

**PERBANDINGAN KUALITAS KEKASARAN PERMUKAAN
HASIL CNC DAN 3D PRINTER SERTA PENGARUHNYA
TERHADAP PERMUKAAN *INVESTMENT GYPSUM***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Fendi Zulfianto Haris

No. Mahasiswa : 14525052

NIRM : 2014070577

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Bismillahirrohmanirrohiim, demi Allah yang maha mengetahui, dengan ini saya menyatakan, bahwa karya ini merupakan hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang telah saya cantumkan sebagai referensi. Apabila dikemudian hari saya terbukti melanggar peraturan dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual, maka saya bersedia mengikuti hukuman ataupun sanksi apapun sesuai hukum yang diberlakukan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 06 Januari 2022



Fendi Zulfianto Haris

(Fendi Zulfianto Haris)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PERBANDINGAN KUALITAS KEKAKSARAN PERMUKAAN
HASIL CNC DAN 3D PRINTER SERTA PENGARUHNYA
TERHADAP PERMUKAAN *INVESTMENT GYPSUM***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Fendi Zulfianto Haris

No. Mahasiswa : 14525052

NIRM : 2014070577

Yogyakarta, 20 Agustus 2021

Pembimbing



Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M. Eng.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Perbandingan Kualitas Kekasaran Permukaan Hasil CNC dan 3D Printer serta Pengaruhnya Terhadap Permukaan *Investment Gypsum*

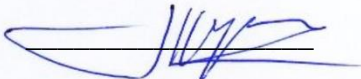
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Fendi Zulfianto Haris
No. Mahasiswa : 14525052
NIRM : 2014070577

Tim Penguji

Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.
Ketua



Tanggal : 05 Januari 2022

Santo Ajie Dewanto, S.T., M. M.
Anggota I



Tanggal : 06 Desember 2021

Rahmat Riza, S.T., M.Eng.
Anggota II



Tanggal : 22 Desember 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Eng. Rasdiyono, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri yang selalu kuat menjalani proses kehidupan dan kepada kedua orang tua sebagai rasa bentuk tanggung jawab sudah disekolahkan.

HALAMAN MOTTO

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama
kesulitan ada kemudahan”*

(QS. Al-Insyirah :5-6)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohim,

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wa barakatuh.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat yang luar biasa memberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PERBANDINGAN KUALITAS KEKASARAN PERMUKAAN HASIL CNC DAN 3D PRINTER SERTA PENGARUHNYA TERHADAP *INVESTMENT CASTING* ” dapat terselesaikan dengan waktu yang ditentukan.

Adapun Laporan Tugas Akhir merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebagai kelulusan strata (S1) Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Dalam proses Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari peranan dan bantuan beberapa pihak. Adapun kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Papa, Mama serta mas dan adik serta keluarga yang selalu memberikan semangat dan memanjatkan doa untuk saya selama kegiatan Tugas Akhir berlangsung.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak saran dan masukan selama penyelesaian laporan ini.
4. Seluruh staff dan karyawan Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
5. Laboran yang telah banyak membantu membimbing penggunaan alat mesin dan alat ukur.
6. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin UII yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan laporan ini.
7. Mas dan adik-adikku tercinta Mas Yefki, Mbak Lucky dan Mbak Harisna yang selalu ada dan memberikan semangat menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Teman-teman Tim Mobil Listrik UASC UII yang telah banyak memberikan kesempatan dan pengalaman untuk berkarya selama ini.
9. Teman #JapCorp Aris, Marrolli, Siddiq, Ramadhan, Adi, Yahya, Naufal, Jendral Dzikri, Haikal, Fauzan yang telah memberikan banyak cerita selama penulis kuliah di Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia
10. Teman Wacana senasib perantauan di Jogja Irvandi, Fadilah, dan Yulhaida yang selalu memberikan dukungan dan perlindungan kepada penulis layaknya keluarga.
11. Kepada Muthia dan Novia yang menjadi teman pertama asal dari satu daerah Riau yang merantau di Jogja, selalu memberikan semangat yang tak pernah lelah.
12. Kepada tim @javafoodie yaitu Mas Dadad, Mbak Satiya dan Kiel yang telah memberikan kesempatan mencoba hal baru dan menjadi penyelamat kehidupan merantau di Jogja.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penulis, baik secara langsung maupun tidak langsung selama melaksanakan studi di Teknik Mesin FTI UII maupun dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
14. *Last but not least, I want to thank me, for beleiving in me, for doing all this hard work, for having days off, for never quitting, for just being me at all the times.*

Semoga Allah Subhanallahu wa Ta'ala senantiasa melimpahkan nikmat dan karuniaNya kepada semua pihak atas segala kebaikan yang telah diberikan. Penulis berharap semoga karya ini bisa memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Aamiin Ya Rabbal'aalamiin,

Wassalamu'alaikum warrahmatullahi wabarakaatuh.

Yogyakarta, 20 Agustus 2021

Penulis,



(Fendi Zulfianto Haris)

ABSTRAK

Industri perhiasan Nasional sangat berdampak bagi perekonomian karena telah mampu bersaing dipasar global. Selama pandemi Covid-19 Indonesia telah mampu meningkatkan produktivitas untuk berbagai negara tujuan. Proses pembuatan perhiasan yang menggunakan logam mulia semakin bertambah dan berkembang. Hal ini harus sejalan dengan pemanfaatan teknologi untuk mengurangi sisa material yang disebabkan oleh proses *cutting*, *grinding*, *polishing* dan *buffing*. Penelitian ini menghasilkan efektifitas pembuatan master perhiasan dengan nilai kekasaran permukaan yang konsisten pada tiap sisinya yaitu hasil permesinan CNC. Master perhiasan hasil 3D print memiliki nilai kekasaran permukaan sangat rendah atau halus pada bagian dinding datar, sedangkan pada bagian dinding tegak nilai kekasarannya sangat besar. Pemilihan metode pembuatan master perhiasan bergantung pada ukuran partikel *gypsum* yang digunakan karena berpengaruh pada hasil kekasaran permukaan *gypsum* yang bersentuhan dengan master perhiasan.

Kata kunci: *Master Perhiasan, CNC, 3D Printer, Kekasaran Permukaan*

ABSTRACT

The National jewellery industry has had a huge impact on the economy because it has been able to compete in the global market. During the Covid-19 pandemic, Indonesia has been able to increase productivity for various destination countries. The process of making jewelry using precious metals is increasing and developing. This must be in line with the use of technology to reduce material waste caused by the cutting, grinding, polishing and buffing processes. This study resulted in the effectiveness of making jewelry masters with consistent surface roughness values on each side, namely the result of CNC machining. The 3D printed jewelry master has a very low or smooth surface roughness value on a flat wall, while on an upright wall the roughness value is very large. The selection of the jewelry master manufacturing method depends on the size of the

gypsum particle used because it affects the surface roughness of the gypsum in contact with the jewelry master.

Keywords: Jewelry Master, CNC, 3D Printer, Surface Roughness

DAFTAR ISI

Pernyataan Keaslian	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Pembuatan Perhiasan	4
2.3 CAD (<i>Computer Aided Design</i>).....	5
2.4 CAM (<i>Computer Aided Manufacturing</i>)	5
2.4.1 Art CAM.....	6
2.5 3D Print SLA	6
2.6 <i>Gypsum</i>	7
2.7 Kekasaran Permukaan.....	7
Bab 3 Metode Penelitian	9
3.1 Alur Penelitian	9
3.2 Peralatan dan Bahan.....	10
3.2.1 Peralatan	10

3.2.2	Bahan	10
3.3	Kriteria Desain	10
3.4	Proses Perancangan.....	11
3.4.1	Sketsa Desain Master	11
3.4.2	Desain 3D	11
3.4.3	Simulasi Permesinan CNC dan Pembuatan G-Code	12
3.4.4	Simulasi 3D Print	13
3.5	Proses Permesinan	14
3.5.1	Proses Permesinan CNC.....	14
3.5.2	Proses 3D Print SLA	15
3.6	Proses Poles	16
3.7	Pembuatan Cetakan <i>Gypsum</i>	16
3.8	Pengukuran Kekasaran Permukaan.....	17
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	19
4.1	Hasil Permesinan	19
4.1.1	Permesinan CNC	19
4.1.2	Permesinan <i>3D Print</i> SLA.....	22
4.2	Pembahasan Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan	25
4.2.1	Kekasaran Permukaan Spesimen Uji.....	25
4.2.2	Kekasaran Permukaan Hasil CNC.....	27
4.2.3	Kekasaran Permukaan Hasil 3D Print SLA.....	30
4.2.4	Kekasaran Permukaan <i>Gypsum</i>	33
4.3	Perbandingan Kekasaran Permukaan Spesimen Uji dengan <i>Investment Gypsum</i>	37
Bab 5	Penutup.....	38
5.1	Kesimpulan	38
5.2	Saran	38
Daftar Pustaka	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Alat dan Fungsi	10
Tabel 3-2 Bahan.....	10
Tabel 3-3 <i>Material Properties eSUN Bio-based Resin</i>	15
Tabel 3-4 Parameter Mesin 3D Print SLA	15
Tabel 3-5 Parameter Pencampuran <i>Gypsum</i>	16
Tabel 4-1 Parameter Permesinan CNC Spesimen Uji.....	19
Tabel 4-2 Parameter Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama.....	20
Tabel 4-3 Parameter Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua	21
Tabel 4-4 Parameter 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama	23
Tabel 4-5 Parameter 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua	24
Tabel 4-6 Hasil Pengukuran Kekasaran Spesimen Uji.....	27
Tabel 4-7 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Peemesinan CNC Master Perhiasan	29
Tabel 4-8 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil 3D Print SLA.....	33
Tabel 4-9 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan <i>Gypsum</i>	36
Tabel 4-10 Perbandingan Kekasaran Permukaan Spesimen Uji dengan <i>Investment Gypsum</i>	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Tahapan Pembuatan Perhiasan (Puspaputra, 2012)	4
Gambar 2-2 Cara Kerja 3D Print SLA	7
Gambar 2-3 Bentuk Profil Kekasaran Permukaan (Rochim, 2001)	8
Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian.....	9
Gambar 3-2 Desain 3D Spesimen Uji	11
Gambar 3-3 Tampak Atas Desain 3D Master Perhiasan	12
Gambar 3-4 Tampak <i>Isometric</i> Desain 3D Master Perhiasan	12
Gambar 3-5 Tampak Atas Simulasi Permesinan ArtCAM	13
Gambar 3-6 Tampak <i>Isometric</i> Simulasi Permesinan ArtCAM.....	13
Gambar 3-7 Simulasi 3D Print	14
Gambar 3-8 Proses Permesinan CNC.....	14
Gambar 3-9 Proses 3D Print SLA	16
Gambar 3-10 Proses <i>Vacuum</i>	17
Gambar 3-11 Alat Ukur Surfcom Touch 50.....	18
Gambar 4-1 Hasil Permesinan CNC Spesimen Uji.....	20
Gambar 4-2 Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama.....	21
Gambar 4-3 Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua	22
Gambar 4-4 Hasil 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama	23
Gambar 4-5 Hasil 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua	24
Gambar 4-6 Arah Titik Ukur Permukaan Spesimen Uji	25
Gambar 4-7 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Uji Akrilik	26
Gambar 4-8 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Uji Permesinan CNC	26
Gambar 4-9 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Uji Permesinan CNC + Poles	27
Gambar 4-10 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama Titik Area Ukur Pertama.....	28
Gambar 4-11 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama Titik Area Ukur Kedua	28

Gambar 4-12 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua Titik Area Ukur Pertama	29
Gambar 4-13 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua Titik Area Ukur Kedua	29
Gambar 4-14 Arah Ukur Titik Pertama Hasil 3D Print SLA	30
Gambar 4-15 Arah Ukur Titik Kedua Hasil 3D Print SLA	30
Gambar 4-16 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama Titik Area Ukur Pertama	31
Gambar 4-17 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama Titik Area Ukur Kedua	31
Gambar 4-18 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua Titik Area Ukur Pertama	32
Gambar 4-19 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua Titik Area Ukur Kedua	32
Gambar 4-20 Arah Titik Area Ukur Permukaan <i>Gypsum</i>	33
Gambar 4-21 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan <i>Gypsum</i> Akrilik Tanpa <i>Vacuum</i>	34
Gambar 4-22 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan <i>Gypsum</i> Permesinan CNC Tanpa <i>Vacuum</i>	34
Gambar 4-23 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan <i>Gypsum</i> Permesinan CNC+Poles Tanpa <i>Vacuum</i>	35
Gambar 4-24 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan <i>Gypsum</i> Akrilik dengan <i>Vacuum</i>	35
Gambar 4-25 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan <i>Gypsum</i> Permesinan CNC dengan <i>Vacuum</i>	36
Gambar 4-26 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan <i>Gypsum</i> Permesinan CNC+Poles dengan <i>Vacuum</i>	36

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri perhiasan merupakan salah satu sektor andalan dalam memberikan kontribusi terhadap perekonomian nasional melalui capaian nilai eksportnya. Hal ini lantaran produk perhiasan dalam negeri dinilai mampu berdaya saing global dan memiliki nilai tambah tinggi.

Selama tahun 2020, ditengah masa pandemi Covid-19, ekspor perhiasan Indonesia mengalami peningkatan hingga 24,21%. Negara tujuan utama ekspor antara lain Singapura, Swiss, Hongkong, Jepang, Amerika Serikat, Australia dan Arab Saudi. Produsen perhiasan di Indonesia pun telah menerapkan teknologi industry 4.0 untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas produknya (www.kemenlu.go.id).

Pembuatan perhiasan dengan material logam mulia secara konvensional setelah proses casting yaitu dengan melakukan proses cutting, grinding, polishing dan buffing. Proses tersebut menghasilkan *scrap* yang cukup banyak dengan berbagai bentuk dan ukuran (Kaspin, dkk., 2021).

Untuk mengurangi jumlah *scrap* yang dihasilkan maka diperlukan pembuatan master perhiasan dengan kualitas kekasaran permukaan yang baik. Penulis mencoba memanfaatkan kemajuan teknologi dan permesinan CNC dan 3D print untuk pembuatan master perhiasan. Diharapkan bisa mengetahui teknologi yang paling efektif pada pembuatan master sehingga dapat meningkatkan produktivitas untuk memenuhi permintaan pasar perhiasan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diambil suatu rumusan masalah adalah bagaimana kualitas permukaan hasil permesinan CNC dengan 3D Print serta pengaruhnya terhadap permukaan *investment gypsum*.

1.3 Batasan Masalah

Agar masalah yang diteliti tidak menyimpang dari pembahasan utama, maka permasalahan hanya dibatasi pada:

1. Material permesinan CNC yaitu akrilik tebal 10mm dan 5mm
2. Material 3D print yaitu resin Bio PLA
3. Pembuatan desain menggunakan *software* Solidworks
4. Simulasi dan pembuatan G-Code menggunakan ArtCAM JewelSmith
5. Simulasi 3D print menggunakan *software* Photon Workshop
6. Tidak membahas perancangan fixture untuk proses permesinan
7. Tidak membahas kekuatan material
8. Hasil akhir adalah master perhiasan

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan hasil permesinan CNC dan 3D Print master perhiasan serta pengaruhnya terhadap permukaan *investment gypsum*, mengamati setiap kendala yang terjadi pada saat proses pengerjaan.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat penulisan ini dibagi menjadi beberapa kepentingan, yaitu:

1. Mendapatkan skill mahasiswa untuk menjadi terampil, profesional dan bertanggung jawab terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta dapat mengaplikasikan teori yang telah didapatkan di waktu perkuliahan.
2. Dapat memberikan pemahaman bagi mahasiswa mengenai topik yang berkaitan dengan proses permesinan CNC.
3. Dapat memberikan pemahaman bagi mahasiswa mengenai topik yang berkaitan dengan proses 3D Print.
4. Dapat memberikan pemahaman penggunaan alat ukur kekasaran permukaan benda.
5. Dapat memberikan pemahaman proses pembuatan master perhiasan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan dibuat secara terstruktur dan dibahas bab per bab untuk mempermudah menguraikan permasalahan dan pembaca mudah memahami. Adapun pembagian pembahasan dibagi menjadi 5 bab yaitu: Bab I membahas tentang permasalahan yang harus dicari solusinya dan kenapa penelitian ini harus dilakukan. Bab II membahas tentang landasan dasar-dasar teori yang digunakan menyelesaikan permasalahan. Bab III membahas tentang metode dan proses penelitian yang digunakan. Bab IV membahas tentang data yang didapat dari penelitian. Bab V membahas tentang kesimpulan dan saran yang didapatkan dari penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Secara garis besar tema dari penelitian ini tentang pembuatan master brass perhiasan yang sudah dilakukan oleh beberapa alumni Teknik Mesin UII. Penelitian sebelumnya sudah sampai tahap produksi dan penjualan. Akan tetapi hasil akhir pembuatan master tidak diketahui nilai kekasaran permukaan karena keterbatasan alat ukur yang ada di Laboratorium.

Kualitas kekasaran permukaan master perhiasan yang baik merupakan hal yang penting untuk mengurangi proses *cutting*, *grinding*, *polishing*, dan *buffing* hal ini juga untuk meningkatkan kualitas relief (Puspaputra, 2017).

2.2 Pembuatan Perhiasan

Perhiasan yang dibuat menggunakan metode *investment casting* dapat dilihat pada Gambar 2-1 Tahapan Pembuatan Perhiasan.



Gambar 2-1 Tahapan Pembuatan Perhiasan (Puspaputra, 2012)

Pada proses pembuatan perhiasan master merupakan komponen penting. Master yang berkualitas baik dari segi permukaan maupun geometri. Pembuatan master secara traditional membutuhkan orang yang memiliki kemampuan khusus.

Pada saat ini pembuatan master menggunakan mesin CNC atau mesin 3D Print. Master yang dibuat menggunakan 3D print dapat membuat bentuk yang rumit dan menghasilkan relief yang sangat detail. Hasilnya tergantung ketebalan pada tiap lapisan, semakin tipis semakin bagus kualitas permukaannya, tetapi semakin lama juga waktu yang diperlukan. Pada mesin CNC bisa juga menyelesaikan bentuk yang rumit, tergantung pada jumlah *axis* mesin, *jig* dan strategi permesinan yang dibuat oleh operator mesin (Puspaputra, 2017).

2.3 CAD (*Computer Aided Design*)

CAD (*Computer Aided Design*) adalah sebuah sistem desain yang digunakan untuk merancang dan mengembangkan suatu produk (Ningsih, 2005).

Program CAD dapat melakukan *finite element analysis*, *heat transfer analysis*, *stress analysis*, *dynamic simulation of mechanisms*, *fluid dynamic analysis* dan lain-lain. berbagai macam program CAD akan berbeda satu dengan yang lain karena product line, manufacturing process, dan customer market yang berbeda (Groover & Zimmers, 1984).

2.4 CAM (*Computer Aided Manufacturing*)

CAM (Computer Aided Manufacturing) merupakan perangkat lunak/software yang menghubungkan CAD untuk mengkonversi menjadi produk yang terhubung pada komputer untuk memfasilitasi dan mengotomatisasi proses manufaktur seperti merancang, mengatur, mengontrol, perencanaan, pelacakan material hingga otomatisasi tambahan manajemen (Setyoadi & Latifah, 2015).

Menurut Ghang dan Dange 2013, Sistem CAM dikategorikan menjadi 2 jenis yaitu:

1. *Subtractive prototyping* merupakan proses pergerakan mesin untuk memotong atau mengurangi benda kerja sesuai dengan bentuk desain yang diperlukan. Proses dapat berupa milling, tuning, atau drilling.
2. *Additive Prototyping* merupakan proses pemesinan dengan cara menambahkan material bahan per lapisan. Sehingga bentuk yang dihasilkan merupakan kumpulan layer yang tersusun ke atas atau sering disebut 3D Print.

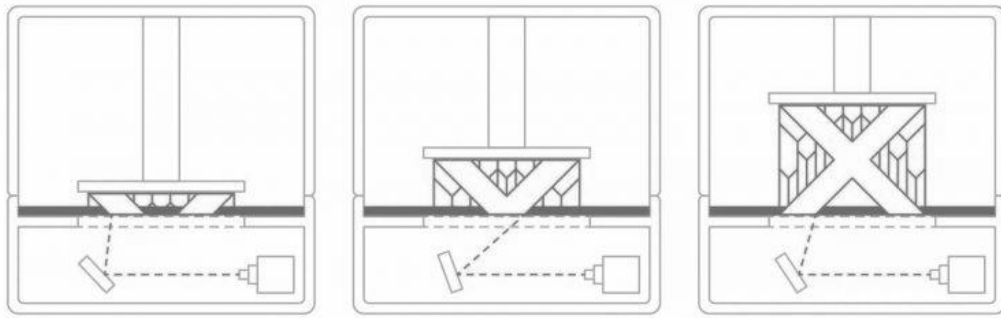
2.4.1 Art CAM

ArtCAM (Artistic Computer Aided Manufacturing) adalah software CAD/CAM yang diciptakan perusahaan Delcam yang menjadi solusi untuk pembuatan desain produk seni. ArtCAM memiliki keunggulan untuk membangkitkan relief 3D sebuah gambar atau foto secara cepat, sehingga memiliki potensi besar dalam memberikan nilai tambah pada desain produk yang membutuhkan seni artistik.

2.5 3D Print SLA

SLA atau *Stereolithography* adalah salah satu metode *additive manufacturing* yang dikembangkan pada tahun 1986 (Melchels, Feijen & Grijpma, 2010). Menggunakan sinar UV sebagai pemicu reaksi *photopolymer* yang mengakibatkan cairan resin menjadi keras. Cara kerjanya yaitu bidang kerja diletakkan pada cairan photopolymer (resin) dan di posisikan setinggi kurang lebih 1 layer ketinggian dari permukaan cairan. Lalu sinar UV membuat layer selanjutnya dengan memadatkan resin sesuai jalur. Sinar UV dipantulkan oleh kaca yang disebut dengan galvos. Dari pantulan sinar UV tadi yang membentuk sebuah pola dan menjadi padat. Proses tersebut akan berulang sampai bentuk selesai. Hasil akhirnya objek tadi perlu diproses lebih lanjut agar didapatkan hasil yang sempurna misalnya pembersihan support yang menempel pada benda kerja. Pembentukan cairan resin agar menjadi objek yang solid melalui proses photopolymerization. Sinar UV yang difokuskan tadi membentuk pola menjadi padat dan ikatan yang kuat. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2-2 Cara Kerja 3D Print SLA.

Penggunaan 3D Print SLA untuk membuat master pada industri *jewelry* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan cara konvensional diantaranya: kekasaran permukaan halus, waktu proses pembuatan lebih singkat, penyusutan hasil 3D Print hanya sedikit dari ukuran desain 3D (Wannarumon, 2018).



Gambar 2-2 Cara Kerja 3D Print SLA

(www.creativo3dprintjogja)

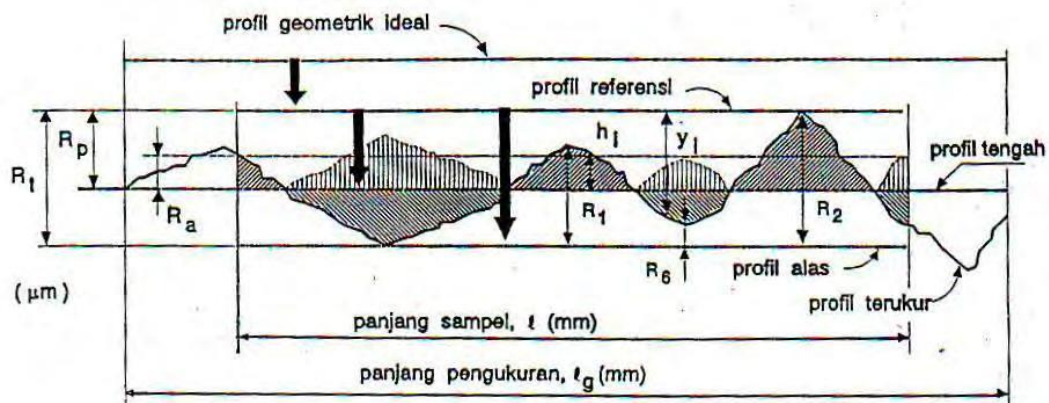
2.6 *Gypsum*

Gypsum adalah mineral *hidrous kalium sulfat* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang terjadi di alam, berbentuk endapan sedimen mendatar dan dekat dengan permukaan bumi dan memiliki sebaran yang luas. *Gypsum* sering berasosiasi dengan batu kapur, batu serpih, batu pasir, marmer, dan lempung. Mineral lain-lain yang selalu berasosiasi dengan gipsum ialah *anhidrit* (CaSO_4), mineral sulfat sejenis *gypsum* tetapi tidak mengandung kristal H_2O . Sebagian besar endapan gipsum terbentuk dari air laut dan hanya sedikit yang berasal dari endapan danau yang mengandung garam. *Gypsum* juga dapat terjadi dari hasil kegiatan vulkanik, gas H_2S dari *fumarol* bereaksi dengan kapur dan hasil pelapukan batuan (Purnomo, 2017).

Penggunaan *gypsum* sebagai cetakan pada proses pengecoran logam perhiasan sudah dilakukan sejak lama. Karena sifat material *gypsum* yang sangat baik untuk mengikat cairan logam dengan suhu rendah ($<1200^\circ\text{C}$) seperti logam paduan emas dan perak (Guler & Cigdem, 2011).

2.7 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah suatu bentuk profil gelombang pendek yang tidak teratur dan terjadi karena getaran pisau (pahat) potong atau proporsi yang kurang tepat dari pemakanan (*feed*) pisau potong dalam proses pembuatannya. Profil kekasaran permukaan lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar



Gambar 2-3 Bentuk Profil Kekasaran Permukaan (Rochim, 2001)

Profil-profil tersebut dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi arah tegak dan arah memanjang. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu :

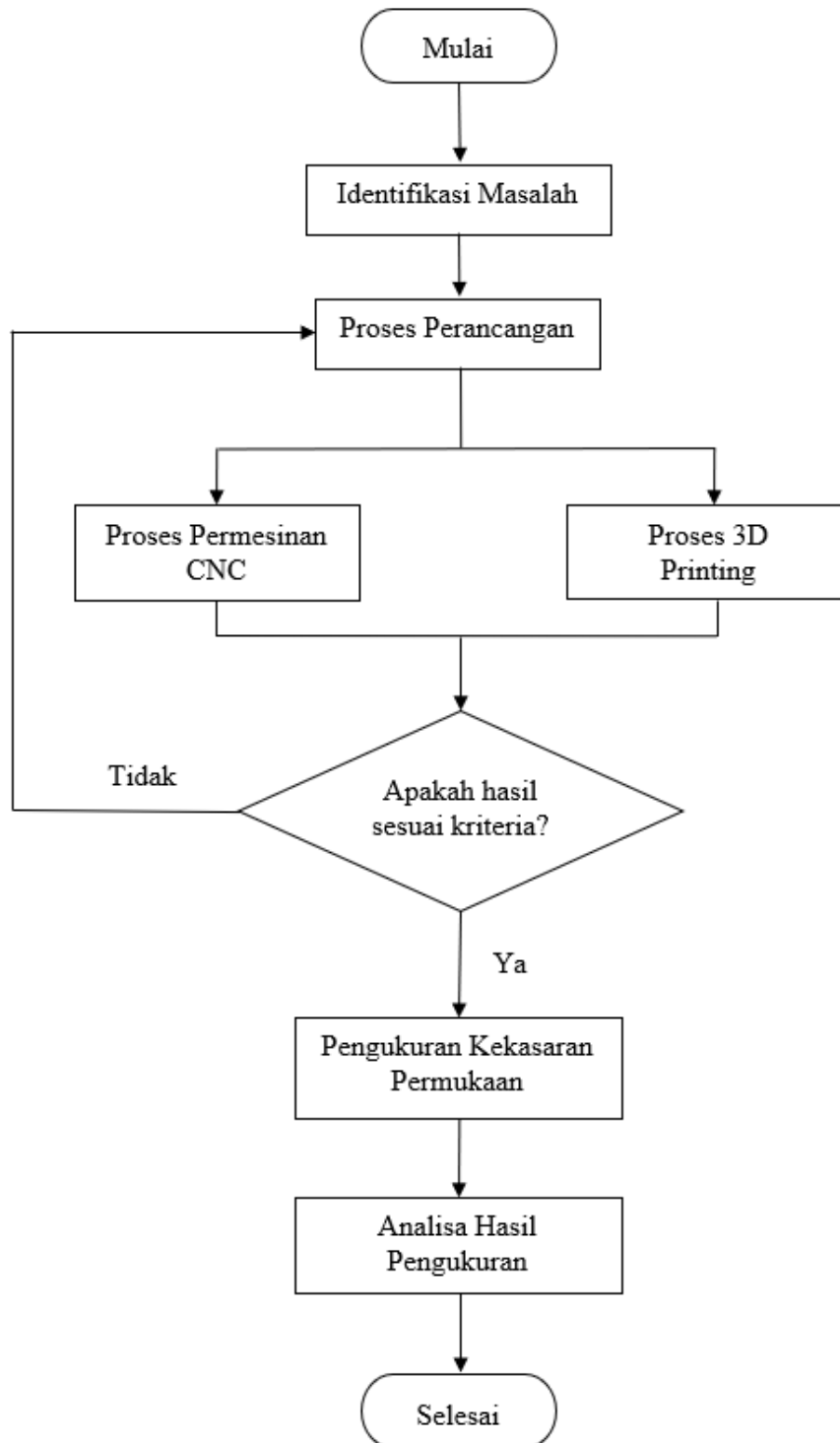
1. Kekasaran total (*peak to valley height/total height*), $R_t(\mu\text{m})$ adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
2. Kekasaran perataan (*depth of surface/peak to mean line*), $R_p(\mu\text{m})$ adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik (*mean roughness index/center line average, CLA*), $R_a(\mu\text{m})$ adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
4. Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square height*), $R_q(\mu\text{m})$ adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.
5. Kekasaran total rata-rata, $R_z(\mu\text{m})$ merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

Parameter kekasaran yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan benda adalah kekasaran rata-rata (R_a). Nilai R_a lebih sensitif terhadap perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada proses permesinan (Rochim, 2001).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini beserta fungsinya dapat dilihat pada Tabel 3-1 Alat dan Fungsi.

Tabel 3-1 Alat dan Fungsi

No	Alat	Fungsi
1	109 CNC TM UII	Membuat master perhiasan
2	Anycubic Photon Mono X	Membuat master perhiasan
3	Surfcom Touch 50	Mengukur kekasaran permukaan

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3-2 Bahan.

Tabel 3-2 Bahan

No	Nama Bahan
1	Akrilik tebal 10 mm dan 5mm
2	Resin 3D Print Esun Bio-based Resin
3	<i>Gypsum Rapido Cast</i>

3.3 Kriteria Desain

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan terkait desain seperti ukuran dan kemampuan mesin CNC dan mesin 3D Printer dalam membuat benda kerja antara lain:

1. Ukuran terluar bros adalah berdiameter 50 mm dan tebal 7,2 mm

Ukuran tersebut mengacu pada website yang terdapat bros berlokasi di Kota Gede yang mempunyai 2,5 cm – 6,5 cm dan lebar 2,3 cm – 5 cm.

2. Ukuran dinding pengait permata adalah 0,4 mm
3. Mempunyai bentuk tanaman maupun hewan

Mengacu dari beberapa situs perhiasan ternama yang menjadi panutan dalam desain perhiasan seperti Tiffany & Co (Amerika), Buccellati (Italia), Van clef & arpels (Perancis) dan mikimoto (japan) semua desain bros terdapat bentuk tanaman maupun hewan

4. Terdapat bagian yang digunakan untuk memasang peniti

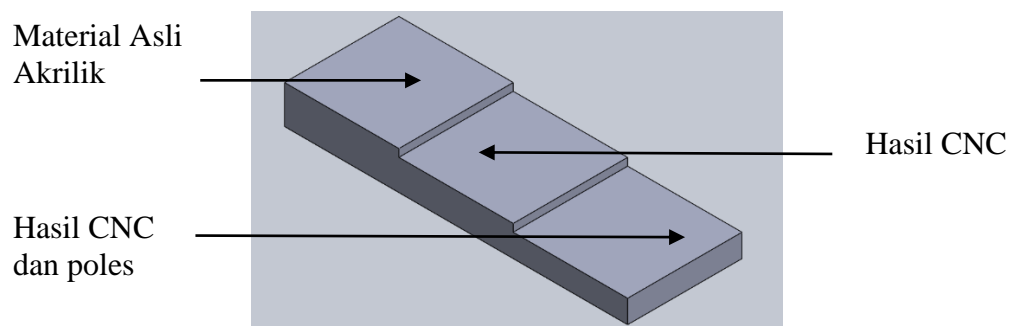
3.4 Proses Perancangan

3.4.1 Sketsa Desain Master

Sketsa desain dibuat dengan memperhatikan aspek-aspek yang tercantum dalam dasar teori yaitu keseimbangan, penekanan, gerakan, harmoni dan kontras..

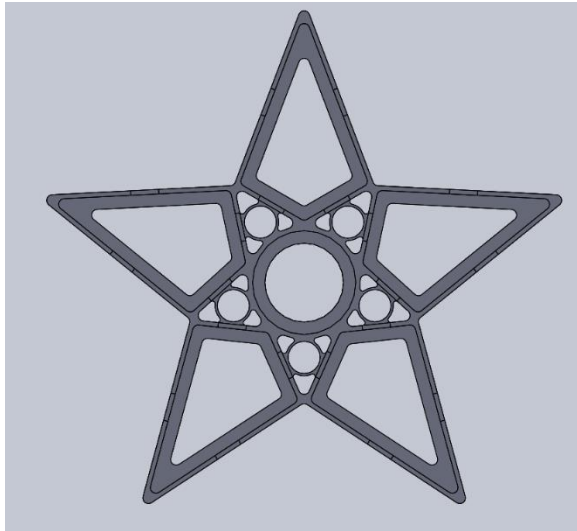
3.4.2 Desain 3D

Menggunakan software 3D Solidworks untuk pembuatan spesimen uji dengan bentuk sederhana berupa persegi panjang dengan 3 tingkat ketinggian dari bagian bawah. Hal ini dilakukan untuk memberikan batas yang membedakan hasil akhir kekasaran permukaan, yaitu permukaan material akrilik, permukaan hasil CNC dan permukaan hasil CNC yang dipoles. Spesimen uji dibuat untuk mengetahui tLebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3-2 Desain 3D Spesimen Uji.

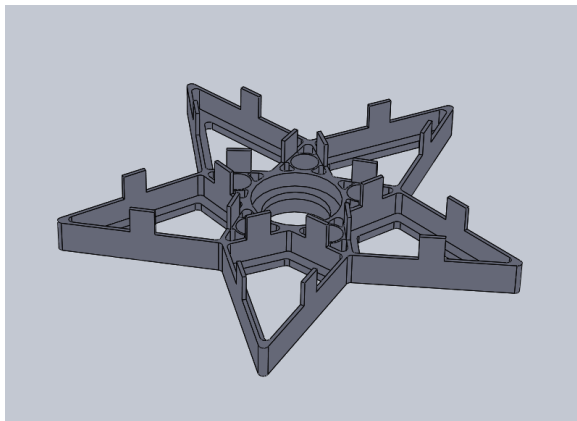


Gambar 3-2 Desain 3D Spesimen Uji

Desain 3D master perhiasan dengan membuat garis untuk 1 buah permata. Selanjutnya membuat pola melingkar dengan jumlah total 5 permata dengan 1 buah permata ditengah



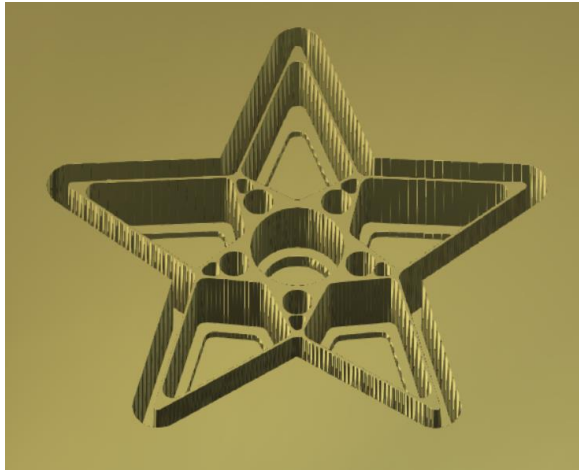
Gambar 3-3 Tampak Atas Desain 3D Master Perhiasan



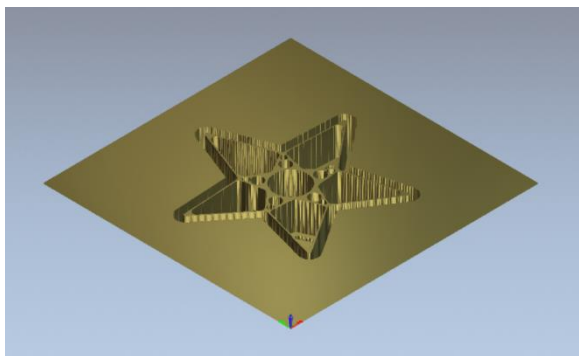
Gambar 3-4 Tampak *Isometric* Desain 3D Master Perhiasan

3.4.3 Simulasi Permesinan CNC dan Pembuatan G-Code

Proses ini dilakukan menggunakan *software* ArtCAM . Simulasi permesinan digunakan untuk melihat produk apakah bisa dilakukan machining dengan mesin CNC atau tidak. Pada proses ini menggunakan fitur *2D toolpath* yang mengacu pada bentuk sketsa dengan ekstensi file .DXF. Selanjutnya membuat toolpath sesuai dengan ukuran mata pahat yang dipakai dan strategi permesinan. Proses simulasi ini dilakukan pada semua proses permesinan. Untuk memperjelas dapat dilihat pada Gambar 3-4 Simulasi Permesinan ArtCAM.



Gambar 3-5 Tampak Atas Simulasi Permesinan ArtCAM



Gambar 3-6 Tampak *Isometric* Simulasi Permesinan ArtCAM

3.4.4 Simulasi 3D Print

Proses ini dilakukan menggunakan *software* Photon Workshop. Dimulai dengan import file 3d dengan ekstensi file .STL ke area kerja. Selanjutnya mengatur posisi dan menambahkan support sesuai kebutuhan pada bagian master untuk memberikan jarak ke base plate 3D Printer dengan tujuan mempermudah pelepasan produk master. Disini diatur juga strategi yang disesuaikan dengan kebutuhan. Ekstensi file yang digunakan untuk menjalankan mesin 3D print yaitu .pwmx. Untuk memperjelas dapat dilihat pada Gambar 3-5 Simulasi 3D Print.



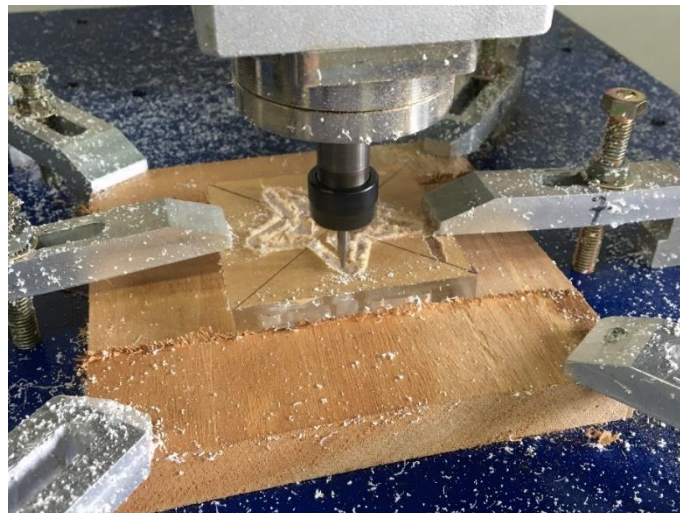
Gambar 3-7 Simulasi 3D Print

3.5 Proses Permesinan

Pembuatan master perhiasan menggunakan jenis mesin yang berbeda yaitu mesin CNC 3-Axis dan mesin 3D Print SLA yang tersedia di Laboratorium.

3.5.1 Proses Permesinan CNC

Proses permesinan pada mesin CNC 3-Axis terbagi menjadi 2 sisi, yaitu sisi atas dan sisi bawah yang dikerjakan secara manual. Pada proses pembalikan benda kerja terjadi kemungkinan pergeseran posisi *zero* pada sumbu X dan Y, sehingga sebelum menjalankan program permesinan yang telah dibuat sebelumnya harus menentukan titik koordinat zero pada benda kerja.



Gambar 3-8 Proses Permesinan CNC

3.5.2 Proses 3D Print SLA

Pemilihan resin menggunakan jenama eSUN dengan jenis resin *bio-based PLA* yang memiliki *material properties* ditunjukkan pada Tabel 3-3 *Material Properties eSUN Bio-based Resin*.

Tabel 3-3 Material Properties eSUN Bio-based Resin

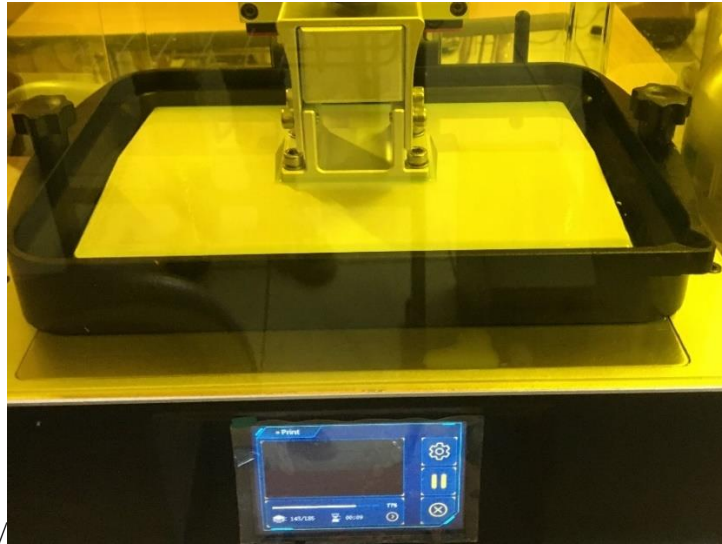
<i>Properties</i>	<i>Value</i>
<i>Viscosity (mPa.s)</i>	100-270
<i>Density (g/cm³)</i>	1,07-1,10
<i>Tensile Strength (MPa)</i>	24-55
<i>Elongation at Break (%)</i>	24-37
<i>Flexural Strength (MPa)</i>	25-61
<i>Impact Strength (J/m)</i>	27-40
<i>Hardness (Shore D)</i>	75-82

Berdasarkan situs www.esun3d.com parameter pengaturan mesin 3D print SLA dengan jenama Anycubic Photon Mono X untuk mendapatkan hasil yang optimal ditunjukkan pada Tabel 3-4 Parameter Mesin 3D Print SLA.

Tabel 3-4 Parameter Mesin 3D Print SLA

<i>Settings</i>	<i>Value</i>
<i>Exposure Time (Second)</i>	2-3
<i>Bottom Layer Count</i>	5-8
<i>Bottom Exposure Time (Second)</i>	40-60
<i>Lifting Distance (mm)</i>	7,5-8
<i>Lift Speed (mm/sec)</i>	1,5-3
<i>Retract Speed (mm/sec)</i>	2,5-3,5

Proses 3D print SLA diawali dengan menuangkan cairan resin yang sebelumnya sudah disaring ke wadah penampungan pada mesin. File berekstensi .pwmX yang sebelumnya telah dibuat menggunakan software Photon Workshop dimasukkan ke dalam mesin menggunakan *flash disk* yang selanjutnya dimulai menjalakan proses 3D Print SLA.



Gambar 3-9 Proses 3D Print SLA

3.6 Proses Poles

Spesimen uji pada bagian permukaan terendah diampelas menggunakan *sand paper* ukuran 800CW dan 1200CW. Selanjutnya dipoles menggunakan pasta Autosol dengan melakukan gerakan melingkar menggunakan *cotton buds* sebagai media pengusap sampai hasil akhir mengkilap.

3.7 Pembuatan Cetakan Gypsum

Bubuk *gypsum* yang digunakan khusus untuk pembuatan cetakan perhiasan dengan jenama Rapido Cast dengan parameter proses pencampuran dengan bahan pelarut air yang tertera pada kemasan dapat dilihat pada Tabel 3-5 Parameter Pencampuran *Gypsum*.

Tabel 3-5 Parameter Pencampuran Gypsum

<i>Vacuum Mix</i>	4 menit
<i>Manual Mix</i>	3 menit
<i>Water Ratio</i>	40%
<i>Vibration Time</i>	30-40 detik
<i>Work Time</i>	11 menit
<i>Setting Time</i>	17 menit

Pembuatan cetakan *gypsum* menggunakan hasil permesinan spesimen uji untuk memudahkan proses pengukuran kekasaran permukaan *gypsum* sebagai alternatif karena ukuran master perhiasan sangat kecil dan berada di dalam cetakan, ketika dibelah akan hancur sehingga tidak dapat diukur kekasaran permukaannya. Hasil permesinan spesimen uji yang sudah dipoles diletakkan pada wadah cetakan. *Gypsum* bubuk dicampur dengan air terlebih dahulu dan diaduk sampai terbentuk adonan. *Gypsum* yang digunakan sebesar 250 gram dengan penambahan air 40% dari berat *gypsum* yaitu 100 gram air. Spesimen uji yang sudah dipoles diletakkan pada wadah penampung *gypsum* dengan 2 perlakuan pada saat proses pencetakan. Yang pertama setelah dituang ke wadah cetakan langsung dikeringkan. Yang kedua langsung dituang ke wadah cetakan yang selanjutnya dilakukan proses *vacuum* sampai tidak ada gelembung udara seperti pada Gambar 3-10 Proses *Vacuum*.



Gambar 3-10 Proses *Vacuum*

3.8 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Master perhiasan yang telah dibuat diukur kekasaran permukaannya menggunakan alat Surfcom Touch 50 yang memiliki ketelitian $0,0001 \mu\text{m}$ dan panjang area pengukuran sebesar 50mm. Master perhiasan diletakkan pada meja alat ukur yang kemudian *probe* didekatkan perlahan hingga menyentuh

permukaan benda yang akan diukur. Kekasaran permukaan yang diukur yaitu spesimen uji bahan akrilik, gypsum hasil cetak spesimen uji, master perhiasan hasil permesinan CNC, master perhiasan hasil 3D print dan master perhiasan yang dibuat oleh profesional. Pada master perhiasan hasil permesinan CNC dengan 3D print titik area yang diukur yaitu pada dinding datar dan dinding tegak.



Gambar 3-11 Alat Ukur Surfcom Touch 50

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Permesinan

4.1.1 Permesinan CNC

Permesinan menggunakan mesin CNC dilakukan sebanyak satu kali pada spesimen uji dan dua kali pada master perhiasan. Parameter dan strategi permesinan yang dibuat pada simulasi software ArtCAM untuk master perhiasan yang diubah adalah nilai *stepover* dan *stepdown*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kemungkinan perbedaan kekasaran permukaan pada master perhiasan.

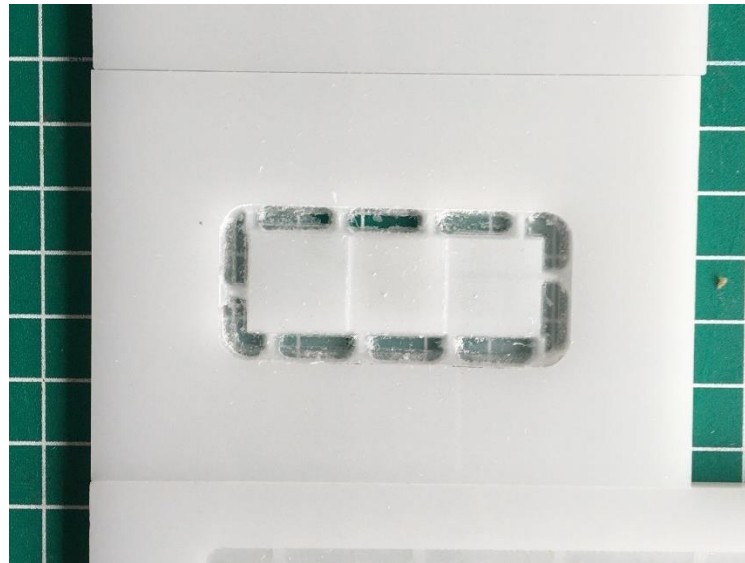
4.1.1.1 Permesinan Spesimen Uji

Proses pembuatan spesimen uji menggunakan parameter dan strategi permesinan dapat dilihat pada Tabel 4-1 Parameter Permesinan CNC Spesimen Uji.

Tabel 4-1 Parameter Permesinan CNC Spesimen Uji

Parameter	<i>Toolpath</i>
Diameter Pahat	2 mm
<i>Area to machine</i>	<i>Selected vector</i>
<i>Strategy</i>	<i>Raster</i>
<i>Stepover</i>	1 mm
<i>Stepdown</i>	0,5 mm
<i>Feed rate</i>	20 mm/sec
<i>Plung rate</i>	10 mm/sec
<i>Spindle</i>	11.000 rpm
<i>Material thicknes</i>	5 mm
<i>Time</i>	6 menit 17 detik

Hasil proses permesinan spesimen uji sesuai dengan 3D desain yang sebelumnya telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4-1 Hasil Permesinan CNC Spesimen Uji.



Gambar 4-1 Hasil Permesinan CNC Spesimen Uji

4.1.1.2 Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama

Untuk parameter dan strategi permesinan pertama yang digunakan pada mesin CNC dapat dilihat pada Tabel 4-2 Parameter Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama.

Tabel 4-2 Parameter Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama

Parameter	Permesinan Atas		Permesinan Bawah	
	<i>Toolpath 1</i>	<i>Toolpath 2</i>	<i>Roughing</i>	<i>Finishing</i>
Diameter Pahat	3 mm		1 mm	2 mm
<i>Area to machine</i>	<i>Selected vector</i>			
<i>Strategy</i>	<i>Offset (outside)</i>			
<i>Stepover</i>	1,25 mm		0,4 mm	0,75 mm
<i>Stepdown</i>	1 mm		0,5 mm	1,5 mm
<i>Feed rate</i>	20 mm/sec			
<i>Plung rate</i>	7 mm/sec		10 mm/sec	
<i>Spindle</i>	11.000 rpm			
<i>Material thicknes</i>	10 mm			

<i>Time</i>	6 menit 29 detik	43 detik	5 menit 10 detik	28 menit 27 detik
-------------	------------------	----------	------------------	-------------------

Pada permesinan pertama didapatkan hasil yang sesuai dengan yang disimulasikan pada software ArtCAM. Pada percobaan ini hasil permesinan CNC dapat dilihat pada Gambar 4-2 Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama.

Secara tampilan hasil permesinan CNC master perhiasan pertama dengan master perhiasan kedua tidak ada perbedaan.



Gambar 4-2 Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama

4.1.1.3 Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua

Untuk parameter dan strategi permesinan kedua ada perbedaan yaitu pada *stepover* dan *stepdown* yang bisa dilihat pada Tabel 4-3 Parameter Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua.

Tabel 4-3 Parameter Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua

Parameter	Permesinan Atas		Permesinan Bawah	
	<i>Toolpath 1</i>	<i>Toolpath 2</i>	<i>Roughing</i>	<i>Finishing</i>
Diameter Pahat	3 mm		1 mm	2 mm
<i>Area to machine</i>	<i>Selected vector</i>			
<i>Strategy</i>	<i>Offset (outside)</i>			
<i>Stepover</i>	1,5 mm		0,5 mm	0,85 mm

<i>Stepdown</i>	1,25 mm	0,5 mm	1,5 mm	
<i>Feed rate</i>	20 mm/sec			
<i>Plung rate</i>	7 mm/sec	10 mm/sec		
<i>Spindle</i>	11.000 rpm			
<i>Material thicknes</i>	10 mm			
<i>Time</i>	2 menit	28 detik	5 menit 2 detik	25 menit 42 detik

Pada permesinan kedua didapatkan hasil yang sama tampilannya pada permesinan pertama. Pada percobaan permesinan CNC kedua dapat dilihat pada Gambar 4-3 Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua.



Gambar 4-3 Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua

Secara tampilan hasil permesinan CNC master perhiasan pertama dengan master perhiasan kedua tidak ada perbedaan.

4.1.2 Permesinan 3D Print SLA

Permesinan menggunakan mesin 3D Print dilakukan sebanyak 2 kali percobaan dengan mengatur nilai parameter *layer thickness*, *normal exposure time*, *off time*, *bottom exposure time* dan jumlah *bottom layers* yang ada pada software simulasi Photon Workshop.

4.1.2.1 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama

Untuk parameter yang digunakan pada mesin 3D print SLA pertama bisa dilihat pada Tabel 4-4 Parameter 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama.

Tabel 4-4 Parameter 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama

<i>Layer Thickness</i>	0,05 mm
<i>Normal Exposure Time</i>	2 sec
<i>Off time</i>	0,5 sec
<i>Bottom Exposure Time</i>	40 sec
<i>Bottom layers</i>	6
<i>Z Lift Distance</i>	8 mm
<i>Z Lift Speed</i>	2 mm/sec
<i>Z Retract Speed</i>	3 mm/sec
<i>Total time</i>	39 menit

Pada percobaan 3D print SLA master perhiasan pertama hasil yang didapatkan sesuai dengan yang disimulasikan pada software simulasi Photon Workshop. Hasil 3D SLA print bisa dilihat pada Gambar 4-4 Hasil 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama.



Gambar 4-4 Hasil 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama

4.1.2.2 3D Print Master Kedua

Parameter percobaan kedua 3D print SLA terdapat perbedaan dengan percobaan pertama yaitu pada *layer thickness*, *normal exposure time*, *off time*, *bottom exposure time* dan jumlah *bottom layers*. Parameter lengkap bisa dilihat pada Tabel 4-5 Parameter 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua.

Tabel 4-5 Parameter 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua

<i>Layer Thickness</i>	0,04 mm
<i>Normal Exposure Time</i>	3 sec
<i>Off time</i>	0,4 sec
<i>Bottom Exposure Time</i>	45 sec
<i>Bottom layers</i>	8
<i>Z Lift Distance</i>	8 mm
<i>Z Lift Speed</i>	2 mm/sec
<i>Z Retract Speed</i>	3 mm/sec
<i>Total time</i>	50 menit

Pada percobaan 3D print kedua didapatkan hasil yang sama tampilannya dengan percobaan yang pertama. Percobaan 3D kedua dapat dilihat pada Gambar 4-5 Hasil 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua.



Gambar 4-5 Hasil 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua

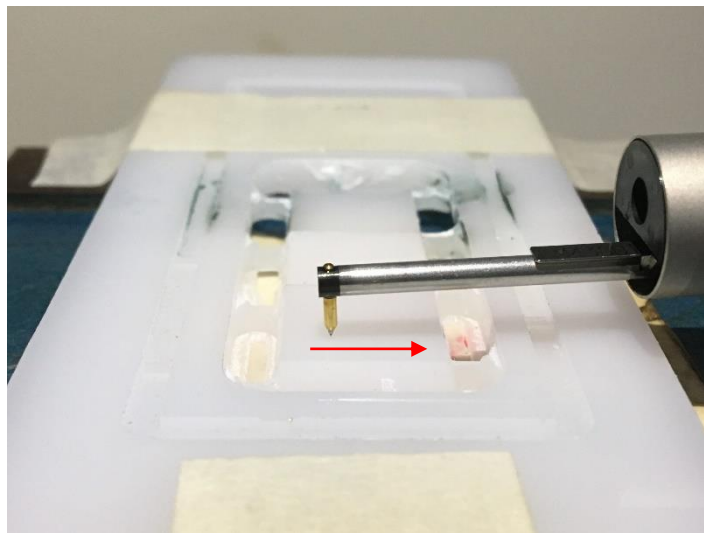
Hasil 3D print SLA master perhiasan pertama dengan hasil 3D print SLA master perhiasan kedua dilihat secara tampilan tidak ada perbedaan.

4.2 Pembahasan Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

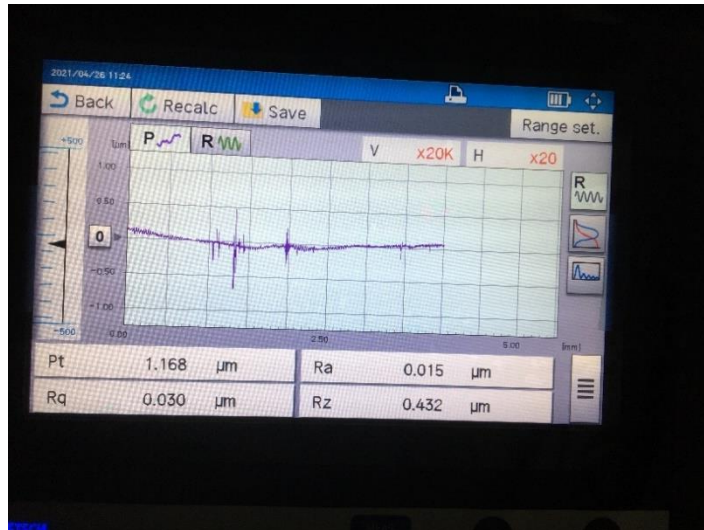
Hasil pengukuran pada beberapa titik area menggunakan alat ukur Surfcom Touch 50 didapatkan hasil yang berbeda.

4.2.1 Kekasaran Permukaan Spesimen Uji

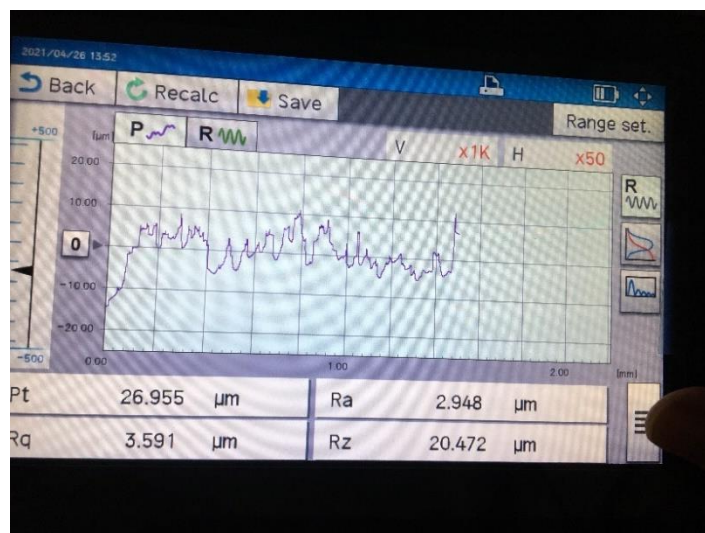
Pada spesimen uji terdapat 3 profil kekasaran permukaan yang berbeda. Profil pertama merupakan permukaan material awal akrilik, yang kedua permukaan hasil permesinan CNC dan yang ketiga hasil permesinan CNC yang dipoles. Pengukuran kekasaran permukaan spesimen uji arah titik ukur dapat dilihat pada Gambar 4-6 Arah Titik Ukur Permukaan Spesimen Uji ditunjukkan pada panah merah. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dapat dilihat pada Tabel 4-6 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Uji.



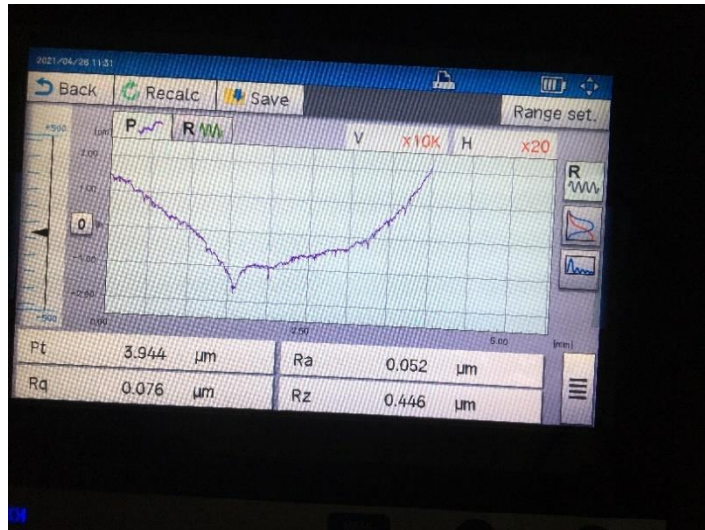
Gambar 4-6 Arah Titik Ukur Permukaan Spesimen Uji



Gambar 4-7 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Uji Akrilik



Gambar 4-8 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Uji Permesinan CNC



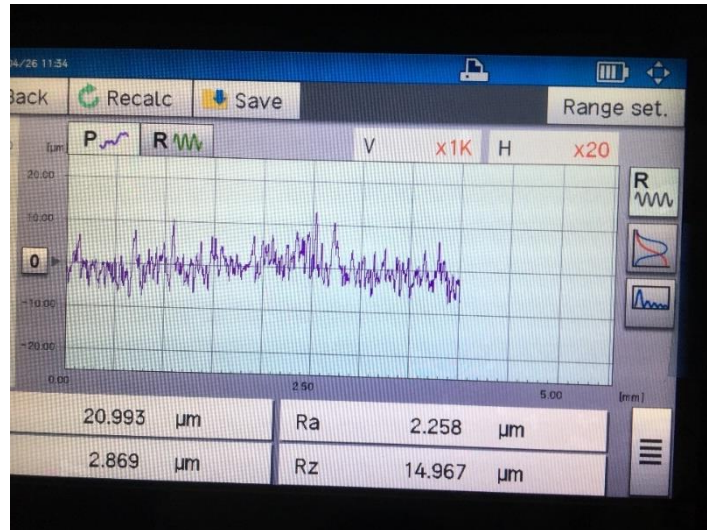
Gambar 4-9 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Spesimen Uji Permesinan CNC + Poles

Tabel 4-6 Hasil Pengukuran Kekasaran Spesimen Uji

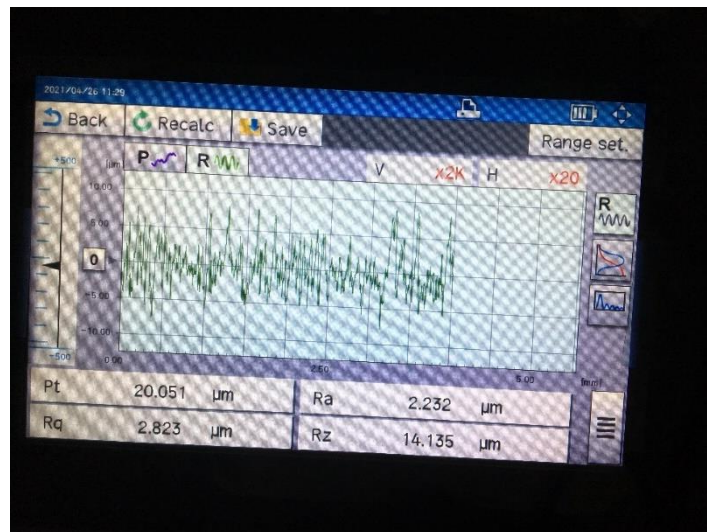
Profil Permukaan	Ra
Akrilik	0,015 μm
Permesinan CNC	2,948 μm
Permesinan CNC + Poles	0,052 μm

4.2.2 Kekasaran Permukaan Hasil CNC

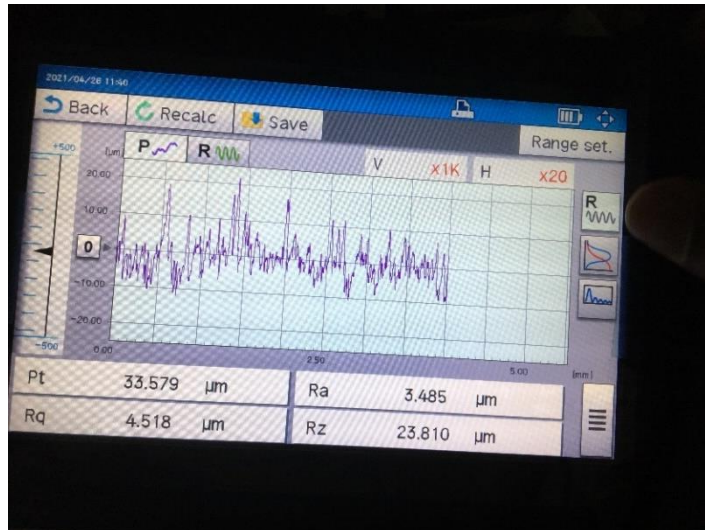
Pada master perhiasan hasil permesinan CNC menggunakan material akrilik setelah diukur pada titik area ukur pertama dengan titik area ukur kedua didapatkan hasilnya seperti pada Tabel 4-7 Hasil Pengukururan Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan.



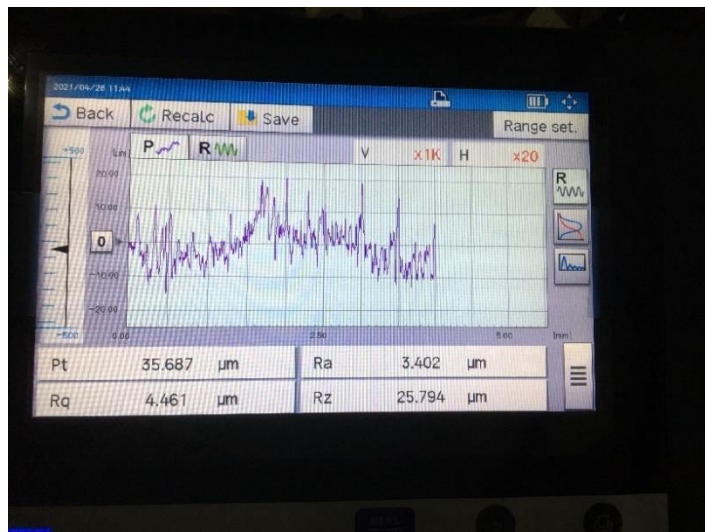
Gambar 4-10 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama Titik Area Ukur Pertama



Gambar 4-11 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Pertama Titik Area Ukur Kedua



Gambar 4-12 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua Titik Area Ukur Pertama



Gambar 4-13 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan CNC Master Perhiasan Kedua Titik Area Ukur Kedua

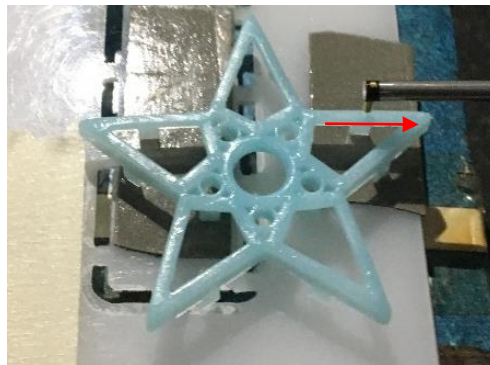
Tabel 4-7 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil Peemesinan CNC Master Perhiasan

Titik Ukur	Master CNC Pertama	Master CNC Kedua
	Ra	Ra
Area Pertama	2,258 μm	3,485μm
Area Kedua	2,232 μm	3,402 μm

Pada tabel terlihat perbedaan nilai hasil ukuran kekasaran permukaan Ra yang selishnya lebih dari 1 μm . Hal ini dikarenakan parameter dan strategi permesinan yang digunakan terdapat perbedaan. Pengukuran di satu hasil permesinan dengan posisi titik yang berbeda, nilainya hampir sama.

4.2.3 Kekasaran Permukaan Hasil 3D Print SLA

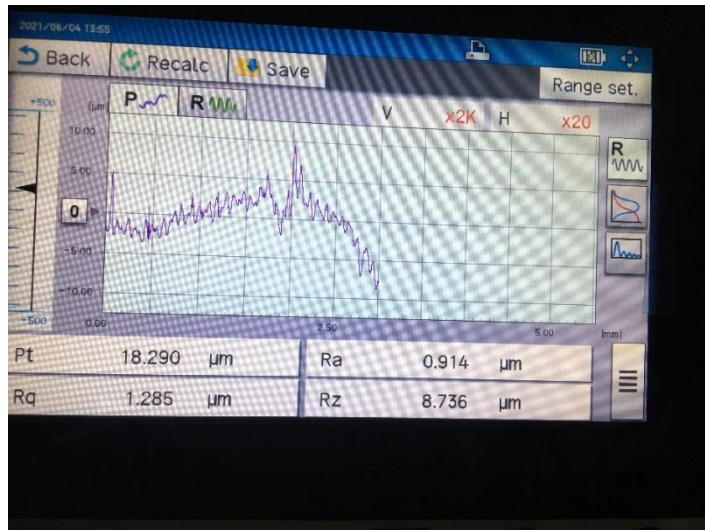
Pada master perhiasan hasil 3D print yang menggunakan bahan resin setelah dilakukan pengukuran kekasaran permukaan dengan arah ukur pada area titik pertama dapat dilihat pada Gambar 4-14 Arah Ukur Titik Pertama Hasil 3D Print SLA dengan ditunjukkan pada panah merah. Pengukuran kekasaran permukaan arah ukur pada area titik kedua dapat dilihat pada Gambar 4-15 Arah Ukur Titik Kedua Hasil 3D Print SLA dengan ditunjukkan pada panah merah. Hasil pengukuran kekasaran permukaan hasil 3D print SLA master perhiasan pertama dan kedua dapat dilihat pada Tabel 4-8 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil 3D Print SLA.



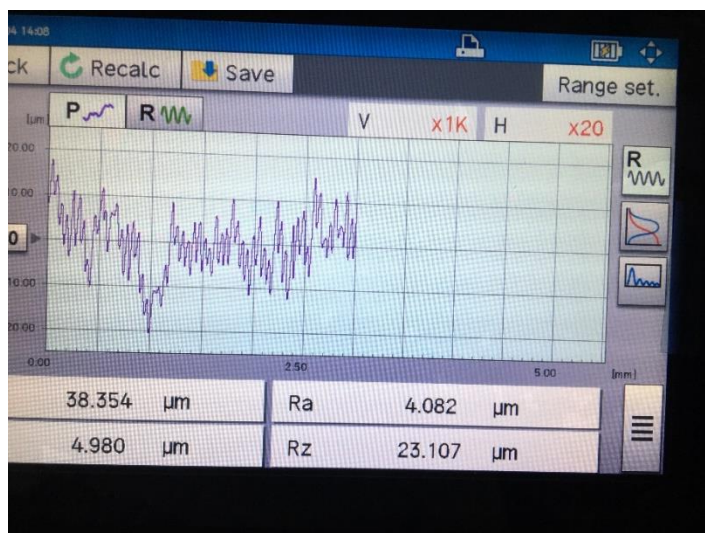
Gambar 4-14 Arah Ukur Titik Pertama Hasil 3D Print SLA



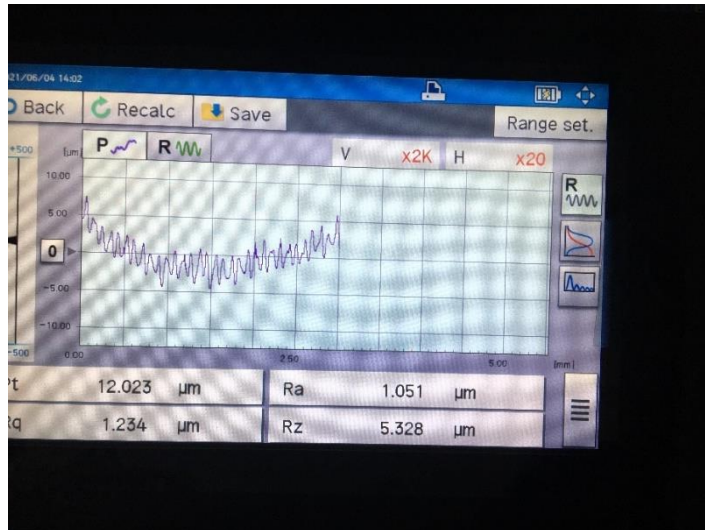
Gambar 4-15 Arah Ukur Titik Kedua Hasil 3D Print SLA



Gambar 4-16 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama Titik Area Ukur Pertama



Gambar 4-17 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan 3D Print SLA Master Perhiasan Pertama Titik Area Ukur Kedua



Gambar 4-18 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua Titik Area Ukur Pertama



Gambar 4-19 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan 3D Print SLA Master Perhiasan Kedua Titik Area Ukur Kedua

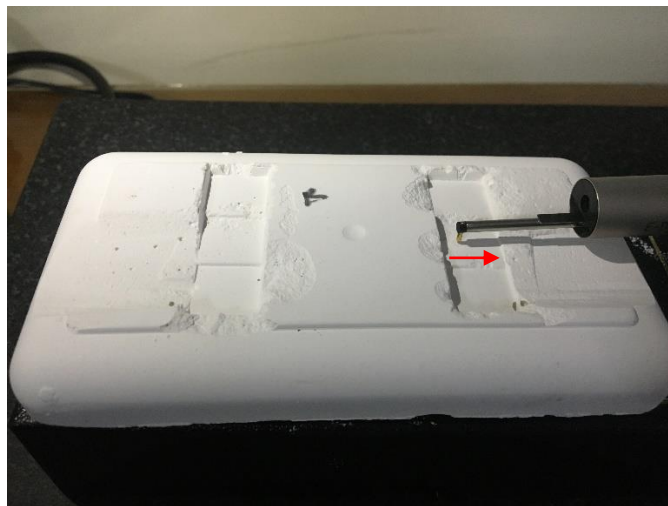
Tabel 4-8 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Hasil 3D Print SLA

Titik Ukur	Master 3D Print SLA Pertama	Master 3D Print SLA Kedua
	Ra	Ra
Area Pertama	0,914 μm	1,051 μm
Area Kedua	4,082 μm	4,184 μm

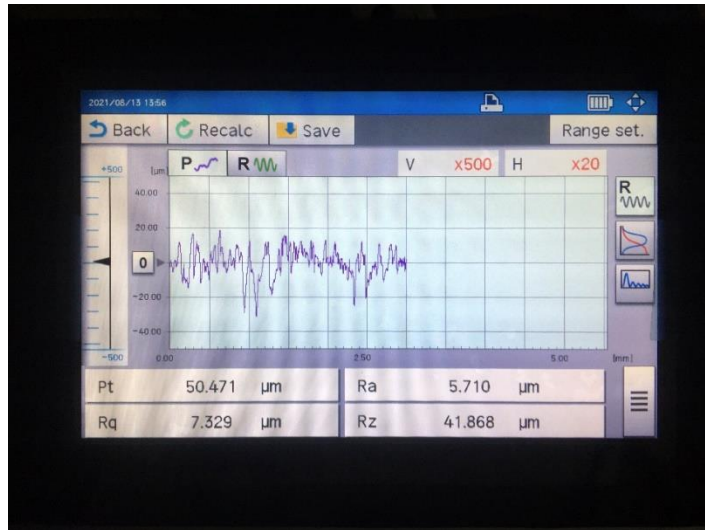
Pada tabel dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan hasil pengukuran kekasaran permukaan Ra yang sangat kecil. Untuk hasil 3D print SLA pada masing-masing percobaan dengan posisi titik pengukuran yang berbeda, selisih nilainya sangat besar yaitu lebih dari 3 μm .

4.2.4 Kekasaran Permukaan *Gypsum*

Gypsum yang telah dicetak dan kering diukur kekasaran permukaan yang bersentuhan pada 3 profil permukaan sepsimen uji. Arah pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4-20 Arah Titik Area Ukur Permukaan *Gypsum* dengan ditunjukkan pada panah merah.



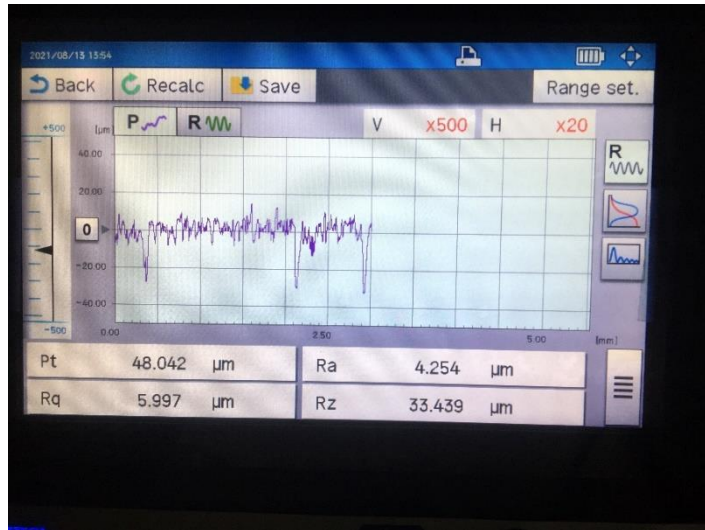
Gambar 4-20 Arah Titik Area Ukur Permukaan *Gypsum*



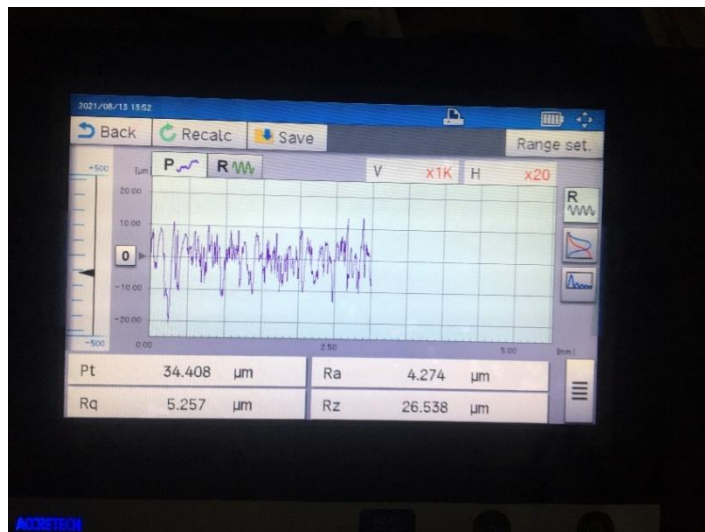
Gambar 4-21 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan *Gypsum* Akrilik Tanpa *Vacuum*



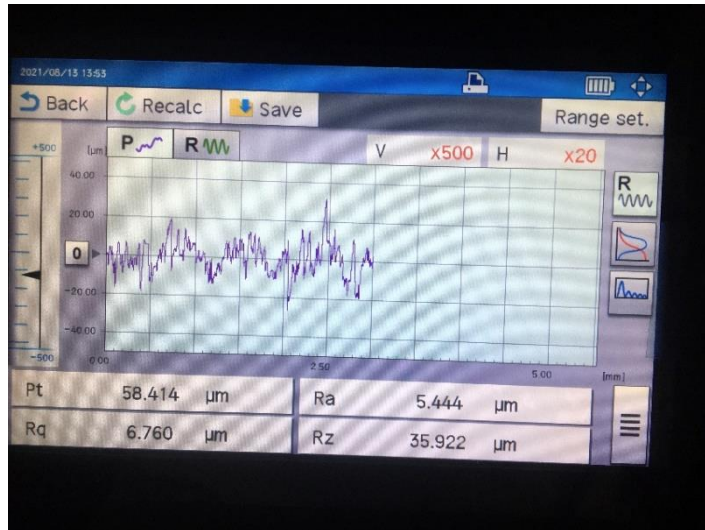
Gambar 4-22 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan *Gypsum* Permesinan CNC Tanpa *Vacuum*



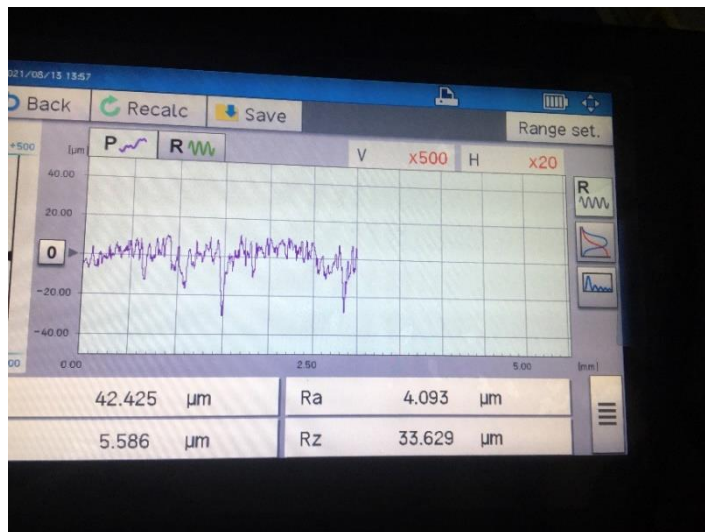
Gambar 4-23 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan *Gypsum* Permesinan CNC+Poles Tanpa *Vacuum*



Gambar 4-24 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan *Gypsum* Akrilik dengan *Vacuum*



Gambar 4-25 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan *Gypsum* Permesinan CNC dengan *Vacuum*



Gambar 4-26 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan *Gypsum* Permesinan CNC+Poles dengan *Vacuum*

Tabel 4-9 Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan *Gypsum*

Profil Permukaan	Tanpa <i>Vacuum</i> (Ra)	<i>Vacuum</i> (Ra)	Selisih (Ra)
Akrilik	5,710 μm	4,274 μm	1,436 μm
Permesinan CNC	5,836 μm	5,444 μm	0,392 μm
Permesinan CNC + Poles	4,254 μm	4,093 μm	0,161 μm

Hasil pengukuran kekasaran terdapat perbedaan pada *gypsum* yang tanpa proses *vacuum* dengan menggunakan proses *vacuum*. Hal ini terjadi karena pengaruh gelembung udara yang terjebak pada *gypsum*.

4.3 Perbandingan Kekasaran Permukaan Spesimen Uji dengan *Investment Gypsum*

Dari hasil pengukuran kekasaran permukaan pada spesimen uji dan *investment gypsum* dapat dilihat pada Tabel 4-10 Perbandingan Kekasaran Permukaan Spesimen Uji dengan *Investment Gypsum*.

Tabel 4-10 Perbandingan Kekasaran Permukaan Spesimen Uji dengan *Investment Gypsum*

Profil Permukaan	Spesimen Uji Akrilik	<i>Gypsum</i>	
		Tanpa <i>Vacuum</i>	<i>Vacuum</i>
Akrilik	0,015 μm	5,710 μm	4,274 μm
Permesinan CNC	2,948 μm	5,836 μm	5,444 μm
Permesinan CNC+Poles	0,052 μm	4,254 μm	4,093 μm

Spesimen uji dengan bahan akrilik setelah dibuat cetakan menggunakan *investment gypsum* terdapat perbedaan kekasaran permukaan setelah diukur menggunakan alat ukur. Hal ini terjadi karena ukuran pada tiap partikel bubuk *gypsum* yang melebihi besarnya nilai Ra permukaan spesimen uji.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penilitan yang penulis lakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk membuat master perhiasan yang paling baik menggunakan proses permesinan CNC dikarenakan kekasaran permukaan master perhiasan lebih konsisten pada tiap bagian sisi dibandingkan dengan kekasaran permukaan master hasil 3D Print.
2. Kekasaran permukaan master yang paling baik yaitu master yang dibuat menggunakan 3D Printer dengan nilai Ra sebesar 0,914 μm .
3. Pada pembuatan master menggunakan proses CNC dan 3D Printer, halusanya kekasaran permukaan hasil tidak berpengaruh terhadap kekasaran permukaan *investment gypsum*.
4. Permukaan Spesimen Uji dengan *investment gypsum* terdapat perbedaan ukuran, hal ini dikarenakan ukuran partikel yang tidak sebanding dengan ukuran kekasaran profil permukaan spesimen uji.
5. Kekasaran permukaan *investment gypsum* menjadi acuan pada proses pembuatan master perhiasan sehingga dapat memilih mesin yang paling efektif.

5.2 Saran

1. Titik dan arah pengukuran kekasaran permukaan dilakukan lebih banyak
2. Perlunya penelitian terhadap kekasaran gypsum dan perhiasan logam yang dicetak

DAFTAR PUSTAKA

- Kaspin, S., Khairi, H., Hassan, O.H., Mohamad, N., Norazmi, M. (2021). Identifying Factors Leading To Gold Losses During The Fabrication Process And Assessing Its Impact On The Smes Jewellery Industry. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, Vol.12 No.7 (2021), 975-985
- Wannurumon, S. (2018). *Rapid Prototyping and Tooling Technology in Jewelry CAD*. Computer-Aid Design & Application, Vol.1, Nos. 1-4 (2004), 569-575.
- Puspaputra, P. (2012). *Development of Machining Methode of Bitmap-based complex Surface*. DT.JTM-ITB.
- Puspaputra, P. (2017). A Study of Resin as Master Jewellery Material, Surface Quality and Machining Time Improvement by Implementing Appropriate Cutting Strategy. *ICMAA 2017, MATEC Web of Conferences* 108, 06003
- Guler, K. A. & Cigdem, M. (2011). Surface Quality and Dimensional Accuracy of Gypsum Bonded Investment Flask Casting Moulds. *Journal of Material Testing*, Vol. 53 No. 9 (2011), 551.
- Groover, M. P., & Zimmers, E. W. (1984). *CAD/CAM Computer-aided design and manufacturig*. Englewood Cliffs: Pretince-hall.
- Kadar, M. (2019). *Pembuatan Master Cincin Complex Signet Menggunakan*. D. I. Yogyakarta ; Universitas Islam Indonesia.
- Palgunadi, B. (2008). *Disain Produk 3 Aspek-aspek Disain*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Prasetyo, R. D. (2017). *Proses Permesinan CNC dalam Pembelajaran Simulasi*. D. I. Yogyakarta ; Universitas Islam Indonesia.
- Purnomo, W. C. (2017). *DESAIN DAN PEMBUATAN SUVENIR BERCORAK UII JOGJA*. D. I. Yogyakarta ; Universitas Islam Indonesia.

LAMPIRAN 1