkungan sekitarnya. Terdapat istilah dalam permukaan yaitu profil, Istilah Profil

atau bentuk memiliki arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. 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 ini disebut dengan panjang pengukuran (*traversing length*).



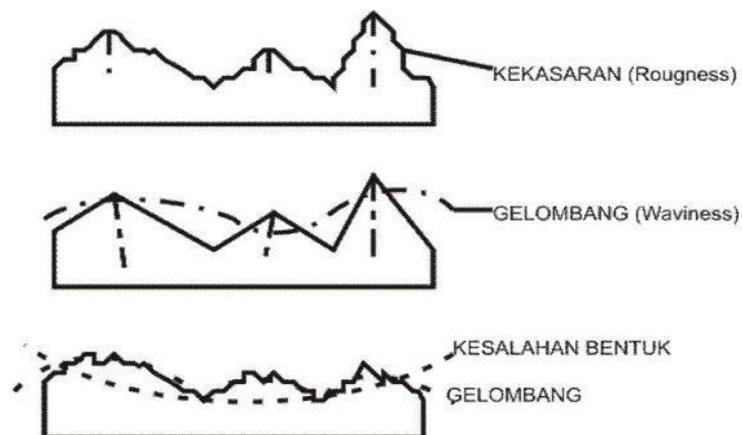
Gambar 2.4 Profil permukaan (Dimas Prayogi 2019, Hal: 18).

Dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan melintang. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter antara lain:

1. Kekasaran total R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
2. Kekasaran peralatan R_p (μm) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil tertukar.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
4. Kekasaran rata-rata kuadrat R_g (μm) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

5. Kekasaran total rata-rata R_z (μm) merupakan jarak antara profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.
6. Kekasaran Rata-rata lebar puncak R_{Sm} (mm) merupakan nilai rata-rata aritmatika dari lebar elemen profil kekasaran dalam panjang sampel. Parameter yang ditentukan pada panjang evaluasi ini menarik pada permukaan yang memiliki motif periodik atau terstruktur.

Dalam kasus ini, R_{Sm} akan memperkirakan jaraknya. R_{Sm} tidak ada artinya pada tekstur permukaan acak. 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 2.5 Kekasaran, Gelombang dan kesalahan bentuk dari suatu permukaan material (Dasar metodologi industri, Hal: 225).

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



Gambar 2.6 Tingkat 1 ketidakrataan permukaan (Dasar metodologi industri, Hal: 224).

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 pengekaman benda kerja, pengaruh proses pengerasan (*hardening*).



Gambar 2.7 Tingkat 2 ketidakrataan permukaan (Dasar metodologi industri, Hal: 224).

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



Gambar 2.8 Tingkat 3 ketidakrataan permukaan (Dasar metodologi industri, Hal: 224).

Adalah profil permukaan yang berbentuk alur (*grooves*). Penyebabnya antara lain karena adanya bekas-bekas proses pemotongan akibat bentuk pisau potong yang salah atau gerak pemakanan yang kurang tepat (*feed*).



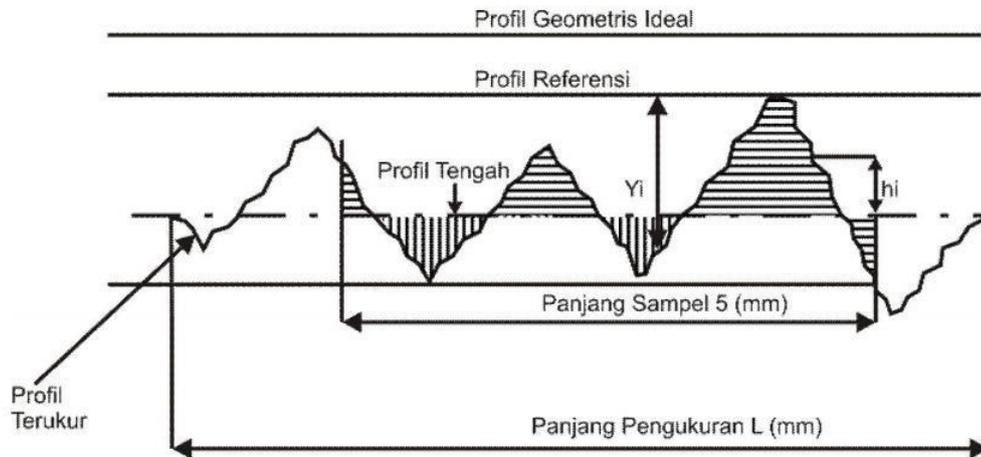
Gambar 2.9 Tingkat 4 ketidak teraturan permukaan (Dasar metodologi industri, Hal: 224).

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. 10 Profil suatu permukaan (Dasar metodologi industri, Hal: 227).

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.

2.9 Kekasaran Rata-Rata Aritmetis (R_a)

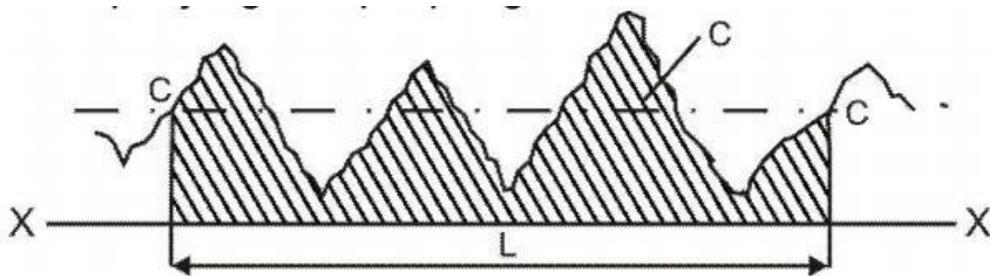
Kekasaran rata-rata merupakan harga-harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolut antara harga profil terukur dengan harga profil tengah.

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

1. Langkah Pertama

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

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 2.11 Menentukan kekasaran rata-rata R_a (Dasar metodologi industri, Hal: 227).

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 :

$$H_m = \frac{\text{Daerah A}}{L}$$

4. Langkah Keempat

Sekarang diperoleh suatu garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya yaitu luasan daerah di atas ($P_1+P_2+ \dots$ dan seterusnya).

Dengan demikian nilai R_a dapat ditentukan besarnya yaitu :

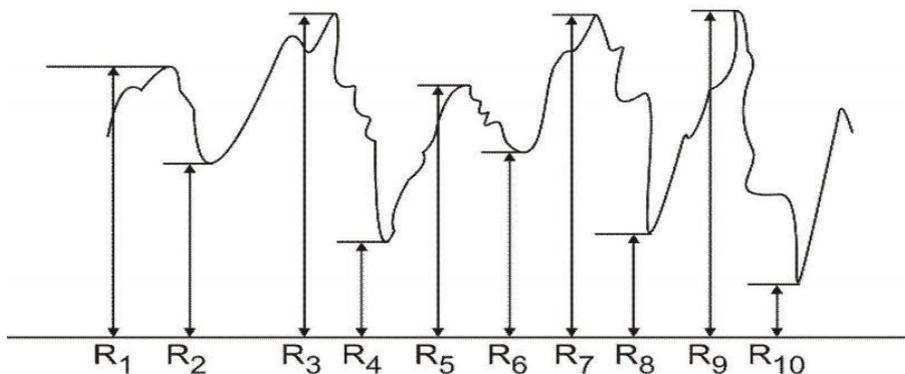
$$R_a = \frac{\text{Luas daerah } P + \text{Luas daerah } Q}{L} \times \frac{1000}{V_v} \dots\dots\dots (\mu\text{m})$$

Dimana :

V_v : Perbesaran vertikal. Luas P dan Q dalam milimeter.

L : Panjang pengukuran sampel dalam milimeter.

Kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah, R_z sebetulnya hampir sama dengan kekasaran rata-rata aritmetis R_a , tetapi cara menentukan R_z adalah lebih mudah daripada menentukan R_a . *Gambar 2.11.* menunjukkan cara menentukan R_z . Sampel pengukuran diambil sejumlah profil yang memuat, misalnya 10 daerah yaitu 5 daerah puncak dan 5 daerah lembah.



Gambar 2.12 Menentukan kekasaran rata - rata dari puncak ke lembah (Dasar metodologi industri, hal: 227).

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 :

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

2.10 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.

Tabel 2.9 Toleransi Harga kekasaran rata - rata Ra (Dimas Prayogi 2019, Hal: 17).

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	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
N12	50	37,5 – 75,0	

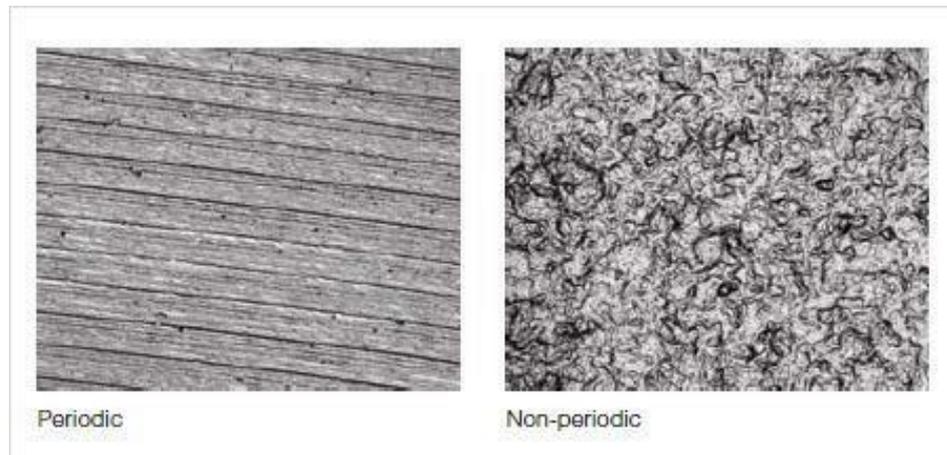
Toleransi harga kekasaran rata - rata, R_a dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda yang sudah tentu lebih halus dari pada proses dengan menggunakan mesin bubut . Tabel 2.10. berikut ini memberikan contoh harga kelas kekerasan rata - rata menurut proses pengerjaannya.

Tabel 2.10 Tingkat kekasaran menurut proses pengerjaan (Dimas Prayogi 2019, hal: 20).

Proses Pengerjaan	Selang (N)	Harga R_a
Flat and cylindrical lapping	$N_1 - N_4$	0.025 – 0.2
Superfinishing Diamond turning	$N_1 - N_5$	0.025 – 0.8
Flat and cylindrical grinding	$N_1 - N_5$	0.025 – 3.2
Finishing	$N_1 - N_5$	0.1 – 3.2
Face and cylindrical turning, milling and reaming	$N_5 - N_{12}$	0.4 – 50.0
Drilling	$N_7 - N_{10}$	1.6 – 12.5
Shapping, planning, horizontal, milling	$N_6 - N_{12}$	0.8 – 50.0
Sandcasting and forging.	$N_{10} - N_{11}$	12.5 – 25.0
Extruding, Cold rolling, drawing	$N_6 - N_5$	0.8 – 3.2
Die Casting	$N_6 - N_7$	0.8 – 1.6

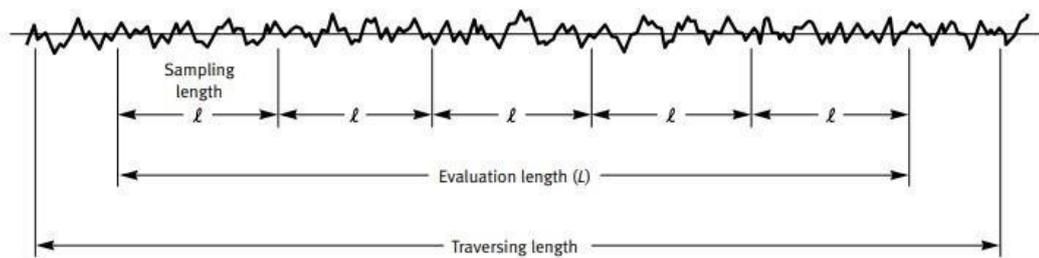
Parameter yang akan dipilih dalam penelitian adalah R_{Sm} . Pemilihan parameter tersebut dikarenakan bentuk permukaan dari produk *3D printer* yang merupakan motif *periodic* atau memiliki suatu pola terstruktur dan didasari oleh ISO 4287 yang dimana juga terdapat perbedaan permukaan *periodic* dengan *non-*

periodic.. Berikut merupakan gambar perbedaan permukaan *periodic* dengan *non-periodic*:



Gambar 2.13 Profil Periodic dan Non-Periodik Sumber: (ASMEB46.1-2009)

Setelah ditentukan permukaan dari specimen, maka pengukuran kekasaran didasari oleh panjang sampel yang akan diambil menurut parameter RSm. Berikut merupakan tabel panjang sampel untuk parameter Rsm menurut ANSI ASME B.46.1-2009 yang disesuaikan dengan ISO 4288-1996:



Gambar 2.14 Panjang Pengukuran Kekasaran Permukaan Sumber: (ASMEB46.1-2009)

Tabel 2.11 Panjang Sample (ASMEB46.1-2009).

<i>Non-periodic profile</i>		<i>Periodic Profiles</i>	<i>Measuring conditions according to DIN EN ISO 4288 and DIN EN ISO 3274</i>			
			R_{tip} <i>Maximum probe tip radius</i>			
			L_r <i>Sampling length</i>			
			L_n <i>Evaluation length</i>			
<i>Grinding, Honing, Lapping, EDM</i>		<i>Turning, Milling, Planing</i>	<i>Stylus travel (evaluation length plus start and finish l_t lengths)</i>			
R_t, R_z (μm)	R_a (μm)	R_{Sm} (mm)	r_{tip} (μm)	$\lambda_c = l_r$ (mm)	l_n (mm)	l_t (mm)
$0,025 > R_t, R_z > 0,1$	$0,006 > R_a > 0,02$	$0,013 > R_{Sm} > 0,04$	2	0,08	0,4	0,48
$0,1 > R_t, R_z > 0,5$	$0,02 > R_a > 0,1$	$0,04 > R_{Sm} > 0,13$	2	0,25	1,25	1,5
$0,5 > R_t, R_z > 10$	$0,1 > R_a > 2$	$0,13 > R_{Sm} > 0,4$	2*	0,8	4	4,8
$10 > R_t, R_z > 50$	$2 > R_a > 10$	$0,4 > R_{Sm} > 1,3$	5	2,5	12,5	15
$50 > R_t, R_z > 200$	$10 > R_a > 80$	$1,3 > R_{Sm} > 4$	10	8	40	48

When $R_z > 3 \mu\text{m}$ or $R_a > 0,5 \mu\text{m}$ a probe tip radius (r_{tip}) = $5 \mu\text{m}$ may be used.

Sumber: (ASMEB46.1-2009)

Pada tabel dapat dilihat jika setiap parameter baik R_t , R_z , R_a , maupun R_{Sm} memiliki range kekasaran yang nantinya bisa didapatkan *Sampling Length*

ataupun *Evaluation Length*. Penelitian kali ini akan memilih panjang sampel 0,8 dengan nilai kekasaran antara 0,13 - 0,4 untuk parameter RSm. Pemilihan panjang sampel nantinya akan digunakan untuk menjadi acuan dalam pembuatan specimen.

2.10.1 *Surface Roughness Test*

Uji Kekasaran permukaan dilakukan dengan cara membuat specimen uji kekasaran menggunakan mesin XYZ printing tipe Davinci 1.0 pro yang selanjutnya akan dilakukan pengujian dengan mesin uji permukaan untuk mendapatkn hasil dari pengujian. Berikut merupakan penjelasan dari specimen uji permukaan dan mesin uji permukaan.

2.10.2 *Spesiment Uji Kekasaran Permukaan*

Untuk spesimen dengan profil kekasaran, area operasi harus cukup besar untuk menyediakan panjang lintasan yang diperlukan oleh bagian lain dari Standar yang ditentukan (ASMEB46.1-2009, 2009). Pada penelitian kali ini, specimen yang digunakan untuk dilakukan pengujian kekasaran permukaan berbentuk persegi panjang datar pipih yang memiliki ukuran dalam mm dengan panjang 150, lebar 20, tinggi 2,5..

2.11 *Definisi Quality (Mutu / Kualitas)*

Tidak dapat dipungkiri lagi, bahwa kualitas merupakan topik yang hangat dikalangan dunia bisnis maupun akademik. Akan tetapi, istilah tersebut memerlukan tanggapan secara hati-hati dan perlu mendapatkan penafsiran secara cermat. Faktor utama yang menentukan kinerja suatu perusahaan adalah kualitas barang dan jasa yang dihasilkan. Produk dan jasa yang berkualitas adalah produk

dan jasa yang sesuai dengan apa yang diinginkan konsumen. Ada banyak sekali definisi dan pengertian kualitas yang sebenarnya definisi atau pengertian yang satu hampir sama dengan definisi pengertian lain. Pengertian kualitas menurut beberapa ahli yaitu :

- *Juran* (1962) : ‘kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan dan manfaatnya’
- *Crosby* (1979) : ‘kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan yang meliputi *availability*, *reliability*, *maintainability*, dan *cost effectiveness*’.
- *Deming* (1982) : ‘kualitas harus bertujuan memenuhi kebutuhan pelanggan sekarang dan di masa yang akan datang’

Dalam konteks pembahasan tentang pengendalian proses *statistikal*, *terminology* kualitas didefinisikan sebagai konsistensi peningkatan atau perbaikan dan penurunan variasi karakteristik dari suatu produk (barang dan / atau jasa) yang dihasilkan, agar memenuhi kebutuhan yang telah dispesifikasikan, guna meningkatkan kepuasan pelanggan internal maupun eksternal. Dengan demikian pengertian kualitas dalam konteks pengendalian proses *statistical* adalah bagaimana baiknya suatu *output* itu memenuhi *spesifikasi* dan *toleransi* yang ditetapkan oleh bagian desain dari suatu perusahaan. *Spesifikasi* dan *toleransi* yang ditetapkan oleh bagian desain produk yang disebut sebagai kualitas desain (*quality of design*) harus berorientasi kepada kebutuhan atau keinginan konsumen (*orientasi pasar*). Hal ini dimaksudkan agar sesuai dengan konsep roda deming dalam proses industri modern, yaitu riset pasar, desain produk dan proses, proses produksi, dan proses pemasaran.

Ada beberapa dimensi kualitas untuk industri manufaktur dan jasa. Dimensi ini digunakan untuk melihat dari sisi manakah kualitas dinilai. Tentu saja perusahaan ada yang menggunakan salah satu dari sekian banyak dimensi kualitas yang ada. Namun ada kalanya yang membatasi hanya pada salah satu dimensi tertentu. Yang dimaksud dimensi kualitas telah diuraikan oleh gavin (1996) untuk industri manufaktur meliputi :

- **Performance** yaitu kesesuaian produk dengan fungsi utama produk itu sendiri atau karakteristik operasi dari suatu produk.
- **Feature** yaitu ciri khas produk yang membedakan dari produk lain yang merupakan karakteristik pelengkap dan mampu menimbulkan kesan yang baik bagi pelanggan.
- **Reliability** yaitu kepercayaan pelanggan terhadap produk karena kehandalannya atau karena kemungkinan kerusakan yang rendah.
- **Conformance** yaitu kesesuaian produk dengan syarat atau ukuran tertentu atau sejauh mana karakteristik desain dan operasi memenuhi standar yang telah ditetapkan.
- **Durability** yaitu tingkat ketahanan / awet atau lama umur produk.
- **Serviceability** yaitu kemudahan produk itu bila akan diperbaiki atau kemudahan memperoleh komponen produk tersebut.
- **Aesthetics** yaitu keindahan atau daya tarik dari produk tersebut.
- **Perception** yaitu fanatisme konsumen akan merek suatu produk tertentu karena citra atau reputasi produk itu sendiri.

Secara definitif yang dimaksudkan dengan kualitas atau mutu suatu produk atau jasa adalah derajat atau tingkatan dimana produk atau jasa tersebut mampu memuaskan keinginan dari konsumen (*fitness for use*).

Selanjutnya parameter-parameter yang menentukan suatu produk harus mampu memenuhi konsep *fitness for use* ada dua macam yaitu parameter kualitas desain (*quality of design*) dan parameter kualitas kesesuaian (*quality of conformance*).

Kualitas Kesesuaian / Kesamaan (*Quality of Conformance*) menghendaki suatu produk harus dibuat sedemikian rupa sehingga bisa sesuai (*conform*) dan memenuhi spesifikasi, standar dan criteria-criteria standar kerja lainnya yang telah disepakati. Dalam pemakaian nantinya, maka produk tersebut harus pula sesuai dengan fungsi yang telah dirancang sebelumnya. Kualitas kesesuaian ini akan berkaitan dengan 3 macam bentuk pengendalian (kontrol) sebagai berikut :

- Pencegahan cacat (*defect prevention*)
Yaitu mencegah kerusakan atau cacat sebelum benar-benar terjadi. Contoh dalam hal ini seperti pembuatan standar-standar kualitas, inspeksi terhadap material yang datang, membuat peta kontrol untuk mencegah penyimpangan dalam proses kerja yang berlangsung.
- Mencari kerusakan, kesalahan atau cacat (*defect finding*)
Aplikasi dan pemakaian metode-metode yang spesifik untuk proses inspeksi, pengujian, analisis statistik, dan lain-lain. Proses untuk mencari penyimpangan-penyimpangan terhadap tolak ukur atau standar yang telah ditetapkan.

- Analisa dan tindakan koreksi (*defect analysis and correction*)

Menganalisa kesalahan-kesalahan yang terjadi dan melakukan koreksi-koreksi terhadap penyimpangan tersebut. Kegiatan ini merupakan tanggung jawab dari bagian pengendalian kualitas.

Dalam bidang ilmu pengetahuan, industri rekayasa, dan statistik, akurasi dari suatu sistem pengukuran adalah tingkat kedekatan pengukuran kuantitas terhadap nilai yang sebenarnya. Kepresisian dari suatu sistem pengukuran, disebut juga *reproduktifitas* (bahasa Inggris: *reproducibility*) atau pengulangan (bahasa Inggris: *repeatability*), adalah sejauh mana pengulangan pengukuran dalam kondisi yang tidak berubah mendapatkan hasil yang sama. Sebuah sistem pengukuran dapat akurat dan tepat, atau akurat tetapi tidak tepat, atau tepat tetapi tidak akurat atau tidak tepat dan tidak akurat