

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Referensi Awal

Pada sebuah penelitian, observasi terhadap sumber-sumber yang berkaitan dengan judul sangat dibutuhkan, berikut adalah beberapa referensi yang diambil sebagai sumber referensi dalam penelitian ini.

Tabel 2.1 Referensi Awal

No	Judul Penelitian	Peneliti (Tahun)	Sumber Penelitian	Kesimpulan
1	<i>Low Cost Printer for DLP Stereolithography</i>	Joško Valentinčič, Matej Peroša, Marko Jerman, Izidor Sabotin, dan Andrej Lebar (2017)	<i>Journal of Mechanical Engineering</i> 63(2017)10, 559-566	<i>The direction of illumination has a key role in DLP stereolithography. It is shown that constrained surface (illumination through a transparent bottom of the vat) gives better 3D printing accuracy compared to free surface (illumination of the photopolymer surface) stereolithography. To further improve the product quality, the optimal process parameters are determined. Using the Taguchi based surface response methodology</i>

				<i>optimal process parameters are defined and by using them, the deviation of the actual dimensions from the specified dimensions is less than 80 μm</i>
2	<i>Optimization Of Process Parameter For Digital Light Processing (DLP) 3D Printing</i>	Afizah Ibrahim, N Sa'ude, Dan M Ibrahim (2017)	<i>Proceedings of Academics World 62nd International Conference, Seoul, South Korea, 18th-19th April 2017</i>	<i>From overall finding, it can be summarized that layer thickness of 50 μm with exposure time of 9 sec have better mechanical properties for B9R-1-Red along with low dimensional stability compared to other studied layer thickness and exposure time.</i>
3	<i>Digital Light Processing (DLP): Anisotropic Tensile Considerations</i>	E. Aznarte, C. Ayranci, dan A.J. Qureshi (2017)	<i>Solid Freeform Fabrication 2017: Proceedings of the 28th Annual International</i>	<i>Considering the results from this study, a more detailed study is being carried out to design and manufacturing parameter optimization for the mechanical properties. This includes an extended design of experiments study to establish the correlation and interaction between different factors.</i>
4	<i>Influence of SLA Rapid Prototyping</i>	Shi Yaru, Cao Yan,	<i>Conference: 2016 6th</i>	<i>This paper is based on SLA Rapid Prototyping</i>

	<i>process parameters on the forming precision</i>	Wang Yongming, Huang Liang (2016)	<i>International Conference on Mechatronics, Computer and Education Informationization (MCEI 2016)</i>	<i>technology, the pretreatment of three dimensional model of face gear mold. The effect of different factors on the quality and efficiency of forming master molding rate to deal with three aspects of the process parameters of Rapid Prototyping face gear mold and face gear mold parts. Based on SLA, a rapid manufacturing process of gear master die for spur gears is presented, and the process is verified by experiments. The results show that the process can not only make the mold face gear with high quality in a relatively short period of time, the mother also made mold also has high strength, high temperature resistance and low cost, which has guiding significance for the rapid manufacturing technology in casting wax mold.</i>
5	<i>High Definition 3D Printing – Comparing SLA</i>	Finnes, Tyler (2015)	<i>The Journal of Undergradua</i>	<i>The mUve 3d SLA printer is different from most SLA 3D printers</i>

	<i>and FDM Printing Technologies</i>		<i>teResearch: Vol. 13, Article 3.</i>	<i>that use a galvanometer or Digital Laser Projector (DLP) as a light source, the mUve 3D printer uses a UV laser mounted on a Cartesian coordinate gantry system to cure the resin. This research focuses on the difference between the Cartesian coordinate gantry system and the standard galvanometer or DLP approach</i>
6	<i>Influence of Internal Fill Pattern, Polishing Time and Z-Axis Orientation on the Tensile Strength of the 3D Printed Part</i>	Dicky Seprianto, Iskandar, Romi Wilza, EYT Adesta (2019)	<i>International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)</i>	<i>Based on statistical analysis using Design-Expert® software with design type 2 level factorial known interaction between internal fill pattern with Z-axis orientation contribute 52% to the tensile strength of specimens.</i>
7	<i>Vibration Analysis and Infrared Thermography Technique for Evaluating</i>	Dalia. M.El-Gazzar and Mofreh. A. Hashim (2018)	<i>European Journal of Mechanical Engineering Research</i>	<i>Misalignment produces excessive vibration, noise, coupling, and bearing temperature increases, and premature bearing,</i>

	<i>Misalignment Problem</i>			<i>coupling, or shaft failure.</i>
8	<i>Laser based measurement for the monitoring of shaft misalignment</i>	Anthony Simm, Qing Wang, Songling Huang, Wei Zhao (2016)	<i>Elsevier Ltd.</i>	<i>A shaft is an essential part of the rotating machine; it is used to transmit power and motion. A common problem (estimated to cause over 70% of vibration problems in rotating machinery is shaft misalignment. Shaft misalignment occurs when the centre lines of rotation of two (or more) machinery shafts are not in line with each other. This increases axial and radial forces on bearings, seals and couplings, increasing the amount of wear in these components, leading to an increase in vibration in the machine and bearings, it also increases bending of the shaft, increasing the risk of shaft failure and</i>

				<p><i>reducing the amount of power transmitted through the shaft. Even if initially, or after adjustment, the shaft is aligned, during operation various factors such as thermal growth, piping pressure and foundation movements will alter the alignment.</i></p>
9	<p><i>Confinement of short concrete columns with CFRP wraps subjected to concentric and eccentric loading</i></p>	<p>Khan, Asad-ur-Rehman, Fareed, Shamsoun (2012)</p>	<p><i>NED University of Engineering & Technology, Karachi, Pakistan</i></p>	<p><i>For specimen tested under concentric loading the beneficial effects of CFRP wraps on strength were observed by providing wraps at or more than two third of its length. Whereas, for specimens tested under eccentric load, all the wrapping schemes proved to be beneficial in increasing the load carrying capacity of specimen. In order to attain maximum strength wraps must be provided at least along half of the length of the column.</i></p>
10	<p>Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan</p>	<p>Dicky Seprianto, Romi Wilza,</p>	<p>Seminar Nasional Teknik</p>	<p>Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa</p>

Objek 3D <i>Printing</i> Dengan Teknologi FDM Terhadap Akurasi Geometri	Iskandar (2017)	Industri Universitas Gadjah Mada 2017	<p>desain eksperimen tipe 2 <i>level factorial</i> dengan model 4 <i>factorial interaction</i> (4FI) berbantuan perangkat lunak <i>design-expert</i> telah berhasil dibuat untuk memprediksi pengaruh faktor-faktor terhadap akurasi geometri objek <i>3D printing</i> dengan teknologi FDM. Dari persamaan regresi linier terhadap respon <i>length</i>, <i>width</i> dan <i>height</i> yang dihasilkan menggunakan ANOVA dan telah dilakukan uji konfirmasi dapat ditentukan kondisi optimal kombinasi factor yaitu <i>layer height=0.14 mm</i>, <i>print speed=51.73 mm/s</i>, <i>perimeter shells=3 mm</i> dan waktu <i>polishing=20 menit</i>. Dengan perkembangan bahan baku material maju untuk pembuatan objek <i>3D printing</i>, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pengaruh material ditinjau dari akurasi geometri maupun <i>mechanical properties</i></p>
---	--------------------	--	--

				yang sesuai dengan aplikasi.
--	--	--	--	------------------------------

2.2 *Computer Aided Design (CAD)*

Computer Aided Design adalah suatu perangkat lunak computer yang digunakan untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh titik, garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu. CAD sendiri dapat berbentuk gambar 2D dan 3D hingga *solid* atau *surface model*. Berawal dari revolusi menggambar secara manual hingga menggambar menggunakan perangkat lunak Komputer, maka tahun demi tahun CAD semakin berevolusi hingga terintegrasi dengan perangkat lunak CAE (*Computer Aided Engineering*) dan CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Integrasi itu diperoleh karena perangkat lunak CAD dapat membuat luaran dalam bentuk *solid* dan/atau *surface modelling*. *Solid* model memungkinkan kita untuk memvisualisasikan komponen dan rakitan yang kita buat secara realistis. Selain itu model mempunyai properti seperti *massa*, *volume*, pusat gravitasi, luas permukaan dan sebagainya. Beberapa perangkat lunak CAD yang digunakan di Indonesia yaitu: *Alias*, *CATIA*, *Autodesk® Inventor®*, *Pro/ENGINEER®*, *Parasolid®*, *SolidWorks™* dan *Power Shape* dan *UGS NX*. (Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2017).

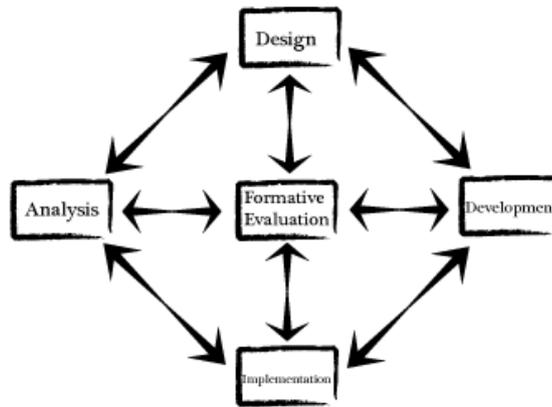
2.3 *Rapid Prototyping*

Rapid Prototyping adalah teknik membentuk dan merakit sebuah produk dengan cepat yang menggunakan metode integrasi antara CAD (*Computer Aided Design*) dan mesin dengan system *rapid prototyping* seperti *3D Printing* dan *CNC* (Andhy Rinanto, 2017). Sedangkan menurut (Bourell, dkk, 2009) menjelaskan bahwa *rapid prototyping* adalah proses pembentukan benda dari data 3D berupa layer/lapisan, sebagai kebalikan dari proses manufaktur yaitu mengurangi bagian – bagian yang tidak diperlukan.

Publikasi pertama kali tentang teknik *Rapid Prototyping* dilakukan oleh ilmuan Jepang bernama Hideo Kodama. Tahun 1981 Kodama memperkenalkan teknik membentuk model tiga dimensi dari bahan plastik menggunakan

metode menyinari polymer cair dengan sinar ultraviolet (Kodama, 1981). Setelah Kodama mempublikasikan penelitiannya tersebut, perkembangan teknik rapid prototyping terus terjadi, antara lain penelitian tentang membentuk obyek 3D dengan proses yang lebih efisien.

Teknologi *Rapid Prototyping* menjadi taknologi yang bernilai untuk manufaktur. Dengan teknologi ini dapat mewujudkan 5 “any’ : *any material, any part, any quantity, any location* dan *any industrial field*, (Lu, dkk, 2015).



Gambar 2.1 *Rapid Prototyping Model*

Menurut Pratama Dicky (2019), *rapid prototyping* mempunyai beberapa fungsi di dunia Industri serta beberapa kelebihan dan kekurangannya antara lain :

1) *Rapid Prototyping* dalam Dunia Industri

Rapid prototyping sangat berguna dan diperlukan dalam dunia industri, yaitu sebagai berikut :

- a) Meningkatkan efektifitas komunikasi di lingkungan industri atau dengan konsumen.
- b) Mengurangi kesalahan-kesalahan produksi yang mengakibatkan membengkaknya biaya produksi.
- c) Mengurangi waktu pengembangan produk.
- d) Meminimalisasi perubahan-perubahan mendasar.
- e) Memperpanjang jangka pakai produk misalnya dengan menambahkan beberapa komponen fitur atau mengurangi fitur-fitur yang tidak diperlukan dalam desain.

2) Kelebihan dan Kekurangan

a) Kelebihan *Rapid Prototyping* :

- Mengurangi waktu pengembangan produk.
- Meminimalisasi perubahan-perubahan mendasar.
- Meningkatkan efektifitas komunikasi di lingkungan industri atau dengan konsumen.
- Memperpanjang jangka pakai produk, misalnya dengan menambahkan beberapa komponen fitur atau mengurangi fitur-fitur yang tidak diperlukan dalam desain.

b) Kekurangan *Rapid Prototyping*:

- Memerlukan sumber daya yang cukup besar, terutama untuk proyek dengan skala besar.
- Resiko teknis yang tinggi.
- Sistem yang tidak bisa dimodularisasi.
- Memerlukan kerja keras dalam pengembangan.

2.4 3D Printer

Publikasi ilmiah yang dilakukan oleh Kodama (1982) berdampak besar pada teknologi *rapid prototyping*, semakin banyak penelitian tentang metode atau teknik yang digunakan untuk membentuk model dengan lebih cepat. Hampir semua teknologi yang digunakan pada mesin 3D *Printing* saat ini menggunakan salah satu dari beberapa metode dari peneliti-peneliti sebelumnya dan menggabungkannya dengan teknologi zaman sekarang. Teknologi 3D *Printing* merupakan proses pembuatan benda padat dengan 3D *Printer* dengan perintah berupa *file* program. Proses pencetakan objek tiga dimensi ini dikenal sebagai *additive Manufacturing* (Mahamood dkk., 2016).

Pada saat ini Sering kali dibutuhkan produk *single part* dimana hanya membutuhkan satu atau beberapa produk yang digunakan tanpa perlu produksi masal dan bersifat *custom design*, produk yang bersifat *custom design* hanya dapat dibuat dengan mesin 3D *printer* (Andik Aris dkk., 2018).

Penggunaan 3D *Printer* ini relatif mudah dikarenakan hadirnya teknologi ini berbanding lurus dengan perkembangan komputer dan *software* CAD yang dapat

menambah akselerasi berkembangnya beberapa metode diantaranya *additive manufacturing*, *layer manufacturing*, atau *free form manufacturing*.

Pada jurnal (Rinanto, A., Sutopo, W., 2017) didapat rangkuman perkembangan teknologi rapid prototyping beserta penemunya yang terdapat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Perkembangan Penelitian Metode *Rapid Prototyping*

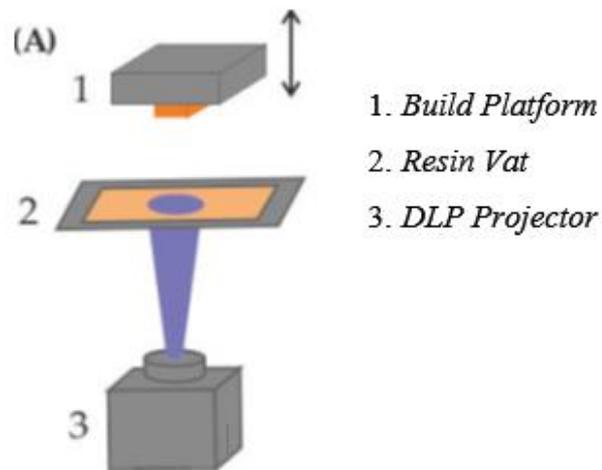
Tahun	Penemu	Nama Metode	Prinsip	Ilustrasi
1951	Munz	<i>Photo-glyph recording</i>	Menggunakan teknik scanning pada sebuah obyek, dari hasil scanning permukaan obyek, layer demi layer polymer ditambahkan hingga terbentuk obyek yang sama.	
1968	Swainson	<i>Photocemia I SFF System</i>	Menggunakan 2 sinar laser sebagai pembentuk obyek berbahan <i>polymer</i> , dengan menggunakan integrasi komputer dan laser sebagai peminda/ <i>scan</i> .	
1971	Ciraud	<i>Powder SFF</i>	Menggunakan media berupa serbuk/ <i>powder</i> , kemudian dengan menggunakan laser memanaskan <i>powder</i> sesuai desain sehingga <i>powder</i> yang terkena panas	
1979	Housholder	<i>Powder laser sintering</i>	Solidifikasi menggunakan proses sintering terhadap material yang berbentuk serbuk.	

			Pembentukan dengan cara memanaskan bagian yang dipilih lapis demi lapis hingga terbentuk produk.	
1981	Kodama	<i>Stereolithography system</i>	Produk padat dibuat dengan cara menyinari polimer pengerasan foto cair dengan <i>ultraviolet</i> , dan menumpuk lapisan padat penampang melintang.	

2.5 DLP (*Digital Light Processing*)

Menurut (Sandy. Bobby, 2019), Teknologi *Digital Light Processing* memiliki kesamaan dengan teknologi *Stereolithografi*. Perbedaan utama antara kedua teknologi terdapat pada sumber cahaya. SLA menggunakan laser sedangkan DLP menggunakan sumber cahaya konvensional untuk mengeras cairan *photopolymer* (resin).

Menurut (Pratama Dicky, 2019) cara kerja DLP Menggunakan sinar *ultraviolet* yang bertujuan untuk membekukan permukaan *photopolymer* dengan petunjuk *format STL*. Proses berlanjut lapisan demi lapisan hingga *part* terbentuk. Dalam teknik SLA, sebuah prototipe dibuat dengan cara menembakkan sinar laser ke permukaan sebuah wadah (*vat*) yang berisi cairan *photopolymer* (resin). Hal ini dikarenakan efek sensitif antara resin dan sinar yang dipancarkan sehingga resin mengeras. Setelah satu layer selesai dikerjakan, sebuah platform digerakkan turun beberapa milimeter, sebuah penyapu (*recoater blade*) membersihkan sisa-sisa resin di permukaan, dan layer berikutnya dikerjakan di atas layer yang telah mengeras sebelumnya, seperti terlihat pada Gambar 2.2. (American Chemical Society, 2017). Adapun hasil cetak dari DLP ini dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Cara Kerja SLA-DLP 3D Printer



Gambar 2.3 Hasil Cetak 3D DLP

2.6 Parameter Proses

Dalam proses pencetakan 3D *printer* terdapat beberapa parameter yang harus diatur sebelum dicetak. Parameter tersebut meliputi *layer thickness*, *bottom exposure*, *exposure time*, *bottom layer*, dan *build direction*. Pada penelitian ini, parameter yang digunakan adalah *layer thickness* dan *exposure time*.

1. *Layer Thickness*

Ketebalan lapisan (*Layer Thickness*) dalam pencetakan 3D adalah ukuran ketinggian lapisan setiap penambahan bahan berturut-turut hingga menjadi bentuk 3D yang diinginkan, pada dasarnya ketebalan lapisan ini bekerja pada sumbu z.

Pada dasarnya setiap 3D *Printer* mempunyai karakteristik masing-masing, hal ini menggambarkan bahwa kemampuan pencapaian *layer thickness* pada 3D

Printer berbeda antara satu dan lainnya. Secara umum, ketebalan lapisan minimum *printer* 3D adalah 16 μm ketinggian lapisan dan maks adalah 150 μm ketinggian lapisan. Anda dapat mengubah pengaturan ini pada semua *printer* 3D sebelum memulai proses pencetakan 3D. Waktu pencetakan yang dibutuhkan dan hasil dari permukaan yang lebih halus juga sangat ditentukan oleh ketinggian lapisan. Berikut ini adalah tabel ringkasan ketebalan lapisan maks dan min untuk berbagai *printer* 3D (Sculpteo, 2019).

Tabel 2.3 Ketebalan lapisan

Printer / Teknologi	Ketebalan lapisan
Pemodelan deposisi berpadu profesional untuk produksi (Stratasys, dll.)	0,17 mm hingga 0,33 mm (0,007 "hingga 0,013")
Pemodelan deposisi menyatu kantor atau fablab (Makerbot, Ultimaker, dll.)	0,10 mm hingga 0,33 mm (0,004 "hingga 0,013")
Sintering laser selektif (SLS) - (EOS, Sistem 3D)	0,060mm hingga 0,150 mm
Deposit resin (Stratasys Polyjet)	0,016mm hingga 0,028 mm
Pengikatan materi (Sistem 3D ZPrinter)	0,1 mm
Stereolithography, DLP, pengerasan resin oleh cahaya atau laser	0,05 mm hingga 0,15 mm
Deposisi lilin oleh kepala piezoelektrik (Solidscape)	0,005 mm hingga 0,10 mm

2. Exposure Time

Exposure time adalah waktu pencahayaan ataupun pemaparan satu lapisan dari objek yang akan dicetak. Istilah ini berlaku untuk *printer* 3D berbasis DLP dan LED / LCD, karena dengan peralatan seperti itu seluruh lapisan terpapar. Paparan sinar yang salah adalah salah satu alasan utama cetakan resin gagal. Terlepas dari alasan seperti hilangnya detail rumit dan akurasi dimensi dan geometris, pengaturan eksposur yang salah akan menghasilkan masalah berbeda lainnya. (Sandy. Bobby, 2019)

2.7 Geometris yang Diukur

Setiap komponen terdiri dari beberapa elemen (bagian-bagian komponen). Elemen tersebut bisa berupa garis, bidang atau profil. Jika elemen itu mempunyai fungsi penting maka harus diberi toleransi, apakah itu toleransi linier, bentuk, orientasi, lokasi atau toleransi simpang putar. Disamping itu elemen tersebut dapat juga dipakai sebagai datum (referensi) pada sistem toleransi. Pada dasarnya elemen

fungsi adalah elemen yang mempunyai kontak dengan elemen lain dan sangat berarti bagi produk setelah digabungkan. Selain itu, elemen dapat dirancang untuk mempunyai nilai estetika dan diberi toleransi, misalnya suatu permukaan harus berbentuk ellips, bola dan halus, walaupun dia tidak menentukan fungsi pada komponen tersebut.

Adapun geometris yang dikur dalam penelitian ini diantaranya :

1. Pangukuran kebulatan (roundness)

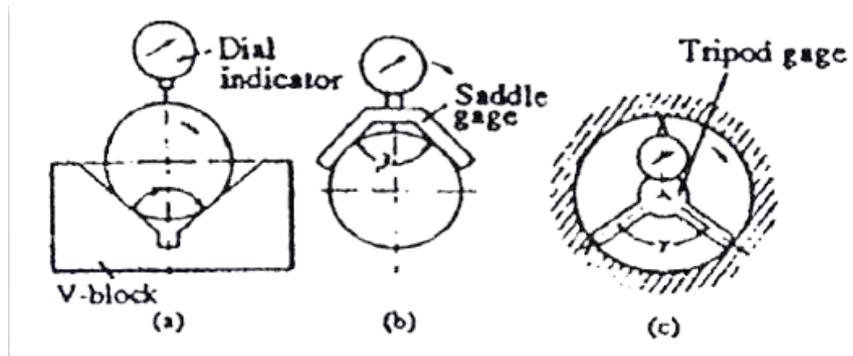
Pada umumnya suatu profil kebulatan dikatakan bulat sempurna bila jarak titik terluar yang terdapat pada bentuk geometrik tersebut memiliki jarak yang sama dalam satu putaran terhadap sumbu putar atau titik pusat. Suatu profil kebulatan dikatakan tidak bulat sempurna jika terjadi perbedaan jarak antara titik-titik pada bentuk geometrik tersebut terhadap titik pusatnya. (ISO/R 1101) mendefenisikan toleransi kebulatan sebagai daerah toleransi pada bidang penampang yang dibatasi oleh dua lingkaran konsentrik dengan selisih radius sebesar harga toleransinya (Rochim T., 2001).

Pengukuran kebulaatan (atau kebulatan) dilakukan dengan cara pengukuran ketinggian terhadap sumbu Z yang sama dengan cara memutar silinder sejauh 360° dalam hal ini alat bantu yang digunakan adalah V-Block. V-Block sendiri berfungsi di mana pergerakan titik terbawah silinder ke arah sumbu Z tertahan guna mengetahui penyimpangan kebulatan pada silinder. Basis magnetik memastikan bahwa blok tidak akan bergerak selama pengukuran. Titik tertinggi pada silinder diletakan *Dial Indicator* dan atur nilai "0" pada *dial indicator* saat pointer menyentuh permukaan bagian atas silinder. Setelah itu, putar benda kerja sebanyak satu putaran atau 360° searah jarum jam, setiap putaran 30° lakukan pencatatan hasil dari penyimpangan kebulatan, semakin memperkecil derajat pencatatan pada putaran maka akan mendapatkan hasil yang lebih teliti. Dalam hal ini penulis melakukan pencatatan setiap 30° yang berarti terdapat 12 kali pencatatan.

Nilai penyimpangan kebulatan dihitung menggunakan metode *least square circle* (LSCi), yang mengevaluasi lingkaran yang paling cocok dengan meminimalkan kesalahan kuadrat. LSCi adalah referensi untuk mengevaluasi kebulatan yang dihitung sebagai perbedaan antara jarak maksimum dan minimum antara LSCi terhadap profil asli. Deviasi sirkularitas positif lokal maksimum

(RONP) dan deviasi sirkularitas negatif lokal maksimum (RON_v) diukur untuk menghitung deviasi sirkularitas puncak-tovalley (RON_t). (Lanzotti Antonio, dkk. 2017)

$$RON_t = RON_P - RON_v$$

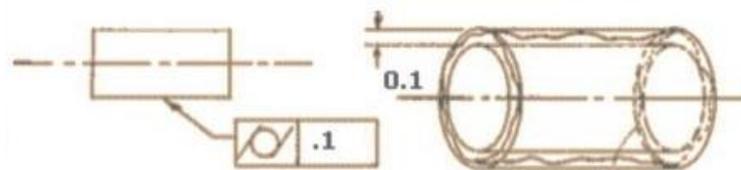


Gambar 2.4 Pengukuran Kebulatan

2. Pengukuran keselindrisan (cylindricity)

Pengukuran keselindrisan adalah lanjutan dari pengukuran kebulatan, yang berarti keseragaman antara titik terluar terhadap titik putar (sumbu) secara simultan pada silinder. Pada pengukuran keselindrisan ini megadopsi dari skema perhitungan kebulatan atau disebut dengan metode *Least Square Cylinder (LSCy)*, dimana pada silinder dilakukan pengukuran kebulatan minimum 3 titik dengan jarak yang telah ditentukan. Semakin rapat jarak titik pengukuran maka akan semakin teliti akurasi pengukuran keselindrisan. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode 5 titik. Hasil dari pengukuran keselindrisan ini didapat dengan menghitung antara deviasi kebulatan maximum dan deviasi kebulatan minimum.

$$Cylindricity = RON_{tmax} - RON_{tmin}$$



Gambar 2.5 Pengukuran keselindrisan

2.8 Dial Indicator

Alat ukur merupakan penentu utama kualitas geometri maupun dimensi produk yang dihasilkan, karena langsung berhubungan dengan proses, sehingga perlu dipelihara untuk mendapatkan umur (life time) yang panjang.



Gambar 2.6 Dial Indicator Knuth

Menurut (Junaidi, 2018) *Dial Indicator* adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kerataan permukaan bidang datar, serta mengukur kerataan permukaan dan kebulatan sebuah poros. Adapun jenis-jenis dial gauge sendiri dibedakan antara skala dan fungsi antara lain :

1. Dial gauge dengan nilai skala 0,01 mm jenis ini dapat digunakan untuk mengukur dengan batas ukuran sampai dengan 10 mm.
2. Dial gauge dengan nilai skala 0,01 mm jenis ini mempunyai batas ukur sampai dengan 1 mm
3. Dial gauge dengan nilai skala 0,0005 mm jenis ini mempunyai batas ukur sampai 0,025 mm.

Pada pengujian ini, standar kalibrasi dan pengukuran yang digunakan adalah JIS B-7503 -1997. Adapun standar pengujian terlampir.

a. Alat bantu Pengukuran

Alat bantu yang digunakan pada pengukuran ini adalah V-Block, V-Block sendiri berfungsi di mana pergerakan titik terbawah silinder ke arah sumbu Z tertahan guna mengetahui penyimpangan kebulatan pada silinder, sehingga benda

dapat berputar dan dapat diketahui penyimpangan pada permukaan paling atas silinder.



Gambar 2.7 V-Block

2.9 *Liquid Photopolymer Resin*

Suatu *photopolymer* atau resin yang diaktifkan oleh cahaya dan berubah sifat dari cair menjadi padat, seringkali dalam daerah *ultraviolet* atau terlihat dari spektrum elektromagnetik. Gambar ilustrasi resin setelah proses pencetakan dengan SLA-DLP 3D *Printer* seperti pada Gambar 2.8 dibawah ini. (Monocure 3D, 2019).



Gambar 2.8 *Liquid photopolymer resin*

2.10 Poros

Poros merupakan bagian *stationer* dan elemen mesin penting yang berputar, biasanya berpenampang bulat dan terpasang pada roda gigi, roda gila, pulley dan elemen pemindah daya lainnya. Dalam perencanaan suatu poros, poros harus dapat menerima beba lentur, tarik, tekan, atau putaran yang bekerja sendiri atau gabungan satu dengan lainnya. Poros sendiri mempunyai beberapa jenis diantaranya *Shaft*,

Axle, Spindle, Line Shaft, Jack Shaft, Flexible dan sebagainya. Bentuk poros sendiri dapat dibedakan menjadi dua macam :

a. Poros Lurus

Poros lurus Adalah sebatang logam yang berpenampang lingkaran dan berfungsi untuk memindahkan putaran atau mendukung beban-beban yang didapat pada poros ini seperti beban puntir dan bending.

b. Poros Bintang

Poros bintang merupakan sebatang logam yang berpenampang bulat dan terdapat sirip seperti bintang. Poros dihubungkan dengan rada gigi tanpa menggunakan pasak

2.11 Design Experiment

Deign eksperiment digunakan untuk mempelajari performance proses atau sistem yang biasanya divisualisasikan seperti kombinasi mesin, metode, orang dan sumber daya lainnya. Karena itu perlu digunakan suatu pendekatan statistik yang diaplikasikan pada proses eksperimen. Desain eksperimen bertujuan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi/data sebanyak-banyaknya yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang akan dibahas. Penelitian juga hendaknya dilakukan seefisien mungkin mengingat waktu, biaya, tenaga dan bahan yang harus digunakan. (Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2017).

2.12 Analysis of Variance (Two-Way ANOVA)

Metode analisis digunakan untuk mengolah data yang telah didapat setelah melakukan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui variasi yang tepat. Menurut (Sugiantoro. Rahmmat, 2019) Pada analisis dilakukan pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay-out* tertentu yang sesuai dengan desain untuk suatu percobaan yang dipilih. dan dilakukan perhitungan serta penyajian data dengan statistik analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.

Analisa data hasil pengukuran keselindrisan pada penelitian ini menggunakan *analysis of variance* (Two-Way ANOVA) dengan metode eksperimen *2 level*

factorial design dan yang akan diinvestigasi yaitu pengaruh hubungan dari 2 faktor terhadap hasil pengukuran keselindrisan (*2 factorial interaction*), dalam menganalisa data digunakan perangkat lunak *Design Expert* versi 10 (*trial license*).

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran keselindrisan selanjutnya dianalisa dengan *analysis of varians*. ANOVA pada dasarnya bertujuan untuk menguji hipotesa (H_0) bahwa rata-rata dari dua atau lebih sebuah populasi adalah sama. Konsep analisis variansi didasarkan pada konsep distribusi F dan dapat diaplikasikan untuk analisis hubungan antara berbagai variabel yang diamati. Dalam perhitungan statistik, analisis variansi sangat dipengaruhi asumsi-asumsi yang digunakan seperti distribusi normal, identik (homogenitas variansi), independen (kebebasan dari kesalahan) dan linieritas model. (Sandy, bobby. 2019).

Asumsi kenormalan distribusi memberi penjelasan terhadap karakteristik data dari tiap kelompok. Asumsi adanya homogenitas variansi menjelaskan bahwa variansi dalam masing-masing kelompok dianggap sama, sedangkan asumsi bebas menjelaskan bahwa variansi masing-masing terhadap rata-ratanya pada setiap kelompok bersifat saling bebas. Jadi secara umum analisis variansi adalah suatu prosedur untuk uji perbedaan *mean* beberapa populasi (lebih dari dua). Untuk mengetahui apakah asumsi tersebut terpenuhi, maka dilakukan uji IIDN (Identik, independen dan distribusi normal). Asumsi tersebut dapat dilihat dengan membuat grafik berdasarkan residual dari selisih data hasil pengujian aktual dan data hasil prediksi, ditunjukkan pada persamaan 2.1. (Dicky Seprianto, Romi Wilza, Iskandar, 2018).

$$\text{Residual} = \text{actual value} - \text{predicted value} \quad (2.1)$$

Two-Way ANOVA (analysis of variance) pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh perbedaan beberapa variabel bebas (faktor) dengan variabel terikat (respon) dan masing-masing variabel memiliki tiga taraf (*level*). Untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap respon, maka pada ANOVA perlu dihitung jumlah-jumlah kuadrat. Adapun langkah-langkah menghitung dengan *Two-Way ANOVA*, yaitu: (Sudjana, 1994 dan Philip J. Ross, 1989)

- a) Asumsikan bahwa data masing-masing dipilih secara acak.
- b) Asumsikan bahwa data masing-masing berdistribusi normal.
- c) Menentukan hipotesis:

- $H_0 : b_1 = b_2 = b_3 = \dots = \mu_a$ (tidak ada efek terhadap perlakuan)
- $H_1 : b_1 \neq b_j$ (terdapat efek terhadap perlakuan)

d) Menentukan jumlah kuadrat total:

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.2)$$

e) Menentukan jumlah kuadrat faktor A:

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} (A_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.3)$$

f) Menentukan Jumlah kuadrat faktor B:

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^{k_B} (B_i^2) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.4)$$

g) Menentukan jumlah kuadrat interaksi faktor A dan B:

$$SS_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^b \left(\frac{(AxB)_i^2}{n_{AxBi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B \quad (2.5)$$

h) Menentukan jumlah kuadrat kemungkinan kesalahan (*error*):

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB} \quad (2.6)$$

i) Menentukan derajat kebebasan total:

$$v_T = N - 1 \quad (2.7)$$

j) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) A:

$$v_A = k_A - 1 \quad (2.8)$$

k) Menentukan derajat kebebasan faktor (*main Effect*) B:

$$v_B = k_B - 1 \quad (2.9)$$

l) Menentukan derajat kebebasan faktor interaksi A dan B:

$$v_{AxB} = (v_A)(v_B) \quad (2.10)$$

m) Menentukan derajat kebebasan kemungkinan kesalahan (*pure error*):

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_{AxB} \quad (2.11)$$

n) Melengkapi tabel hasil uji kekasaran untuk *analysis of variance* dari data yang didapat.

o) Menentukan taraf signifikan (α).

p) Menentukan nilai distribusi F_{TABEL} .

$$F_{TABEL} = F_{(1-\alpha)(v,v_T)} \quad (2.12)$$

q) Jika $F_{HITUNG} (F_0) < F_{TABEL}$, maka hipotesis (H_0) dapat diterima.

r) Menentukan persentase kontribusi faktor terhadap respon:

$$\% \text{ Kontribusi faktor} = \frac{(SS - SS_e)}{SS_T} \quad (2.13)$$

Tabel 2.4 ANOVA Table For Select Factorial Model

Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F ₀
Overall model	SS _{model}	(k _A .k _B)-1	SS _{model} /(k _A .k _B)-1	MS _{model} /MS _E
Main Effect of A	SS _A	v _A	SS _A / v _A	MS _A /MS _E
Main Effect of B	SS _B	v _B	SS _B / v _B	MS _B /MS _E
A x B interaction	SS _{AB}	v _{AxB}	SS _{AB} / v _{AxB}	MS _{AB} /MS _E
Error	SS _E	v _e	SS _E / v _e	
Total	SS _{Total}	v _T		

2.13 Model Desain Eksperimen Faktorial dengan 3 Level

Sesuai dengan prinsip dasar desain eksperimen diberlakukan secara acak sempurna (randomisasi) yaitu desain dimana perlakuan dikenakan sepenuhnya secara acak kepada unit-unit eksperimen dan sebaliknya (Seprianto,2010). Persamaan model yang digunakan untuk 2 faktor dan 3 level yaitu berupa model linier seperti pada persamaan 2.29.

a) Persamaan Model

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_1x_2 + b_2x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_1 + b_{12}x_2x_1 + b_{12}x_1x_2 + b_{12}x_2x_2 \quad (2.14)$$

Dimana ;

Y = variabel respon yang akan dianalisa

b₀ = rata-rata umum atau rata-rata sebenarnya

b₁ = efek dari faktor x₁

b₂ = efek dari faktor x₂

b₁₂ = efek interaksi dari faktor x₁ dan faktor x₂

b) Untuk mendapatkan persamaan model dalam bentuk aktual, kode pada persamaan 2.14, diganti dengan :

$$x_{coded} = \frac{x_{actual} - \bar{x}}{(x_{Hi} - x_{Low})/2} \quad (2.15)$$

Untuk mengetahui *main and interaction effect* dari 3² full factorial design dapat dijelaskan pada tabel 2.5 dan persamaan 2.16 sampai dengan 2.20 :

Tabel 2.5 Main and interaction effects 3² full factorial design

x_1 (main)	x_2 (main)	$x_1 x_2$ (interaction)	y (response)
-	-	+	y_1
+	-	-	y_2
-	+	-	y_3
+	+	+	y_4
-	+	-	y_5
+	-	-	y_6
-	-	+	y_7
+	-	-	y_8
-	+	-	y_9

c) Average Level

$$b_0 = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9}{9} \quad (2.16)$$

d) Main Effect

$$\text{Effect of } x_1 = \frac{y_8 + y_6 + y_4 + y_2 - y_9 - y_7 - y_5 - y_3 - y_1}{2} \quad (2.17)$$

$$\text{Effect of } x_2 = \frac{y_9 + y_5 + y_4 + y_3 - y_8 - y_7 - y_6 - y_2 - y_1}{2}$$

e) Interaction Effect

$$\text{Effect of } x_1 \text{ at high } x_2 = \frac{y_9 - y_8}{2} \quad (2.18)$$

$$\text{Effect of } x_1 \text{ at low } x_2 = \frac{y_3 - y_2}{2}$$

f) Effect of $x_1 x_2$ = average difference

$$\frac{(y_9 - y_8 - y_7 - y_6 - y_5 - y_4 - y_3 - y_2 - y_1)}{2} \quad (2.19)$$

g) Coefficient

$$b_1 = \frac{\text{effect of } x_1}{2} \quad (2.20)$$

$$b_2 = \frac{\text{effect of } x_2}{2}$$

2.14 *Statistical quality control (SQC)*

Kontrol kualitas statistik atau yang sering disebut *statistical quality control* merupakan teknik pengendalian mutu dengan dasar teori statistik yang diperkenalkan oleh Walter A. Shewhart dari *Bell Telephone Laboratories* Amerika pada tanggal 16 Mei 1924. Sehingga teknik yang sering digunakan dalam pengontrolan kualitas disebut Diagram Kontrol Shewhart. Bentuk diagram kontrol ini terdiri dari tiga garis mendatar yaitu batas atas, rata-rata sebagai sentral dan batas bawah. (Sudjana, 1986).