

APLIKASI

**3D Modelling dan Reverse Engineering :
Desain - Manufaktur Produk Keramik Emboss**



Oleh:

Prof. Dr. Ir. Paulus Wisnu Anggoro, ST., MT., IPU.

Dr. Ir. Baju Bawono, ST., MT., IPU.

Ir. Tonny Yuniarto, ST., MT., IPU.

Aplikasi 3D
Modelling dan Reverse Engineering:
Desain – Manufaktur Produk Keramik Emboss

Oleh

Prof. Dr. Ir. Paulus Wisnu Anggoro, ST., MT., IPU.

Dr. Ir. Baju Bawono, ST., MT., IPU.

Ir. Tonny Yuniarto, ST., MT., IPU.

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Aplikasi 3D Modelling dan Reverse Engineering: Desain – Manufaktur Produk Keramik Emboss

Penulis : Prof. Dr. Ir. Paulus Wisnu Anggoro, ST., MT., IPU
Dr. Ir. Baju Bawono, ST., MT., IPU
Ir. Tonny Yuniarto, ST., MT., IPU

Hak Cipta © 2023, pada penulis

Hak publikasi pada Penerbit Universitas Atma Jaya Yogyakarta
*Dilarang memperbanyak, memperbanyak sebagian atau seluruh
isi dari buku ini dalam bentuk apapun, tanpa izin tertulis dari
penerbit.*

| | | | | | |
|-------------|----|----|----|----|----|
| Cetakan ke- | 05 | 04 | 03 | 02 | 01 |
| Tahun | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 |

Diterbitkan oleh
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
Jl. Babarsari No. 5-6 Yogyakarta 55281
Telp. +62 274 487711
E-mail: lib.publisher@uajy.ac.id

ISBN: 978-623-09-5000-1 (PDF)

Aplikasi 3D
Modelling dan Reverse Engineering:
Desain – Manufaktur Produk Keramik Emboss

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga Buku Aplikasi *3D modelling* dan *Reverse Engineering: Desain – Manufaktur Produk Keramik Emboss* ini dapat disusun dengan baik dan selesai pada waktu yang telah ditentukan oleh Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Buku ini merupakan mata kuliah pilihan di Program Studi Teknik Industri, pada peminatan Sistem Manufaktur. Penulisan Buku ini ditulis dalam 7 Bab secara garis besar, diambil berdasarkan pengalaman penulis bersama beberapa mahasiswa dan alumni Teknik Industri di dunia kerja serta diambil dari hasil penelitian baik dari hasil penelitian mandiri maupun dari pendanaan Kemenristekdikti yang penulis dapatkan. Tak lupa kami juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. G. Sri Nurhartanto, S.H., LL.M. selaku Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah memberikan dan memfasilitasi dalam penulisan Buku ini.
2. Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng. Ph.D., Rektor UAJY periode 2019 – 2023 yang telah mendukung dan memberikan dukungan moril dalam penulisan Buku ini
3. Dr. Ir. A Teguh Siswanto, M.Sc Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah memberikan dukungan moral dalam penulisan buku ini
4. Ir. Ririn Diar Astanti, S.T., M.MT., Dr.Eng., selaku Kepala Departemen Teknik Industri, Universitas Atma Jaya

Yogyakarta yang telah memberikan dukungan moral dalam penulisan buku ini.

5. Prof. Ir. Djoko Budiyanto Setyohadi, M.Eng., PhD, selaku kolega dan rekan peneliti yang telah mendampingi dengan setia dalam penulisan buku ini
6. Para narasumber yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu, atas pengetahuan dan keterampilan yang diberikan dalam penyusunan penulisan Buku ini.
7. Mahasiswa Teknik Industri yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu yang banyak membantu, atas pengetahuan dan keterampilan yang diberikan dalam penyusunan penulisan Buku ini.

Akhir kata, kritik dan saran sangat diharapkan untuk penyempurnaan Buku ini. Harapan kami semoga Buku ini dapat digunakan sebagai pedoman mahasiswa yang mengambil mata kuliah keahlian CAD/CAM; Desain Artistik; Perancangan Mold & Dies; Rapid Prototyping dan Skripsi di Program Studi Teknik Industri, Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta,.

Penulis

Daftar Isi

| | |
|---|-----------|
| KATA PENGANTAR | v |
| Daftar Isi | vii |
| Bab 1 | |
| E-Paradigama pada Desain Produk..... | 1 |
| Bab 2 | |
| <i>Reverse Engineering</i> dan CAD | 15 |
| 2.1. <i>Reverse Engineering</i> | 15 |
| 2.2. CAD | 22 |
| 2.3. Proses Scanning Kaki Menggunakan Handy Scann 700 | 25 |
| 2.4. Proses Scanning Kaki Pasien Club Foot dengan Metode Fotogrametrik Menggunakan Kamera Tunggal SLDR | 31 |
| 2.5. Proses Scanning Miranda Kerr One Tea Pot Menggunakan Control Measurement Machine (CMM) dan Proxie Mesh | 39 |
| Bab 3 | |
| CAM & CNC beserta studi kasus di lapangan | 51 |
| 3.1. Sejarah dan Teknologi CAD/CAM | 51 |
| 3.2. <i>Computer Aided Manufacturing</i> (CAM)..... | 53 |
| 3.2.1. PowerMill 2016..... | 55 |
| 3.2.2. <i>Toolpath Strategy</i> | 59 |
| 3.3. Computer Numerical Control (CNC) | 63 |
| 3.3.1. Milling CNC | 65 |
| 3.3.2. Cutter | 67 |

| | |
|--|----|
| 3.4. Study Kasus CAM Powermil 2016 pada produk outsole sepatu orthotik | 70 |
| 3.5. Study Kasus CAM Powermill 2016 pada produk keramik liontin bermotif batik Indonesia | 78 |
| 3.6. Study Kasus CAM Powermill 2016 Yuniarto | 83 |
| 3.7. Study Kasus CAM Powermill 2016 dan Rhino 4.0. | 87 |

Bab 4

| | |
|---|-----------|
| Reverse Engineering Miranda Kerr Tea for one Teapot | 97 |
| 4.1. <i>Reverse Engineering</i> | 98 |
| 4.2. Material dan Metode | 105 |
| 4.3. Analisis Reverse Engineering Miranda Kerr Tea for One Teapot | 110 |
| 4.3.1. Analisis Pembuatan Data 3D CAD <i>Fire Size</i> | 112 |
| 4.3.2. Analisis Pembuatan Data 3D CAD <i>Model Size</i> ... | 116 |
| 4.3.3. Prosentasi Kontraksi dari material bone china .. | 117 |
| 4.3.4. Analisis Pembuatan Data 3D CAD <i>Milling Setting</i> | 118 |

Bab 5

| | |
|---|------------|
| Desain – Manufaktur – Fabrikasi Produk Piring <i>Dining set Plate Tableware</i> Motif Batik Kawung | 131 |
| 5.1. Material dan Metode | 139 |
| 5.2. Analisis 3D Modeling <i>Dining Plate Tableware</i> Motif Batik Kawung | 143 |
| 5.2.1. <i>Story telling</i> Batik <i>Kawung</i> | 143 |
| 5.2.2. Virtual Design patterned ceramic plate with computer-aided design (CAD) | 145 |
| 5.2.3. Virtual Machining patterned ceramic plates with computer-aided manufacturing (CAM) | 149 |

Bab 6

Desain dan Manufaktur *Dining set Coupe Plate* Motif batik

Kawung 165

6.1. Alat, Bahan dan Metode Penelitian 171

6.2. Analisis 3D Modeling Coupe Plate Kawung 177

Bab 7

Proses Fabrikasi Piring dengan Teknik Plaster 197

7.1. Metodologi Singkat Fabrikasi Piring emboss dengan teknik Plaster 201

7.2. Fabrikasi Piring Keramik Bermotif Batik Kawung 213

PENULIS 217

Bab 1

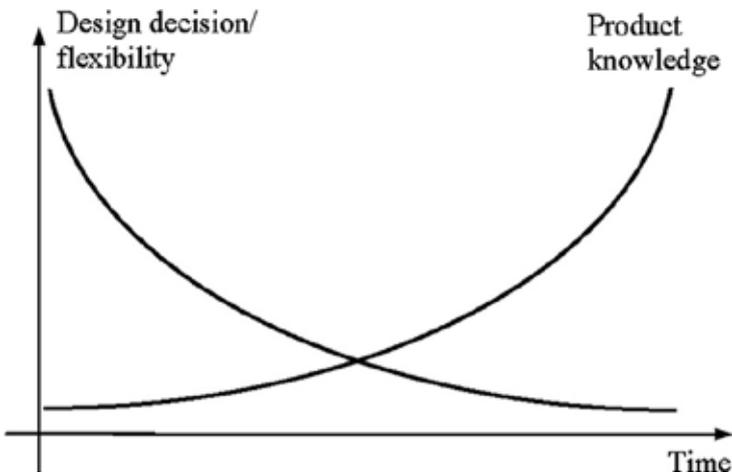
E-Paradigama pada Desain Produk

Pengembangan produk konvensional selama ini menggunakan filosofi dengan alur: desain-manufaktur-pengujian produk. Namun, dalam kenyataannya output yang dieksekusi secara berurutan pada tahap tersebut sering menghasilkan lead time yang lama dan biaya produk yang tinggi. Pendekatan dengan paradigma e-Design menggunakan teknologi IT untuk desain produk, termasuk pembuatan prototipe virtual (VP) yang nantinya digunakan untuk mendukung tim lintas fungsi dalam menganalisis kinerja produk, keandalan, dan biaya manufaktur di awal pengembangan produk, dan dalam membuat pertukaran kuantitatif untuk desain pengambilan keputusan [Ullman, 1992; Chang, 2015]. Prototipe fisik dari desain produk kemudian diproduksi dengan menggunakan teknik rapid prototyping (RP) dan Computer Numerical Control (CNC) untuk mendukung proses verifikasi desain (bentuk, geometri, estetika) dan prototipe fungsional, masing-masing.

Pendekatan e-Desain yang ditawarkan dalam buku ini akan memiliki potensi signifikan bagi engineer, dosen, dan mahasiswa di industri maupun perguruan tinggi untuk memperpendek siklus pengembangan produk secara keseluruhan, meningkatkan kualitas produk, dan mengurangi biaya produk. Konsep ini menurut (Chang, 2015a) menawarkan tiga konsep dan metode untuk pengembangan produk:

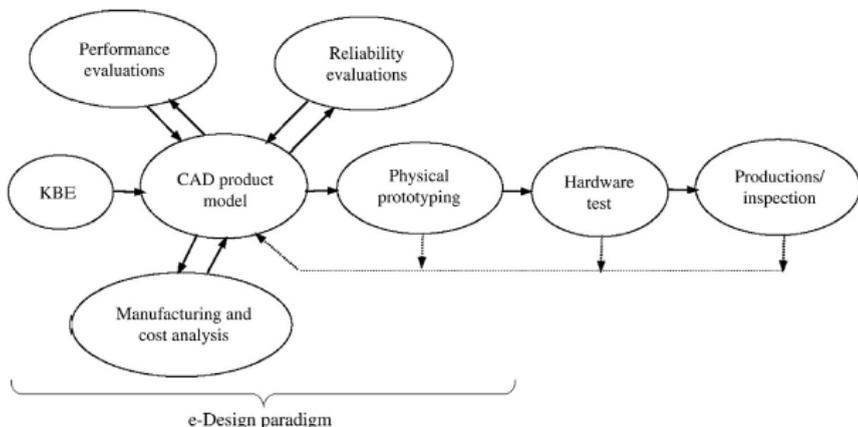
1. Menyatukan kinerja produk, kualitas, dan biaya manufaktur di awal desain untuk dipertimbangkan.
2. Mendukung pengambilan keputusan desain berdasarkan data kinerja produk kuantitatif.
3. Menggabungkan teknik pembuatan prototipe fisik untuk mendukung verifikasi desain dan pembuatan prototipe fungsional

Proses pengembangan produk konvensional biasanya dilakukan secara berurutan pada industri manufaktur di Indonesia seringkali mengalami permasalahan paradoks dalam tahapan desain [Ullman, 1992; Chang, 2015] dan disajikan pada Gambar 1.1. Hal ini mengacu pada dikotomi atau ketidaksesuaian antara pengetahuan insinyur desain terkait tentang produk dan jumlah keputusan yang harus dibuat (fleksibilitas) sepanjang siklus pengembangan produk tersebut berlangsung. Keputusan utama terhadap desain biasanya dibuat pada tahap awal proses desain berlangsung ketika suatu produk baru tidak dipahami dengan baik oleh semua tim desainer. Akibatnya, perubahan teknik seringkali diminta pada tahap pengembangan produk, sehingga pengembangan desain produk dapat lebih dipahami dan berakhir menjadi sebuah keputusan bersama yang dapat diterima oleh semua pihak (konsumen, desainer, pemilik pabrik, maupun peneliti) [Ullman, 1992].



Gambar 1.1. Desain Paradoks [Ullman, 1992]

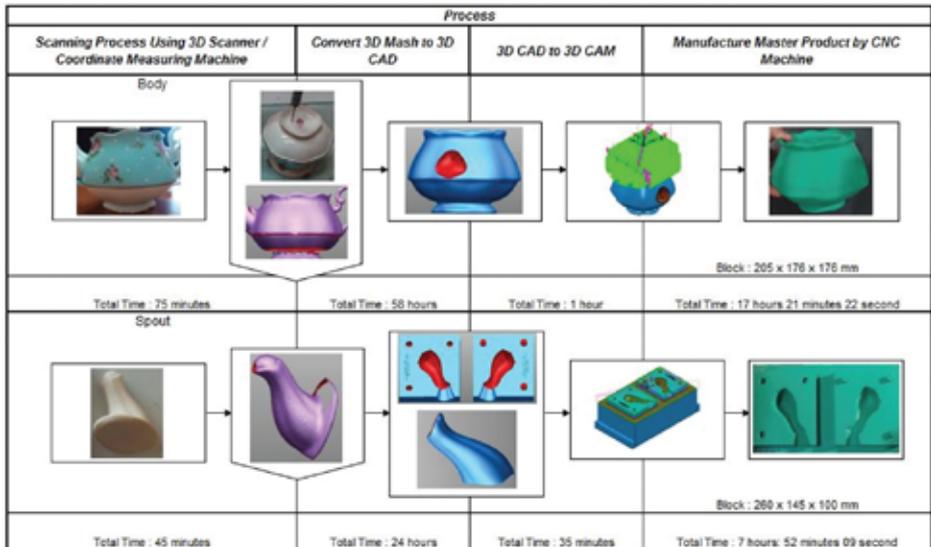
Orang selalu merancang sesuatu. Salah satu karakteristik manusia yang paling mendasar adalah ketika mereka membuat berbagai macam alat dan artefak lainnya untuk menyesuaikan dengan tujuan mereka sendiri. Oleh karena itu, dunia ini penuh dengan alat, peralatan, mesin, bangunan, furnitur, pakaian, dan banyak hal lain yang tampaknya dibutuhkan atau diinginkan manusia untuk membuat hidup mereka lebih baik. Segala sesuatu di sekitar kita yang bukan merupakan bagian dari alam yang tak tersentuh telah dirancang oleh setiap manusia [Cross, 2005]. Insinyur pengembangan produk selalu menghasilkan konsep atau model yang kemudian secara terorganisir diteruskan ke insinyur desain untuk diubah menjadi sebuah perangkat, proses, atau struktur (lihat Gambar 1.2.). Seorang perancang tentunya selalu mengandalkan pendidikan dan pengalaman untuk mengevaluasi banyak kemungkinan pilihan desain, mengingat biaya pembuatan, kasus produksi, ketersediaan bahan, dan persyaratan kinerja. Biasanya beberapa desain dan re-desain ulang akan dilakukan sebelum produk dibawa ke masyarakat umum dalam tujuan komersial [Arvid Eide et al, 2011]. Dalam rangka menciptakan sebuah produk baru, desain teknik berbasis teknologi yang tersedia dapat digunakan insinyur desain untuk meningkatkan kinerja, menurunkan biaya, atau mengurangi risiko [Philip Kosky et al, 2010].



Gambar 1.2. Paradigma e-Design [Chang, 2015a]

Dalam sebuah model e-Design yang dikembangkan oleh [Chang, 2015a], konsep desain produk baru pertama kali direalisasikan dalam bentuk solid model oleh insinyur desain menggunakan alat bantu berbasis Computer Aided Design (CAD) seperti pada Gambar 1.2. Dengan model solid produk yang direpresentasikan dalam CAD, simulasi untuk performa produk, keandalan, dan manufaktur dapat dilakukan. Tugas pengembangan produk dan tim lintas fungsi dalam industri manufaktur diatur sesuai dengan disiplin dan keahlian teknik. Berdasarkan model produk desain berbantuan komputer yang terintegrasi, model simulasi selanjutnya dapat diturunkan dengan penyederhanaan dan asumsi yang tepat sesuai dengan operasi real di rantai manufaktur pada mesin perkakas. Namun, pemetaan satu arah yang mengatur perubahan dari model CAD ke model simulasi harus dibuat untuk pembaruan model simulasi yang cepat, tepat, dan akurat dan biasanya melalui bantuan computer Aided Engineering (CAE) dan atau Computer Aided Manufacturing (CAM) [Chang, 2015b; Chang, 2015c; Chang et al, 1998].

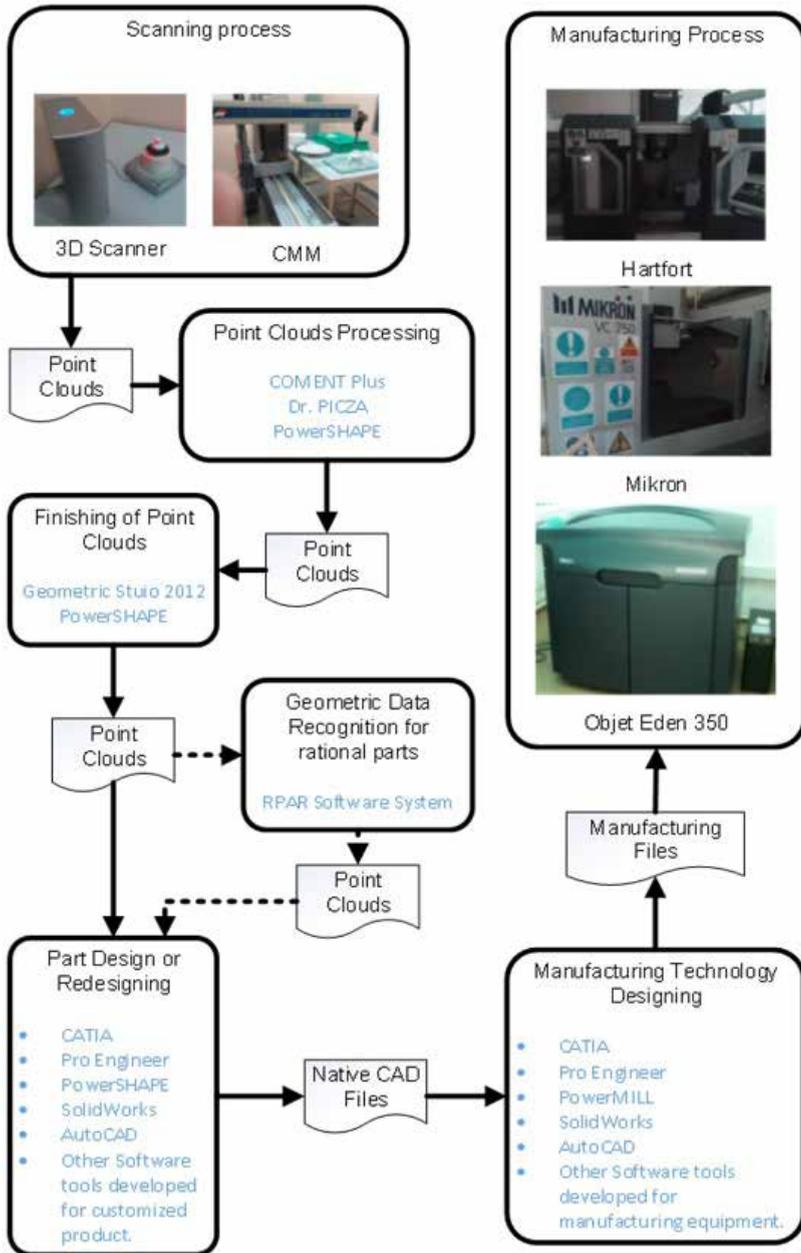
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2, dalam e-Design, konsep desain produk pertama kali dapat direalisasikan dalam bentuk solid model yang oleh para insinyur desain seringkali menggunakan teknologi CAD dan dapat digeneralisasikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Produk awal sering dibuat berdasarkan jam terbang (pengalaman kerja desain) dari desainer dalam upaya menangkap dan mewujudkan keinginan pelanggan menjadi produk yang tepat (bring concept to reality). Pengambilan keputusan yang tepat dari engineer desain untuk mewujudkan konsep awal menjadi produk jadi pada umumnya lebih didasarkan pada beberapa faktor tadi (pengalaman; teknologi CAD yang digunakan; informasi detail dari customer; dan empati dari engineer terhadap keinginan konsumen).



Gambar 1.3. Tahapan pengembangan model reverse engineering produk cetakan keramik Miranda Kerr Tea for One Teapot berbasis teknologi modern [Anggoro et al, 2021a]

Dengan diperolehnya gambar 3D solid modeling yang dapat direpresentasikan dalam CAD, maka simulasi untuk performa sebuah produk, keandalan dan proses manufakturnya dapat dikerjakan dengan sangat baik (Gambar 1.2, 1.3, dan 1.4). Berdasarkan model dari gambar 3D solid modelling yang telah fit melalui tahapan pengembangan desain berbasis CAD maka model tersebut selanjutnya dapat diturunkan untuk tahapan simulasi desain pada computer aided engineering (CAE) untuk mendapatkan geometri dan bentuk yang optimal maupun dapat langsung dilakukan simulasi manufaktur berbasis computer aided manufaktur (CAM) guna mendapatkan strategi pemesinan (toolpath strategy) yang optimal. Strategi ini dalam bentuk simulasi manufaktur yang optimal pada mesin perkakas berbasis computer numerical control (CNC) dan secara virtual machining (VM) dapat dikerjakan dan diverifikasi dengan hasil sempurna. Adanya kolaborasi sinergi yang signifikan dari CAD- CAE-CAM maupun CAD-CAM yang berakhir pada mesin perkakas berbasis CNC agar dapat mempermudah

dan mempercepat engineer dalam upaya memenuhi permintaan konsumen yang bervariasi dan memiliki tingkat kesulitan yang lebih dalam daripada produk standar.



Gambar 1.4. Architecture umum dari CARE System [Anggoro et al, 2021a]

Pembuatan prototipe virtual menjadi landasan dalam pengembangan produk modern dalam beberapa industri manufaktur di Indonesia (automotive, pesawat terbang, sepatu, keramik, accessories component otomotive, etc) . Dalam e-Design, desain produk pertama kali diwujudkan dalam bentuk model solid yang berbasis pada computer-aided design (CAD) sebagai komponen dan produk rakitan. Model solid CAD menggambarkan bentuk geometris dan sifat fisik yang penting untuk mendukung sebuah desain produk, khususnya dalam upaya untuk mengevaluasi kinerja produk, manufaktur virtual, dan upaya untuk memperkirakan biaya yang terjadi. Gambar 3D solid model CAD juga harus diparameterisasikan dengan benar agar tim desain berikutnya dapat mengeksplorasi alternatif desain untuk mengukur kinerja produk yang lebih baik dan lebih murah

Dengan solid model produk yang direpresentasikan dalam CAD, simulasi untuk performa produk, keandalan, dan manufaktur dapat dilakukan. Tugas pengembangan produk dan tim lintas fungsi diatur sesuai dengan disiplin dan keahlian teknik. Berdasarkan model produk desain berbantuan komputer terpusat, model simulasi dapat diturunkan dengan penyederhanaan dan asumsi yang tepat. Namun, pemetaan satu arah yang mengatur perubahan dari model CAD ke model simulasi harus ditetapkan untuk pembaruan model simulasi cepat (Chang et al. 1998). Pemetaan teknologi desain yang dipilih akan menjaga konsistensi antara CAD dan model simulasi selama siklus pengembangan produk berlangsung.

Pemodelan geometri secara umum dianggap sebagai cabang matematika terapan dan geometri komputasi yang mempelajari metode dan algoritma untuk deskripsi matematis bentuk yang mewakili geometri objek. Pemodelan geometri telah menjadi subjek yang penting dan menarik selama bertahun-tahun dari sudut pandang matematika murni dan ilmu komputer, dan juga dari sudut pandang teknik dan berbagai aplikasi lainnya, seperti CAD/CAM (desain/manufaktur berbantuan komputer), hiburan,

animasi, dan multimedia. Ketertarikan saya sebagai engineer Teknik Industri sejak tahun 2010 sampai dengan saat ini pada bidang CAD/CAM, system manufaktur berbasis mesin CNC dan 3D printer yang menjadi bagian terkecil dari Body of Knowledge yang ada pada Ilmu Teknik Industri menjadi point penting dalam pidato ini. Walaupun kecil kontribusinya namun menurut saya yang selalu setia pada perkara-perkara kecil, bidang ini mampu memberikan kontribusi besar dalam pengembangan keilmuan teknik industri terkait dengan optimasi manufaktur yang dikolaborasikan dengan model matematis guna mendukung hilirisasi penelitian sampai menuju produk atau prototype yang berguna bagi masyarakat tertentu (pasien kelainan bentuk kaki) maupun industri manufaktur seperti keramik, souvenir logam, otomotif maupun industri lainnya.

Hal ini terutama terkait tentang pemodelan produk sepatu orthotik dan produk keramik porselen bermotif emboss yang presisi, akurat dan custom dengan basis CAD, di mana objek yang dibangun, terlebih dahulu membuat kurva dan surface sebelum mencapai atau membentuk solid model yang diinginkan oleh pihak konsumen. Pemodelan geometris memang merupakan tulang punggung sistem CAD. Hal ini patut mendapat perhatian karena memahami teknik pemodelan geometris merupakan langkah kunci dalam mempelajari CAD, terutama untuk memahami operasi di balik layarnya. Dengan latar belakang yang kuat dalam pemodelan geometris, akan lebih mudah bagi engineer, dosen, mahasiswa, dan peneliti untuk belajar menggunakan perangkat lunak CAD yang berbasis surface, solid ataupun integrasi dari keduanya guna menghindari adanya potensi permasalahan penting saat desain dan manufaktur nantinya serta dapat untuk mendiagnosis masalah yang dihadapi dalam solid modeling.

Pengembangan produk baru sebelum prototype dan proses produksi berfungsi dengan baik, sangat perlu bagi engineer untuk selalu melakukan verifikasi kemampuan manufaktur dari setiap komponen ataupun saat perakitan produk berlangsung pada lantai

produksi seperti yang pernah dipaparkan oleh [Chang, 2015b; Chang, 2015 c; Anggoro et al, 2018; Anggoro et al., 2019a; Anggoro et al., 2019b; Anggoro, et al, 2021a; Anggoro, et al, 2021b; Anggoro, et al, 2021c; Fergiwani, et al; 2021; Anggoro et al, 2022a; Anggoro et al., 2022b]. Untuk mengatasi kesulitan pemesinan selama fase desain pada perangkat CAD yang ada maka diperlukan seperangkat alat manufaktur virtual untuk menggambarkan pergerakan cutter atau pahat melakukan proses pemesinan untuk membentuk part atau master produk yang didesain. Perangkat virtual manufaktur ini seringkali disebut dengan Virtual Machining berbasis Computer Aided Manufacturing (CAM). Ada banyak macamnya saat ini, yaitu: MasterCAM, SolidCAM, PowerMill, Rhinoceros, Hypermill dan masih banyak lagi. Penggunaan teknologi berbasis simulasi CAM dilakukan untuk membantu para insinyur dalam mendefinisikan, mereplikasi, dan memvisualisasikan tahapan proses produksi dan pengembangan produk baru dalam lingkungan terkomputerisasi. Pada tahap ini sering disebut virtual manufacturing (VM), yang mana terdiri dari proses drilling, boring, milling, lathe, dan variasi proses manufaktur yang dapat di-cover pada masing-masing software CAM.

Desainer CAD CAM, dapat menggunakan VM untuk merencanakan operasi pemesinan, menghasilkan strategi pemesinan (tool path) pada pahat/cutter di mesin perkakas [Chang 2015c; Anggoro et al, 2018; Anggoro et al., 2019a; Anggoro et al., 2019b; Anggoro, et al, 2021a; Anggoro, et al, 2021b; Anggoro, et al, 2021c; Fergiwani, et al; 2021; Anggoro et al, 2022a; Anggoro et al., 2022b; Fergiwani, et al 2021a; Fergiwani et al, 2021b; Ninggar et al, 2023; Yuniarto et al, 2023], memantau dan mensimulasikan langkah pemrosesan, dan memperkirakan waktu produksi secara simulasi. Selain itu, lintasan pahat atau cutter yang dihasilkan juga dapat diubah menjadi kode CNC (kode-M dan kode-G) ke bagian-bagian mesin yang berfungsi, serta cetakan atau cetakan untuk manufaktur. Toolpath sering dibuat dalam format file CL (lokasi pemotongan),

yang kemudian diubah menjadi kode CNC menggunakan post-processor. Kode inilah yang nanti dipakai engineer CAD-CAM untuk memproses raw material menjadi produk sesuai 3D solid modelling yang didesain.

Dari sudut pandang perspektif industri manufaktur saat ini, Reverse Engineering (RE) seringkali dianggap sebagai salah satu teknik rekayasa modern yang mampu memberikan siklus pengembangan produk yang singkat (Oancea et al., 2013; Vinesh & Kiran, 2010; Anggoro et al., 2021a; Anggoro, et al., 2023) dan ada manfaat nyata dalam pengembangan produk yang bersifat custom. RE biasanya selalu dikaitkan dengan analisis dan evaluasi model yang ada, yang digunakan sebagai referensi dalam membangun solusi baru seperti yang ditunjukkan oleh (López Gualdrón et al., 2014). RE juga didefinisikan sebagai proses modern untuk merekonstruksi suatu produk sementara dengan bentuk aslinya dipertahankan (Telea, 2012; Wego, 2010). Beberapa tahapan RE perlu dilakukan oleh para engineer pada tahap inovasi produk baru agar dapat bersaing di pasar antara lain digitalisasi model fisik atau clay dengan cara pemindaian obyek (proses scanning), mengolah data hasil scan dalam format .stl atau mesh, mendesain ulang model fisik menjadi model produk baru menjadi model CAD 3D baru, optimalisasi CAM, pembuatan kode NC, dan manufaktur menggunakan mesin CNC untuk mendapatkan produk (Bagci, 2009; Anggoro et al., 2015; Anggoro et al, 2018; Anggoro et al., 2019a; Anggoro et al., 2019b; Anggoro et al, 2021a; Anggoro et al, 2021b; Anggoro et al, 2021c; Anggoro et al., 2022a, Anggoro et al., 2022b; Ninggar, et al., 2023; Yuniarto et al., 2023).

Daftar Pustaka

Alexandru C Telea., *Reverse Engineering – Recent Advances and Application.*, inTEch, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 2012.

- Anggoro P.W., Bawono, B., Sujatmiko, I., Reverse Engineering Technology in Redesign Process Ceramics: Application for CNN Plate. Desember 2015. *Procedia Manufacturing* 4:521-527. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.071>
- Anggoro, P.W.; Avelina, M.M.; Bawono, B.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Computer-aided reverse engineering system in the design and production of orthotic insole shoes for patients with diabetes. *Cogent Engineering*. 2018. Vol 5 (1), pp 1-20. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1470916>
- Anggoro, P.W.; Bawono, B.; Wicaksono, A.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Reverse innovative Design of Insole shoe orthotic for diabetic patient. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019a, Vol 14(1), pp 106-113. <http://dx.doi.org/10.36478/jeasci.2019.106.113>
- Anggoro, P.W.; Wibowo, J.; Saputro, Y.D.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Optimal design and fabrication of shoe lasts for ankle-foot orthotics for patients with diabetes. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering*. 2019b. Vol. 9(2), pp 62-80. DOI: 10.4018/IJMMME.2019040104
- Anggoro, P.W.; Tan Wijaya, A.R.; Yuniarto, T.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P.; Setyohadi, D.B. Reverse Engineering from 3D mesh to ceramic product in the form of miranda kerr tea for one teapot in PT Doulton Indonesia. *Cogent Engineering*. 2021a. Vol. 8 (1), pp 1-20. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1981522>
- Anggoro P.W., Bawono, B., Tauviqirrahman M., Bayuseno A.P., Jamari. *Advanced design and manufacturing of custom orthotics insoles based on hybrid Taguchi-response surface method. Heliyon*. 2021b. Vol 7. e06481. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06481>

Anggoro P. W., Yuniarto T., Bawono B., Setyohadi D. B., Felasari S., Widyanarka O. D. W., Tauviqirrahman M., Jamari J., Bayuseno A. P., Advanced Design and Fabrication of Islamic Tile Ceramic Wall Tiles With Indonesian Batik Patterns Using Artistic CAD/CAM and 3D Printing Technology. **Frontiers in Mechanical Engineering**. 2021c. 7:799086. doi: 10.3389/fmech.2021.799086

Anggoro P.W., Purharyono Y., Anthony A.A., Tauviqirrahman M., Bayuseno A.P., Jamari. Optimisation of cutting parameters of new material orthotic insole using a Taguchi and response surface methodology approach. Alexandria Engineering Journal. 2022a. Vol 61, 3613–3632. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.08.083>

Anggoro, P.W., Krishnayuda, M.B., Yuniarto, T., Bawono, B., Suharyanti, Y., Felasari, S., Setyohadi, D.B., Widyanarka, O.K.W, Bayuseno, A.P., Virtual design and machining of core and cavity for fabrication of dining plate tableware with Kawung batik pattern. *Cogent Engineering*. 2022b. 9 (1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2084985>

Anggoro P.W., Bawono B., Setyohadi D.B., Ratnasari L., Fergiawan P.K., Tauviqirrahman M., Jamari J., Bayuseno A.P., Optimisation of the machining time required by insole orthotic shoes for patients with clubfoot using the Taguchi and response surface methodology approach. Heliyon. 2023a. Vol 9. e16860. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16860>

Arvid R Eide, Roland D. Jenisoa, Larry L. Northup, Steven K. Mickelson. Engineering Fundamentals and Problem Solving, 6 th edition, McGraw Hill

Bagci, E., 2009. Reverse Engineering Application For Recovery of Broken or Worn Part and Re Manufacture: Three Case Studies, Advances in Software, 40, pp 407-418

- Chang, K.H.; Chapter 1- Introduction to e-Design. Design Theory and Methods Using CAD/CAE. The Computer-Aided Engineering Design Series. 2015a, Pages 1-37. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398512-5.00001-3>
- Chang, K.H.; Chapter 11- Virtual Machining. Design Theory and Methods Using CAD/CAE. The Computer-Aided Engineering Design Series. 2015c, Pages 599-646. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382038-9.00011-9>
- Chang, K.H.; Chapter 2- Geometric Modeling. Design Theory and Methods Using CAD/CAE. The Computer-Aided Engineering Design Series. 2015b, Pages 41-124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382038-9.00002-8>
- Chang, T.C., Wysk, R.A., Wang, H.P., 1998. Computer-Aided Manufacturing, 2nd ed. Prentice-Hall.
- Clara Isabel López Gualdrón; Juan C. Moreno; Julio C. Pinillos., Comparison between two design methods implants, based on reverse engineering, design and engineering technologies, BIOCAD/CAD/CAE. June 2014; Ingeniería y Competitividad 16(1):61-68.
- Fergiwawan, P.K.; Anggoro, P.W.; Anthony, A.A.; Tauviquirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Simulation of manufacturing strategy of an orthotic boots shoe insole product with computer-aided manufacturing for club foot patient. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol 1034. doi:10.1088/1757-899X/1034/1/012095
- Fergiwawan, P.K.; Anggoro, P.W.; Ismail, R.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Application of computer-aided reverse engineering system in the design of orthotic boots for clubfoot patients. Journal Southwest Jiaotong University. 2021. Vol. 56 (3), pp 405-418. DOI : 10.35741/issn.0258-2724.56.3.34. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16860>

- Nigel Cross, Engineering Design Methods, Strategy for Product Design, 4th edition, Jhon Iley & Son, Ltd., Chicester, England, 2005*
- Oancea, Gh. et al. 2013. Computer aided reverse engineering system used for customized products. Annals of MTeM for 2013 & Proceedings of the 11th International MTeM Conference. Hal. 181-186*
- Philip Kosky, Robert Balmer, Willian Keat, George Wise. Exploring Engineering, An Introduction to Engineering and Design. 2nd Edition, Academic Preesis in an imprint of Elsevier, 2010, England*
- Ullman, D.G., 1992. The Mechanical Design Process. McGraw-Hill.*
- Vinesh Raja, Kiran J Fernandes, Reverse Engineering: An Industrial Perspective 1st edition; Springer; Jerman, 2010*
- Wego Wang. Reverse Engineering – Technology of Reinvention. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. USA.*
- Y.A.W. Ninggar, P.W. Anggoro, B. Bawono, D.B. Setyohad, M. Tauviqirrahman, J. Jamari; Optimization of Parameter for Cutting Condition of Uhmwpe Acetabular Cup Based On Taguchi and Desirability Functions. Cogent Engineering, 10(1), 2023. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2233247>*
- Yuniarto, T., Anggoro, P.W., Bawono, Fergiawan, P.K., B., Jamari J., Bayuseno, A.P., Development of ceramic jewellery industry in the form of necklaces with Indonesian batik motifs. AIP Conference Proceedings 2674, 030029 (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0114917>*

Bab 2

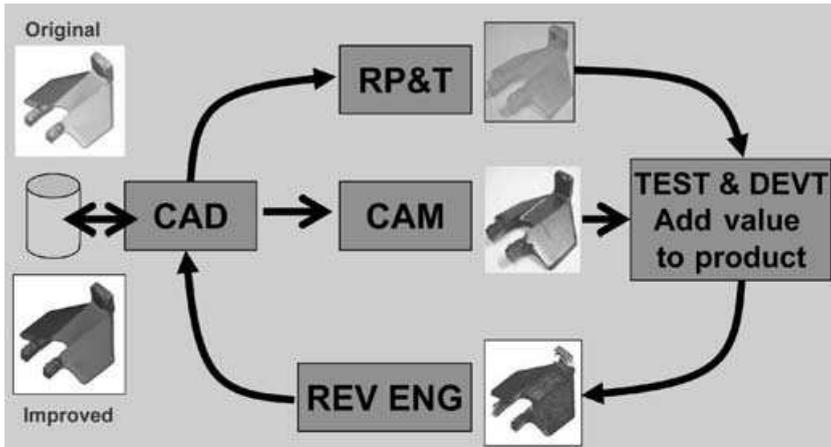
Reverse Engineering dan CAD

Bab ini mengenalkan kepada pembaca mengenai reverse engineering (RE) secara umum beserta aplikasi RE atau *Computer Aided Reverse Engineering* (CARE) yang dilakukan penulis pada industri keramik di Indonesia. Bab, ini mempresentasikan proses reverse engineering menggunakan teknik pemindaian berbasis alat scanning, seperti: handy scann untuk kasus pasien diabetes dan club foot; kamera Tunggal SLDR untuk kaki cacat sejak kecil; dan *Computer Measurement Machine* (CMM) untuk produk keramik tea pot (Bab 4). Bab ini menyajikan proses reverse engineering dan strategi untuk pemindaian dan konversi data yang dipindai menjadi *3D surface* atau *solid modelling*.

2.1. *Reverse Engineering*

Di pasar global yang sangat kompetitif saat ini, perusahaan produk manufaktur selalu secara kontinu selalu mencari cara atau metode terbaru untuk mempersingkat waktu tunggu untuk pengembangan produk baru guna memenuhi semua harapan pelanggan. Secara umum, sebuah perusahaan produk manufaktur pada umumnya telah berinvestasi dalam pengadaan teknologi *Computer aided design* (CAD) *Computer aided manufacturing* (CAM), rapid prototyping, dan serangkaian teknologi baru lainnya yang pada akhirnya tentu memberikan keuntungan bisnis. *Reverse engineering* (RE) kini dianggap sebagai salah satu teknologi yang

memberikan keuntungan bisnis dalam memperpendek siklus pengembangan produk.



Gambar 2.1. Siklus Pengembangan Produk [Vinesh dan Kiran, 2010]

Gambar 2.1 di atas menggambarkan bagaimana RE memungkinkan adanya strategi baru terkait kemungkinan untuk menutup loop yang terjadi antara apa yang “didesain” dan apa yang “sebenarnya diproduksi” dalam sebuah aktivitas pengembangan produk baru.

Rekayasa adalah proses merancang, membuat, merakit, dan memelihara produk dan system yang melingkarinya. Ada dua jenis rekayasa, rekayasa maju (*engineering forward*) dan rekayasa balik (*reverse engineering*) seperti yang dipaparkan oleh Vinesh & Kiran (2010). *Engineering forward* adalah proses tradisional untuk bergerak dari sudut pandang abstraksi pada level tinggi dan desain logis ke implementasi fisik dari sebuah sistem. Dalam beberapa situasi, mungkin saja atau bahkan sering kali pada bagian fisik/produk yang didesain tanpa detail teknis, seperti gambar, bill of material, atau tanpa data teknik sekalipun. Hal ini seringkali muncul pada tahap tersebut.

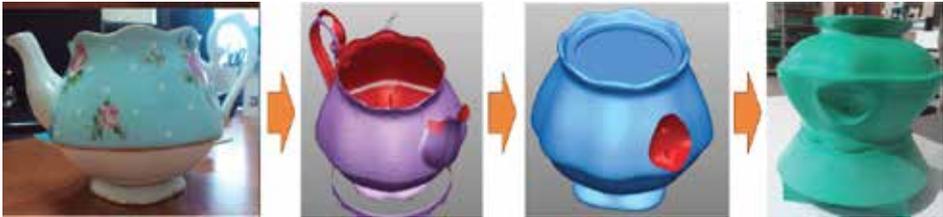
Reverse engineering seringkali dikenal dengan sebuah proses duplikasi part/ komponen yang sudah ada, dilakukan

subassembly, atau produk, tanpa gambar, dokumentasi, atau model computer. Reverse engineering juga didefinisikan sebagai proses untuk mendapatkan model CAD geometris dari 3-D points yang diperoleh dengan memindai/mendigitalkan model fisik yang ada. Proses menangkap entitas fisik komponen secara digital, disebut sebagai reverse engineering (RE), sering kali hal ini didefinisikan oleh peneliti sehubungan dengan tugas khusus mereka (Motavalli & Shamsaasef 1996). Abella dkk. (1994) menjelaskan RE sebagai, “konsep dasar memproduksi bagian berdasarkan model asli atau fisik tanpa menggunakan gambar teknik”. Yau et al.(1993) mendefinisikan RE, sebagai “proses mengambil geometri baru dari bagian manufaktur dengan mendigitalkan dan memodifikasi model CAD yang ada”. Reverse engineering juga mencakup serangkaian aktivitas yang bertujuan untuk (kembali) menemukan semantik fungsional, struktural, dan perilaku dari artefak tertentu, dengan tujuan memanfaatkan informasi ini untuk penggunaan atau adaptasi yang efisien dari artefak tersebut, atau pembuatan artefak terkait [Alexandru, 2012]. Reverse engineering (RE) adalah proses pengukuran, analisis, dan pengujian untuk merekonstruksi bayangan cermin suatu objek atau mengambil kembali peristiwa masa lalu. Ini adalah teknologi reinvention, peta jalan menuju rekonstruksi dan reproduksi. Itu juga merupakan seni ilmu terapan untuk melestarikan maksud desain dari bagian aslinya [Wego, 2011].

RE sekarang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti manufaktur, desain industri, desain peralatan biomedis, desain produk implant, dan bahkan dilakukan untuk kegiatan mendesain dan mereproduksi perhiasan ataupun produk keramik yang bersifat artistik. Misalnya, ketika produk keramik tableware baru diluncurkan di pasar, pabrikan pesaing dapat membeli satu produk tersebut dan melakukan re-desain ulang untuk mempelajari bentuk dan geometri produk baru tersebut beserta pembuatannya dan bagaimana hal tersebut dalam bekerja dengan baik sampai diperoleh sebuah produk baru yang benar-benar mirip dengan

produk pesaing. Hal ini nanti akan dijelaskan secara komprehensif pada Bab 5. Dalam rekayasa perangkat lunak, kode sumber yang baik seringkali merupakan variasi dari kode sumber yang baik lainnya. Dalam beberapa situasi, seperti gaya otomotif, desainer memberi bentuk pada ide mereka dengan menggunakan tanah liat, plester, kayu, atau karet busa, tetapi model CAD diperlukan untuk memproduksi bagian tersebut. Saat produk menjadi lebih organik bentuknya, mendesain dalam CAD menjadi lebih menantang dan tidak ada jaminan bahwa representasi CAD akan mereplikasi model pahatan dengan tepat.

Reverse engineering memberikan solusi bagi engineer desain untuk permasalahan tersebut karena model fisik yang akan dipindai merupakan sumber informasi untuk model gambar yang ditransformasikan di CAD. Hal ini juga disebut sebagai proses pemindaian fisik-ke-digital yang digambarkan pada Gambar 2.2. Alasan lain untuk reverse engineering adalah untuk menekan waktu siklus pengembangan produk. Di pasar global yang sangat kompetitif, produsen terus mencari cara baru untuk mempersingkat waktu tunggu untuk memasarkan produk baru. Pengembangan produk cepat (RPD) mengacu pada teknologi dan teknik yang dikembangkan baru-baru ini yang tentunya dapat membantu produsen dan perancang dalam memenuhi tuntutan waktu pengembangan produk baru dengan waktu dipersingkat. Misalnya, perusahaan cetakan injeksi perlu mempersingkat mold dan die; perusahaan keramik perlu mempercepat pembuatan master cetakan core & cavity; rumah sakit dan dokter orthopedik perlu mendapatkan model gambar dan prototype desain insole dan shoe last bagi pasien deformity foot (diabetes, club foot, traumatic after accident dsb).



Gambar 2.2. Model fisik ke proses digital

Tahap utama RE menurut Bagci (2009) terdiri dari digitalisasi dari benda, pemrosesan data, *re-design* produk dan *solid modelling*, pemrograman *NC part*, dan permesinan produk. *Reverse engineering* dibutuhkan pada pembuatan data 3D CAD sebuah produk yang tidak memiliki gambar teknik ataupun dokumentasi dan pada produk yang membutuhkan penyesuaian bentuk. Pembentukan model 3D membutuhkan data digital produk yang diperoleh melalui teknologi *3D scanner* (CMM, *laser scanner*, atau *structured light scanner*). Terdapat tiga strategi pemodelan RE yaitu:

a. *Automatic surface modelling*

Metode ini digunakan untuk RE bentuk alami yang kompleks seperti mainan, relief, dan bentuk medis seperti organ manusia/ hewan, tulang, dan pembuluh darah. Metode ini dilakukan dengan mengambil *surface* secara otomatis dari *mesh* yang didapat

b. *Featured-based solid modelling*

Metode ini merupakan metode yang penting dan paling banyak digunakan. Pada metode ini *mesh* dibagi ke dalam bagian- bagian yang disebut dengan *submeshes*. *Submeshes* kemudian dianalisis bentuknya berdasarkan fitur- fitur CAD untuk direkonstruksi ulang.

c. *Curve based modelling*

Metode ini digunakan untuk merekonstruksi ulang model 3D CAD dengan akurasi tinggi. Kurva memiliki peran penting dalam desain produk. Kurva diambil

dari *mesh* secara otomatis atau menggunakan fitur sket. Hasil kurva kemudian diubah menjadi *surface*. Hasil dari metode ini merupakan *surface* yang direkonstruksi dengan tingkat akurasi tinggi.

Dengan menggunakan reverse engineering, produk fisik tiga dimensi atau mock-up tanah liat (clay) pada industri keramik dapat dengan cepat ditangkap dalam bentuk digital, digambar ulang, dan diekspor untuk pembuatan prototipe/perkakas cepat atau manufaktur cepat menggunakan teknologi mesin CNC dengan aneka sumbu (3 axis; 4 axis sampai ke 5-6 axis).

Vinesh dan Kiran, (2010) dalam bukunya menyatakan beberapa alasan penting mengapa engineer maupun owner industri manufaktur sangat perlu menggunakan teknologi RE dalam upaya pengembangan produk barunya. Alasan tersebut meliputi:

- Pabrikan asli sudah tidak ada lagi, tetapi pelanggan memerlukan produk tersebut, misalnya suku cadang pesawat yang diperlukan biasanya setelah pesawat beroperasi selama beberapa tahun.
- Produsen asli suatu produk tidak lagi memproduksi produk tersebut, misalnya produk asli telah usang.
- Dokumentasi desain produk asli telah hilang atau tidak pernah ada.
- Membuat data untuk membarui atau membuat bagian yang tidak memiliki data CAD, atau yang datanya telah usang atau hilang.
- Inspeksi dan/atau Kendali Mutu–Membandingkan bagian buatan dengan deskripsi CAD-nya atau dengan item standar.
- Beberapa fitur buruk dari suatu produk perlu dihilangkan, mis., keausan yang berlebihan dapat menunjukkan di mana suatu produk harus diperbaiki.

- Memperkuat keistimewaan suatu produk berdasarkan penggunaan jangka panjang.
- Menganalisis fitur baik dan buruk dari produk pesaing.
- Menjelajahi jalan baru untuk meningkatkan kinerja dan fitur produk.
- Membuat data 3-D dari model atau pahatan untuk animasi dalam game dan film.
- Membuat data 3-D dari individu, model, atau pahatan untuk membuat, menskalakan, atau mereproduksi karya seni.
- Dokumentasi dan pengukuran arsitektur dan konstruksi.
- Menyesuaikan pakaian atau alas kaki dengan individu dan menentukan antropometri suatu populasi.
- Menghasilkan data untuk membuat prostetik gigi atau bedah, bagian tubuh yang direkayasa jaringan, atau untuk perencanaan pembedahan.
- Dokumentasi dan reproduksi TKP.

RE adalah suatu proses dalam bidang manufacturing yang bertujuan untuk mereproduksi atau mendesain ulang model yang sudah ada baik (komponen, sub assembly, atau produk) tanpa menggunakan data-data dokumen desain atau gambar kerja yang sudah ada (Urbanic. R. J., 2007). Adapun manfaat dari RE yaitu mampu mengevaluasi secara sistematis dari suatu produk dengan tujuan replikasi atau pembuatan model baru (Singh. N., 2012). Metode ini agar mampu diaplikasikan dengan baik dalam dunia kesehatan membutuhkan teknologi manufaktur handal berbasis computer-aided manufacturing (CAM), seperti pada industri orthodontic devices maupun pada industry manufaktur lainnya. Agar diperoleh sebuah gambaran real dari model fisik yang benar-benar sempurna, dalam teknologi ini sangat mutlak dilakukan tahapan pemindaian (scanning). Proses ini, dilakukan

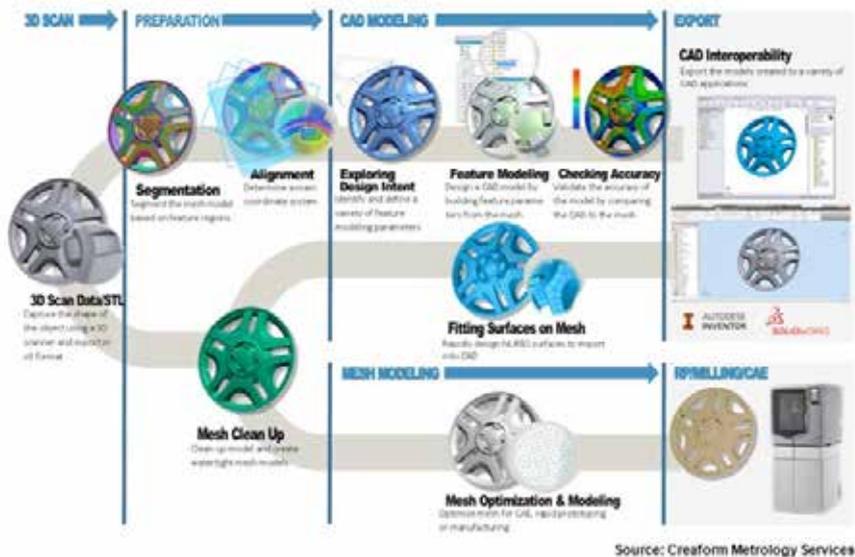
dengan memindai obyek atau model fisik menggunakan sinar infra merah atau kilatan foto (teknik fotogrametri) untuk mendapatkan titik – titik (point cloud) ataupun mesh yang kemudian dapat ditransformasikan dalam CAD menjadi sebuah gambar 3D model dalam file dengan format .STL.

Pada bagian ini akan dipaparkan tahapan CAD suatu model fisik berbasis metode RE menggunakan alat scanning: handy scan 700; computer measurement machine (CMM) dan kamera Tunggal SLDR.

2.2. CAD

Teknologi Computer Aided Design (CAD) merupakan teknologi perancangan atau rekayasa desain dengan mengubah suatu bentuk geometri dengan bantuan komputer sehingga menghasilkan bentuk grafis dengan cepat (Bhirawa, 2014; Angga Wicaksono, 2017; Anggoro, 2018; Cornelius Dwisepta, 2020; Cendy; 2017; Avelina Santosa, 2017). Penggunaan teknologi CAD selain dalam hal perancangan dapat pula digunakan untuk analisis dan optimasi yaitu pada analisis elemen. Perkembangan industri tidak terlepas dari teknologi CAD sebagai kebutuhan dalam menunjang perancangan untuk meningkatkan fleksibilitas dan respon terhadap kebutuhan konsumen.

Computer Aided Design adalah suatu program komputer untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu. CAD bisa berupa gambar 2 dimensi dan gambar 3 dimensi [Cendy H Tomo, 2017). CAD merupakan bentuk otomatisasi untuk membantu dalam memperbaiki gambar, spesifikasi, dan elemen-elemen yang berhubungan dengan perancangan dengan menggunakan grafik serta perhitungan program pada komputer (Bhirawa, 2014; Angga W, 2017). CAD bisa berupa gambar 2 dimensi dan gambar 3 dimensi.



Gambar 2.3. Proses dalam CAD/ CAM

PowerShape merupakan software CAD yang mengkombinasikan antara surface, solid, and mesh modeling untuk mold, dies, dan komponen yang rumit untuk manufaktur. PowerShape dapat digunakan untuk reverse engineering karena mendukung format file yang bervariasi dan proses impor yang cepat. Perbaikan data dapat dilakukan dengan software ini namun tidak menutup kemungkinan masih terdapat cacat. Pada proses modeling dengan dasar obyek yang dimasukkan dapat dilakukan dengan berbagai macam fitur salah satunya dengan curve based dan pembentukan surface. fitur solid modelling dapat mengkonversi bentuk surface secara langsung dan dapat di-export di berbagai format file.

Meshlab merupakan software untuk pemrosesan 3D triangular mesh. dengan sistem open source, software ini dapat digunakan secara bebas. Software ini memiliki berbagai fitur seperti editing mesh, cleaning mesh, inspecting mesh, dan converting mesh. salah satu fitur yaitu remeshing. Merupakan fitur untuk melakukan

pembuatan *mesh* dengan pendekatan tertentu. Hasil dari proses ini dapat diatur dengan mengubah parameter pendekatan yang digunakan.

FreeCAD merupakan *software* untuk pemodelan tiga dimensi. Berbasis *open source* sehingga dapat dipergunakan secara bebas. Menggunakan *parametric modeler*. Salah satu fitur yang membuat *software* ini dapat membantu melakukan *reverse engineering* adalah pengubahan dari bentuk *mesh* menjadi bentuk *solid* dengan tingkat cacat yang kecil. Proses konversi pada *software* ini adalah dengan mengubah bentuk *mesh* menjadi *hollow surface solid* dan kemudian dikonversi menjadi *solid* sehingga obyek memiliki volume.

NetFabb merupakan *software* yang ditujukan untuk *additive manufacturing*, *rapid prototyping* dan *3D printing*. Pengguna dibantu untuk proses pencetakan seperti perbaikan, representasi, dan analisis data tiga dimensi pada *stereolitography* (STL) atau data lapisan cetak dari berbagai format data. Desain *software* yang *modular* memperbolehkan pengguna untuk menggunakan tiap modul sesuai dengan kebutuhan dan dapat dipakai secara bebas tanpa kehilangan informasi data (*NetFabb*, 2010).

Curve Based Surface Modelling seperti yang pernah disajikan dengan baik oleh (*Angga Wicaksana*, 2017; *Avelina*, 2017; *Anggoro*, 2018; *Anggoro et al.*, 2018; *Anggoro et al.*, 2019a; *Anggoro et al.*, 2019b; *Anggoro et al.*, 2021a; *Anggoro et al.*, 2021c; *Anggoro et al.*, 2023) merupakan metode penggunaan seketsa dua dimensi atau tiga dimensi yang dikenakan pada bentuk *mesh* sehingga membentuk kurva dengan mengikuti bentuk dari *mesh* yang dilakukan secara manual atau secara otomatis terbentuk dengan menggunakan *software*. Kurva yang terbentuk menjadi acuan pada pembangkitan bidang seperti *surface* atau *solid* menggunakan fitur *loft*, *sweep*, *extrude*, dan *revolve* (*Xiuzi, et al.*, 2007).

2.3. Proses Scanning Kaki Menggunakan Handy Scann 700

Perkembangan teknologi *footware* dan sepatu sebagai alas kaki yang nyaman mengalami kemajuan yang sangat pesat dalam satu dasawarsa ini. Namun semua itu hanya bertumpu pada sepatu dengan bentuk kaki normal saja, padahal ada sebagian orang yang dilahirkan atau mengalami traumatic akibat kecelakaan atau lahir memiliki kelainan bentuk kaki, seperti: *diabetes*, *high heel*, *club foot*, dan sebagainya. Orang dengan kelainan seperti ini, tentu selalu kesulitan dalam pencarian bentuk sepatu sebagai alas kaki yang nyaman saat digunakan beraktivitas sehari-hari. Jarang ditemukan ada pabrik sepatu yang khusus membuat sepatu jenis ini. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mempercepat proses desain produk dapat menggunakan Reverse Engineering Design (Ye et al., 2007; Oncea, 2013; Anggoro et al, m 2019) ataupun Computer Aided Reverse Engineering System (CARE System) oleh Anggoro, 2018; Anggoro et al; 2019; dan Fergiawan; 2021.

Proses pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan memindai secara tiga dimensi kaki pasien. Proses pemindaian yang dilakukan menggunakan metode range scanners. Metode ini menggunakan cahaya yang difokuskan pada titik yang kecil pada obyek lalu pantulan cahaya dari obyek tersebut ditangkap oleh kamera atau biasa disebut optical triangulation. Dari hasil tersebut terbentuk titik-titik tiga dimensi yang kemudian saling dihubungkan dan membentuk surface seperti obyek yang dipindai (Brian, 1999). Dari dasar tersebut peneliti menggunakan alat dengan pendekatan sesuai teori range scanner yaitu HandySCAN 700 yang dapat memindai dengan akurasi 0,03 milimeter. HandySCAN 700 merupakan *scanner* yang dikeluarkan oleh perusahaan Creaform. *Scanner* ini menggunakan teknologi laser untuk mengambil data bentuk benda. *Scanner* ini dilengkapi dengan dua kamera dan tujuh buah jenis laser. *Scanner* ini dilengkapi dengan teknologi *single laser* sehingga mampu menjangkau celah kecil. Alat ini juga dilengkapi dengan software Vx elements yang dapat mengkonversi titik-titik

hasil pemindaian menjadi *surface*. Vx Element merupakan *software* yang disediakan untuk menangkap data *3D scanning* secara langsung (*real time*) dari *3D scanner* Creaform pada komputer. *Software* ini terdiri dari modul Vx Element, Vx Inspect, dan Vx Model. Vx Element digunakan untuk mengambil data *3D scanning* dan melakukan edit pada proses *scanning*, Vx Element digunakan untuk melakukan inspeksi, dan Vx Model digunakan untuk *mesh editing*.

Pengambilan data dilakukan pada kaki pasien kelainan bentuk kaki (*deformity foot*) jenis *high heel*, dimana pasien selama ini selalu menggunakan alas kaki sepatu dengan tumit tinggi. Hal ini berimbas pada bentuk kaki bagian jari kaki mengerucut ke dalam. Proses pengambilan data dilakukan pada kedua kaki penderita. Kaki pasien kemudian dipindai menggunakan alat *3D Scanner* dengan model *Handy Scan 700* (Gambar 2.4) untuk memperoleh data *3D* kaki pasien dalam bentuk *mesh file* dengan format *Stereolithography* (.*stl*). Format type ini merupakan jenis format penyimpanan gambar *3D* yang dibuat oleh *3D System*. *STL* juga dikenal dengan *Standard Tessellation Language*. *STL* banyak digunakan dalam bidang *CAD*, *CAM*, *CAE*, dan *rapid prototyping* terutama sebagai input kebanyakan *3D printer*. *STL* dapat dideskripsikan sebagai *triangular surface* yang belum terstruktur dari sebuah *triangle* yang menggunakan koordinat *Cartesian 3 dimensi*. (Ciobota, 2012). *STL* berbeda dengan *point cloud* yang merupakan set data berupa titik-titik dari sebuah benda *3D*. Hasil dari proses pengambilan data yang dilakukan berupa *surface mesh* yang terdiri dari *point cloud* hasil dari alat yang digunakan.



Gambar 2.4. Handy Scan 700

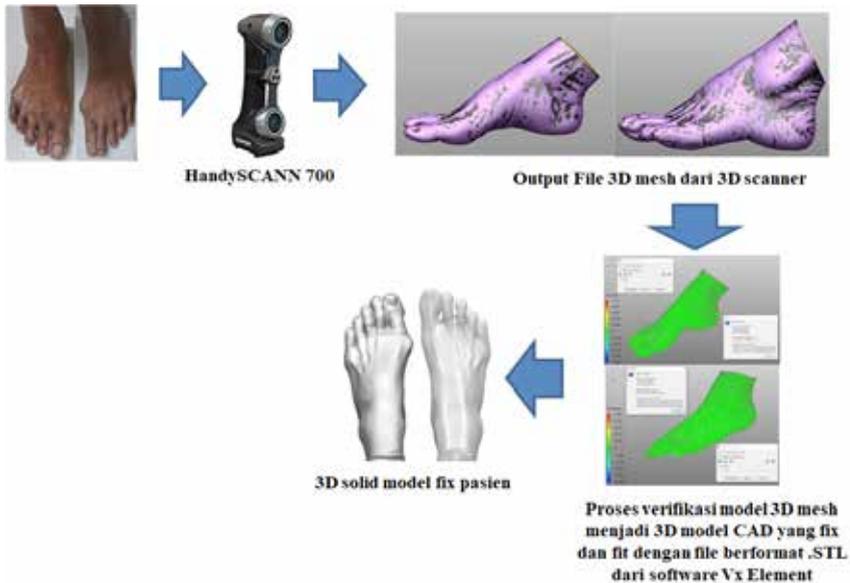
Langkah berikutnya, dilakukan verifikasi untuk memastikan data kaki tidak mengalami cacat atau error. Pada Langkah ini, dilakukan proses analisis dengan bantuan software analisis yang dapat mereduksi kecacatan pada hasil pemindaian. Software yang digunakan pada proses analisis ini adalah NetFabb, merupakan software optimasi yang membantu dalam optimasi desain dan perbaikan data otomatis. Pada software ini dapat membantu dalam mengurangi cacat pada hasil scan yang digunakan seperti mesh berlubang, mesh bertumpuk dan mesh yang tidak diperlukan. Namun setelah melalui software ini tidak dapat dipastikan bahwa model telah sempurna dan seringkali masih memiliki cacat sehingga diperlukan langkah perbaikan secara manual dengan bantuan software CAD yang digunakan yaitu PowerShape dengan bantuan fitur mesh editing sehingga dapat mengurangi cacat yang masih tersisa.

Data kaki pasien hasil 3D scan memiliki struktur mesh (Anggoro, 2018; Avelina, 2017; Anggoro et al; 2018). struktur ini sulit untuk dianalisis karena tidak memiliki ukuran yang pasti. Pada analisis yang akan dilakukan dibutuhkan obyek yang memiliki volume dan ukuran yang pasti. Perubahan yang dilakukan adalah mengubah bentuk mesh menjadi bentuk solid karena bentuk solid lebih mudah untuk dilakukan analisis baik dari segi ukuran. Proses pembentukan dilakukan dengan menyederhanakan bentuk kaki karena terdapat jari yang membuat bentuk kaki sangat kompleks. Proses penyederhanaan tidak mengubah bentuk kontur kaki yang menjadi referensi bentuk insole. Dari hasil penyederhanaan dilakukan konversi untuk membentuk kaki solid dengan mengubah mesh menjadi solid surface. Solid surface memiliki rongga sehingga dilakukan konversi ke bentuk solid untuk mengisi rongga dan menjadikan kaki memiliki volume.

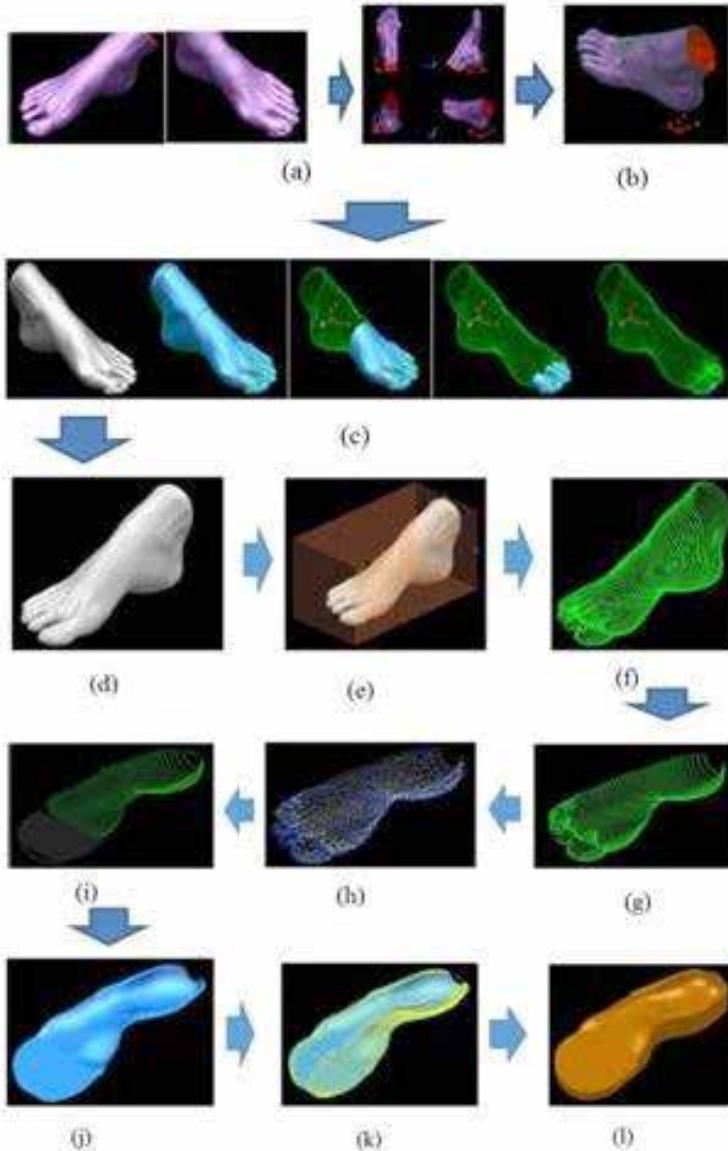
Kaki yang telah terverifikasi (Gambar 2.5.) kemudian dilakukan pembuatan insole sepatu orthotik berdasarkan bentuk kaki pasien menggunakan metode *curve base surface modelling*

(Anggoro, cogent engineering, 2018a; disertasi 2018b; Anggoro et al, arpn; 2020) yang disajikan pada Gambar 2.6. Proses ini memiliki beberapa tahapan pembangkitan model insole solid, yaitu: *import; oblique; wire reconstruction; repoint; wire support; surfacing; surface editing dan solid convert*.

Selanjutnya setelah gambar 3D CAD insole diperoleh kemudian dilakukan proses pengukuran selisih dimensi pada geometri kaki untuk mendapatkan error dimensi pengukuran (Error). Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data mengenai perbedaan antara model insole orthotic yang dibuat dengan bentuk kaki penderita kelainan kaki. Pada kasus insole orthotic semakin kecil perbedaan antara kontur insole dengan kaki penderita kelainan kaki maka semakin baik desain tersebut karena sesuai dengan kontur kaki. Hasil error dimensi toleransi proses RE kaki pasien menggunakan alat scanning handy scan dapat disajikan pada Tabel 1 dan Tabell 2. Perbandingan hasil dimensi geometri dari proses scanning kaki menggunakan alat scanning handyscan 700 ini selanjutnya dapat disajikan pada Tabell 1 dan 2 yang memiliki error dimensi kurang dari 1.500 mm.



Gambar 2.5. Reverse Engineering model fisik menjadi 3D solid model kaki



Gambar 2.6. Tahapan pemodelan insole sepatu orthotik berbasis metode CBS-modeling pada software PowerSHAPE 2016 : (a) *Mesh importing & preprocesses*; (b) *Rewiring*; (c) *Repoint, built and verification 3d surface to solid foot with solid doctor*; (d) *3D solid model foot from mesh*; (e) *Oblique processing*; (f) *Foot wireframe*; (g) *Wire support*; (h) *Repoint wireframe curve*; (i) *Wire reconstruction*; (j) *Surface generating*; (k) *Surface curve editing*; (l) *3D solid iso_diabetes*

Table-2.1. Colour mapping analysis and verification of scanning from 3D mesh to 3D CAD model of insole shoes orthotic

| Patient | Foot | Sample point | Point calculates | Point interpolated | Mean deviation | | Error range | Standard deviation |
|----------------|-------|--------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------|--------------------|
| | | | | | Mm | mm | | |
| High Heels | Left | 44,691 | 12,947 | 31,744 | 0.5202 | -8.50585 to 3.1241 | 0.722 | |
| | Right | 44,691 | 12,947 | 31,744 | 0.7695 | -8.5687 to 3.0996 | 0.9022 | |
| Different High | Left | 45,083 | 12,507 | 32,576 | 0.5057 | -6.1708 to 4.2135 | 0.6717 | |
| | Right | 46,332 | 12,791 | 33,541 | 0.5094 | -7.2931 to 4.2901 | 0.7352 | |

Table-2.2. Deviation of Mesh Feet, Solid Feet, and Orthotic Insole

| Type of patients | Notation | Left Foot | | | | Right Foot | | | Mean Error | |
|------------------|----------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|--|
| | | 3D mesh foot (mm) | 3D solid foot (mm) | 3D Insole (mm) | 3D mesh foot (mm) | 3D solid foot (mm) | 3D Insole (mm) | Mesh foot with Insole (mm) | solid foot with insole (mm) | |
| High Heels | A | 87.25 | 88.92 | 87.94 | 86.06 | 85.77 | 88.27 | 0.450 | -0.240 | |
| | B | 57.18 | 57.39 | 59.71 | 62.79 | 62.9 | 63.09 | 1.415 | 1.255 | |
| | C | 47.21 | 46.27 | 48.56 | 45.46 | 45.7 | 46.11 | 1.000 | 1.350 | |
| | D | 209.48 | 209.72 | 210.12 | 213.66 | 212.76 | 213.53 | 0.255 | 0.585 | |
| Different Foot | A | 87.59 | 86.9 | 88.36 | 86.31 | 85.84 | 87.64 | 1.050 | 1.630 | |
| | B | 56.72 | 57.48 | 56.12 | 68.88 | 68.66 | 68.62 | -0.430 | -0.700 | |
| | C | 49.67 | 49.15 | 49.63 | 51.54 | 51.34 | 51.97 | 0.195 | 0.555 | |
| | D | 218.99 | 218.31 | 220.1 | 220.24 | 219.15 | 221.13 | 1.000 | 1.885 | |

2.4. Proses Scanning Kaki Pasien Club Foot dengan Metode Fotogrametri Menggunakan Kamera Tunggal SLDR

Bagian ini membahas tentang bagaimana pengaplikasian teknik fotogrametri jarak dekat pada obyek kelainan bentuk kaki. Proses yang dilakukan dalam penelitian ini dengan cara persiapan kalibrasi pada kamera. Proses *scanning* menggunakan teknik fotogrametri yang bertujuan untuk mendapatkan data untuk dilakukan proses pembentukan model 3D. Tahap ini menggunakan *software Agisoft PhotoScan Professional*. Proses pembentukan model dari data .JPG yang diproses akan menghasilkan bentuk *point cloud* dan dibentuk hingga menjadi bentuk *mesh*. Hasil dari proses *scanning* ini akan dilakukan verifikasi ukuran dan bentuk dengan menggunakan *software Netfabb Ultimate* dan PowerSHAPE2016. Hasil *mesh* dengan format data .STL ini, selanjutnya dapat digunakan pada software lain untuk dilakukan desain ataupun proses machining.

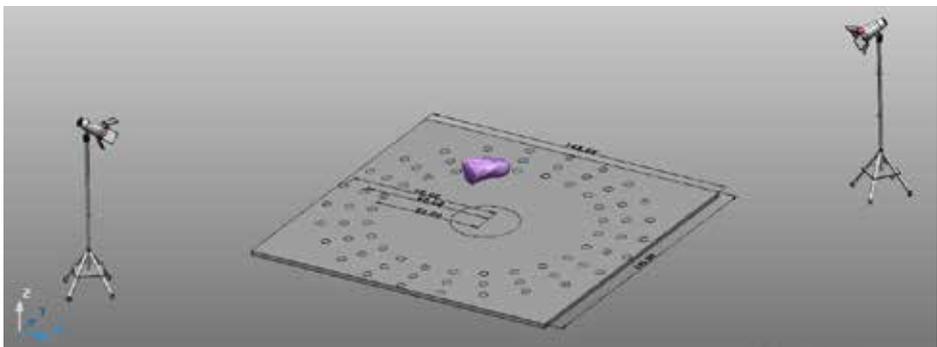
Teknik fotogrametri adalah teknik pemetaan menggunakan foto udara. Teknik ini sering digunakan pada pendidikan teknik geodesi untuk membantu pembuatan *mapping* dengan bentuk tiga dimensi seperti yang pernah dipaparkan oleh Gularso, H, dkk (2013). Teknik ini digunakan untuk proses *scanning* pada suatu objek benda mati. Teknik yang digunakan adalah fotogrametri jarak dekat dengan model pengambilan foto dalam jumlah banyak dan mengelilingi objek atau model fisik yang akan dijadikan bentuk tiga dimensi (3D). Output yang dihasilkan berupa data *point cloud* atau *mesh*. Data ini agar dapat diperoleh dengan sempurna dibutuhkan *software* pendukung, *Software* ini mampu memproses data dengan format .JPG menjadi bentuk 3D. Sedangkan pada tahap penyempurnaan hasil dapat menggunakan *software artistic computer aided design* (Art. CAD). Teknik mereplikasi sebuah model fisik atau benda real menjadi sebuah gambar 3D CAD dapat dikategorikan sebagai metode *Reverse Engineering* (RE).

RE adalah suatu proses dalam bidang *manufacturing* untuk mereproduksi atau mendesain ulang model yang sudah ada (komponen, *sub assembly*, atau produk) tanpa menggunakan data dokumen desain atau gambar kerja yang sudah ada (Urbanic. R. J., 2007; Oenca 2013; Anggoro, dkk 2018-2020). Manfaat RE yaitu mampu mengevaluasi secara sistematis dari suatu produk dengan tujuan replikasi atau pembuatan model baru (Singh. N., 2012). Metode ini agar mampu diaplikasikan dengan baik dalam dunia kesehatan membutuhkan teknologi manufaktur handal berbasis *computer-aided manufacturing* (CAM). Agar diperoleh sebuah gambaran real dari model fisik yang sempurna, maka sangat mutlak dilakukan tahapan pemindaian (*scanning*). Proses ini, dilakukan dengan memindai obyek atau model fisik menggunakan sinar infra merah atau kilatan foto (teknik fotogrametri) untuk mendapatkan titik – titik (*point cloud*) ataupun *mesh* yang kemudian dapat ditransformasikan dalam CAD menjadi sebuah gambar 3D model dalam *file* dengan format .STL.

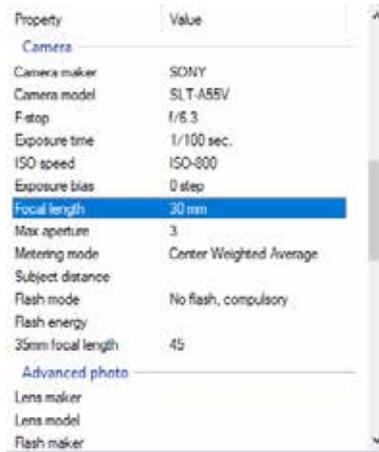
Dalam dunia medis, alat 3D scan sangat dibutuhkan bagi dokter maupun *engineer* model implant organ tubuh supaya hasil *scanning* benar-benar akurat, presisi dan sesuai bentuk anggota tubuh. Namun penggunaan alat *scanning* yang handal menjadi kendala bagi beberapa rumah sakit maupun *engineer* model implant dimana jumlah pasien kelainan bentuk kaki (*deformity foot*) yang ditemui semakin banyak, dan beragam yang membutuhkan alas kaki yang nyaman dan murah. Sehingga dibutuhkan metode pengganti proses *scanning* dengan biaya yang murah serta dapat menghasilkan model yang akurat, dan presisi.

Penggunaan teknik *photogrammetrik* merupakan solusi alternative yang kreatif dan inovatif untuk industri kesehatan dan rumah sakit, untuk menekan biaya *scanning* yang mahal. Sehingga penyandang disabilitas yang belum dibantu oleh pemerintah dapat memiliki haknya mendapatkan fasilitas untuk kelayakan hidupnya. Proses kalibrasi kamera yang dilakukan pada penelitian

ini sangat berpengaruh untuk hasil yang akan didapatkan. Inventor mempersiapkan replica kalibrasi lapangan yang telah dibuat dan meletakkan lampu penerangan di bagian sudut ruangan, dimana lampu itu langsung mengarah pada titik pusat obyek (Gambar 2.7.) dan melakukan kalibrasi kamera yang digunakan untuk pengambilan data dengan menggunakan teknik photogrammetrik (Gambar 2.8.). Gambar 2.7. ini adalah kalibrasi lingkaran menggunakan kain hitam yang ditempelkan stiker untuk penanda ukuran jarak. Replikasi kalibrasi yang dibuat memiliki jarak dari objek ke titik foto kamera dibagi menjadi tiga variable yaitu sejauh 50 cm, 60 cm, dan 70 cm dengan jarak perputaran dari satu titik ke titik lainnya adalah 15° dimana dipasang lampu di kedua sudut bersilangan pada kalibrasi lingkaran. Sedangkan Gambar 2.5.2 adalah kalibrasi kamera yang akan digunakan untuk pengambilan data dengan menggunakan teknik photogrammetrik



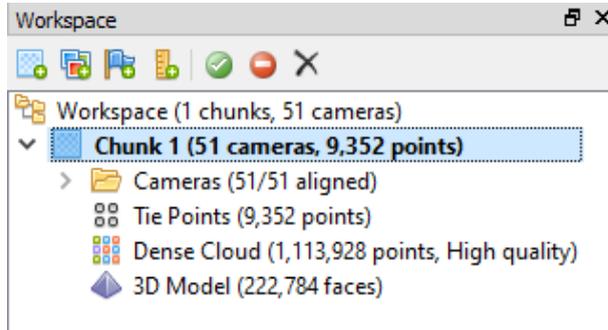
Gambar 2.7. Kalibrasi Lapangan



| Property | Value |
|-----------------------|-------------------------|
| Camera | |
| Camera maker | SONY |
| Camera model | SLT-A55V |
| Fstop | f/5.3 |
| Exposure time | 1/100 sec. |
| ISO speed | ISO-800 |
| Exposure bias | 0 step |
| Focal length | 30 mm |
| Max aperture | 3 |
| Metering mode | Center Weighted Average |
| Subject distance | |
| Flash mode | No flash, compulsory |
| Flash energy | |
| 35mm focal length | 45 |
| Advanced photo | |
| Lens maker | |
| Lens model | |
| Flash maker | |

Gambar 2.8. Kalibrasi Kamera

Proses pemotretan dilakukan dengan arah melingkar sebanyak 140-200 kali pengambilan gambar pada berbagai sudut yang sejajar dengan obyek (maksimal 30°). Dari total pengambilan gambar tersebut akan diambil 25 % terbaik (Gambar 2.9). Gambar 2.9. ini adalah jumlah pengambilan foto terbaik dari Proses pemotretan yang dilakukan sebanyak tiga kali putaran, dimana sudut yang diambil berbeda yaitu sejajar dengan obyek, diatas dan dibawah obyek dengan sudut 30°. Hasil pemotretan untuk satu obyek kaki didapatkan sebanyak 51 foto. Proses photogrametri yang dilakukan pada kaki pasien (Gambar 2.10). Gambar 2.10. ini adalah Proses pengambilan data menggunakan alat berupa kamera DSLR yang dilakukan oleh inventor. Pengambilan data yang dilakukan menggunakan teknik photogrametri dengan pemotretan mengelilingi objek kaki pasien. Hasil yang didapatkan pada proses pemotretan ini adalah foto dengan format .JPG. Proses pembentukan model 3 dimensi dimulai dengan menggunakan data foto dengan format .JPG yang telah diambil proses pengambilan data yang nantinya akan di olah menjadi model point cloud dan dibangun menjadi model mesh dengan menggunakan software *Agisoft PhotoScan Professional*.



Gambar 2.9. Jumlah Pengambilan foto Terbaik

Proses pembentukan model 3 dimensi dimulai dengan menggunakan data foto dengan format .JPG yang telah diambil proses pengambilan data yang nantinya akan diolah menjadi model point cloud dan dibangun menjadi model mesh (gambar 2.10). Gambar ini adalah Proses pembentukan kaki dari point cloud hasil pengambilan data menggunakan teknik fotogrametri menjadi 3D model berformat .stl. Proses pertama dalam pembentukan model 3D dengan menggunakan software CAD dengan mengimport data foto kedalam software ini. Setelah itu melakukan proses *align photos* dimana dalam proses ini foto-foto akan disejajarkan agar mendapatkan posisi dan orientasi kamera. Hasil yang didapatkan pada proses ini untuk kaki normal sebanyak 13.148 point. Langkah selanjutnya dengan melakukan proses *build dense cloud* yang bertujuan untuk mendapatkan perkiraan posisi kamera agar dapat memunculkan point cloud yang lebih rapat. Setelah terbentuk point cloud yang lebih rapat, proses selanjutnya adalah proses editing dimana terdapat point cloud yang tidak digunakan untuk membentuk model mesh. Setelah point cloud yang tidak dibutuhkan telah dihapus, langkah selanjutnya dengan melakukan proses build mesh. Dimana dalam proses ini hasil point cloud yang didapatkan akan dijadikan model 3D yang berbentuk solid. Setelah proses mesh dilakukan, proses selanjutnya adalah build texture dimana dalam proses ini model mesh dihasilkan akan memiliki kontur permukaan sesuai dengan obyek aslinya. Hasil data dari proses ini sudah dapat

digunakan pada software CAD lainya dengan mengexport data dalam bentuk .STL.

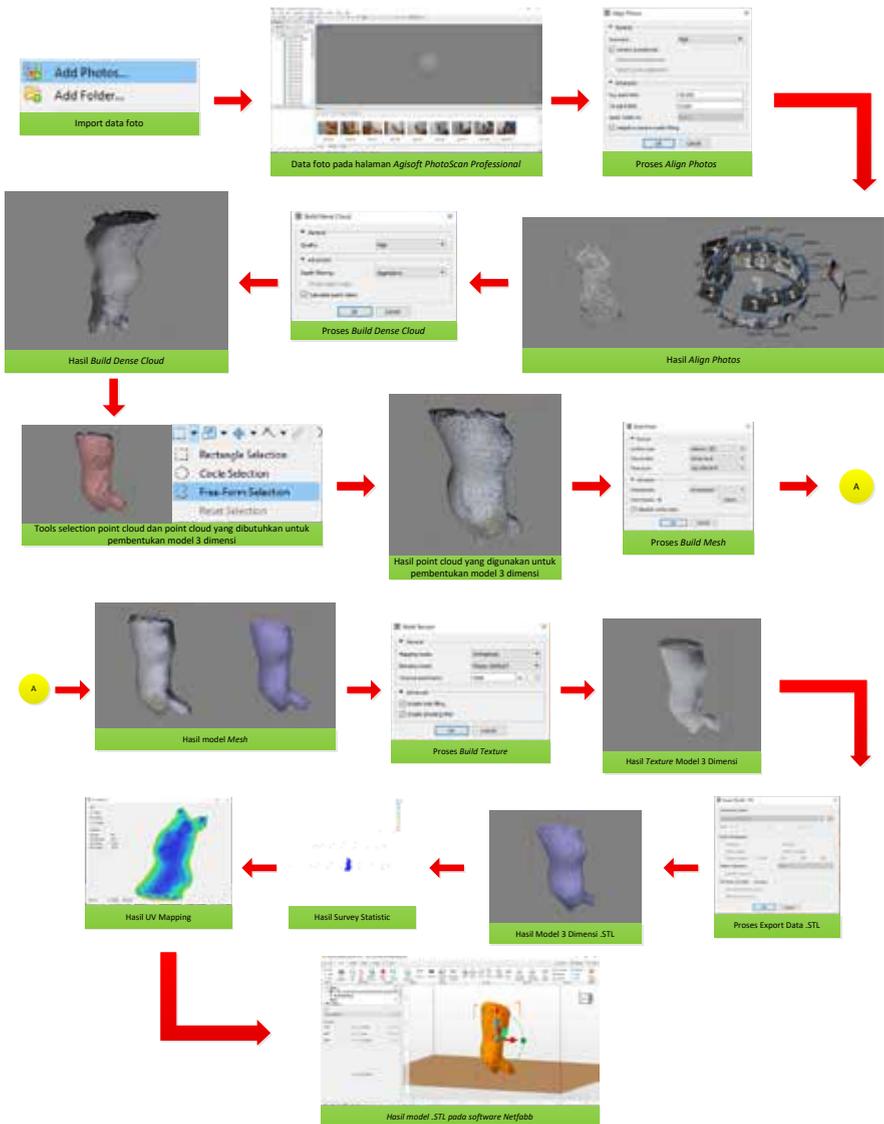


Gambar 2.10. Proses pengambilan data kaki pasien dengan teknik Photogrammetrik

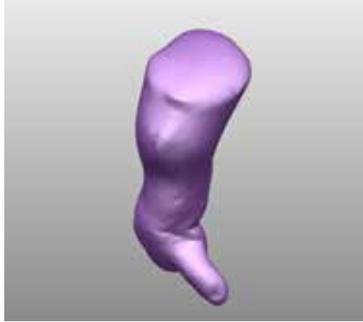
Teknik photogrammetrik (Gambar 2.10.) ini merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti mesin scanning bagi rumah sakit dan industri kesehatan. Teknik ini dapat diterapkan dalam proses scan apapun dimana objek yang akan diukur dapat direkam secara fotografis. Tujuan utama dari pengukuran photogrammetri adalah untuk merekonstruksi suatu objek dari berbagai arah dalam bentuk digital (koordinat dan elemen geometri turunan) atau dalam bentuk grafis (gambar, foto, peta). Foto atau gambar tersebut merupakan penyimpanan informasi yang dapat diakses kembali.

Proses kalibrasi lapangan (Gambar 2.7.) yang dilakukan oleh investor dengan melakukan pembuatan replica kalibrasi. Pembuatan replica kalibrasi dengan menggunakan kain hitam yang ditempelkan stiker untuk penanda ukuran jarak. Replikasi kalibrasi yang dibuat memiliki jarak dari objek ke titik foto kamera dibagi menjadi tiga variable yaitu sejauh 50 cm, 60 cm, dan 70 cm dengan jarak perputaran dari satu titik ke titik lainnya adalah 15°. Total jumlah foto yang didapatkan dari satu variable berjumlah 23 foto untuk satu putaran atau variable. Penggunaan kain sebagai replica

kalibrasi lapangan bertujuan untuk mempermudah pengambilan data di tempat lain, dan juga meminimalisir waktu kalibrasi agar tidak diulang-ulang.



Gambar 2.11 Proses pembentukan kaki dari point cloud menjadi 3D model berformat .stl



Gambar 2.12. 3D model berformat .stl

Kalibrasi pada kamera (Gambar 2.8.) dilakukan sebelum melakukan pengambilan gambar yang mengatur bukaan cahaya (aperture), kecepatan bukaan lensa (shutter speed), dan tingkat cahaya (ISO). Penentuan kalibrasi ini berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh Percoco. G (2011). Dalam penelitian ini investor menggunakan aperture F/6.3, shutter speed 1/100, ISO 800, dan focal length 30 mm. Proses kalibrasi yang dilakukan pada invensi ini sangat berpengaruh untuk hasil yang akan didapatkan.

Investor mempersiapkan replica kalibrasi lapangan yang telah dibuat dan meletakkan lampu penerangan di bagian sudut ruangan yang lampu itu langsung mengarah pada titik pusat obyek. Pasien duduk pada kursi yang telah diposisikan oleh peneliti dan meletakkan kaki pada kayu untuk penyangga agar pasien merasa nyaman pada proses pemotretan (Gambar 4). Proses pemotretan dilakukan sebanyak tiga kali putaran, dimana sudut yang diambil berbeda yaitu sejajar dengan obyek, diatas dan dibawah obyek dengan sudut 30°. Hasil pemotretan untuk satu obyek kaki didapatkan sebanyak 51 foto (Gambar 2.9. dan Gambar 2.10).

Proses pembentukan model 3 dimensi menggunakan Software CAD. Software ini digunakan untuk pemodelan 3D berbasis gambar yang bertujuan untuk menciptakan model 3D dengan kualitas professional dari gambar diam. Proses pembentukan model 3 dimensi dimulai dengan menggunakan data foto dengan format .JPG yang telah diambil proses pengambilan data yang

nantinya akan di olah menjadi model point cloud dan dibangun menjadi model mesh (Gambar 2.11).

Proses pertama dalam pembentukan model 3D dengan menggunakan software CAD dengan mengimport data foto kedalam software ini. Setelah itu melakukan proses *align photos* dimana dalam proses ini foto-foto akan disejajarkan agar mendapatkan posisi dan orintasi kamera. Hasil yang didapatkan pada proses ini untuk kaki normal sebanyak 13.148 point. Langkah selanjutnya dengan melakukan proses *build dense cloud* yang bertujuan untuk mendapatkan perkiraan posisi kamera agar dapat memunculkan *point cloud* yang lebih rapat. Setelah terbentuk point cloud yang lebih rapat, proses selanjutnya adalah proses *editing* dimana terdapat *point cloud* yang tidak digunakan untuk membentuk model *mesh*. Setelah *point cloud* yang tidak dibutuhkan telah dihapus, langkah selanjutnya dengan melakukan proses *build mesh*. Dimana dalam proses ini hasil *point cloud* yang didapatkan akan dijadikan model 3D yang berbentuk solid.

Setelah proses mesh dilakukan, proses selanjutnya adalah build texture dimana dalam proses ini model mesh dihasilkan akan memiliki kontur permukaan sesuai dengan obyek aslinya. Hasil data dari proses ini berformat .Stl (Gambar 2.12).

2.5. Proses Scanning Miranda Kerr One Tea Pot Menggunakan Control Measurement Machine (CMM) dan Proxie Mesh

Bagian ini menjelaskan tentang penggunaan teknologi CMM dan 3D scanner untuk mendapatkan data 3D CAD dan 3D CAM dari 3D meshes produk tableware fisik tanpa adanya gambar teknik dengan teknologi 3D scanner dan CMM. Produk yang ditetapkan sebagai model fisik adalah Miranda Kerr Tea for One Teapot yang sedang dikerjakan oleh salah satu industry keramik nasional di Serang Banten untuk memenuhi permintaan konsumen di UK.

Detail tahapan desain – manufaktur dan fabrikasi dari model ini dipaparkan pada Bab 4, dalam buku ini. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *reverse engineering*. Reverse engineering digunakan untuk mendapatkan data 3D CAD/CAM dari objek fisik yang tidak memiliki dokumen atau gambar teknik sebelumnya.

Data berupa sampel produk, jenis material keramik dan besarnya persen kontraksi Miranda Kerr Tea for One Teapot. Sampel produk digunakan untuk menentukan dimensi dan profil produk sedangkan jenis material keramik digunakan untuk mengetahui besarnya persen kontraksi bahan keramik (clay) saat sebelum (model size) dan setelah pembakaran (fire size). Clay akan mengalami penyusutan setelah dibakar sehingga dibutuhkan data mengenai seberapa besar penyusutan yang terjadi agar dimensi setelah pembakaran sesuai dengan sampel produk.

Data yang didapatkan dari sampel produk *Miranda Kerr Tea for One Teapot* berupa data *.stl. Data *.stl didapatkan dari proses *scanning* menggunakan mesin CMM dan 3D *scanner*. Data ini memberikan informasi berupa dimensi dan profil sampel produk tetapi tidak bisa langsung digunakan dalam proses permesinan sehingga harus diolah terlebih dahulu. Pengolahan dilakukan dengan mengubah data *.stl menjadi data 3D CAD dengan dimensi dan profil yang sama. Proses *scanning* produk *Miranda Kerr Tea for One Teapot* dilakukan pada keempat bagian yaitu *lid*, *base*, *spout*, dan *handle*.

Pembuatan data 3D CAD menggunakan PowerSHAPE 2013 dari data *.stl. Proses ini disebut juga sebagai proses mendisain ulang. Hal ini dilakukan karena data *.stl dari hasil *scanning* sampel produk telah melalui proses *making* (pembakaran, pemberian *glaze*, pemberian *decal*, dan proses lainnya) yang menyebabkan dimensi atau profil antar sisi tidak sama (asimetris) dengan cetaknya. Dengan demikian, tujuan dari mendisain ulang adalah untuk mendapatkan data 3D CAD sampel produk setelah proses *making*

sehingga diharapkan sampel produk dan produk hasil RE sama baik dimensi maupun profil. Pembuatan data 3D CAD dibagi menjadi dua yaitu data 3D CAD *fire size* dan *model size*.

Miranda Kerr Tea for One Teapot merupakan produk transfer dari China dengan maksud fleksibilitas rantai suplai. *Backstamp* pada produk ini termasuk kedalam merek Royal Albert dengan Miranda Kerr sebagai designer. Produk ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Produk Sampel Miranda Kerr Tea for One Teapot
(sumber PT Doulton Indonesia)

RE yang dikerjakan dalam bagian ini adalah tahap memindai obyek fisik (Gambar 13) menggunakan teknologi untuk mendapatkan *pointcloud*. Teknologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Coordinate Measuring Machine* (CMM) dan *3D Scanner* yang dimiliki oleh Departemen NPI PT. Doulton Indonesia (Gambar 14).



a)



(b)

Gambar 14. Alat scanning: (a) CMM priXa 1588; (b) 3D scanner

CMM membantu dalam proses pembuatan profil data 3D CAD dan mendapatkan dimensi suatu objek lebih akurat. Komponen yang sangat penting dalam mesin ini adalah *probe* yang sangat sensitif dengan sentuhan. Prinsip kerja mesin ini adalah menentukan titik awal, arah proses *scanning*, dan titik akhir kemudian *probe* secara otomatis akan bergerak dari titik awal ke titik akhir dengan menyentuh objek setiap satuan jarak (*default*: 1 mm). Setiap *probe* menyentuh objek (x,y,z), koordinat x,y,z akan disimpan hingga proses *scanning* selesai. Hasil yang didapat adalah profil dari benda tersebut dalam bentuk titik-titik (*pointcloud*). Spesifikasi CMM dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi *Coordinate Measuring Machine*

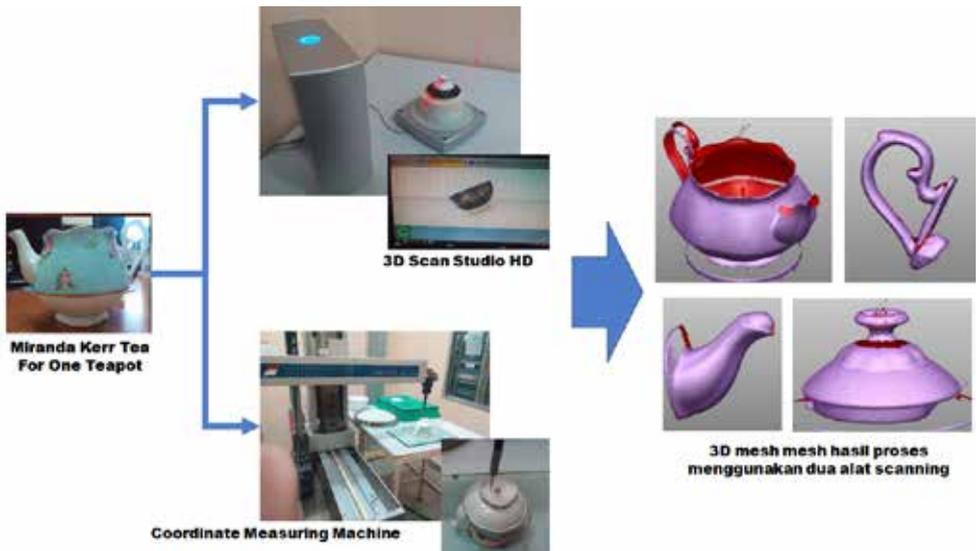
| CMM <i>priXa</i> 1588 | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| No. | Specification | | Standard |
| 1. | Measuring Range | (mm) | X = 1420 Y = 725 Z = 700 |
| 2. | Accuracy According to ISO 10360-2 | (μm) | $MPE_E = 12 + L/200$ $MPE_p = 20$ |
| 3. | 3D speed | (mm / s) | 250 (DCC – CNC Machine) |
| 4. | Max. Acceleration | (mm / s ²) | 400 |
| 5. | Ambient Temperature | °C | 25 ± 7 |
| 6. | Humidity | % | 40 – 70 non condensing |
| 7. | Power | - | 220V, 50Hz, 4A |
| 8. | Power consumption | KW | 2 |
| 9. | Machine Weight | kg | 400 |

3D *scanner* merupakan alat yang menganalisis suatu objek dengan mengumpulkan data berupa bentuk untuk membangun *three-dimensional models*. Alat ini terdiri dari 2 bagian yaitu *scanner* dan *rotary table* yaitu tempat objek diletakkan. Alat ini memindai dengan menembakkan lesar ke objek kemudian bergerak dari kanan ke kiri. Prinsip kerja alat ini adalah terlebih dahulu menentukan bagian objek yang akan dipindai dan banyaknya *layer* kemudian menentukan pilihan yang membantu proses pindai apakah objek berwarna gelap atau cerah (mengkilat) dan ukuran data akhir. Setelah itu, proses *scanning* dilakukan secara otomatis oleh *scanner* untuk membaca *layer per layer*. Jika satu *layer* sudah selesai terbaca maka meja akan berputar dan berhenti mengganti posisi objek agar *scanner* membaca *layer* kedua. Meja berputar sebanyak *layer* yang sudah ditentukan sebelumnya. Hasil yang didapat dari 3D *scanner* adalah 3D *meshes* produk yang dipindai. Spesifikasi 3D *scanner* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi 3D Scanner Next Engine

| 3D Scanner Next Engine | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--|
| No. | Specification | Description |
| 1. | <i>Source</i> | <i>Twin arrays of four, Class 1M, 10 m solid-state lasers with custom optics. 650 nm wavelength.</i> |
| 2. | <i>Sensor</i> | <i>Twin 3.0 Megapixel CMOS image sensors.</i> |
| 3. | <i>Photo Surface</i> | <i>Optically synchronous 7-color surface capture for precision-locked geometry correlation.</i> |
| 4. | <i>Photo Lightning</i> | <i>Built-in spatially diverse whitelight texture illuminators with tri-phosphor, wide color gamut.</i> |
| 5. | <i>Auto Drive</i> | <i>High-precision rotary servo positioner, auto-incremented under scanner control. 20 lb capacity.</i> |
| 6. | <i>Part Gripper</i> | <i>Universal part holder to adjust height, angle and orientation of capture. 10 lb capacity.</i> |
| 7. | <i>Scan Studio HD</i> | <i>Software to Scan, Align, Polish, and Fuse 3D Models.</i> |
| 8. | <i>Format Options</i> | <i>Scan data can be output as mesh file formats: STL, OBJ, VRML, XYZ, U3D, and PLY files.</i> |
| 9. | <i>Field Size</i> | <i>5.1” x 3.8” (Macro) and 13.5” x 10.1” (Wide).</i> |
| 10. | <i>Capture Density</i> | <i>Capture density on target surface is up to 160K points/ in (Macro) and 22.5K points/ in (Wide).</i> |
| 11. | <i>Texture Density</i> | <i>400 DPI on target surface in Macro Mode and 150 DPI in Wide Mode.</i> |
| 12. | <i>Dimensional Accuracy</i> | <i>±0.005” in Macro Mode and ±0.015” in Wide Mode.</i> |
| 13. | <i>Acquisition Speed</i> | <i>50,000 processed points/ sec throughput. Typically 2 minutes per scan of each face.</i> |

Secara ringkas tahapan metode scanning pada kasus ini dapat disajikan pada Gambar 15 dan Hasil *scan* disimpan dengan format *.igs atau *.dgn yang nantinya akan diimport ke *software PowerSHAPE* untuk proses *editing*. Adapun detail penjelasan tahapan desain – manufaktur Miranda Kerr Tea One Teapot dijelaskan pada Bab berikutnya dalam buku ini.



Gambar 15. Proses Sanning model fisik menggunakan 3D scanner dan CMM

Pendekatan RE yang berbasis CAD berhasil dan memberikan kontribusi signifikan terhadap permasalahan yang dihadapi oleh engineer pada aktivitas riset guna memecahkan permasalahan yang muncul pada industry manufaktur keramik dan desain sepatu orthotik. Keduanya secara eksplisit mampu memberikan hasil scanning yang sempurna, presisi dan akurat sesuai dengan model fisik yang ditampilkan. Kedua metode RE ini mampu memberikan error dimensi kurang dari 0.05 mm sehingga memberikan kesimpulan pada metode dan alat scanning yang digunakan benar-benar mampu memberikan hasil yang presisi dan akurat.

Daftar Pustaka

- Abella R, Daschbach J, McNichols R(1994) Reverse engineering applications. *Comput Ind Eng* 26 (2):381–385
- Alexandru C Telea., *Reverse Engineering – Recent Advances and Application.*, inTEch, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 2012.
- Andreas Remmy Tan Wijaya. 2017. Pendekatan Reverse Engineering dari 3D mesh ke 3D CAD/CAM pada Miranda Kerr Tea for One Tea Pot di PT Doulton
- Angga Wicaksano. 2017, Perbaikan desain insole orthotic menggunakan curve base surface modelling dari 3D mesh ke 3D solid modelling. Skripsi. Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia.
- Anggoro P. W., Yuniarto T., Bawono B., Setyohadi D. B., Felasari S., Widyanarka O. D. W., Tauviqirrahman M., Jamari J., Bayuseno A. P., *Advanced Design and Fabrication of Islamic Tile Ceramic Wall Tiles With Indonesian Batik Patterns Using Artistic CAD/CAM and 3D Printing Technology.* *Frontiers in Mechanical Engineering.* 2021. 7:799086. doi: 10.3389/fmech.2021.799086
- Anggoro P.W., Bawono B., Setyohadi D.B., Ratnasari L., Fergiawan P.K., Tauviqirrahman M., Jamari J., Bayuseno A.P., *Optimisation of the machining time required by insole orthotic shoes for patients with clubfoot using the Taguchi and response surface methodology approach.* *Heliyon.* 2023. Vol 9. e16860. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16860>
- Anggoro, P.W., 2018. *Aplikasi Computer Aided Reverse Engineering System dalam Tahapan Desain dan Manufaktur Sepatu Orthotik Bagi Pasien Diabetes.* Disertasi. Program Doktor Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Indonesia.

- Anggoro, P.W., Krishnayuda, M.B., Yuniarto, T., Bawono, B., Suharyanti, Y., Felasari, S., Setyohadi, D.B., Widyanarka, O.K.W, Bayuseno, A.P., Virtual design and machining of core and cavity for fabrication of dining plate tableware with Kawung batik pattern. *Cogent Engineering*. 2022b. 9 (1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2084985>
- Anggoro, P.W.; Bawono, B.; Wicaksono, A.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. 2019. Reverse Innovative Design of Insole Shoe Orthotic for Deabetic Patient. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 14(1), pp 106-113. <https://dx.doi.org/10.36478/jeasci.2019.106.113>
- Anggoro, P.W.; Avelina, M.M.; Bawono, B.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Computer-aided reverse engineering system in the design and production of orthotic insole shoes for patients with diabetes. *Cogent Engineering*. 2018. Vol 5 (1), pp 1-20. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1470916>
- Anggoro, P.W.; Bawono, B.; Wicaksono, A.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Reverse innovative Design of Insole shoe orthotic for diabetic patient. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019a, Vol 14(1), pp 106-113. <http://dx.doi.org/10.36478/jeasci.2019.106.113>
- Anggoro, P.W.; Tan Wijaya, A.R.; Yuniarto, T.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P.; Setyohadi, D.B. Reverse Engineering from 3D mesh to ceramic product in the form of miranda kerr tea for one teapot in PT Doulton Indonesia. *Cogent Engineering*. 2021a. Vol. 8 (1), pp 1-20. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1981522>
- Anggoro, P.W.; Wibowo, J.; Saputro, Y.D.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Optimal design and fabrication of shoe lasts for ankle-foot orthotics for patients with diabetes. *International Journal of Manufacturing, Materials, and*

- Mechanical Engineering. 2019b. Vol. 9(2), pp 62-80. DOI: 10.4018/IJMMME.2019040104
- Bagci, E., 2009. Reverse Engineering Application For Recovery of Broken or Worn Part and Re Manufacture: Three Case Studies, *Advances in Software*, 40, pp 407-418
- Bhirawa. (2014). Penggunaan Teknologi CAD CAM untuk Membuat Produk. Program Studi Teknik Industri Universitas Suryadarma Jakarta.
- Brian, C. (1999). *From Range Scans to 3D Models*. University of Washington.
- Cendy Hestu Tomo. 2017. Analisa Finite Element insole shoe orthotic pada kasus kelainan kaki datar. Skripsi. Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia.
- Ciobota dan Nastase-Dan . (2012). Standard Tessellation Language in Rapid Prototyping Technology. *The Scientific Bulletin of VALAHIA University – MATERIALS and MECHANICS – Nr. 7 (year 10)*
- Cornelius Dwisepta A. 2020. Aplikasi Teknologi Digital Fotografi untuk mempermudah proses reverse engineering kaki. Skripsi. Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia.
- Fergiwawan, P.K.; Anggoro, P.W.; Ismail, R.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P. Application of computer-aided reverse engineering system in the design of orthotic boots for clubfoot patients. *Journal Southwest Jiaotong University*. 2021b. Vol. 56 (3), pp 405-418. DOI : 10.35741/issn.0258-2724.56.3.34. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16860>
- Gularso. H., 2013, Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680, *Jurnal Teknik Geodesi Universitas Diponegoro*.

- Maria Avellina Marcelline Santosa.2017. Aplikasi Computer Aided Reverse Engineering System (CARE System) pada produk orthotik outsole untuk kasus kelainan kaki. Skripsi. Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia.
- Motavalli S, Shamsaasef R (1996) Object-oriented modelling of a feature based reverse engineering system. *Int J Comp Integ M* 9(5):354–368
- Oancea, Gh. et al. 2013. Computer aided reverse engineering system used for customized products. *Annals of MTeM for 2013 & Proceedings of the 11th International MTeM Conference*. Hal. 181-186
- Singh. N., 2012, Reverse Engineering-A General Review, Niranjana et al *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, pp. 24-28.
- Urbanic. R. J., 2007, A Reverse Engineering Methodology for Rotary Components from Point Cloud Data, 37 : 1146-1167
- Urbanic. R. J., 2007, A Reverse Engineering Methodology for Rotary Components from Point Cloud Data, 37 : 1146-1167
- Vinesh Raja, Kiran J Fernandes, *Reverse Engineering: An Industrial Perspective* 1st edition; Springer; Jerman, 2010
- Wego Wang. *Reverse Engineering – Technology of Reinvention*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. USA.
- Xiuzi, Y. Hongzheng, L. Lei, C. Zhiyang, C. Xiang, P. Sanyuan, Z. (2007). Reverse innovative design-an integrated product design methodology. *Journal of Computer Aided Design*, 40, pp812-827.
- Yau H, Haque S, Menq C (1995) Reverse engineering in the design of engine intake and exhausts ports. *Manuf Sci Eng*, 64:139–148

Bab 3

CAM & CNC beserta studi kasus di lapangan

Computer Aided Manufacturing (CAM) merupakan sistem manufaktur yang mengoptimalkan kemampuan program komputer untuk menterjemahkan desain gambar 2D/3D dari CAD yang digunakan untuk diproses lanjut di mesin CNC. Program ini dilengkapi dengan perbendaharaan data untuk melakukan proses pemesinan diantaranya simulasi proses, jenis cutter yang digunakan, variasi strategi pemesinan (*toolpath strategy*), parameter kerja, *post processor*, dan lain-lain sehingga dengan menguasai program ini akan mendapatkan kualitas produksi yang optimal. Empat studi kasus optimasi manufaktur berbasis CAD CAM pada mesin CNC berhasil membuktikan bahwa pemilihan *toolpath strategy* yang optimal pada CAM PowerMill dan Rhino 4.0 berpengaruh signifikan pada waktu pengerjaan dan kualitas hasil pemesinan pada produk: outsole sepatu; master produk jelwery liontin bermotif Batik Indonesia; Master Mub dengan relief Batik Kawung; Produk SLT LP; dan Produk Saucer. NC Code yang dihasilkan pada study ini telah diaplikasikan dengan sangat baik pada skala laboratorium dan pabrik keramik.

3.1. Sejarah dan Teknologi CAD/CAM

Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM) merupakan proses manufaktur berbasis komputer. Metode dengan basis komputer dalam proses desain produk

muncul dari hasil observasi terhadap kelemahan hasil pengerjaan menggunakan mesin-mesin konvensional. *Product life cycle* yang semakin hari semakin menyempit serta selalu menuntut adanya efisiensi dan keefektifan dalam proses pengembangan produk dan waktu proses yang semakin cepat. CAD/CAM merupakan program pemrosesan yang sangat efektif untuk proses pembentukan model, dimana bentuk-bentuk benda kerja yang sangat detail dan rumit serta memiliki contour permukaan yang detail sehingga tidak dapat dikerjakan mesin konvensional harus membutuhkan mesin yang memanfaatkan CAD/CAM untuk proses pengerjaannya.

Kemampuan CAD/CAM terdiri dari empat teknologi dasar, yaitu: manajemen basis data (*Database*), computer grafis, model matematis, dan akuisisi data dan control. Seringkali aplikasi CAD/CAM dapat memanfaatkan keempat teknologi dasar dari CAD/CAM diatas seperti :

- a. Menyimpan dan memanggil basis data gambar dan atribut suku cadang.
- b. Menggunakan computer grafik untuk berkreasi dan *display*.
- c. Memanfaatkan simulasi dan model matematis.
- d. Mengontrol proses produksi dengan control numerik dan pemrograman robot.

Database yang dihasilkan dalam desain dapat menjadi aplikasi permintaan bahan baku (*Bill of materials*) dalam industri manufaktur. Gambar geometris diterjemahkan menjadi spesifikasi manufaktur sehingga dapat mengontrol mesin CNC. Selain itu kemampuan teknologi CAD dalam mendesain *Wireframe Modelling* berkembang dengan pesat menjadi *Surface Modelling*, *Solid Modelling*, *Parasolid* dan *Parametric Modelling*. Sedangkan kemampuan CAM dari mesin NC menjadi CNC berawal dari 3 axis sampai mesin CNC 6 axis yang sangat berkembang saat ini.

Keunggulan kompetitif merupakan salah satu variable mutlak yang harus dimiliki oleh setiap industri manufaktur bila ingin tetap berkompetisi dan bertahan dalam jalur persaingan bisnis manufaktur yang sangat cepat. Dengan memiliki keunggulan kompetitif setiap industri manufaktur diharapkan selalu dapat mengerjakan produk sesuai permintaan pasar. Manfaat dan keunggulan dari teknologi CAD/CAM adalah :

a. Respon cepat

Dewasa ini pintar saja tidak cukup, tapi dibutuhkan *smart*. Hal ini dapat terpenuhi jika tiap elemen dalam industri manufaktur selalu memiliki respon yang cepat terhadap permintaan customer. Agar tidak ditinggalkan pelanggan maka perusahaan harus memiliki respon yang cepat dalam melayani pelanggan.

b. Desain manufaktur yang fleksibel

c. Mutu Produk menjadi meningkat

d. Efisiensi

e. Aplikasi Teknologi CAD/CAM

f. Produktivitas dan Kualitas

3.2. **Computer Aided Manufacturing (CAM)**

Penerapan sistem CAM keseluruhan menyebabkan peningkatan efisiensi proses manufaktur. CAM juga digunakan dalam sektor manufaktur furnitur, dan bidang-bidang lainnya seperti teknik mesin, teknik otomotif, teknik elektronik, konstruksi/ properti, dan industri pesawat terbang. Tujuan utamanya adalah untuk menciptakan proses produksi dan komponen yang lebih cepat dan perkakas dengan dimensi dan konsistensi material yang lebih tepat, yang dalam beberapa kasus hanya menggunakan jumlah bahan baku yang dibutuhkan (dengan demikian meminimalkan limbah), sekaligus mengurangi konsumsi energi. Keuntungan dari

penggunaan CAM adalah dapat bekerja pada sistem yang ada pada komputer melalui software tertentu sehingga kita dapat mengetahui dan mengoreksi apabila ada kesalahan yang terjadi pada saat proses pembuatan suatu produk dengan mudah dan cepat. Manfaat lain yang signifikan dari penggunaan CAM adalah penyesuaian proses manufaktur untuk menciptakan desain baru yang sesuai dengan permintaan *customer*. Saat ini banyak produk-produk hasil industri manufaktur yang bervariasi dan dapat dibayangkan sangat sulit apabila semuanya harus dikerjakan secara manual. Oleh karena itu, industri modern saat ini sudah banyak memanfaatkan teknologi komputer untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan yang tidak mungkin dilakukan manusia.

Computer Aided Manufacturing adalah sebuah sistem yang menggunakan teknologi komputer untuk mengendalikan operasi manufaktur mulai dari mengontrol *tools* mesin ataupun bagian mesin lainnya yang berhubungan dengan proses pemesinan. Di bidang industri, komputer telah dipergunakan untuk mengendalikan mesin-mesin produksi dengan kecepatan tinggi. CAM bertujuan untuk menghasilkan sebuah produk dengan waktu yang lebih cepat, serta ukuran yang presisi dan juga mengurangi kebutuhan material mentah (*raw material*) dan konsumsi energi. CAM merupakan proses setelah pemodelan menggunakan CAD atau CAE. Model yang telah dibuat selanjutnya akan diproses menggunakan *software* CAM yang akhirnya menjadi perintah untuk mengontrol *tools* mesin. CAM menggunakan komputer-komputer dalam kendali dan operasi pabrikasi. Ada dua aplikasi utama untuk *Computer Aided Manufacturing*, yaitu :

1. Dimana komputer secara langsung mengendalikan suatu operasi pabrikasi.
2. Dimana komputer itu digunakan untuk mendukung proses pabrikasi, sebagai contoh *Numerical Control*.

Secara tradisional, CAM telah dianggap sebagai alat Numerical Control (NC), di mana dalam model komponen dua dimensi (2D) atau tiga dimensi (3D) yang dihasilkan dalam CAD, CAM tidak menghilangkan kebutuhan akan profesional yang terampil seperti insinyur manufaktur, pemrogram NC, atau operator. CAM sebenarnya memanfaatkan nilai profesional manufaktur yang paling terampil melalui alat produktivitas tingkat lanjut, sambil membangun keterampilan profesional baru melalui alat visualisasi, simulasi, dan pengoptimalan. Bagi pengguna yang baru memulai sebagai pengguna CAM, kemampuan out-of-the-box yang menyediakan Proses Wizards, template, perpustakaan, peralatan mesin berbasis fitur otomatis dan fungsi kerja antarmuka pengguna yang mudah disesuaikan membuat kepercayaan pengguna dan mempercepat Kurva belajar. Kepercayaan pengguna dibangun lebih lanjut pada visualisasi 3D melalui integrasi yang lebih dekat dengan lingkungan 3D CAD, termasuk simulasi dan pengoptimalan kesalahan.

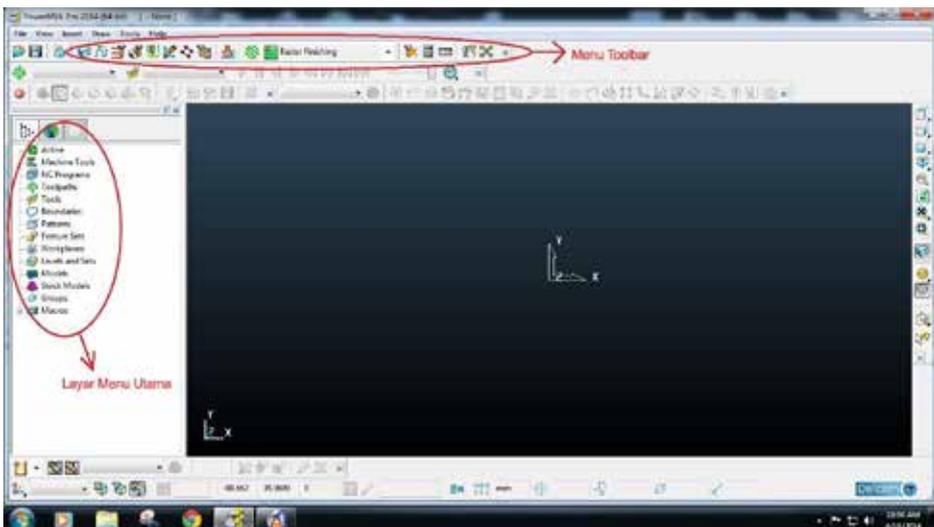
3.2.1. PowerMill 2016

Software CAM yang digunakan adalah PowerMill 2016 yang merupakan hasil produksi dari DELCAM dimana perusahaan tersebut merupakan salah satu perusahaan yang menyediakan software CAD/CAM yang terkemuka di dunia. Pada software PowerMill 2016 telah dilakukan penyempurnaan pada *strategy roughing* maupun *strategy finishing*. Dimana hasil penyempurnaan ini mampu didapatkan hasil pengerjaan yang lebih halus dan lebih cepat dibandingkan software PowerMill versi sebelumnya. PowerMill dapat mengambil gambar dari software design yang lain seperti IGES, STEP, Catia, UG, ProEngineer, Rhino, dan lain-lain dalam bentuk format IGES, VDA, STL. Hasil output dari PowerMILL yaitu berupa simulasi permesinan, G-Code, dan waktu permesinan. Proses PowerMILL dengan menggunakan beberapa fungsi penting digunakan untuk membuat NC-Code seperti pada

mesin CNC, seperti: YCM EV1020A; Rolland Modela MDX 40R; Rolland Modela MDX 20; maupun mesin CNC router yang saat ini banyak dijual pada pasar Indonesia.

Luaran dari PowerMill berupa simulasi permesinan, G-Code, dan waktu permesinan. Berbagai strategi pemesinan (*toolpath strategy*) disediakan pada Software CAM ini dan disinilah bagaimana engineer CAD CAM melakukan optimasi manufaktur dengan membuat beberapa opsi strategi pemesinan yang optimal sehingga secara simulasi dapat diperlihatkan pergerakan real simulasi dan real machining dari awal cutter melakukan proses pengelepasan benda kerja sampai diperoleh produk yang diinginkan pada gambar dengan waktu yang optimal, geometri produk yang presisi dan akurat, kehalusan permukaan seperti yang didesain dan diinginkan oleh pelanggan. Pemilihan *toolpath strategy* ini berpengaruh signifikan terhadap hasil pemesinan dan waktu pengerjaan produk di mesin CNC.

PowerMILL memiliki beberapa fungsi penting bagi engineer CAD CAM untuk membuat NC-Code yang nantinya akan diimport ke mesin CNC. Fungsi tersebut diuraikan berikut ini:



Gambar 3.1. Layar utama PowerMILL 2016

(sumber: Software PowerMILL 2016)

Tampilan menu utama pada software PowerMILL 2016 terdiri dari:

a. NC Program

Pada tampilan utama terdapat menu NC Program. Menu NC Program ini berfungsi untuk membuat G-Code dari produk yang akan kita kerjakan. Dalam G-Code, nantinya berisikan langkah-langkah permesinan dalam bahasa program.

b. Toolpath

Menu Toolpath berfungsi untuk mengaktifkan dan bisa juga untuk melakukan editing, melihat estimasi waktu dari berbagai macam Toolpath yang telah kita buat sebelumnya.

c. Tools

Menu Tool berfungsi untuk memperlihatkan cutter yang telah kita pilih untuk proses permesinan. Melalui menu Tool ini kita juga dapat melakukan pengeditan terhadap jenis tipe cutter yang telah kita pilih.

d. Boundaries

Menu Boundaries memiliki fungsi untuk membatasi area yang akan kita proses. Jika kita menginginkan hanya area tertentu yang ingin kita proses, maka kita dapat memproses melalui menu Boundaries ini.

e. Pattern

Menu Pattern berfungsi membatasi area yang akan kita proses. Menu ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan menu Boundaries. Namun bedanya menu Pattern hanya memproses sesuai dengan batas tepi dari produk yang akan kita proses.

f. Feature Set

Menu Feature Set berfungsi untuk membuat lubang atau hole pada model. Melalui Feature Set ini, kita dapat dengan cepat membuat lubang, karena cutter akan secara otomatis bergerak membuat lubang sesuai dengan desain yang telah kita buat.

g. Workplane

Menu Workplane berfungsi untuk mengecek workplane mana yang sedang aktif dan juga berfungsi untuk mengatur workplane mana yang ingin kita aktifkan.

h. Levels

Menu Levels pada Pmill berfungsi untuk menyembunyikan sementara gambar produk tanpa menghilangkan gambar produk. Hal ini sangat berguna jika kita menginginkan pengeditan pada gambar produk.

i. Models

Menu Models dalam PMill memiliki fungsi untuk menunjukkan model apa saja yang telah kita buka dalam PMill pada saat itu. Dalam menu Models juga diperlihatkan type, origin, path, translucency dari model yang telah kita kerjakan.

j. Stock Models

Stock Models merupakan gabungan model dari model yang telah kita calculate sesuai parameter stock model tersebut,

k. Groups

Groups merupakan kumpulan-kumpulan dari stock models.

1. Macros

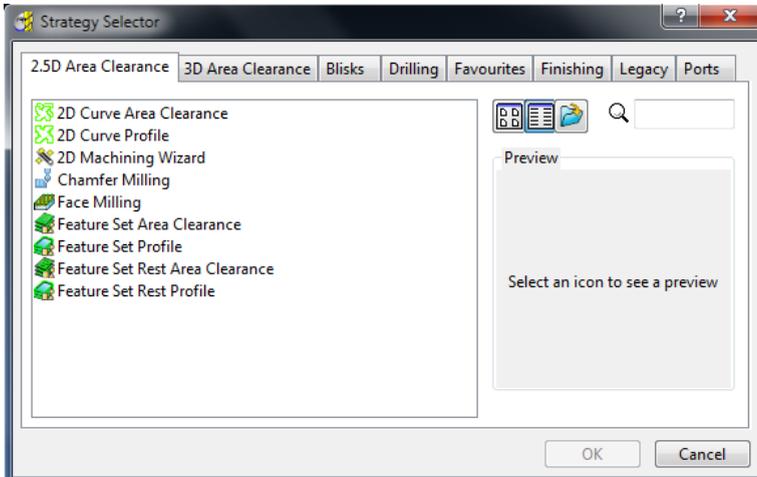
Menu Macros dalam PMill berfungsi sebagai Help. Jika kita membutuhkan penjelasan mengenai PMill kita dapat menggunakan menu Macros.

3.2.2. *Toolpath Strategy*

Toolpath strategy merupakan salah satu menu tool yang ada di PowerMILL yang berfungsi untuk menentukan Toolpath apa yang ingin digunakan. Penentuan Toolpath ini sangat berpengaruh terhadap hasil machining produk dan waktu proses pengerjaan. Sub menu dalam menu *Toolpath Strategy* ini antara lain adalah *2,5D Area Clearance*, *3D Area Clearance*, *Blisk*, *Drilling*, *Favourite*, *Finishing* dan *Ports*. Disetiap sub menu tersebut terdiri dari berbagai macam strategi pergerakan cutter yang dapat kita pilih. Toolpath Strategy yang ada di Powermill antara lain adalah :

1. *2,5D Area Clearance*

Di dalam *2,5D Area Clearance* terdapat sembilan toolpath strategy yaitu *2D Curve Area Clearance*, *2D Curve Profile*, *2D Machining Wizard*, *Chamfer Milling*, *Face Milling*, *Feature Set Area Clearance*, *Feature Set Profile*, *Feature Rest Area Clearance*, *Feature Rest Set Profile*. Dalam *2,5D Area Clearance Toolpath Strategy* ini kita tidak dapat melakukan proses pengerjaan secara 3D, karena dalam *2,5D Area Clearance* ini pergerakan cutter hanya melakukan pemakanan hanya sebatas pada sisi terluar dari material dan tidak melakukan pemakanan sedikitpun pada material.

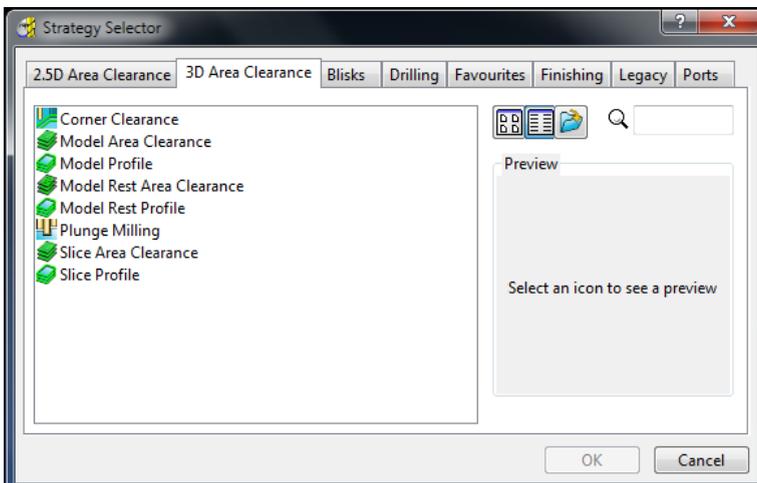


Gambar 3.2. Strategy 2.5D Area Clearance

(Sumber : Delcam Plc, PowerMILL, 2016)

2. 3D Area Clearance

Di dalam Toolpath Strategy 3D Area Clearance ini terdapat delapan pola Toolpath Strategy. 3D Area Clearance ini biasanya hanya digunakan sebagai strategi dalam proses roughing. Hal ini dikarenakan pola pergerakan dari 3D Area Clearance. Hal ini dikhususkan untuk memangkas material yang masih utuh. Pola pergerakan 3D Area Clearance tidak sedetail Toolpath yang digunakan untuk finishing

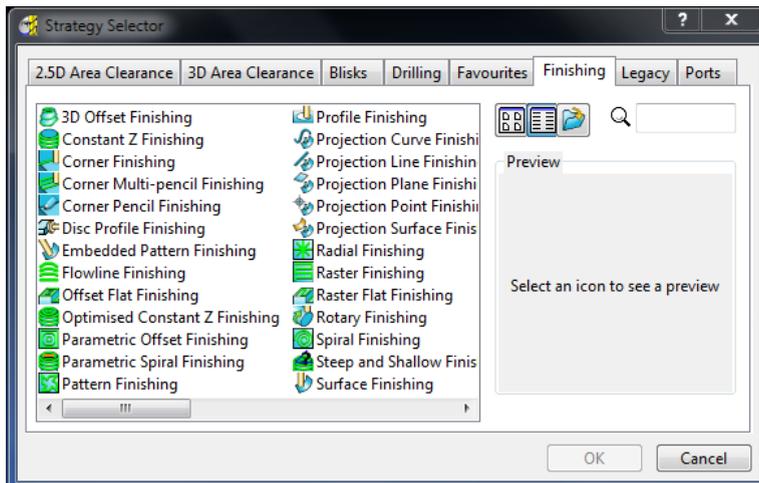


Gambar 3.3. Strategy 3D Area Clearance

(Sumber : Delcam Plc, PowerMILL, 2016)

3. *Finishing*

Kelompok Toolpath Strategy selanjutnya adalah Finishing. Walaupun merupakan kelompok Toolpath strategy finishing, namun Toolpath ini juga dapat digunakan sebagai Toolpath untuk proses pengerjaan semifinishing.



Gambar 3.4. *Strategy Finishing*

(Sumber : Delcam Plc, PowerMILL, 2016)

Dalam Toolpath strategy Finishing ini terdapat dua puluh sembilan Toolpath strategy dengan pola pergerakan cutter yang berbeda. Toolpath itu antara lain adalah *3D offset finishing*, *ConstantZ Finishing*, *Corner Along Finishing*, *Corner Automatic Finishing*, *Corner Multi Pencil Finishing*, *Corner Pencil Finishing*, *Corner Stitch Finishing*, *Disc profile finishing*, *Embedded Pattern Finishing*, *Interleaved Constant Z Finishing*, *Offset Flat Finishing*, *Optimized Constant Z Finishing*, *Parametric Offset Finishing*, *Pattern Finishing*, *Profile Finishing*, *Projection Curve Finishing*, *Projection Line Finishing*, *Projection Plane Finishing*, *Projection Point Finishing*, *Projection Surface Finishing*, *Radial Finishing*, *Raster Finishing*, *Raster Flat Finishing*, *Rotary Finishing*, *Spiral Finishing*, *Surface Finishing*, *Swarf Finishing*, *wireframe profile finishing*, dan yang terakhir adalah *wireframe swarf finishing*.

Buku ini lebih melihat hasil akhir simulasi dari setiap *toolpath strategy* yang telah dibuat karena tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan *toolpath strategy* yang optimal dari segi waktu dan kualitas dari kontur relief setiap produk sehingga pada saat masuk ke proses pemesinan tidak ada error yang terjadi. Berikut ini, beberapa penjelasan faktor-faktor parameter pemesinan yang mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap hasil pemesinan:

1. *3D Offset Area Clearance*

Pada *Model Area Clearance*, pergerakan *cutter* mengikuti pola dari area yang akan mengalami proses pemesinan. Pola pergerakan *Toolpath* ini cukup menghemat waktu dan mempercepat waktu pemesinan karena *cutter* hanya bergerak hanya pada area yang diperlukan.

2. *Raster Finishing*

Toolpath Raster Finishing merupakan *toolpath* yang dapat digunakan untuk proses pengerjaan *semi finishing* dan *finishing*. Raster Finishing. Raster finishing ini memiliki pola pergerakan yang hampir sama dengan Raster Area Clear Model, namun Raster Finishing ini lebih dikhususkan sebagai *Toolpath* dalam proses semifinishing dan proses finishing. Berdasarkan preview pola pergerakan *cutter* pada *Toolpath strategy Raster Finishing*, pola pergerakan *cutter* bergerak melewati semua area material dari ujung mulai hingga ujung material selesai. Pola pergerakan *cutter* bergerak secara horizontal ke kiri dan ke kanan dan mengikuti kontur dari model yang sedang dikerjakan. *Raster Finishing* memiliki pola pergerakan melakukan pemakanan ke semua bidang material dengan pergerakan *cutter* bergerak ke kiri dan ke kanan hingga membentuk suatu model. Kelemahan dari *toolpath* ini adalah proses pengerjaan memakan waktu yang cukup lama karena melakukan pemakanan ke segala area material.

3. *Optimized Constant Z Finishing*

Pola pergerakan *Toolpath Optimized Constant Z* memiliki pola pergerakan yang mirip dengan *Toolpath Interleaved Constant Z Finishing*. *Toolpath Interleaved Constant Z Finishing* merupakan penyempurnaan dari *Toolpath Optimized Constant Z Finishing* yang sudah ada pada PMill versi 6.0. *Toolpath Strategy Optimized Constant Z Finishing* merupakan *Toolpath strategy* dapat digunakan untuk proses *semi finishing* ataupun *finishing*. *Toolpath strategy Optimized Constant Z Finishing* memiliki pola pergerakan cutter yang bergerak mengikuti bentuk dari model yang akan dikerjakan. Keunggulan dari *Toolpath* ini adalah memiliki waktu proses yang lebih cepat dibandingkan *Toolpath strategy* yang lain. Keunggulan yang lain adalah pergerakan cutter mampu mengerjakan area-area yang rumit. Pergerakan *cutter Constant Z Finishing* bergerak mengikuti pola dari model yang ada dan bergerak ke dalam dan semakin ke dalam. Kedalaman dari pemakanan cutter ini dapat kita atur melalui setting dari *deep of cut*.

4. *Steep and Shallow Finishing*

Toolpath strategy ini merupakan alternative dan pengembangan dari *toolpath strategy Optimized Constant Z Finishing* yang menggabungkan antara sudut ambang dari 3D *Offset*, *Raster*, dan *Constant Z* sehingga untuk pemakanan pada bagian irisan dari sudut yang tidak dapat dikerjakan oleh 3D *Offset* dan *Constant Z* dapat dikerjakan dengan sempurna.

3.3. Computer Numerical Control (CNC)

Numerical Control (NC) adalah suatu bentuk dari sistem terotomasi yang menggunakan variabel input untuk mengontrol jalannya peralatan produksi. Variabel input ini berupa serangkaian

kode berisi angka, huruf, dan simbol yang mendefinisikan sebuah program instruksi untuk menjalankan suatu pekerjaan. Program instruksi akan berubah sesuai dengan perubahan yang terjadi pada suatu pekerjaan. Kemampuan NC untuk merubah program sesuai dengan pekerjaan menyebabkan NC cocok digunakan untuk produksi dengan volume rendah dan sedang. Aplikasi dari Numerical Control terbagi dalam dua kategori, yaitu :

- a. Aplikasi pada machine tool, seperti pada mesin drill, mesin milling, dan mesin-mesin perkakas yang lain.
- b. Aplikasi pada non machine tool, misalnya pada assembly, drafting, dan inspeksi.

Komponen utama dari sistem Numerical Control adalah program instruksi, machine control unit, dan peralatan produksi.

Program instruksi merupakan detail tiap langkah perintah yang ditujukan untuk menjalankan mesin. Program instruksi ini berupa kode-kode. Machine control unit (MCU) terbagi menjadi dua elemen, yaitu data-processing unit (DPU) dan control-loops unit (CLU). DPU memproses kode-kode program instruksi dan memberikan informasi operasi ke CLU. CLU mengoperasikan mekanisme gerakan mesin, menerima sinyal feedback dari posisi aktual dan memberitahukan ketika sebuah operasi telah selesai dikerjakan. Peralatan produksi, yaitu mesin-mesin yang digunakan adalah komponen pokok ketiga dari suatu sistem NC.

Computer Numerical Control (CNC) adalah hasil pengembangan dari *Numerical Control* (NC). CNC merupakan peralatan elektronik yang membaca dan menginstruksikan program instruksi dan mengubahnya menjadi tindakan mekanikal pada peralatan mesin dengan menggunakan micropocessor sebagai unit pengontrol.

Mesin-mesin perkakas yang menggunakan CNC disebut dengan mesin CNC. Untuk mengoperasikan mesin-mesin CNC

diperlukan software. Software digunakan untuk operating system menginterpretasikan program korespondensi antara control mesin. Machine interface mengoperasikan link antara NC dan membangkitkan sinyal dengan drive dari software digunakan untuk komputer dan mesin CNC sehingga mesin dapat beroperasi. Mesin CNC terhubung dengan komputer tidak hanya memungkinkan operator untuk menjalankan program tetapi juga memodifikasi program tersebut, baik setelah diinputkan ataupun dijalankan.

3.3.1. Milling CNC

Pengerjaan perataan permukaan dengan menggunakan mesin frais atau juga biasa disebut dengan mesin milling adalah proses yang menghasilkan chips (beram). Milling menghasilkan permukaan datar atau berbentuk profil pada ukuran yang ditentukan dan kehalusan atau kualitas permukaan yang ditentukan. Ada dua tahapan umum pengerjaan dalam proses milling, yaitu proses pengerjaan roughing dan finishing. Proses roughing adalah tahap awal sebelum masuk ke tahap finishing dalam proses pemesinan. Finishing bertujuan untuk hasil akhir yang halus, sempurna, dan akurat maka roughing bertujuan untuk membentuk materi mentah dalam waktu yang singkat, dengan cakupan wilayah pemakanan yang luas pada material.

Terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam memulai proses pemesinan milling, yang pertama memilih material dan ukuran cutter, dimensi benda kerja, desain yang diinginkan, dan jenis pengerjaan (roughing atau finishing). Yang kedua, menentukan parameter-parameter proses pemesinan, seperti :

1. Feedrate (mm/min) adalah pilihan untuk mengatur kecepatan pemakanan atau feeding dari jalannya cutter.
2. Spindle Speed (rpm), kecepatan putaran dari spindle. Spindle speed ditentukan dengan mempertimbangkan

besaran feedrate dan diameter cutter yang digunakan saat melakukan proses pemesinan.

3. Deep of Cut (mm) adalah besarnya kedalaman pemakanan dari cutter saat pengerjaan milling dilakukan pada benda kerja.

Beberapa mesin CNC dapat digunakan dalam penyelesaian beberapa kasus optimasi manufaktur, salah satunya adalah Mesin CNC *milling* YCM EV1020A merupakan mesin yang dimiliki oleh Universitas Atma Jaya Yogyakarta sebagai salah satu sarana pembelajaran untuk mahasiswa mengenal proses manufaktur. Mesin yang memiliki 3 sumbu X, Y, dan Z ini dapat mengerjakan kontur benda atau *prototype* yang cukup kompleks. Mesin yang didukung oleh sebuah kompresor untuk *clamping* dari *cutter* dan fungsi-fungsi yang lain.



Gambar 3.5. Mesin CNC YCM EV1020A

Mesin CNC milling YCM EV1020A memiliki area kerja 1020 x 520 x 540 mm. Material yang dapat dikerjakan di mesin ini adalah material metal atau logam, ABS, nylon dan lain-lain.

3.3.2. Cutter

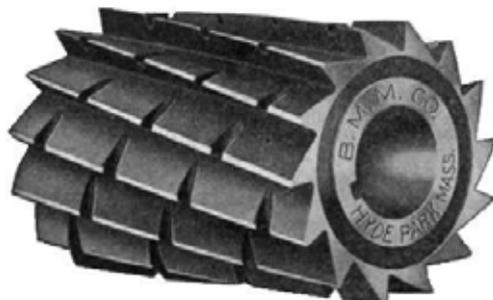
Cutter pada mesin milling mempunyai bentuk silindris, berputar pada sumbunya yang dilengkapi dengan gigi melingkar yang seragam. Keuntungan cutter dibandingkan pahat bubut dan pahat ketam adalah setiap sisi potong dari pisau frais mengenai benda kerja hanya dalam waktu yang singkat pada proses pemotongan selama satu putaran pisau frais.

Cutter biasanya terbuat dari HSS maupun Carbide Tripped. Gigi cutter ada yang lurus maupun ada yang mempunyai sudut, untuk yang bersudut (Helix angle) dapat mengarah ke kanan dan ke kiri. Gigi cutter ada yang merupakan kesatuan dengan badan cutter dan ada juga yang dilepas dari badan cutter. Gigi cutter yang dapat dilepas disebut insert. Insert ini dipasang di ujung pahat dan dalam satu pahat bisa terdapat lebih dari satu insert.

Ada beberapa macam jenis cutter dalam mesin milling, contohnya :

a. *Plain Mill Cutter*

Digunakan untuk pengerjaan horizontal dari permukaan datar



Gambar 3.6. *Plain milling cutter*

(Sumber: *Machine Tool Practice sixth edition*, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003)

b. *Shell End Mill Cutter*

Pemotongan dengan menggunakan sisi muka, digunakan untuk pengerjaan dua permukaan yang tegak lurus. Pada cutter ini panjangnya lebih besar dari diameter dan hal yang harus diingat adalah tidak boleh memasang cutter terbalik.



Gambar 3.7. *Shell End Mill Cutter*

(Sumber: *Machine Tool Practice sixth edition, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003*)

c. *Face Mill Cutter*

Digunakan untuk pengerjaan ringan (pemakanan kecil). Pisau ini pendek dan mempunyai sisi potong pada bagian yang melingkar dan bagian sisi mukanya, seperti shell end mill cutter. Dalam jenis ini ada yang disebut *Carbide Tripped Face Mill Cutter*, keistimewaan pisau ini adalah tentang kemudahan penggantian sisi potongnya

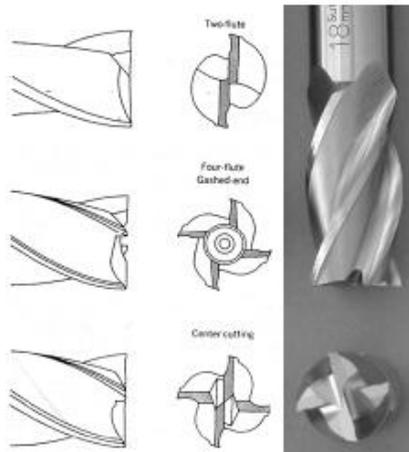


Gambar 3.8. *Face Mill cutter*

(Sumber: *Machine Tool Practice sixth edition, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003*)

d. *EndMill Cutter*

Tipe dari pisau frais ini didesain untuk penyayatan kebanyakan pada bagian ujung muka, ujung dari gigi-gigi diteruskan sepanjang sisinya dengan jarak sekitar dua kali diameternya



Gambar 3.9. *End Mill cutter*

(Sumber :*Machine Tool Practice sixth edition, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003*)

e. *Ballnose Cutter*

Ballnose Cutter merupakan solusi untuk pengerjaan *Surface Countouring* pada mesin milling CNC. Jenis cutter ini sangat tepat karena dapat mencapai kehalusan permukaan dalam pembuatan kontur-kontur khusus. Pada ujung cutter ballnose ini terdapat radius yang bisa juga dipergunakan untuk *filleting* pada benda kerja. Terdapat bermacam-macam ballnose yang terdapat pada mesin milling

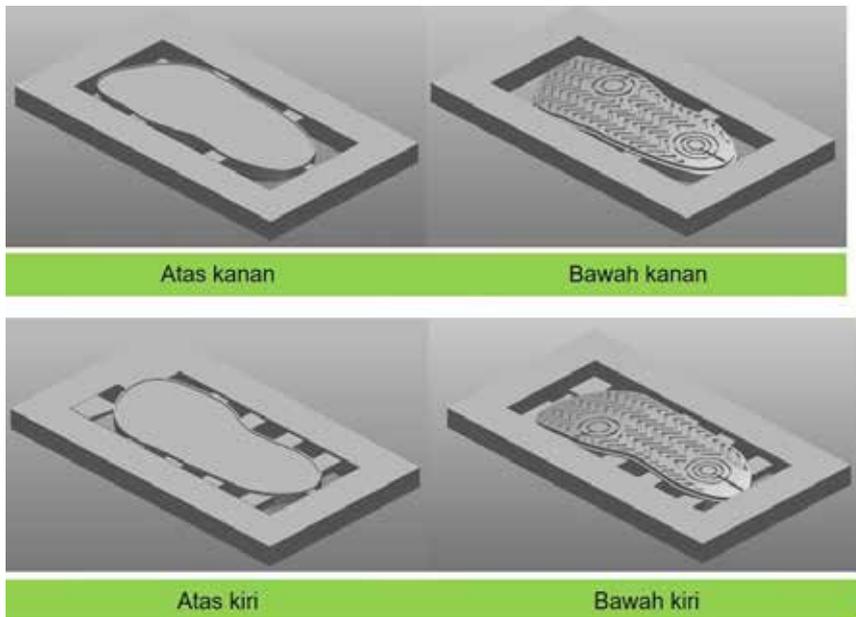


Gambar 3.10. Ballnose cutter

(Sumber :*Machine Tool Practice sixth edition*, Kibbe, R.R, Neely, J.E, Meyer, R.O, White, W.T., 2003)

3.4. Study Kasus CAM Powermill 2016 pada produk outsole sepatu orthotik

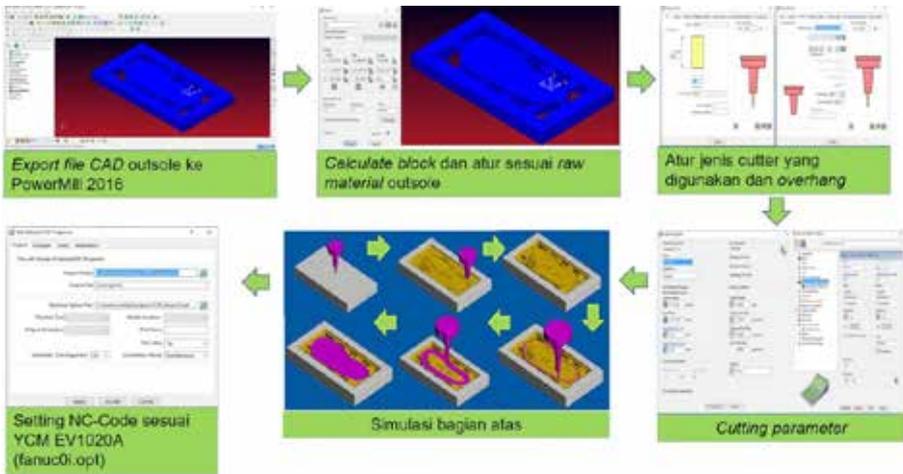
Model yang dijadikan model fisik dalam study kasus CAM PowerMill adalah 3D outsole yang didasarkan pada bentuk yang sudah dilaporkan oleh Anggoro (2018) dan Avelina (2017); Jati Wibowo (2018) dengan memperhatikan ukuran dan sudut roker arm outsole yang ditetapkan. Hal ini dilakukan agar ketika proses assy insole dengan outsole akan menghasilkan suaian longgar dengan memberikan lebar antara (gap) sebesar 2 – 3 mm. Gap ini, diberikan dengan tujuan untuk meletakkan upper shoe. Setelah dilakukan proses pembangkitan 3D CAD model menggunakan PowerShape menjadi model 3D CAD skeleton outsole (Gambar 3.11) yang siap untuk diimport ke CAM PowerMill 2016 untuk dilakukan optimasi manufaktur.



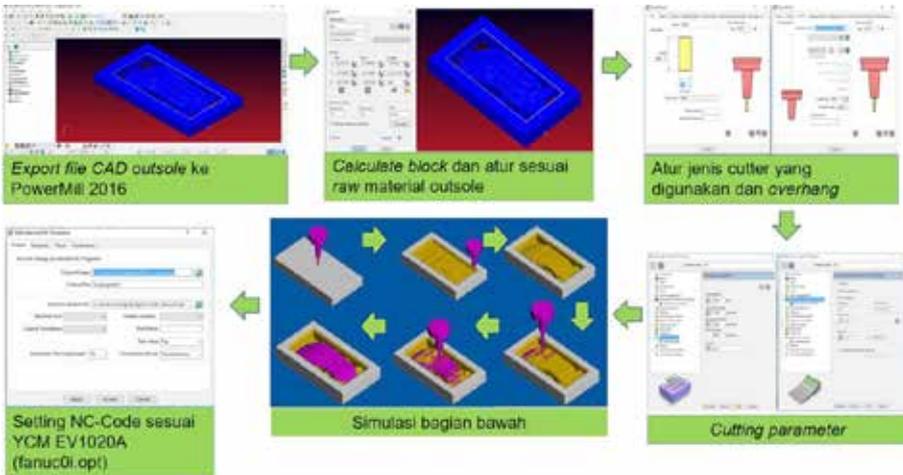
Gambar 3.11. Model 3D CAD skeleton outsole

Tahapan Proses CAM Outsole

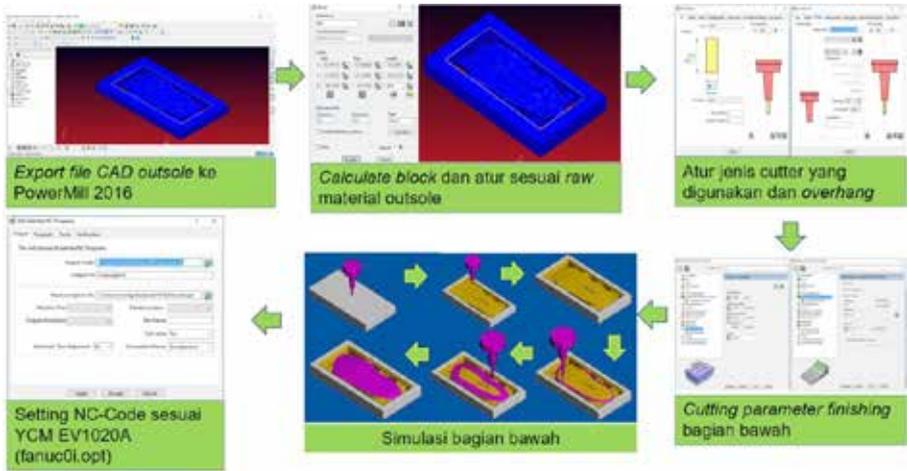
Setelah melalui proses CAD, tahap selanjutnya adalah proses CAM, proses tersebut bertujuan untuk membuat NC program untuk proses permesinan menggunakan mesin CNC YCM EV1020A, pada tahap ini, kita akan menentukan cutter yang akan digunakan dalam proses permesinan dan toolpath strategy permesinan yang optimal untuk proses permesinan. Dimana proses permesinan outsole tersebut harus memakan dua sisi material, sisi pertama adalah bagian atas (upper), yang merupakan bagian dari atas outsole yang nantinya akan menjadi base insole. Bagian kedua adalah bagian bawah (Lower), bagian tersebut adalah bagian bawah outsole yang sudah melalui tahap wrapping. Berikut dijelaskan tahapan proses CAM menggunakan software PowerMill 2016 (Gambar 3.12 sd Gambar 3.15).



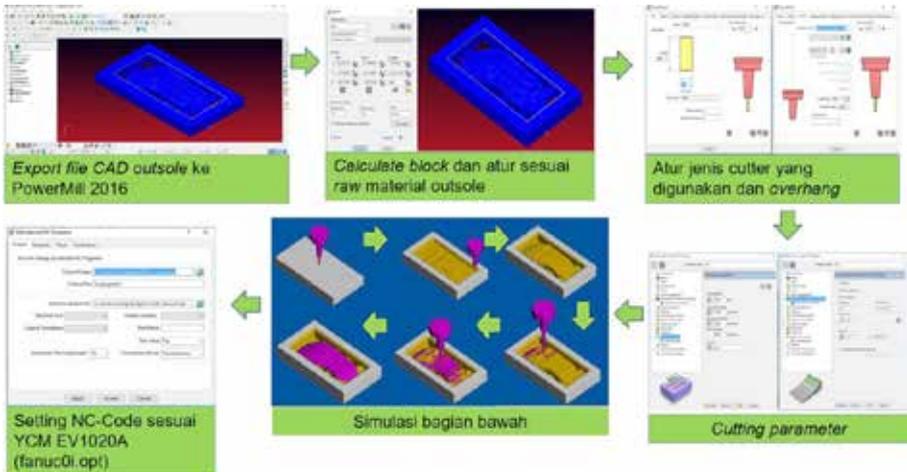
Gambar 3.12. Proses CAM machining outsole bagian atas kiri



Gambar 3.13. Proses CAM machining outsole bagian bawah kiri



Gambar 3.14. Proses CAM machining outsole bagian atas kanan



Gambar 3.15. Proses CAM machining outsole bagian bawah kanan

Dari keempat gambar tersebut kemudian dibuatkan tabel program report agar mempermudah engineer CNC dalam melakukan pengurutan operasional NC Code dan analisis pemesinan pada mesin CNC. Hasilnya dapat disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Program Report CAM PowerMill 2016 untuk outsole Kaki Kiri

| PowerMILL | | | | | | | | | | | | PROGRAM REPORT | | | | PROGRAM NAME: 2 D L | | PROJECT CODE: PU 2 DL | |
|-------------------------|--------------|-----------|---|------------|----|-----------------------|---------|-----------------------|------|----------|-------|-----------------------|-------------|---------------|-----------------|-------------------------------|--|---------------------------------|--|
| BLOCK NAME | | PART NAME | | CUSTOMER | | PROGRAM | | QUANTITY | | MATERIAL | | DATE | | REVISION | | | | | |
| OUTSOLE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO | PROGRAM NAME | TOOL NAME | Ø | TOOL TYPE | OH | HOLDER | Process | STRATEGY | n | VF | THICK | TOOL OFFSET | TOOL NUMBER | EST. CUT TIME | ACTUAL CUT TIME | | | | |
| 1 | R.U | BUE | 6 | End Mill | 30 | D10 SC | ATAS | Offset Area Clearance | 4500 | 1500 | 1 | H | 2 | 0:22:48 | | | | | |
| 2 | F.U | BUE | 6 | Ball Nosed | 30 | Blz TSP/ 5000-110 | ATAS | Sweep and Shallow | 5500 | 1200 | 0 | H | 4 | 0:54:15 | | | | | |
| 1 | R.L | BUE | 6 | End Mill | 30 | D10 SC | BAWAH | Offset Area Clearance | 4500 | 1500 | 1 | H | 2 | 0:26:27 | | | | | |
| 2 | F.L | BUE | 4 | Ball Nosed | 30 | BT40 Blz TSP/5000-110 | BAWAH | Sweep and Shallow | 5500 | 1200 | 0 | H | 3 | 1:12:23 | | | | | |
| NOTE: | | | | | | | | | | | | TOTAL TIME: | | 2:55:54 | | | | | |
| Ref: XZ: CENTER BLOK | | | | | | | | | | | | ITEM ID: | | NO HOLDER: | | | | | |
| Ref: Z0: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MACHINING TIME | | | | | | | | | | | | MADE BY: | | CHECKED BY: | | | | | |
| RUN DNC, PROG. OPERATOR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| START : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| END : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL : | | | | | | | | | | | | JADJ | | JADJ | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | PAGE NR | | OF | | | | | |

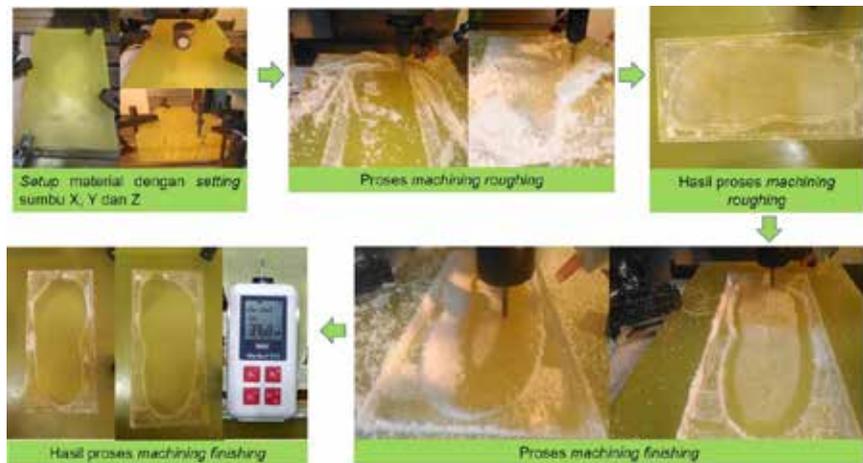
Tabel 2. Program Report CAM PowerMill 2016 untuk outsole Kaki kanan

| PowerMILL | | | | | | | | | | | | PROGRAM REPORT | | | | PROGRAM NAME: 2 D L | | PROJECT CODE: PU 2 DL | |
|-------------------------|--------------|-----------|---|------------|----|-----------------------|---------|-----------------------|------|----------|-------|-----------------------|-------------|---------------|-----------------|-------------------------------|--|---------------------------------|--|
| BLOCK NAME | | PART NAME | | CUSTOMER | | PROGRAM | | QUANTITY | | MATERIAL | | DATE | | REVISION | | | | | |
| OUTSOLE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO | PROGRAM NAME | TOOL NAME | Ø | TOOL TYPE | OH | HOLDER | Process | STRATEGY | n | VF | THICK | TOOL OFFSET | TOOL NUMBER | EST. CUT TIME | ACTUAL CUT TIME | | | | |
| 1 | R.U | BUE | 6 | End Mill | 30 | D10 SC | ATAS | Offset Area Clearance | 4500 | 1500 | 1 | H | 2 | 0:22:48 | | | | | |
| 2 | F.U | BUE | 6 | Ball Nosed | 30 | Blz TSP/ 5000-110 | ATAS | Sweep and Shallow | 5500 | 1200 | 0 | H | 4 | 0:54:15 | | | | | |
| 1 | R.L | BUE | 6 | End Mill | 30 | D10 SC | BAWAH | Offset Area Clearance | 4500 | 1500 | 1 | H | 2 | 0:26:27 | | | | | |
| 2 | F.L | BUE | 4 | Ball Nosed | 30 | BT40 Blz TSP/5000-110 | BAWAH | Sweep and Shallow | 5500 | 1200 | 0 | H | 3 | 1:12:23 | | | | | |
| NOTE: | | | | | | | | | | | | TOTAL TIME: | | 2:55:54 | | | | | |
| Ref: XZ: CENTER BLOK | | | | | | | | | | | | ITEM ID: | | NO HOLDER: | | | | | |
| Ref: Z0: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MACHINING TIME | | | | | | | | | | | | MADE BY: | | CHECKED BY: | | | | | |
| RUN DNC, PROG. OPERATOR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| START : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| END : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL : | | | | | | | | | | | | JADJ | | JADJ | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | PAGE NR | | OF | | | | | |

Berdasarkan Gambar 3.12 dan Tabel 1 dan 2 kemudian dilakukan proses pemesinan menggunakan mesin CNC YCM EV1020A, pada tahap ini, melakukan proses permesinan outsole tersebut harus memakan dua sisi material, sisi pertama adalah bagian atas (upper), yang merupakan bagian atas dari outsole yang nantinya akan menjadi base insole (dudukan). Bagian kedua adalah bagian bawah (Lower), bagian tersebut adalah bagian bawah outsole yang sudah melalui tahap wrapping. Gambar proses pemesinan ada pada Gambar 3.16 dan Gambar 3.17.



Gambar 3.16. Proses pemesinan outsole bawah



Gambar 3.17. Proses pemesinan outsole atas

Analisis Machining CNC

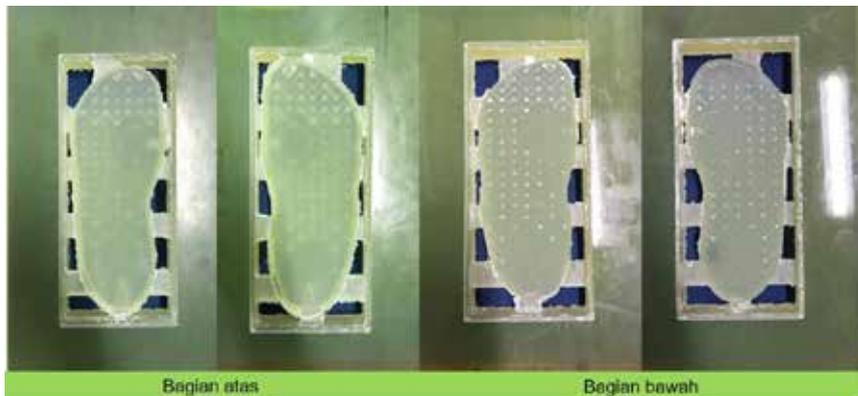
Material PU seperti pada Gambar 3.16 dipilih dan ditetapkan sebagai raw material dalam penelitian proses desain manufaktur outsole shoe orthotic ini berdasarkan pertimbangan praktis dan saran dari beberapa praktisi yang pernah melakukan proses pengerjaan material ini dengan mesin CNC. Engineer dari PT. Kyoda Mas Mulia, PT King Manufaktur Surakarta menyarankan

penggunaan material ini sebagai obyek penelitian karena infrastruktur mesin CNC yang ada di Laboratorium Proses Produksi mampu untuk menyelesaikan penelitian ini. Material ini memiliki sifat machinability yang lebih baik dibandingkan dengan material eva rubber dengan kekerasan > 50-70 HRC seperti yang pernah dilaporkan oleh Anggoro, dkk (2017a) dalam laporan penelitiannya tentang aplikasi CARESystem dalam proses desain dan manufaktur sepatu orthosis (AFO) untuk pasien diabetes berbahan eva rubber foam dan material Polyuretane dengan mesin CNC. material PU berwarna hijau dan akan dilakukan proses pemesinan menggunakan mesin CNC YCM 1020 EV 1020 A dengan menggunakan metode pendinginan udara (dry collant). Berdasarkan hasil pemesinan yang ada pada Gambar 3.16 dan Gambar 3.17, didapatkan hasil bahwa chip's atau tatal yang terbentuk ketika dilakukan penyayatan dengan cutter end mill dan ballnose tidak menampakkan hasil menempel pada ujung flute dari kedua cutter. Hal ini menyebabkan proses pemotongan bisa berlangsung dengan lancar, aman, presisi bentuk yang diinginkan tercapai dan waktu yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan (sekitar 4 sd 5 jam/unit).

Kendala yang dihadapi oleh peneliti saat melakukan proses pemesinan material PU ini adalah saat pemotongan material PU, sifat material PU yang ulet membuat pemotongan memakan waktu lama karena peneliti harus dengan sabar memotongnya menggunakan pisau cutter. Dalam proses permesinan roughing dan finishing, kendala yang dihadapi adalah chip yang dihasilkan dari machining material PU yang sifatnya memanjang seperti tali, sehingga dapat menyebabkan cutter dan arbor terlilit chip, hal tersebut menyebabkan tidak lancarnya proses cutting PU, solusi dari peneliti untuk mengurangi terlilitnya cutter oleh chip dengan mengatur feeding G1 pada panel mesin CNC, dan menyemprotkan dry coolant ke benda kerja. Selain kendala terlilitnya cutter oleh chip, kendala yang lainnya adalah saat proses setting X0 dan Y0, dalam setting X₀ dan Y₀ harus teliti, karena proses tersebut

menentukan toleransi center benda kerja ketika di balik ke posisi pengerjaan bagian atas ke pengerjaan bagian bawah. Dalam proses pemotongan skeleton, peneliti menggunakan pisau cutter, dalam pemotongan skeleton tentunya tidak langsung di potong tanpa toleransi, pemotongan tersebut menyisakan 3-5 mm dari panjang total skeleton. Tujuan dari menyisakan panjang skeleton tersebut untuk mengurangi error center. Kemudian untuk mendapatkan center, peneliti menggunakan mesin gerinda untuk menghaluskan bagian tepi outsole.

Berdasarkan hasil proses machining, diperoleh sepasang outsole shoe orthotic sesuai penelitian sebelumnya (Chapman, dkk 2013, Anggoro, dkk 2017a) yang hasilnya dapat disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 3.18. Produk outsole yang masih terikat pada skeleton sesudah proses pemesinan di mesin CNC

Gambar 3.18, menunjukkan bahwa produk outsole masih terikat pada skeleton. Skeleton ini di desain peneliti untuk membantu pencekaman benda kerja secara rigid, karena produk outsole melalui proses machining dua sisi, skeleton tersebut juga berfungsi untuk acuan setting sumbu X, Y dan Z. Mesin CNC YCM EV1020A merupakan mesin CNC 3 axis, sehingga untuk profil pengerjaan outsole dibutuhkan dua kali setting benda kerja untuk masing-masing sisi pengerjaan outsole.

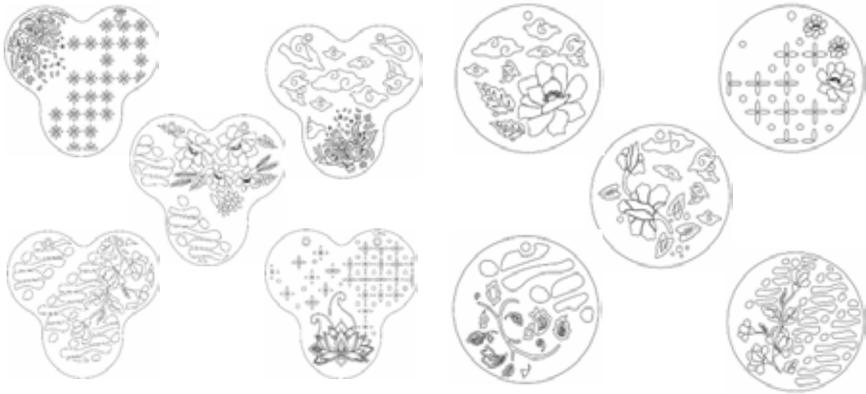


Gambar 3.19. outsole setelah proses pemotongan bagian skeleton

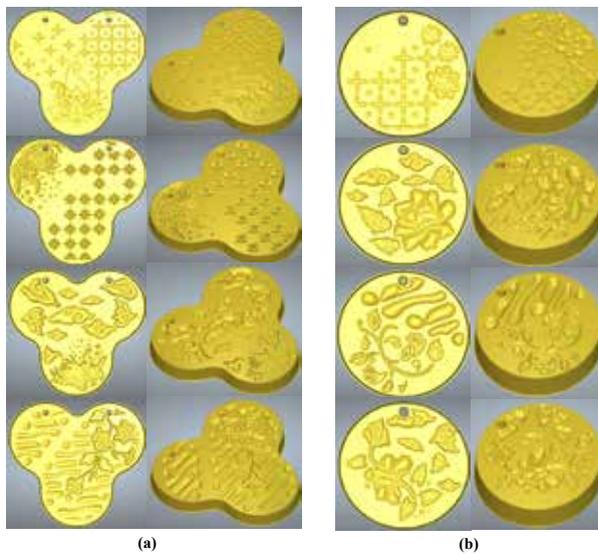
Gambar 3.19, menunjukkan bahwa produk outsole sudah melalui cutting skeleton, proses cutting skeleton menggunakan pisau cutter dengan memberikan toleransi pemotongan sebesar 3-5 mm dari ukuran sisi outsole. Untuk proses mendapatkan ukuran sisi outsole, diperlukan proses pengerindaan menggunakan bench grinding. Sisa pemotongan sisi outsole masuk pada proses pengerindaan secara manual untuk mendapatkan dimensi sisi outsole yang sesuai dengan gambar 3D outsole shoe orthotic.

3.5. Study Kasus CAM Powermill 2016 pada produk keramik liontin bermotif batik Indonesia

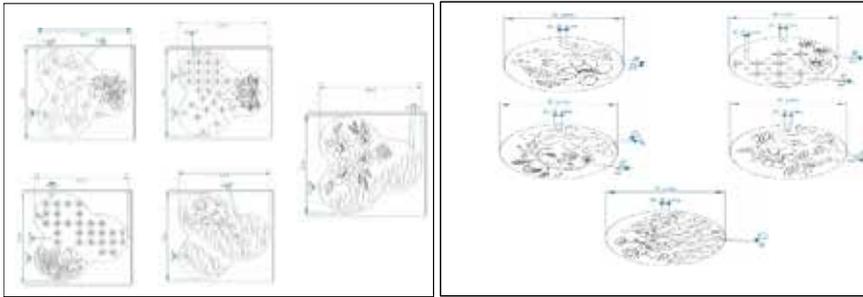
Produk yang dipaparkan dalam buku ini adalah desain dan manufaktur produk master jewelry keramik bermotif Batik Indonesia. **Desain Jewelry**, hasil desain jewelry yang telah dikerjakan oleh mahasiswa beserta Tim Peneliti untuk produk Jewelry beserta variasi desainnya dapat disajikan pada Gambar 3.20 dan Gambar 3.21. Gambar Desain Produk Jewelry tahun pertama adalah sebagai berikut:



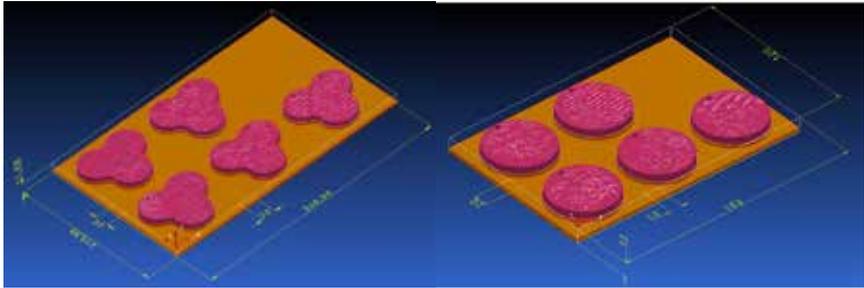
Gambar 3.20. 2D model keramik liontin dengan motif Batik Indonesia berdasarkan hasil *brainstorming*



Gambar 3.21. 3D CAD keramik liontin dengan motif Batik Indonesia: (a) type variasi kombinasi lingkaran; (b) type circle



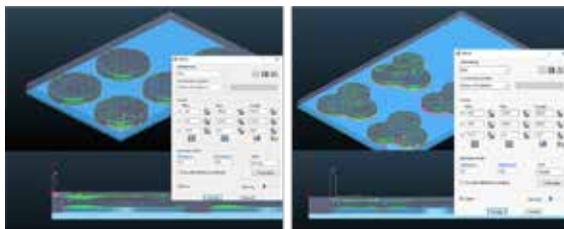
(a)



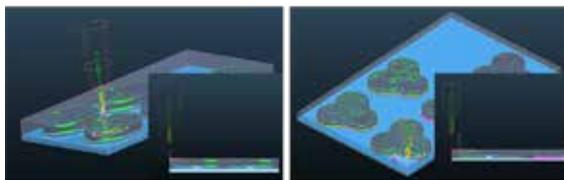
(b)

Gambar 3.22. Detail ukuran keramik liontin dengan motif Batik Indonesia: (a) 2D vector model; (b) 3D model pada Power SHAPE 2019i

Hasil optimasi manufaktur berbasis CAM PowerMill pada Gambar 3.23 dan Gambar 3.24, agar dapat diproses manufaktur pada mesin CNC dapat disajikan pada Gambar berikut:

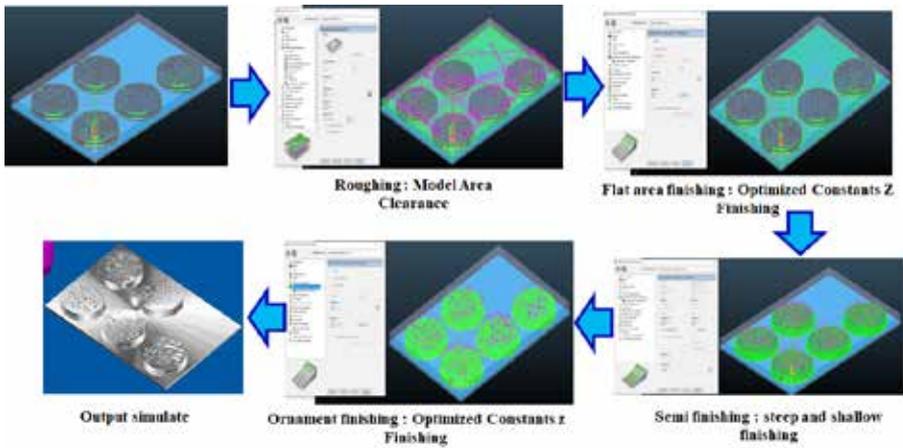


(a)

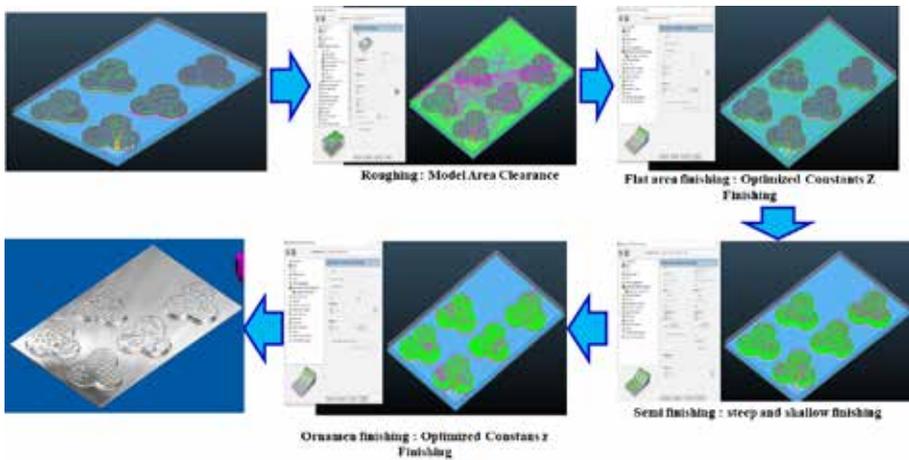


(b)

Gambar 3.23. Proses set up virtual machining pada CAM PowerMill: (a) setting material; (b) setting cutting tools

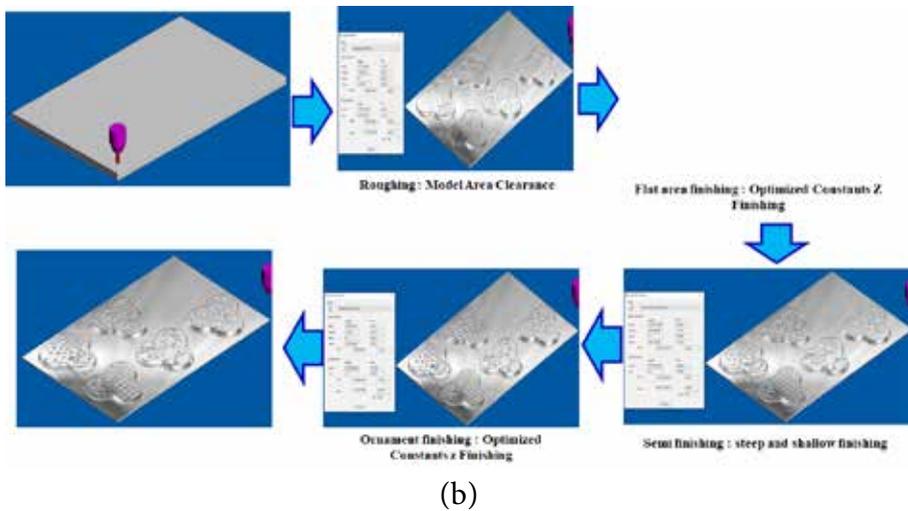
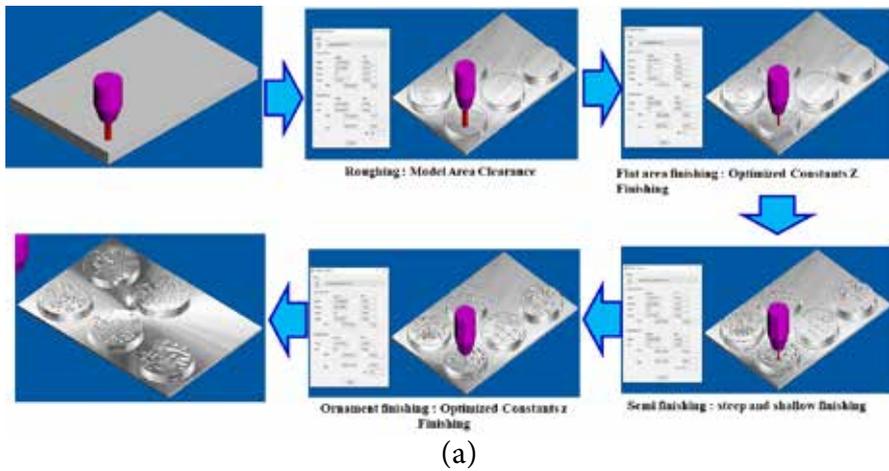


(a)



(b)

Gambar 3.24. Tahapan urutan proses pemesinan dari keramik liontin bermotif Batik Indonesia pada CAM PowerMill: (a) Type of circle model; (b) circle combination type



Gambar 3.25. Proses simulasi pemesinan pada CAM: (a) Type of circle model;
(b) circle combination type

Adapun prototype Master Produk Keramik Jewelry yang sudah dikerjakan oleh Tim Peneliti bersama Mahasiswa dan kedua mitra sampai dengan bulan September 2022 sudah berhasil diperoleh dan disajikan pada Gambar 3.26., berikut ini:

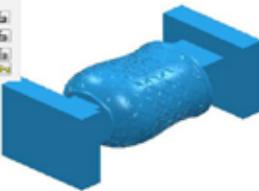


Gambar 3.26. Master produk jewelry bermotif Batik Indonesia kombinasi type Circle

3.6. Study Kasus CAM Powermill 2016 Yunianto

Berikut ini ditampilkan optimasi CAM PowerMill 2016 pada desain dan manufaktur Mug tableware bermotif Batik Kawung yang merupakan pesanan dari pelanggan PT Nuansa Porcelain Indonesia, Boyolali, Jawa Tengah. Adapun progress report yang dihasilkan dari optimasi CAM disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Progres Report Otimasi CAM PowerMill 2016 produk Mug

| Universitas Jember Yogyakarta | | PROGRAM REPORT | | | | | | | | | | PROGRAM NAME: Mug | | PROJECT CODE: | |
|---|-----------|-----------------------|----|-----------|----|---------|---------|----------------------|------|------------|-------|-----------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Lab.PP | | MUG | | | | | | | | | | MUG | | MUG | |
| PROGRAM NAME | | PART NAME | | CUSTOMER | | PROGRAM | | QUANTITY | | MATERIAL | | DATE | | REV. NO/REV. UP | |
| GELAS BURUAN | | | | | | | | | | 2016-03-26 | | | | | |
| NO | PROG/OPER | TOOL NAME | ID | TOOL TYPE | CH | HOLDER | Process | STRATEGY | F | VF | TRAGH | TOOL NUMBER | TOOL NUMBER | SET UP TIME | ACTUAL CUT TIME |
| 1 | G_1_A | BMF3 | 12 | Ball Mill | 45 | 1 | A | Crush Area Clearance | 8000 | 1500 | 0.2 | 1 | 1 | 0:05:21 | |
| 1 | F_1A | BMF3 | 1 | Ball Mill | 45 | 1 | A | 3D Offset | 8000 | 1500 | 0.1 | 4 | 4 | 0:05:51 | |
| 1 | F_2A | BMF3 | 1 | Ball Mill | 45 | 1 | A | Strip and Shoulder | 7000 | 1500 | 0.05 | 4 | 4 | 1:17:40 | |
| 1 | F_3A | BMF3 | 12 | Ball Mill | 45 | 1 | B | Crush Area Clearance | 8000 | 1500 | 0.2 | 1 | 1 | 0:05:44 | |
| 1 | F_1B | BMF3 | 1 | Ball Mill | 45 | 1 | D | 3D Offset | 8000 | 1500 | 0.1 | 4 | 4 | 0:10:51 | |
| 1 | F_2B | BMF3 | 1 | Ball Mill | 45 | 1 | B | Strip and Shoulder | 7000 | 1500 | 0.05 | 4 | 4 | 1:05:42 | |
| 1 | F_3C | BMF3 | 1 | Ball Mill | 45 | 1 | C | Strip and Shoulder | 7000 | 1500 | 0.1 | 4 | 4 | 0:10:50 | |
| 1 | F_4C | BMF3 | 1 | Ball Mill | 45 | 1 | D | Strip and Shoulder | 8000 | 1500 | 0.1 | 4 | 4 | 0:05:05 | |
| 1 | F_5A | BMF3 | 2 | Ball Mill | 45 | 1 | A | Strip and Shoulder | 8000 | 1500 | 0 | 7 | 7 | 2:11:12 | |
| 1 | F_5B | BMF3 | 2 | Ball Mill | 45 | 1 | B | Strip and Shoulder | 8000 | 1500 | 0 | 7 | 7 | 2:51:23 | |
| 1 | F_5C | BMF3 | 2 | Ball Mill | 45 | 1 | C | Strip and Shoulder | 8000 | 1500 | 0 | 7 | 7 | 0:30:57 | |
| 1 | F_5D | BMF3 | 2 | Ball Mill | 45 | 1 | D | Strip and Shoulder | 8000 | 1500 | 0 | 7 | 7 | 0:30:18 | |
| NOTE | | | | | | | | | | | | TOTAL TIME | | 35:43:04 | |
| Part: KEY-B CENTER BLOCK | | | | | | | | | | | | PBM (S) | | 140 (HOLDUP) | |
| Length: 174 (HOLDUP) Dia: 45 (HOLDUP) Dia: 45 (HOLDUP) Dia: 45 (HOLDUP) | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | |
| RUN DNG. PROG. OPERATOR START: 1988 END: 1988 TOTAL: 000 | | | | | | | | | | | | | | | |

Gambaran tahapan manufaktur produk Mug di Mesin CNC YCM ada pada Gambar 3.27.



Gambar 3.27. Tahapan Pemesinan Produk Mug di Mesin CNC

Tahapan proses CAM mug dibagi menjadi empat kali proses yaitu bagian A, B,C,D hal ini dilakukan oleh tim CARESystem untuk mempermudah proses machining. Pada proses pembuatan mug ini ada dua belas kali proses pemakanan untuk bagian A terdapat empat kali proses pemakanan yang pertama proses pertama roughing dengan nama program R1_A dengan menggunakan cutter end mill \varnothing 12 dengan strategi pemesinan offset area clearance menggunakan putaran mesin 5000 rpm dengan kecepatan pemakan 1500 m/min. Tahapan proses yang kedua adalah proses finishing pertama dengan nama program F_1A cutter yang digunakan ball nosed \varnothing 8 mm dengan menggunakan strategi 3D offset menggunakan putaran mesin 6500 rpm dengan kecepatan pemakanan 1500 m/min. Tahapan ketiga pada bagian A adalah proses finishing kedua dengan nama program F_2A tahapan ini menggunakan cutter ball nosed \varnothing 4 mm dengan strategi yang digunakan steep and shallow putaran mesin yang digunakan 7000 rpm dengan kecepatan potong 1500 m/min. Tahapan terakhir pada bagian A adalah proses finishing ketiga dengan nama program F_3A cutter yang digunakan adalah ball nosed \varnothing 2 mm dengan strategi pemesinan yang digunakan adalah steep and shallow putaran mesin yang digunakan 8000 rpm dengan kecepatan potong 1500 m/min.

Pada bagian B dilakukan empat kali proses pemakanan yang pertama adalah proses roughing pada program yang bernama R1_B cutter yang digunakan end mill \varnothing 12 mm dengan strategi pemesinan yang digunakan adalah offset area clearance putaran mesin yang digunakan 6500 rpm dengan kecepatan pemakanan 1500 m/min. Tahapan proses kedua pada bagian B adalah proses finishing pertama dengan nama program F_1B dengan menggunakan cutter ball nosed \varnothing 8 mm sedang strategi pemesinan yang digunakan adalah 3D offset menggunakan putaran mesin 6500 rpm dengan kecepatan pemotongan 1500 m/min. Tahapan proses yang ketiga pada bagian B adalah proses finishing kedua dengan nama program F_2B cutter yang digunakan ball nosed \varnothing 4 mm dengan strategi

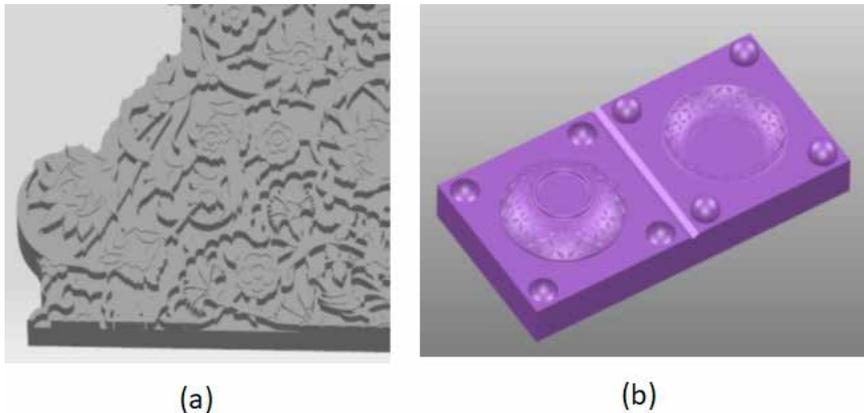
yang digunakan steep and shallow putaran mesin yang digunakan 7000 rpm dengan kecepatan potong 1500 m/min. Tahapan proses yang terakhir dari bagian B ini adalah tahapan proses finishing tiga dengan nama program F_3B cutter yang digunakan adalah ball nosed \varnothing 2 mm dengan strategi pemesinan steep and shallow putaran mesin yang digunakan 8000 rpm dan kecepatan pemotongan yang digunakan adalah 1500 m/min.

Pada tahapan C dilakukan dua kali tahap pemakanan tahapan yang pertama adalah tahapan proses finishing dengan nama program F_1C cutter yang digunakan adalah ball nosed \varnothing 4 mm sedangkan strategi yang digunakan untuk melakukan proses pemakanan tersebut adalah steep and shallow dengan putaran mesin yang digunakan 7000 rpm kecepatan pemakanan yang digunakan adalah 1500 m/min. Pada tahapan proses terakhir pada bagian C merupakan tahapan pemakanan finishing kedua dengan nama program F_2C cutter yang digunakan adalah ball nosed \varnothing 2 mm dengan strategi yang digunakan adalah steep and shallow sedangkan putaran mesin 8000 rpm dengan kecepatan pemotongan 1500 m/min.

Pada tahapan D dilakukan dua kali proses pemakanan proses pemakan yang pertama adalah proses finishing pertama dengan cutter ball nosed \varnothing 4 mm sedangkan strategi yang digunakan adalah steep and shallow dengan putaran mesin 8000 rpm dengan kecepatan pemakanan 1500 m/min. Pada tahapan proses pemakanan yang kedua yaitu proses finishing kedua program yang digunakan untuk melakukan proses tersebut adalah F_2D strategi pemesinan pada program ini adalah steep and shallow dengan putaran mesin yang digunakan adalah 8000 rpm dan kecepatan potongnya 1500 m/min. Program report CAM pada produk Mug disajikan pada Tabel 3.

3.7. Study Kasus CAM Powermill 2016 dan Rhino 4.0.

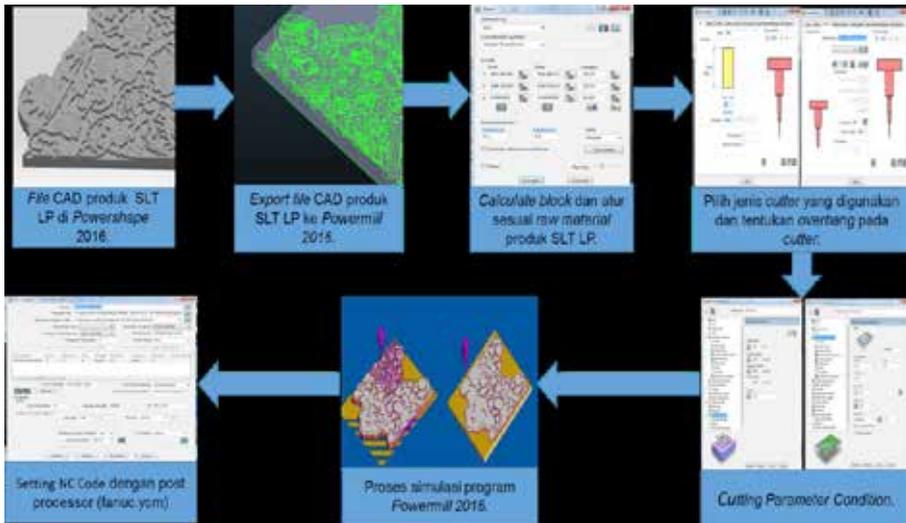
Bagian ini memaparkan hasil optimasi manufaktur berbasis CAM PowerMill 2016 dan RhinoCAM yang dikerjakan oleh Julian, dkk (2017) pada produk SLT LP dan produk saucer (Gambar 3.28.) dari PT Nuanza Porcelain Indonesia, Boyolali, Jawa Tengah. Dua software CAM digunakan pada kasus ini, yaitu: PowerMill 2016 dan Rhino 4.0, dimana hasilnya dapat disajikan pada Gambar 3.29 sampai Gambar 3.30.



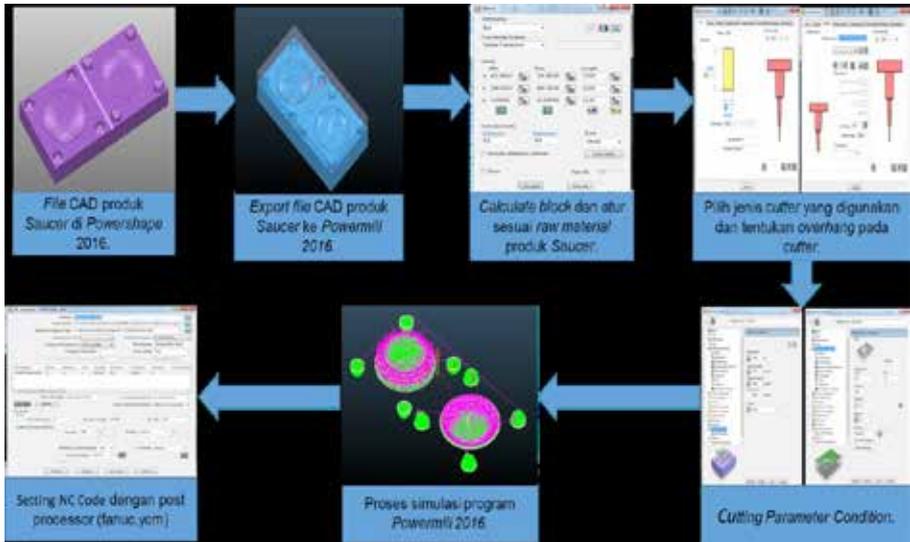
Gambar 3.28. 3D CAD model pada PowerShape 2016: (a) produk SLT LP; (b) mold cetakan saucer

Optimasi manufaktur pada software PowerMill 2016 dilakukan dengan membuat strategi pemesinan (*toolpath strategy*). Langkah awalnya adalah perlu diketahui dahulu ukuran dan dimensi produk yang akan dibuat dengan menggunakan *block*. *Block* digunakan untuk mengetahui ukuran benda kerja yang akan dikerjakan. Menu *Calculate Block* digunakan untuk mengkalkulasi semua ukuran yang terdapat pada benda kerja sebelum memasuki pemilihan strategi permesinan. Kemudian dilanjutkan dengan pemilihan *cutter* dengan menggunakan *cutter* diameter 4 berjenis *endmill* dan *cutter ballnose* diameter 1 untuk produk SLT LP. Sedangkan untuk produk *saucer* menggunakan *cutter endmill* diameter 12, *ballnose* diameter 3, dan *ballnose* diameter 1. Setelah

pemilihan cutter maka beralih ke pembuatan toolpath strategy dengan menggunakan dua model yaitu model area clearance untuk proses roughing dan steep and shallow pada proses finishing untuk pengerjaan produk SLT LP. Sedangkan untuk produk saucer dipilih tiga toolpath strategy diantaranya Model Area Clearance untuk proses roughing, Optimized Constant Z untuk proses semi finishing, dan Steep and Shallow untuk proses finishing. Pemilihan cutter dan toolpath strategy yang optimal mengenai optimalisasi toolpath strategy beserta penggunaan cutter yang sesuai untuk mengerjakan produk ceramic tile berbahan dasar gypsum. Setelah selesai verifikasi pemilihan toolpath strategy dan cutter maka dilanjutkan dengan membuat NC code yang nantinya file tersebut akan di transfer ke mesin CNC YCM EV1020A melalui controller untuk diproses machining.

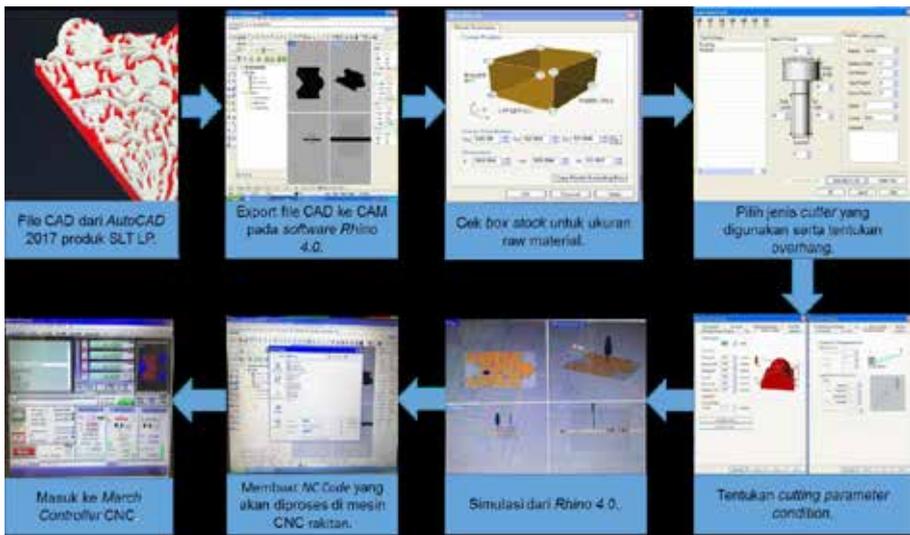


(a)

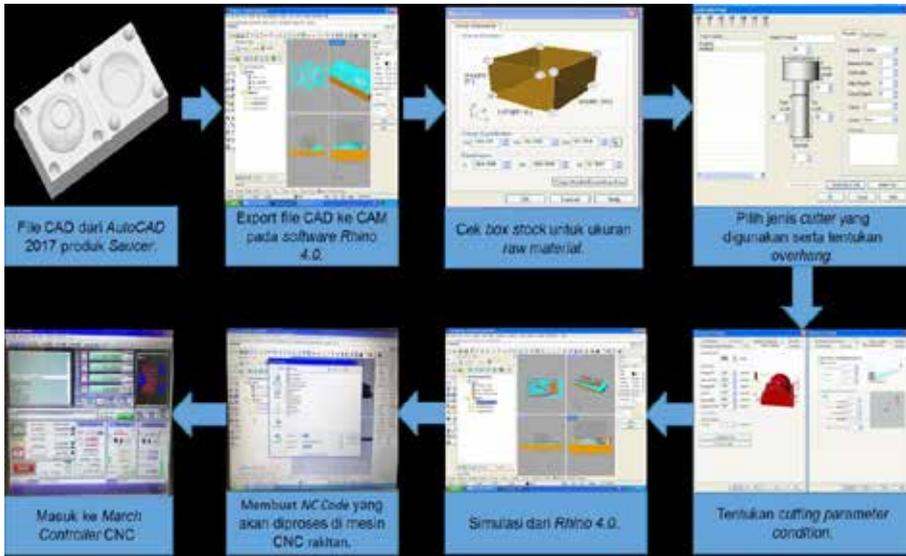


(b)

Gambar 3.29. Tahapan proses optimasi manufaktur dari CAD ke CAM PowerMill 2016: (a) Produk SLT LP; (b) Produk Saucer



(a)



(b)

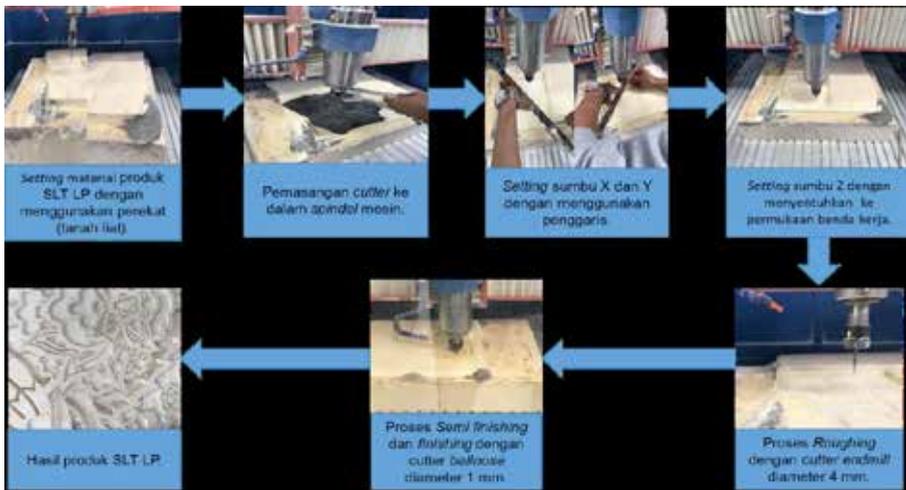
Gambar 3.30. Tahapan proses optimasi manufaktur dari CAD ke CAM Rhino 4.0:
(a) Produk SLT LP; (b) Produk Saucer

Optimasi manufaktur pada software Rhino 4.0 dilakukan dengan membuat strategi pemesinan (toolpath strategy). Proses awal dimulai dengan import file berawal dari proses CAD yang menggunakan software AutoCAD 2017 kemudian file di export ke software Rhino yang kemudian akan diproses simulasi proses permesinannya. Dalam proses setting parameter hampir sama dengan Powermill tetapi file menu yang disajikan lebih minimalis. Pada tahap awal cek ukuran raw material yang digunakan pada menu box stock. Pada menu ini digunakan untuk melihat dan menentukan ukuran bahan awal sebelum di proses mesin. Kemudian langkah selanjutnya menentukan Cutter yang digunakan untuk proses machining yaitu meliputi cutter endmill diameter 4 dan cutter ballnose diameter 1 untuk produk SLT LP. Sedangkan untuk produk Saucer menggunakan cutter endmill diameter 8 untuk proses roughing, ballnose diameter 3 untuk proses semi finishing, dan ballnose diameter 1 untuk proses finishing. Setelah selesai

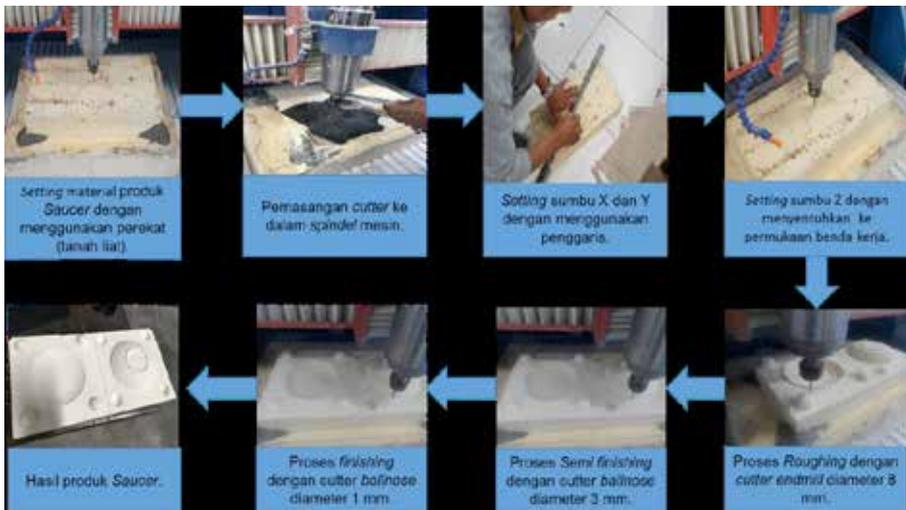
menentukan cutter yang akan digunakan kemudian dilanjutkan dengan menentukan Toolpath strategy yang digunakan pada software Rhino. Toolpath Strategy yang digunakan meliputi Model Area Clearance untuk proses roughing dan raster finishing yang meliputi proses semi finishing, finishing yang ditujukan untuk kedua produk sekaligus. Cutting parameter condition yang didapat berdasarkan yang digunakan Setelah penentuan Toolpath Strategy maka dilanjutkan dengan simulasi permesinan pada Rhino. Simulasi disini berfungsi untuk mengetahui apakah Toolpath Strategy dan cutter yang digunakan sudah sesuai dengan hasil dari proses machining yang dapat dilihat dari proses simulasi yang terdapat pada Rhino. Setelah dilakukan simulasi jika sudah tidak ada masalah langsung dilanjutkan ke tahap untuk membuat NC Code yang digunakan untuk menjalankan proses machining pada produk. NC Code disini berupa kode-kode terlampir dimana kode tersebut berperan untuk menjalankan proses machining. Setelah NC Code selesai dibuat maka secara otomatis setelah disimpan langsung termonitor pada controller yang dinamakan March Controller CNC yang berfungsi menjalankan program permesinan pada mesin CNC rakitan pada PT. Nuanza Porcelain Indonesia.

Setelah dilakukan optimasi manufaktur berbasis pada kedua software tersebut kemudian dilakukan proses manufaktur pada dua type mesin CNC, yaitu: YCM **EV1020A** dan CNC router milik PT Nuanza Porcelain Indonesia. Hasilnya dapat disajikan pada Gambar

...

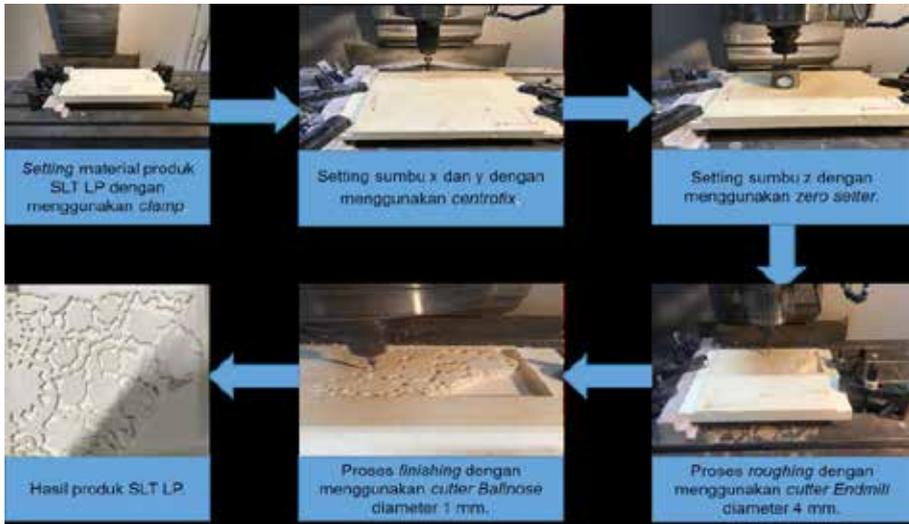


(a)

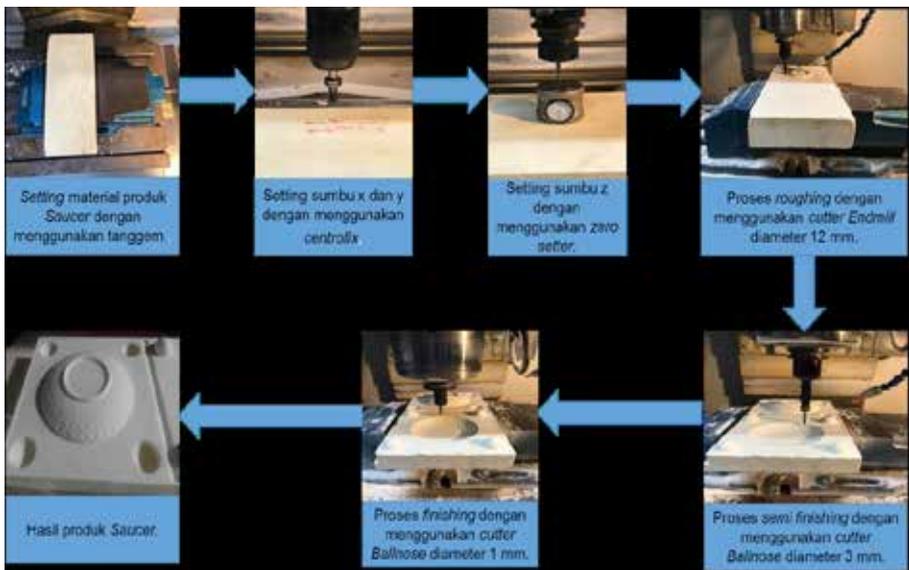


(b)

Gambar 3.31. Tahapan proses manufaktur di mesin CNC router : (a) Produk SLT LP; (b) Produk Saucer



(a)



(b)

Gambar 3.32. Tahapan proses manufaktur di mesin CNC YCM EV 1020A : (a) Produk SLT LP; (b) Produk Saucer

Aplikasi teknologi CAM pada industri manufaktur saat ini menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi engineer, peneliti maupun pelaku usaha CAD CAM dan mesin CNC dalam upaya mendapatkan kualitas hasil permukaan produk manufaktur yang presisi, akurat, cepat dan biaya ekonomis sesuai permintaan pelanggan.

Empat study kasus yang ditampilkan pada bab ini telah membuktikan bahwa pengembangan desain produk manufaktur baru dengan memanfaatkan teknologi CAM mampu menghasilkan produk berkualitas.

Riset kedepan perlu dikembangkan lebih jauh lagi dalam optimasi manufaktur untuk produk Kesehatan.

Daftar Pustaka

- Anggoro, P.W., 2018. Aplikasi Computer Aided Reverse Engineering System dalam Tahapan Desain dan Manufaktur Sepatu Orthotik Bagi Pasien Diabetes. Disertasi. Program Doktor Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Indonesia.
- Anne Suleman. 2017. Optimasi Toolpath Strategy dengan Teknologi Computer Aided Manufacturing pada Mesin CNC untuk Produk Cetakan Keramik Dinding di PT Nuanza Porcelain Indonesia. Skripsi. Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia
- Chang, T.C. dkk (1998); *Computer Aided Manufacturing*, 2nd edition; Prentice-Hall. Inc.; *A Simon and Schuster Company*, New Jersey
- Daryl Julian.2018. Perbaikan Proses Permesinan Cetakan Keramik di PT Nuanza Porcelen Indonesia. Skripsi. Program Studi

Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri. Universitas
Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia

Delcam Plc. 2012, *PowerMILL*, UK. Delcam

Delcam Plc. 2012, *PowerSHAPE*, UK. Delcam

Denford (2009); *G and M Programming for CNC Milling Machine*;
Denford West Yorkshire, England

Grover, M.P., 1996; *Fundamental of Modern manufacturing, Material,
Process, and System*; Prentice-hall, Inc.; A Simon and Schuster
Company, New Jersey

Handbook Manual Operation for Machining Center YCM (2012);
Taiwan

Jati Wibowo, 2018. Proses Manufaktur Outsole Shoe Orthotic
dengan Teknologi Subtractive Manufacturing. Skripsi.
Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri.
Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia

Kibbe, R.R. dkk (2003), *Machine tool practice, sixth edition, Pretice
Hall, Inc.; A Simon and Schuster Company, New Jersey*

Maria Avellina Marcelline Santosa.2017. Aplikasi Computer
Aided Reverse Engineering System (CARE System) pada
produk orthotik outsole untuk kasus kelainan kaki. Skripsi.
Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri.
Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia

Maria Avellina Marcelline Santosa.2017. Aplikasi Computer
Aided Reverse Engineering System (CARE System) pada
produk orthotik outsole untuk kasus kelainan kaki. Skripsi.
Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri.
Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia.

Yunianto Dwi Saputro. 2018. Proses Manufaktur *Dining set
Tableware* dengan relief Batik Kawung Indonesia. Skripsi.
Program Studi Teknik Industri. Fakultas Teknologi Industri.
Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Indonesia

Bab 4

Reverse Engineering Miranda Kerr Tea for one Teapot

Saat ini, penggunaan *reverse engineering* (RE) dalam pengembangan desain produk keramik baru (peralatan makan, perhiasan, dinding ubin, mainan, dll.) adalah metode yang sangat menjanjikan bagi industry untuk dapat bersaing sengit di era industri 4.0. Namun, kesulitan dalam mendesain dan membuat keramik produk yang benar-benar mirip dengan geometri produk pesaing tidak hanya terbatas berdasarkan informasi Gambar 2D dan produk standar sebagai sampel pembanding. Metode terbaik yang digunakan di RE dikembangkan dalam pidato saya ini guna memastikan pasokan fleksibilitas rantai. Untuk mendapatkan produk Miranda Kerr Tea for One Teapot yang benar-benar mendekati produk standar di pasaran maka diperlukan metode Reverse Engineering (RE). Metode RE dipilih dan dikembangkan penulis dalam tulisan ini dimulai dengan mendapatkan data 3D mesh CAD dari sampel standar menggunakan teknologi Koordinat Measurment Machine (CMM) dan 3D Scanner. Data hasil CMM ini selanjutnya diolah menjadi 3D solid model MKT-OT&T pada perangkat lunak PowerSHAPE 2016. Untuk mendapatkan prototype model tea pot yang sesuai dengan gambaran produk standar digunakan CAM PowerMILL 2016 dan mesin milling CNC 4 axis. Proses casting merupakan proses lanjutan setelah proses machining cetakan kedua produk tersebut. Cetakkan yang digunakan dalam

proses casting dibuat berdasarkan model fisik. Tulisan ini berhasil menunjukkan keunggulan penggunaan teknologi RE pada industry keramik nasional di Indonesia dalam upaya bersaing di tingkat nasional maupun internasional. Hasil RE menunjukkan selisih kemiripan kurang dari 1.00 mm dengan total waktu pengerjaan sebesar 43 jam 18 menit 10 detik dan total biaya secara keseluruhan sekitar \$ 4172,35. Luaran riset ini pada akhirnya bisa menjadi pedoman bagi engineer keramik maupun industry manufaktur lainnya dalam Upaya membangun produk keramik kustom baru dengan biaya produksi rendah dan adanya produk baru dengan peningkatan kualitas. Hasilnya juga dapat dikembangkan untuk insinyur di industri keramik di Indonesia dan dunia.

4.1. *Reverse Engineering*

Reverse Engineering, dari perspektif industri, saat ini dianggap sebagai salah satu teknik rekayasa baru yang mampu memberikan siklus pengembangan produk yang singkat (*Oancea et al., 2013; Vinesh & Kiran, 2008*) dengan manfaat nyata dalam pengembangan produk custom. Hal ini juga berlaku pada tahap akhir pengembangan produk cepat dalam pembuatan berbagai komponen dan alat industri seperti master model cetakan, master pola cetakan, dan alat press (*Oancea et al., 2013; Sokovic & Kopac, 2005*). Namun, hal ini juga belum secara maksimal diterapkan dengan baik oleh insinyur di industri keramik modern saat ini sebagai sebuah alat desain baru yang handal guna menghasilkan sebuah desain keramik baru dengan ornamen artistik atau untuk mengejar kesamaan bentuk dan geometri yang tepat / presisi dari produk pesaing untuk meningkatkan keunggulan kompetitif.

Pengembangan produk baru dari implant telah digunakan dalam prosedur bedah rekonstruksi dan regenerasi oleh dokter dan engineer, dimana hasil yang diperoleh merupakan aplikasi engineering yang berbasis pada *software* desain khusus seperti,

CAD (*computer aided design*), CAE (*computer aided engineering*), digunakan untuk melakukan pengembangan proses desain untuk produk baru [Haleem & Javaid, 2020; Haleem et al., 2020; Javaid & Haleem, 2018a; López et al., 2014; Singare et al., 2004]. Namun proses *engineering* desain berbasis komputer CAD saat ini telah menjadi sebuah metode desain konvensional dan tidak mampu diterapkan pada obyek dengan morfologi yang cukup kompleks seperti pada jaringan tulang misalnya. Namun, konsep ini saat ini berubah cepat dengan adanya pengembangan konsep dan aplikasi dari *Reverse Engineering* (RE) dalam pengembangan produk baru (Kucklick, 2006; López et al., 2014).

Reverse Engineering biasanya dikaitkan dengan sebuah analisis dan evaluasi dari model yang sudah ada yang kemudian dijadikan sebagai referensi dalam membangkitkan solusi desain baru seperti yang ditunjukkan oleh (López et al., 2014). RE didefinisikan sebagai proses modern untuk melakukan rekonstruksi suatu produk sementara bentuk asli dari obyek fisik tetap dipertahankan (Wego, 2010). Konsep ini juga diterapkan dalam upaya mengembangkan model untuk analisis melalui penggunaan data, informasi, dan pengetahuan yang diperoleh engineer sebelumnya (Wego, 2010). Hal ini juga memungkinkan bagi engineer untuk mengkomunikasikan produk dalam bentuk prototipe digital melalui proses redesain ulang dan pembuatan yang menggunakan teknologi yang ada berdasarkan RE. Oleh karena itu, pendekatan ini mengarah pada pengembangan perangkat lunak *Biological Computer-Aided Design* (*Bio_CAD*) seperti *PowerShape* dan *artCAM* untuk mendapatkan model 3D *virtual* dari kelainan bentuk kaki pasien seperti *diabetes dan club foot*. Pada umumnya hal ini diperoleh berdasarkan hasil dari pemindaian kaki menggunakan alat pemindai praktis yang telah dikonfigurasi sebelumnya dalam format gambar 3D *mesh* dan *.stl* seperti yang pernah disajikan oleh peneliti sebelumnya [Anggoro et al., 2019; Anggoro, Bawono et al., 2019; Anggoro et al., 2017, 2018; Anggoro, Tauviqirrahman et al., 2019; Haleem & Javaid, 2019a,

2019b; Javaid & Haleem, 2018b; Javaida & Hal, 2019; Kucklick, 2006].

Saat ini, RE dari sudut pandang industry manufaktur dianggap sebagai salah satu teknik rekayasa yang mampu memberikan secara cepat, akurat, dan tepat dalam siklus pengembangan produk baru (Vinesh & Kiran, 2008 and Onchea, et al (2013) yang memberikan kontribusi nyata dalam proses desain produk custom. RE juga dapat digunakan dalam pengembangan produk yang cepat, fabrikasi beberapa komponen produk industry yang bervariasi, seperti mold base construction, master produk cetakan, *core & cavity*, dan *dies tools* (Sokovic & Kopac, 2013) and Onchea, et al (2013). Namun pemanfaatan RE dalam industry keramik modern di Indonesia dewasa ini masih belum secara maksimal dimanfaatkan oleh engineer sebagai alat desain yang handal dalam menghasilkan desain keramik dengan ornament artistik ataupun untuk mengejar kesamaan bentuk dan geometri yang presisi dan akurat dibandingkan dengan produk pesaing guna meningkatkan keunggulan kompetitifnya.

Beberapa tahapan RE yang perlu dilakukan oleh para engineer keramik, pada tahapan inovasi produk baru agar dapat bersaing di pasar antara lain proses digitalisasi model fisik atau clay models melalui pemindaian (*scanning*), proses data *scanning* dalam format *.stl* atau *mesh*, proses re-desain ulang model fisik menjadi sebuah produk baru, Gambar 3D CAD model yang baru, Optimasi proses CAM, pembangkitan NC Code, dan proses manufaktur menggunakan mesin CNC sampai diperoleh produk yang didesain tersebut (Anggoro et al., 2015; Anggoro, Yuniarto et al., 2019; Bagci, 2009). Sementara itu, proses otomatisasi RE yang lebih dikenal sebagai *Computer-Aided Reverse Engineering (CARE)* dalam beberapa literatur seringkali dikaitkan dengan *Computer-Aided Engineering (CAE)* yang diterapkan sebagai *Forward Engineering by* (Vinesh & Kiran, 2008). Proses CAE, bagaimanapun, tentu melibatkan penerapan teknologi CAD, CAPP, dan CAM yang biasanya

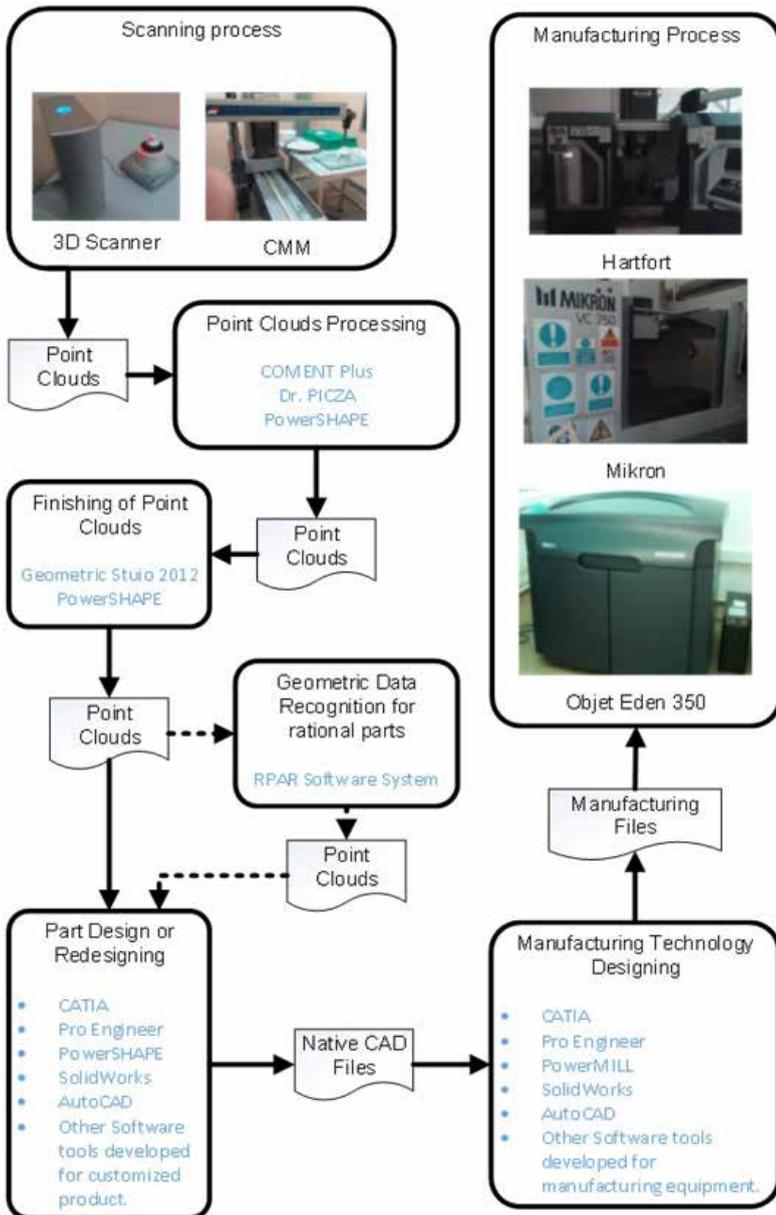
digunakan dalam rekayasa maju yang melibatkan dimulainya proyek dengan ide dan penerapan sistem manufaktur yang kompleks untuk mendapatkan produk baru melalui perangkat lunak dan perangkat lunak tertentu serta peralatan manufaktur. Gambaran arsitektur sistem CARE menurut (Bagci, 2009; Oancea et al., 2013) disajikan pada Gambar 1.

Riset ini dilakukan penulis untuk memberikan pemaparan secara komprehensif mengenai pembentukan *Miranda Kerr Tea pada produk keramik Tableware One Teapot* di PT Doulton Indonesia dengan menggunakan metode RE sehingga mampu memenuhi permintaan konsumen di luar negeri. Model fisik yang disajikan dalam tulisan ini mencakup produk yang sudah ada di pasar (**Gambar 3**) dan diamati telah memenuhi standar konsumen. Ini berarti munculnya ketidakmampuan produk baru untuk mencocokkan kualitas produk sampel akan menyebabkan adanya peningkatan waktu dan biaya pengembangan produk yang pada akhirnya justru berimbas merugikan pabrik keramik itu sendiri.

Teknik RE yang diterapkan pada industry manufaktur menggunakan perangkat 3D scanning seperti *coordinate measuring machines (CMM)*, *laser scanners (3d scanners)*, *structured light digitizers*, dan *computer tomographers* yang secara cepat mampu menangkap data 3D ke dalam bentuk digital dari model fisik yang telah dipindai. Sementara itu, pengukuran konvensional yang dilakukan oleh peneliti dan insiyur di PT Doulton Indonesia dengan membandingkan gambar 2D dengan produk dari pabrik keramik di China. Sementara itu sebuah gambar 3D CAD model dengan ukuran yang sama dan profile sesuai dengan model fisik yang dikembangkan juga sangat dibutuhkan guna memenuhi permintaan konsumen, tujuan perusahaan keramik, dan juga adanya permintaan pasar yang ada. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencapai fleksibilitas dalam rantai pasok produk keramik dan ini juga didasarkan pada sebuah pertanyaan yang harus diselesaikan oleh pihak peneliti, yaitu “Bagaimana PT Doulton Indonesia secara signifikan mampu

mengurangi waktu desain, geometri / error dimensi, dan bentuk dari produk baru yang didesain sesuai dengan permintaan pasar dan guna memastikan produksi massal?”

Sebuah tahapan dalam proses mengkonversikan sebuah produk keramik yang ada dipasaran umum menjadi Gambar 3D CAD data yang diperoleh dari menggunakan alat scanning: 3D scanner dan the Coordinate Measurement Machine (CMM) didemonstrasikan secara komprehensif dalam studi ini. Output yang diharapkan berupa gambar dalam bentuk 3D mesh yang diperoleh menggunakan metode RE pada software CAD PowerSHAPE 2017 menjadi gambar 3D CAD model. Penting untuk dicatat bahwa proses optimasi manufaktur berbasis CAM juga memanfaatkan *post-processor* yang dipasang pada mesin CNC milling. Sedangkan metode RE tidak digunakan untuk mendesain ulang produk dalam study ini tetapi untuk mendapatkan data geometri profil model fisik yang kemudian digambar ulang menggunakan software CAD PowerSHAPE. Dimungkinkan juga untuk memperbaiki atau mengubah profil 3D *mesh* dan *point cloud* yang diperoleh dari produk sampel. Selain itu, hasil RE berupa model CAD 3D *Miranda Kerr Tea for One Teapot* yang kemudian diubah menjadi *core* dan *cavity mold* yang selanjutnya dimanufaktur pada mesin milling CNC. Evaluasi akhir dilakukan dengan membandingkan geometri dan bentuk desain produk untuk model fisik, model CAD, konstruksi dasar cetakan, dan produk *Miranda Kerr Tea for One Teapot* dengan tingkat kesalahan / error dimensi maksimum 3,00 mm.



Gambar 1. Architecture umum dari CARE System

4.2. Material dan Metode

Data awal yang dibutuhkan dalam proses pengembangan produk Miranda Kerr Tea for One Teapot pada paper ini berupa gambar teknik dalam format 2D (**Gambar 2**) dan sampel produk yang sudah ada di pasaran (**Gambar 3**). Permasalahan yang muncul disini terdapat perbedaan informasi antara Gambar Teknik dengan sampel produk (**Gambar 3**) dalam hal dimensi dan profil (lihat Tabel 1). Hasil selisih antara dimensi sampel produk dengan gambar 2D CAD model yang ditampilkan oleh PT Douulton ternyata memberikan selisih rata-rata sebesar 4.00 mm dan ini memberikan dampak tidak baik bagi perusahaan dalam memenuhi permintaan customer luar negeri dimana selisih tersebut maksimal didesain adalah 2.00 mm.

Aplikasi RE pada study ini, bagaimanapun juga sangat dibutuhkan untuk menyelesaikan problem ini. Proses awal, dimulai dengan melakukan proses scanning pada model fisik dari sample produk yang ditetapkan menggunakan alat bantu *CMM Scanning* dan 3D Scan Studio HD untuk memproduksi data *image* dengan format 3D dalam bentuk mesh dan point cloud seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Selanjutnya, komponen-komponen dari body dan lid tanpa knob dilakukan proses scanning yang dibagi menjadi 4 komponen, masing-masing: handle, base, lid, dan spot untuk proses RE dan proses pembuatan produk Miranda Kerr Tea for One Teapot agar sesuai dengan contoh produk dari segi ukuran dan bentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

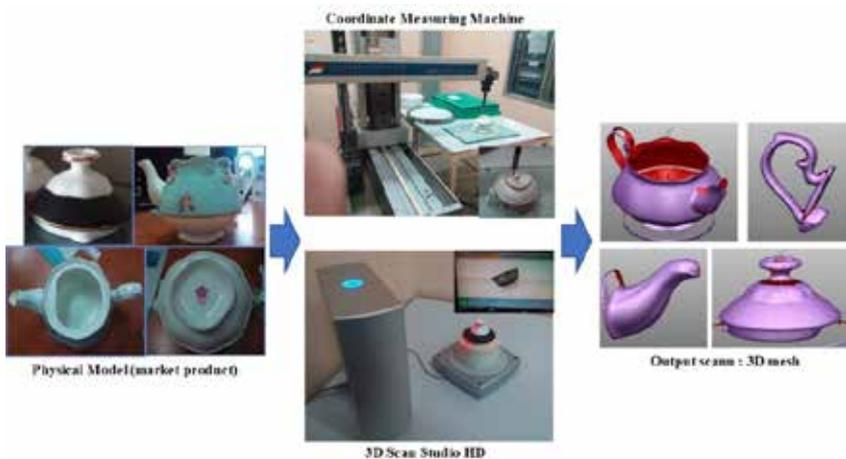
Gambar 5 digunakan peneliti untuk melakukan dan membangkitkan proses RE yang diperlukan untuk membuat *Miranda Kerr Tea* untuk komponen produk *One Teapot* menjadi 3D CAD *fire size, drawing, model size*, dan proses *milling* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, 7, 8, dan 9 secara berurutan.

Dimensi akhir dari 3D CAD produk keramik dapat disajikan pada Tabel 2. Mesin CNC miling dengan merk YCM EV 1020A

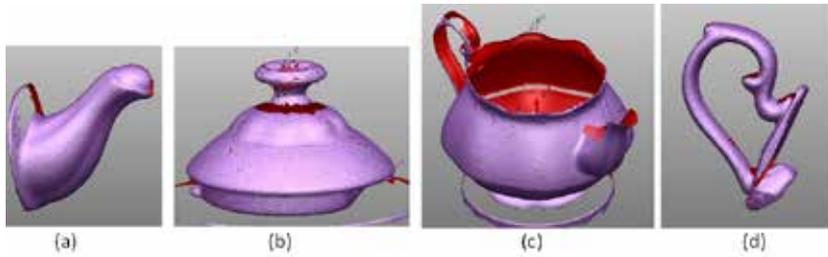
dan CAM PowerMill2016 digunakan penulis untuk melakukan proses manufaktur komponen pembentuk produk Miranda Kerr Tea for One Teapot dalam bentuk core and cavity mold seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Material yang digunakan adalah kayu sintetis jenis Ebalta keras berwarna hijau yang memang peruntukannya sebagai raw material untuk material cetakan pada industry keramik. Hasil pemesinan dapat disajikan pada **Gambar 10**. Sedangkan hasil akhir dari produk keramik dapat disajikan pada **Gambar 11**.

Tabel 1. Dimensi ukuran dan error Miranda Kerr Tea for One Teapot

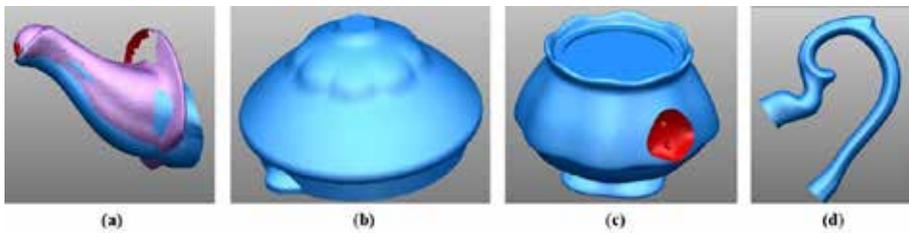
| Component | Dimension | Sample Product (mm) | 2D CAD (mm) | 3D Mesh of RE (mm) | 3D CAD of RE (mm) | Error (mm) | Error by RE (mm) |
|------------------|-----------|---------------------|-------------|--------------------|-------------------|------------|------------------|
| | | | | | Fire Size: | | |
| Body | Height | 99.38 | 95.10 | 98.70 | 99.54 | 4.28 | 0.16 |
| | Length | 173.56 | 168.93 | 174.03 | 173.23 | 4.63 | -0.33 |
| | Width | 123.37 | 120.00 | 124.76 | 124.00 | 3.00 | 0,63 |
| Lid without Knob | Height | 38.57 | 46.00 | 38.20 | 38.61 | -7.43 | 0.04 |
| | Diameter | 74.56 | 74.00 | 75.08 | 74.93 | 0.56 | 0.37 |



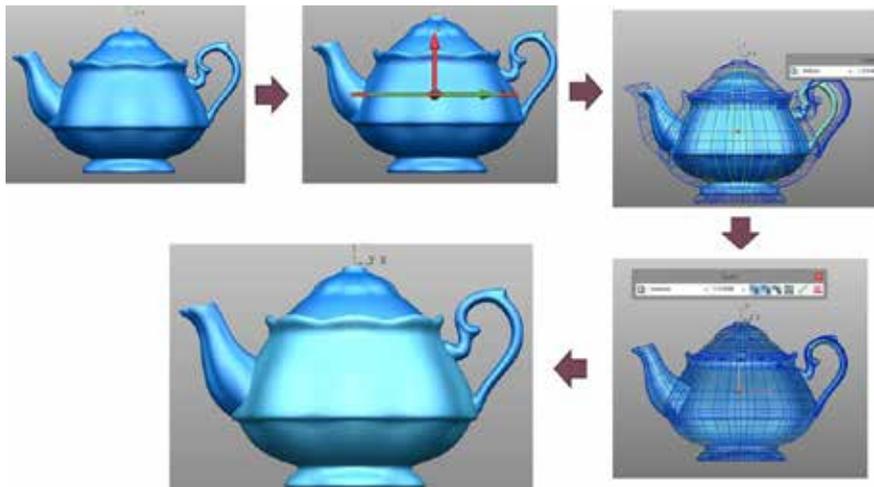
Gambar 4. Tahapan proses pemindaian model fisik dengan output scanning berupa gambar dengan format 3Dmesh



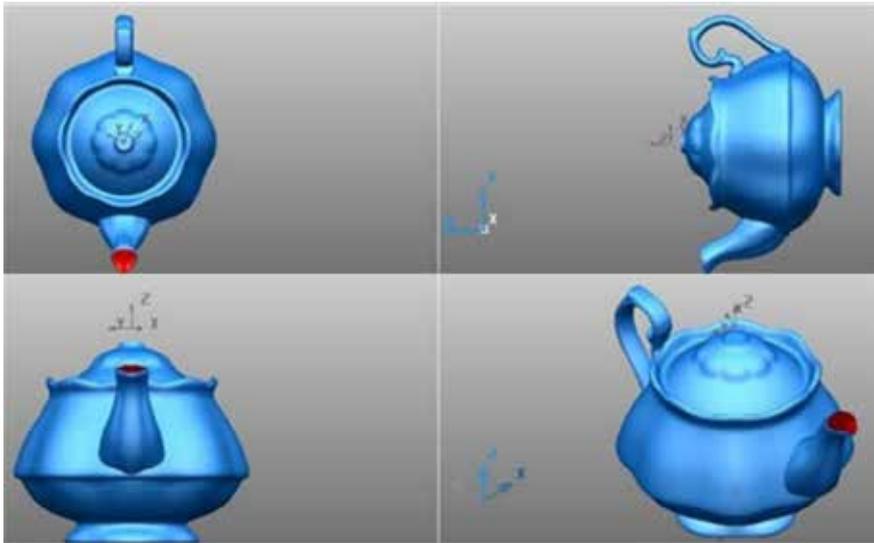
Gambar 5. Empat komponen *Miranda Kerr Tea for One Teapot* hasil scanning: (a) spot; (b) lib; (c) base; (d) handle



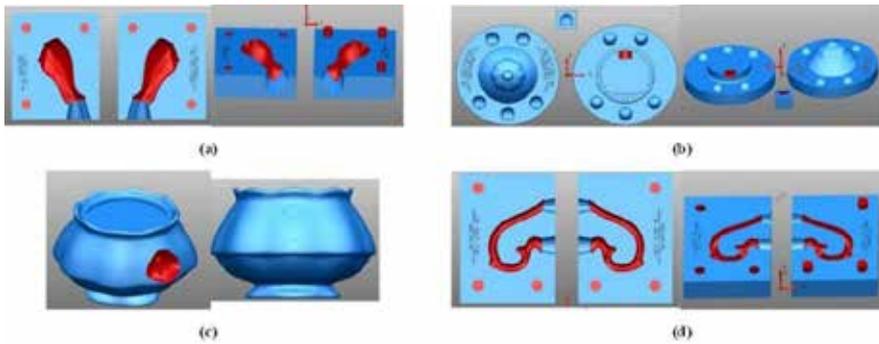
Gambar 6. 3D CAD fire size *Miranda Kerr Tea for One Teapot*: (a) spot; (b) lib; (c) base; (d) handle



Gambar 7. 3D CAD model size *Miranda Kerr Tea for One Teapot* with contraction 11.75% and an increase in height of 1.50 mm.



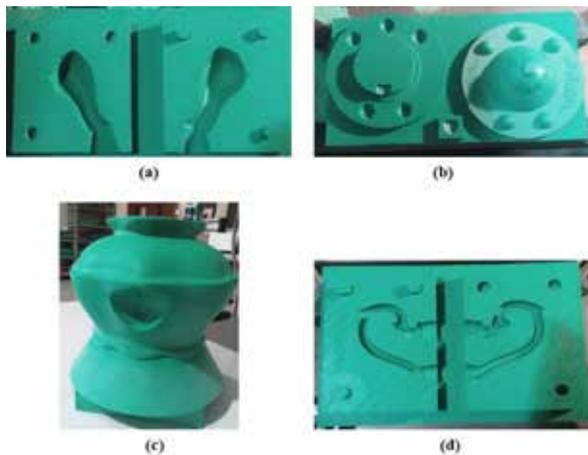
Gambar 8. 3D CAD model *Miranda Kerr Tea for One Teapot*



Gambar 9. 3D CAD model milling process *Miranda Kerr Tea for One Teapot*: (a) spot; (b) lid; (c) base; (d) handle

Tabel 2. Perbandingan Diemensi Antara Produk Sampel, 3D Mesh dan 3D CAD setelah RE Miranda Kerr Tea for One Teapot

| | <i>Product Sample</i> | <i>3D Mesh model</i> | <i>3D CAD model</i> |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Body</i> | Fire Size : | | |
| | <i>Height : 99.38 mm</i> | <i>Height : 98.70 mm</i> | <i>Height : 99.54 mm</i> |
| | <i>Length : 173.56 mm</i> | <i>Length : 174.03 mm</i> | <i>Length : 173.23 mm</i> |
| | <i>Width : 123.37 mm</i> | <i>Width : 124.76 mm</i> | <i>Width : 124.00 mm</i> |
| | Model Size : | | |
| | <i>Height : 114.14 mm</i> | | |
| <i>Length : 196.30 mm</i> | | | |
| <i>Width : 140.51 mm</i> | | | |
| <i>Lid tanpa Knob</i> | Fire Size : | | |
| | <i>Height : 38.57 mm</i> | <i>Height : 38.20 mm</i> | <i>Height : 38.61 mm</i> |
| | <i>Diameter : 74.56 mm</i> | <i>Diameter : 75.08 mm</i> | <i>Diameter : 74.93 mm</i> |
| | Model Size : | | |
| | <i>Height : 44.28 mm</i> | | |
| | <i>Diameter : 84.90 mm</i> | | |



Gambar 10. Mold cetakan Miranda Kerr Tea for One Teapot; (a) spot; (b) lib; (c) base; (d) handle



Gambar 11. Produk *Miranda Kerr Tea for One Teapot*

4.3. Analisis Reverse Engineering *Miranda Kerr Tea for One Teapot*

Informasi awal yang digunakan peneliti dalam pengembangan pada teapot yaitu sampel produk dan gambar teknik. Perbandingan dilakukan dengan mengukur dimensi sampel produk menggunakan jangka sorong digital dengan ketelitian 0.01 mm. Pengukuran berupa tinggi, panjang, lebar, dan diameter pada body dan lid teapot. Dimensi antara produk sampel dan gambar teknik sebelum dan sesudah RE dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Berdasarkan hasil dari brainstorming tim NPI dan QC PT Doulton Indonesia dan peneliti terlihat bahwa dimensi 2D CAD atau hasil trial yang lolos dalam QC test untuk produk teapot harus berada di antara ± 2 mm dari dimensi sampel produk dan produk sudah berada di pasar. Tabel 1 bagian Error menunjukkan selisih dimensi masih berada diatas 2.00 mm sehingga informasi utama dalam proses redesign dalam tulisan ini nantinya menggunakan sampel produk atau ideal pieces agar sesuai dengan kondisi pasar dan keinginan konsumen. Sedangkan Error sesudah dilakukan RE menunjukkan nilai selisih rata-rata di bawah ± 1.00 mm pada bagian *dimensi 3D CAD model Fire Size (Tabel 1 dan Tabel 2)*. Hal ini menunjukkan bahwa model yang didesain berdasarkan RE dari produk sampel yang dipindai

sebelumnya benar-benar tepat, presisi dan sesuai dengan model yang diinginkan pasar serta sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya [Anggoro *et al.*, 2015, 2018; Anggoro, Tauviqirrahman *et al.*, 2019; Xia, 2014; Ye *et al.*, 2004]. 2D/3D CAD model yang dihasilkan oleh engineer CAD PT Doulton seperti ada pada **Gambar 2**. Namun semua dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 2 memberikan error dimensi lebih dari 3,00 mm (Tabel 1). Hal ini tentu tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh PT Doulton Indonesia. Hal tersebut mengakibatkan perlu adanya tindakan lebih lanjut oleh peneliti dan PT Doulton Indonesia untuk menyelesaikan kasus tersebut melalui penggunaan teknologi CARE System sehingga error dimensi yang didapatkan dari produk Teko yang dihasilkan kurang dari 2.00 mm dan terbukti setelah dilakukan proses RE maka nilai error menjadi kurang dari 1,00 mm (Tabel 1).

Model fisik yang dipindai adalah produk sampel Miranda Kerr Tea for One Teapot yang terbuat dari material *clay Bone China*. Produk sampel ini sudah dalam bentuk glost dan didekorasi sehingga proses scan dilakukan pada finish product (**Gambar 3**). Next Engine 3D Scanner digunakan peneliti untuk mengambil data relief atau *embossed glost* produk sampel (**Gambar 4**). Data *embossed* dari produk sampel berupa embossed pada *spout, base, handle, dan lid*. Hasil dari proses *scanning*, kemudian disimpan dalam format *.stl dalam bentuk 3D meshes* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Setelah itu, digunakan *priXa 1588 CMM* untuk mengambil data geometri ataupun sampel profil dari model fisik produk, seperti: base, lib diameter dan lainnya yang disajikan pada **Gambar 6**.

Hasil dari proses pemindaian disimpan dalam format stl yaitu 3D Meshes seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5** setelah itu CMM *priXa 1588* diterapkan untuk mengambil data geometri atau sampel profil produk seperti kaki dan bagian atas pada alas, diameter lib, dan lain-lain seperti yang disajikan pada **Gambar 6**. Proses ini dilakukan karena muncul adanya kekurangan data yang terlihat pada bagian atas dan kaki dari hasil 3D mesh yang diperoleh

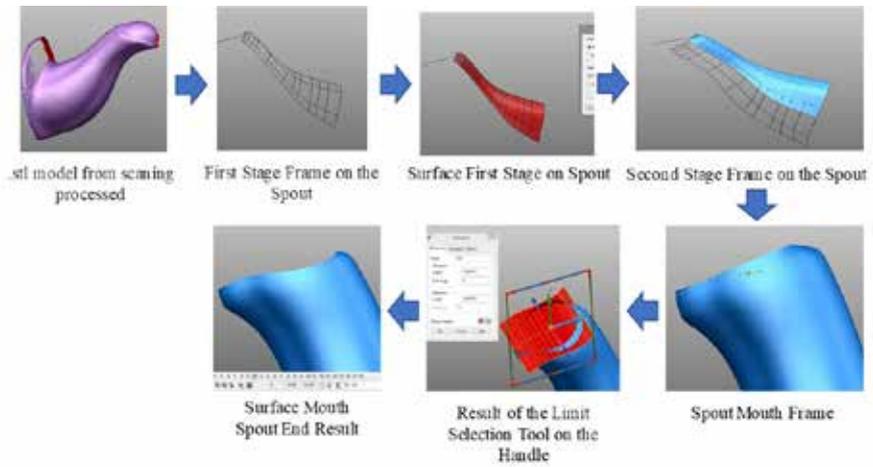
berupa kedalaman saat pemindaian body, sehingga perlu dilakukan scanning ulang secara horizontal menggunakan PriXa 1588 CMM. Selain itu pula, 3D Meshes yang terdapat pada lid terbaca secara sempurna seperti yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (López et al., 2014; Majstorovic et al., 2013; Oancea et al., 2013; Vinesh & Kiran, 2008). Selanjutnya agar data relief dan geometri produk akhir pada gambar dengan produk akhir yang diperoleh setelah proses pembakaran di oven kiln dan pewarnaan dengan teknik glasir menghasilkan ukuran yang penyusutan yang optimal maka perlu ada penyusutan (pembentukan fire size) menggunakan PowerSHape untuk mendapatkan 3D CAD model data dalam bentuk fire size. Selanjutnya, ini kemudian diubah menjadi ukuran model gambar seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6, 7, 8, and Tabel 2.**

Gambar 6 menunjukkan gambar 3D model dengan geometri *fire size* dari *Miranda Kerr Tea for One Teapot* yang dibagi menjadi empat komponen yaitu: *spot; lib; bases; dan handle* yang didesain menggunakan perangkat lunak CAD PowerSHAPE. Sedangkan setelah didapatkan *model fire size* kemudian dibuat *size model* agar ukuran model *Miranda Kerr Tea for One Teapot* mendekati sampel produk yang dipindai. Pada tahap ini dilakukan penyusutan sebesar 11,75% sesuai saran dari *engineer* PT Doulton agar model yang dirancang mendekati model fisik (Gambar 7 dan Gambar 16). Hasil tampilan model dalam variasi pandangan isometric 3D di PowerSHAPE dapat dilihat pada Gambar 8.

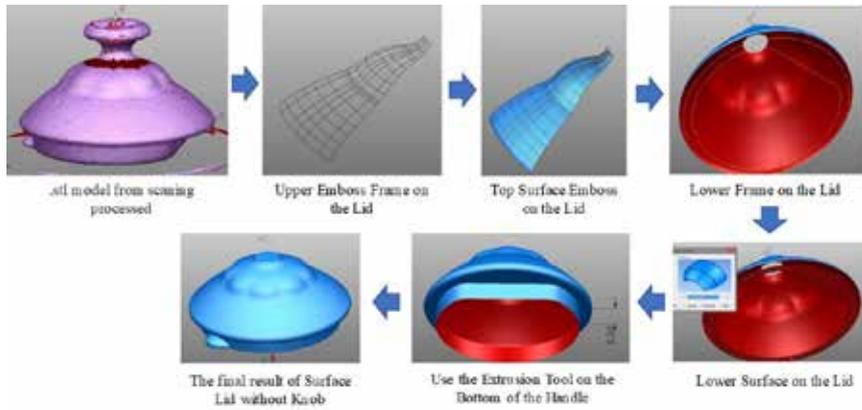
4.3.1. Analisis Pembuatan Data 3D CAD Fire Size

Fire size adalah data 3D CAD produk dengan dimensi mengikuti ukuran ideal pieces atau produk sampel. Dalam penelitian ini, dimensi data 3D CAD *Miranda Kerr Tea for One Teapot* harus mendekati produk sampel yaitu seperti pada Tabel 1. Secara garis besar pembangunan data 3D CAD *fire size* dimulai

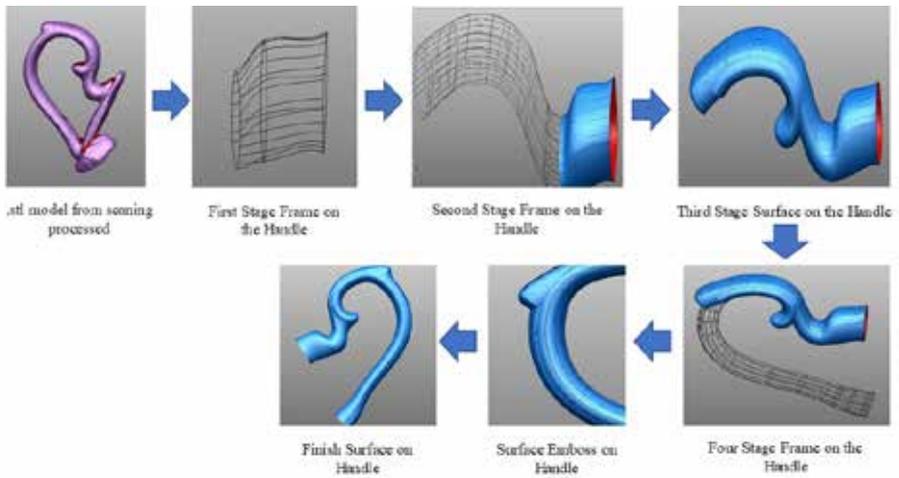
dari membangun rangka yang terdiri dari *line / curve* yang didapatkan dari *line processing* kemudian membangkitkan *surface* dari rangka tersebut. *Miranda Kerr Tea for One Teapot* memiliki bentuk yang simetri dengan delapan emboss mayor minor sehingga hanya perlu membangun sebagian *surface* kemudian diperbanyak (*rotate copy / mirror*) sebanyak jumlah *emboss*. *Finishing* pada pembuatan data *3D CAD fire size* berupa penggabungan tiap *surface* agar menjadi kesatuan dan mempermudah proses pembuatan data *3D CAM* serta pengukuran dimensi akhir yang harus mendekati dimensi produk sampel. Detail tahapan pembuatan *3D CAD Fire Size* untuk keempat komponen *Miranda Kerr Tea for One Teapot* dapat disajikan pada **Gambar 12 – 15**. Hasil tahapan proses tersebut dapat dijadikan sebagai acuan bagi engineer CAD di industry keramik dalam melakukan RE produk keramik jenis teapot seperti yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang juga sukses melakukan RE di insole [Andrei et al., 2015; Anggoro et al., 2017, 2018; Anggoro, Tauviqirrahman et al., 2019; Anggoro, Yuniarto et al., 2019; Babu & Thumbanga, 2011; Feng et al., 2014; Fergiawan et al., 2019; Huson & Hoskins, 2014; Hussain et al., 2008; López et al., 2014; Wang, 2008]. Secara umum luaran hasil scanning dalam format *.stl* dirubah dengan *line processing* menjadi *surface* dan *solid modeling* pada *software CAD* yang digunakan oleh peneliti atau engineer CAD di industry manufaktur (Anggoro et al., 2017; Babu & Thumbanga, 2011; Huson & Hoskins, 2014; Hussain et al., 2008; López et al., 2014; Sokovic & Kopac, 2005; Wang, 2008).



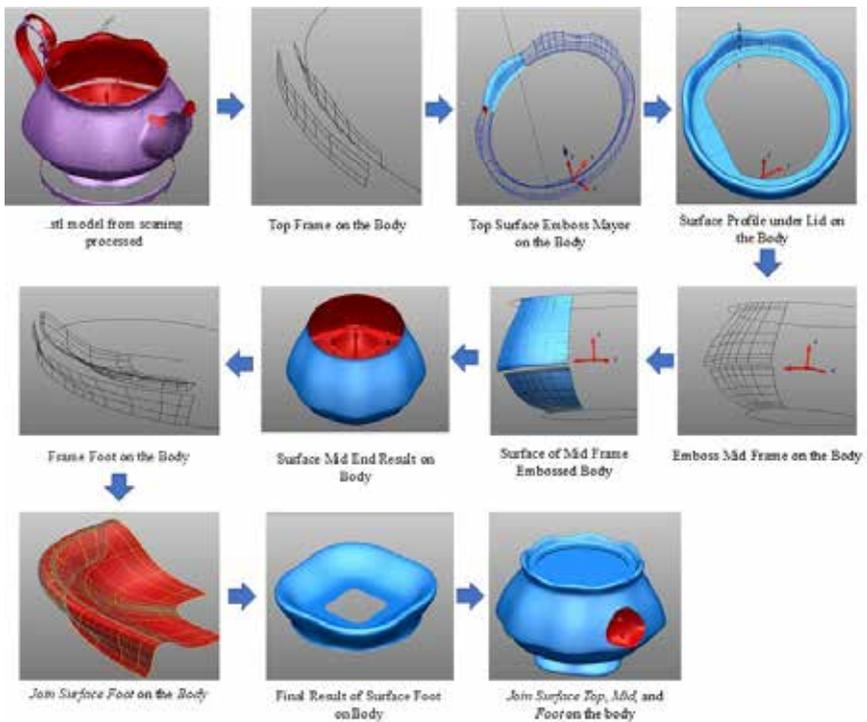
Gambar 12. 3D CAD Fire Size spot



Gambar 13. 3D CAD Fire Size lib



Gambar 14. 3D CAD Fire Size handle



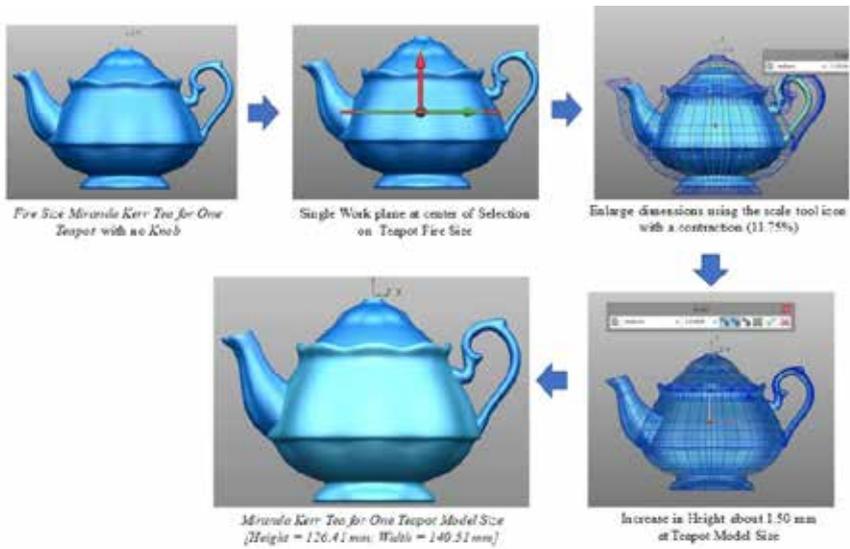
Gambar 15. 3D CAD Fire Size base

Hasil akhir dari keempat komponen pada **Gambar 12** to **Gambar 15** adalah komponen dengan ukuran yang benar-benar tepat, presisi dengan model 3D mesh hasil scanning. Ini dapat terlihat pada **Gambar 15**, dimana antara 3D CAD Fire size dengan 3D mesh hasil scanning benar-benar tepat presisi dengan error kurang dari ± 1.00 mm (Tabel 2). Prosedur ini juga sudah pernah sukses dilakukan oleh *Anggoro et al., 2015; Anggoro, Yuniarto et al., 2019; Anggoro et al., 2022* dalam aplikasi CARESystem pada desain dan fabrikasi produk keramik *tableware dan Islamic tile wall with floral pattern on Al Huda Mosque*.

4.3.2. Analisis Pembuatan Data 3D CAD Model Size

Model size adalah data 3D CAD produk dengan dimensi diskala sebesar persen kontraksi *clay*. Dalam keramik, *clay* yang dibakar mengalami penyusutan karena kadar air di dalamnya menguap sehingga ukuran menjadi lebih kecil, besarnya penyusutan disebut dengan kontraksi. Dengan demikian, diperlukan pembesaran dimensi tergantung nilai kontraksi *clay* yang akan digunakan dan metode pembakaran di bagian produksi. Diharapkan setelah penyusutan mendapatkan dimensi yang mendekati sampel produk.

Pengubahan *fire size ke model size* dilakukan dengan menggunakan *scale tool* pada software PowerSHAPE dan seperti yang pernah dilakukan oleh [*Anggoro et al., 2015; Anggoro, Yuniarto et al., 2019; Fergiawan et al., 2019; Ye et al., 2004*]. *Miranda Kerr Tea for One Teapot* nantinya dibakar dengan posisi *free standing* dimana *base, handle, dan spout* menjadi satu (*body*) dengan *lid* ditaruh di atas. Dengan demikian, pembesaran dimensi dilakukan pada *body* dan *lid* secara bersamaan. Tahapan proses desain 3D CAD Model dapat disajikan pada 16.



Gambar 16. Proses transformasi 3D CAD model from Fire size to Model size

4.3.3. Prosentasi Kontraksi dari material bone china

Material keramik (clay) yang digunakan pada industry keramik pada umumnya memiliki prosentasi kontraksi yang berbeda-beda. Bentuk umum dimensi yang dipakai dalam proses modelling di PT Doulton Indonesia adalah *fire size* dan *model size*. *Fire size* adalah 3D CAD data dengan dimensi mengikuti *size* dari produk sampel or produk akhir (setelah proses glasir/ pewarnaan). Sedangkan *model size* adalah 3D CAD data dari produk dengan dimensi yang diberikan skala dimensi berdasarkan besaran prosentase penyusutan material *clay* yang sudah ditetapkan oleh pihak perusahaan keramik (**Gambar 7** and **Gambar 16**). Pada industry keramik, material *clay* yang dibakar akan menyusut karena kandungan air didalamnya saat proses pembakaran akan menguap sehingga ukuran keramik menjadi lebih kecil, besarnya shrinkage sering disebut sebagai penyusutan. Dengan demikian dalam study ini, perlu dilakukan pembesaran dimensi yang nilainya tergantung dari nilai kontraksi clay yang digunakan beserta cara pembakaran

clay di kiln pada bagian produksi. Diharapkan setelah penyusutan, dimensinya akan mendekati produk sampel (model fisik yang discan sebelumnya seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4).

Perubahan ukuran *fire size ke model size* dilakukan menggunakan alat skala yang ada di PowerSHAPE. *Miranda Kerr Tea for One Teapot* dibakar pada kiln pembakar pada posisi berdiri bebas dimana, *base*, *handle* dan *spout* dirakit menjadi satu (*body*) dengan *lid* ditempatkan di atas *body*. Dengan demikian, pembesaran dimensi dilakukan pada *body* dan *lid* secara bersamaan / simultan.

Dalam industri keramik, clay yang dibakar menyusut karena kandungan air di dalamnya menguap sehingga ukuran produk menjadi lebih kecil dan keras yang disebut kontraksi sehingga dimensinya membesar. Tujuan pembesaran dimensi ini adalah agar clay yang dibakar menjadi mengecil dan memiliki dimensi yang sama dengan *fire size* yang diharapkan.

Kasus RE produk *Miranda Kerr Tea for One Teapot* dalam tulisan ini menggunakan clay type Bone China dan penulis menetapkan nilai kontraksi sebesar 11,75% (**Gambar 7 and 16**). Nilai tersebut didapat berdasarkan informasi dari engineer PT Doulton Indonesia di Slip House Department yang bertanggung jawab untuk menentukan nilai persentase kontraksi clay yang digunakan. Nilai prosentase penyusutan sebesar 11,75% tersebut kemudian digunakan oleh penulis untuk memasukkan angka yang harus diinputkan pada icon skala di CAD PowerShape agar dimensi Teko akan diperbesar (Tinggi, Panjang, dan Lebar). Perbesaran dimensi Teko dari *Body* dan *Lid* tanpa *Knob* dapat dilihat dari Tabel 2 dengan error dimensi setelah proses RE didapatkan rata-rata kurang dari 1,00 mm (Tabel 1).

4.3.4. Analisis Pembuatan Data 3D CAD Milling Setting

3d CAD data perlu dilakukan proses editing sebelum set up machining CNC dikerjakan dalam membuat toolpath strategy

machining pada software CAM yang digunakan. Mesin yang digunakan adalah CNC YCM 1020 EV20A (4-axis) ditunjukkan pada Gambar 17. Proses editing perlu dilakukan agar masing-masing part dari teapot dapat diproduksi menjadi sebuah prototype dalam bentuk model *mold* untuk *base*, *model mold* cetakan untuk *handle* dan *spout*, dan cetakan *casing* untuk *lid*.

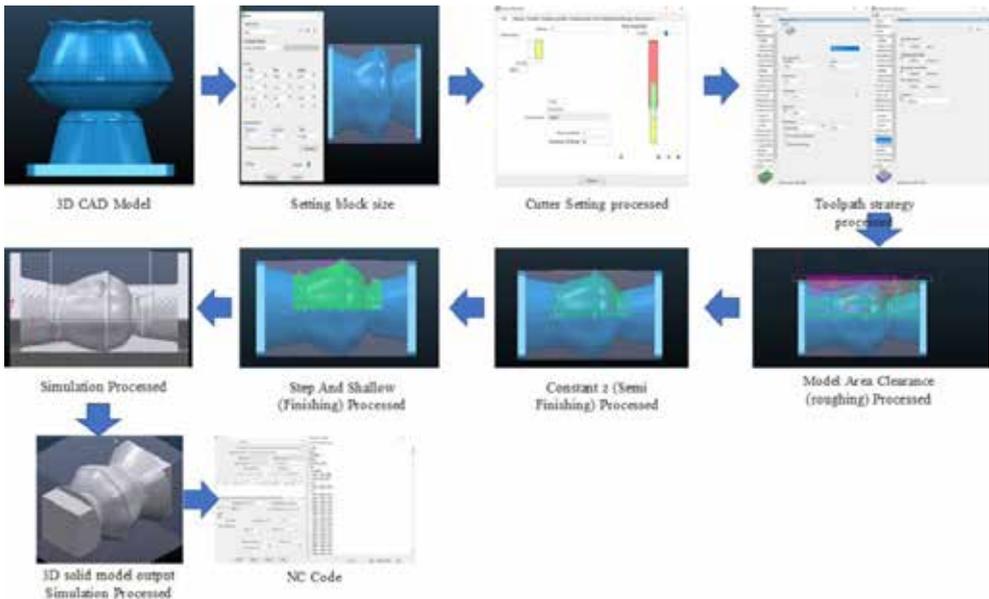
Berdasarkan feasibility meeting, pembuatan plaster mold untuk base dan spout menggunakan metode cast on yaitu mold untuk base dan spout menjadi satu, sedangkan proses machining harus terpisah dikarenakan kapabilitas mesin. Untuk mengatasi hal tersebut, titik pertemuan antara base dan spout dibuat sejenis slot agar setelah proses machining selesai dan melanjutkan ke proses pembuatan plaster mold, base dan spout bisa digabungkan. Berbeda untuk base dan handle, pembuatan plaster mold untuk kedua bagian tersebut menggunakan metode stuck on yaitu mold untuk base dan handle terpisah sehingga pada proses produksi clay handle dan base ditempel menggunakan lem khusus. Dengan demikian, bagian base hanya dibuat tanda berupa line pada data 3D CAD sebagai tempat dimana handle ditempel. Tahapan proses CAM dan manufaktur CNC dapat disajikan pada **Gambar 18** dan **Gambar 19**.

Pada tahapan ini software CAM PowerMill digunakan peneliti untuk mendapatkan toolpath strategy, dan simulasi pengerjaan komponen 3D CAD model milling setting yang optimal sampai diperoleh NC Code yang dapat dibaca oleh mesin CNC. NC Code inilah yang nantinya akan mampu mengarahkan *cutter milling* untuk bergerak berdasarkan kontur dan bentuk relief dari komponen *body*, *lib*, *spot* dan *handle* sesuai dengan toolpath strategy yang dipilih dan digunakan dalam penelitian ini. Pemilihan parameter pemesinan seperti *cutting tools*, *rpm*, *step over*, *toolpath strategy*, *step down*, *lin* dan *link* juga seperti yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [Anggoro et al., 2015, 2018; Anggoro, Tauviquirrahman et al., 2019; Anggoro, Yuniarto et al., 2019; Fergawan et al., 2019].

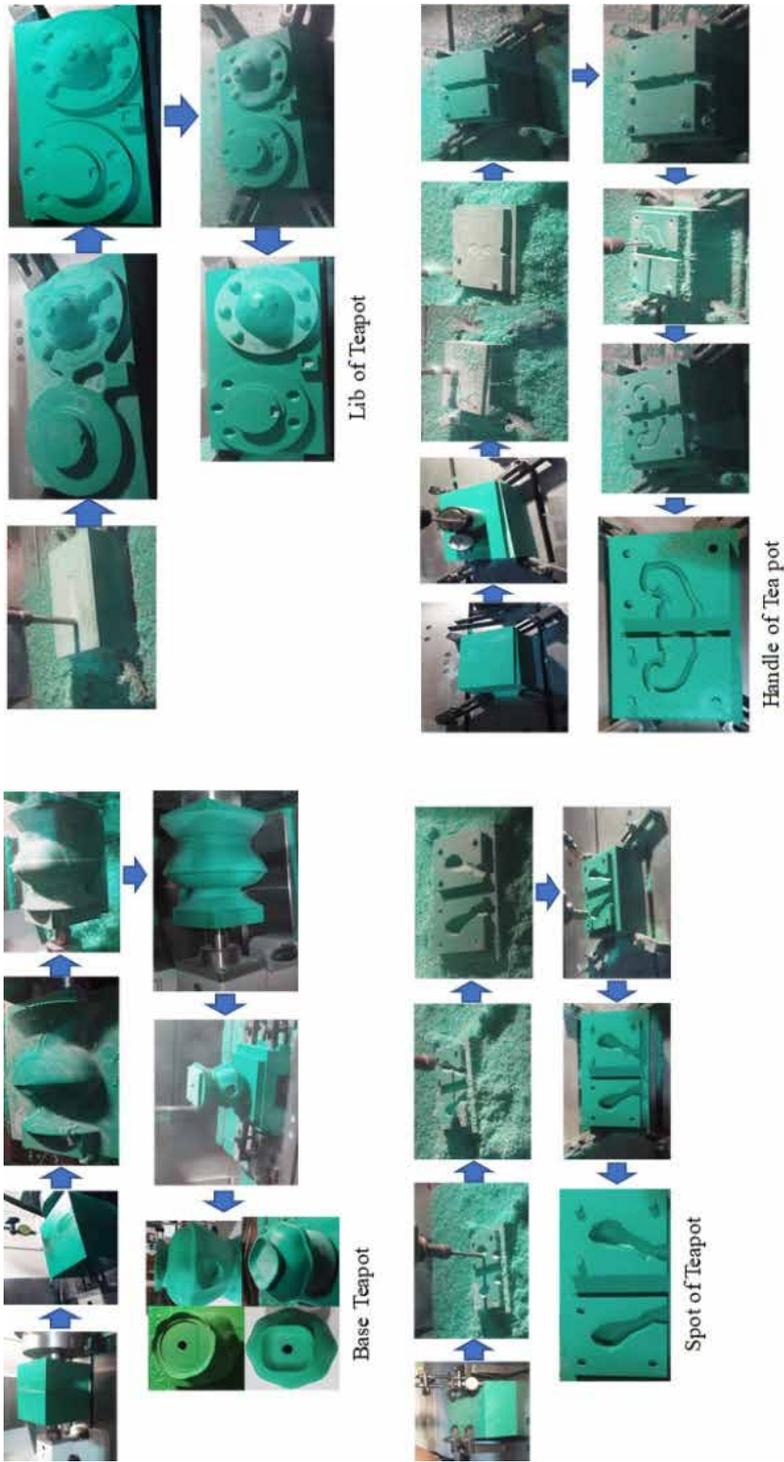
Mesin CNC YCM 1020 EV20A merupakan mesin CNC Standar industry manufaktur 3-4 axis yang banyak digunakan pada industry manufaktur di Indonesia.



Gambar 17. Mesin CNC YCM 1020 EV20A



Gambar 18. Tahapan proses CAM



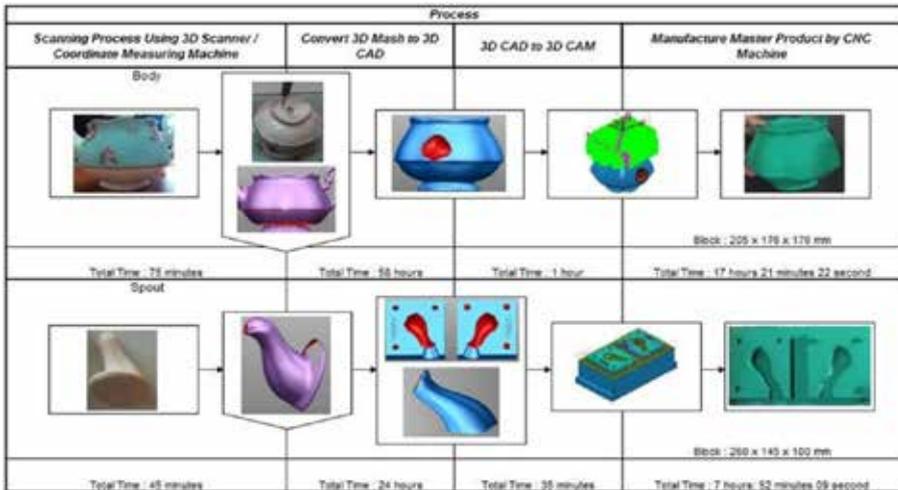
Gambar 19. Tahapan proses manufaktur di mesin CNC dari semua komponen *Miranda Kerr Tea for One Teapot*

Output machining CNC Milling pada gambar 19 inilah yang kemudian dilakukan proses cetak tuang oleh operator PT Doulton Indonesia dengan menuangkan material clay cair kedalam cetakan menjadi clay padat dan proses kiln pada oven pembakaran. Hasil proses casting dari hasil RE produk *Miranda Kerr Tea for One Teapot* ini dapat disajikan dalam beberapa bentuk seperti yang disajikan pada **Gambar 11**. Secara umum tahapan RE yang sudah dilakukan oleh peneliti dan Engineer PT Doulton Indonesia dalam melakukan pengembangan produk baru keramik tableware ini adalah berdasarkan adanya permintaan pasar yang variasi dan juga pengaruh *supply chain flexibility* karena permintaan konsumen yang diluar batas kapasitas perusahaan keramik dari pabrikan Luar Negeri seperti di China.

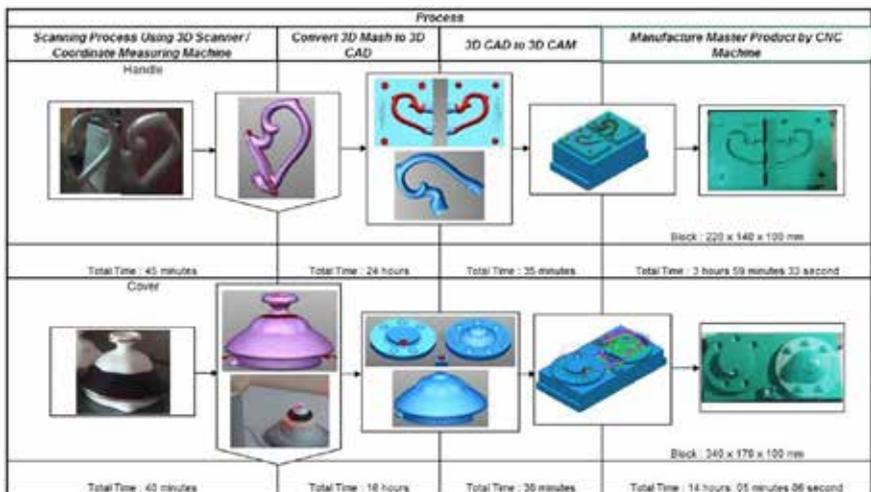
Gambaran umum aplikasi RE produk *Miranda Kerr Tea for One Teapot* yang berhasil dilakukan oleh peneliti bersama PT Doulton Indonesia dapat disajikan pada **Gambar 20** dan **21**, dimana total waktu yang dihasilkan adalah sebesar 43 jam 18 menit 10 detik dengan total biaya secara keseluruhan menghasilkan sekitar \$4172,35. Pada Gambar 20 and 21, penulis juga menunjukkan secara detail urutan langkah-langkah dari proses RE hingga menjadi master product *Miranda Kerr Tea for One Teapot* yang diperoleh dari keempat komponen tersebut. (body, spout, handle, and cover). Pada setiap tahap juga ditampilkan total waktu yang dikerjakan penulis dalam menghasilkan output pada setiap tahap, sehingga dapat digunakan oleh para insinyur CAD di perusahaan keramik atau peneliti lainnya dalam melakukan proses RE dengan teknologi CARE System..

Proses yang diterapkan oleh para insinyur dan peneliti diamati sejalan dengan temuan beberapa penelitian sebelumnya (*Andrei et al., 2015; Ashima et al., 2021; Fatima et al., 2021; Feng et al., 2014; Haleem & Javaid, 2020; Ul Haq et al., 2020; Huson & Hoskins, 2014; Javaid & Haleem, 2018a, 2020; Kucklick, 2006*) yang

telah menggunakan RE untuk memenuhi permintaan pasar melalui produk yang cepat, tepat, dan akurat.



Gambar 20. RE from 3D mesh to master product body and spot for Miranda Kerr Tea for One Teapot



Gambar 21. RE from 3D mesh to master product handle and lib for Miranda Kerr Tea for One Teapot

Proses Reverse Engineering telah berhasil dilakukan pada produk Miranda Kerr Tea for One Teapot dengan tujuan supply chain

flexibility sehingga peneliti dan PT Doulton mampu melakukan pengembangan produk baru berbasis RE sesuai dengan permintaan pasar yang sangat cepat dan bervariasi. Adanya *supply chain flexibility* karena permintaan konsumen yang diluar batas kapasitas salah satu perusahaan keramik di China.

Proses *Reverse Engineering* yang sudah peneliti lakukan dari pengukuran sampel produk, proses scanning, pembuatan data 3D CAD, dan pembuatan data 3D CAM serta proses manufaktur pada mesin milling CNC berhasil mendapatkan selisih dimensi pada 3D CAD dan sampel produk yaitu di bawah 1 mm. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas hasil desain dan produk cetakan benar-benar presisi, akurat dan sesuai dengan model fisik yang ditampilkan.

Kedepan perlu penelitian yang lebih mendalam mengenai aplikasi Reverse Engineering dalam penggunaan *Coordinate Measuring Machine* pada produk-produk keramik lainnya untuk *supply chain flexibility* terutama untuk pabrik keramik local di Indonesia lainnya sehingga mampu meningkatkan keunggulan kompetitif dalam upaya merebut pasar keramik di dunia.

Daftar Pustaka

- Andrei, P., Andrei, A., & Adrian, P. (2015). Reverse engineering technique applied for manufacturing thin wall plastic parts. *Applied Mechanics and Materials*, 772, 212–217. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.772.212>
- Anggoro, P. W., Anthony, A. A., Bawono, B., Jamari, B. A. P., Tauviqirrahman, M., & Nugroho, A. (2019). CNC milling of EVA foam with varying hardness for custom orthotic shoe insoles and process parameter optimization. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 13(3), 5347–5370. <https://doi.org/10.15282/jmes.13.3.2019.10.0436>
- Anggoro, P. W., Bawono, B., & Sujatmiko, I. (2015). Reverse engineering technology in redesign process ceramics:

- Application for CNN plate. *Procedia Manufacturing*, 4, 521–527. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.071>
- Anggoro, P. W., Bawono, B., Tauviquirrahman, M., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. (2019). Design and manufacturing insole shoes orthotic for optimal surface roughness using CNC milling machine. *Journal of Engineering Science and Technology*, 14(4), 1799–1819.
- Anggoro, P. W., Saputra, E., Tauviquirrahman, M., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. (2017). A 3dimensional finite element analysis of the insole shoe orthotic for foot deformities. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(15), 5254–5260.
- Anggoro, P. W., Tauviquirrahman, M., Jamari, J., Bayuseno, A. P., Bawono, B., & Avellina, M. M. (2018). Computer aided reverse engineering system in the design and production of orthotic insole shoes for patients with diabetes. *Cogent Engineering*, 5(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1470916>
- Anggoro, P. W., Tauviquirrahman, M., Jamari, J., Bayuseno, A. P., Wibowo, J., & Saputro, Y. D. (2019). Optimal design ang fabrication of shoe last for ankle foot orthotics for patients with diabetes. international journal of manufacturing. *Material and Mechanical Engineering (IJMMME)*, 9(2), 64–78. <http://dx.doi.org/10.4018/ijmmme.2019040104>
- Anggoro, P. W., Yuniarto, T., Tauviquirrahman, M., Jamari, J., Bayuseno, A. P., Purwanto, K. B., & Widyanarka, O. K. W. (2019). Puzzle islamic floral patterns product tiles for wall and ceiling to decorate of al huda mosque indonesia— design, manufacturing, and fabrication. *Proceeding of 6th internasional conference and exhibition on sustainable energy and advanced materials, ICE-SEAM 2019, 16- 17 October 2019, surakarta, indonesia, lecture note in mechanical engineering*.

- Ashima, R., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Mahla, S. K., & Singh, S. (2021). Automation and manufacturing of smart materials in additive manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5081–5088. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.58>
- Babu, T. S., & Thumbanga, R. D. (2011). Reverse Engineering CAD/CAM & pattern less process applications in casting-A case study. *International Journal of Mechanics*, 5, 40–47. <https://www.naun.org/main/NAUN/mechanics/20-092.pdf>
- Bagci, E. (2009). Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies. *Advances in Engineering Software*, 40(6), 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.07.003>
- Fatima, S., Haleem, A., Bahl, S., Javaid, M., Mahla, S. K., & Singh, S. (2021). Exploring the significant applications of Internet of Things (IoT) with 3D printing using advanced materials in medical field. *Materials Today: Proceedings*, 45, 4844–4851. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.305>
- Feng, L., Longstaff, A. P., Fletcher, S., & Myers, A. (2014). Rapid and accurate reverse engineering of geometry based on a multi-sensor system. *The International Journal, Advanced Manufacturing Technology*, 74(1–4), 369–382. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5997-y>
- Fergiwawan, P. K., Anggoro, P. W., Yuniarto, T., Purwanto, K. B., & Widyanarka, O. K. W. (2019). Ceramic jewelry with texture and ornament islamic pattern and batik indonesia – design, manufacturing, and fabrication. *Proceeding of 6th International Conference and exhibition on sustainable energy and advanced materials, ICE-SEAM 2019, 16- 17 October 2019, surakarta, indonesia, lecture note in mechanical engineering*.

- Haleem, A., & Javaid, M. (2019a). 3D scanning applications in medical field: A literature-based review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(2), 199–210. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.05.006>
- Haleem, A., & Javaid, M. (2019b). Polyether ether ketone (PEEK) and its 3D printed implants applications in medical field: An overview. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 7(4), 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.01.003>
- Haleem, A., & Javaid, M. (2020). 3D printed medical parts with different materials using additive manufacturing. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8(1), 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.08.002>
- Haleem, A., Javaid, M., Khan, R. H., & Suman, R. (2020). 3D printing applications in bone tissue engineering. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*; 11: S118eS124, 11, S118–S124. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.12.002>
- Huson, D., & Hoskins, S. (2014). *3D printed ceramics for tableware, artists/designers and specialist application*. Centre for Fine Print Research, University of the West of England. Switzerland: Trans Tech Publications. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.608.351>
- Hussain, M. M., Sambasiva Rao, C. H., & Prasad, K. E. (2008). Reverse engineering: Point cloud generation with CMM for part modeling and error analysis. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(4), 37–40. http://www.arpnjournals.com/jeas/research_papers/rp_2008/jeas_0808_113.pdf
- Javaid, M., & Haleem, A. (2018a). Additive manufacturing applications in orthopaedics: A review. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 9(3), 202–206. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2018.04.008>

- Javaid, M., & Haleem, A. (2018b). Additive manufacturing applications in medical cases: A literature based review. *Alexandria Journal of Medicine*, 54(4), 411–422. <https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.003>
- Javaid, M., & Haleem, A. (2020). 3D printed tissue and organ using additive manufacturing: An overview. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8(2), 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.008>
- Javaida, M., & Hal, A. (2019). Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 9(3), 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2019.04.004>
- Kucklick, T. (2006). *Reverse engineering in medical device design*. The Medical Device R&D Handbook;
- López, C. I., Pinillos, J. C., & Juan, C. (2014). Moreno. Comparison between two design methods implants, based on reverse engineering, design and engineering technologies, BIOCAD/CAD/CAE. *Ingeniería y Competitividad*, 16(1), 61–68. https://www.researchgate.net/publication/317499786_Comparison_between_two_design_methods_implants_based_on_reverse_engineering_design_and_engineering_technologies_BIOCADCADCAE
- Majstorovic, V., Trajanovic, V., Vitkovic, N., & Stojkovic, M. (2013). Reverse engineering of human bones by using method of anatomical features. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 62(1), 167–170. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2013.03.081>
- Oancea, G., Ivan, N. V., & Pescaru, R. (2013). Computer aided reverse engineering system used for customized products. *Annals of MTeM for 2013 & Proceedings of the 11th International MTeM Conference Published by MTeM 2013, Cluj-Napoca*,

- Romania, Editor N. Bâlc. *THE 11th INTERNATIONAL MTeM CONFERENCE*, 17th –19th OCTOBER 2013. Pp 181–186.
- Singare, S., Dichen, L., Bingheng, L., Yanpu, L., Zhenyu, G., & Yaxiong, L. (2004). Design and fabrication of custom mandible titanium tray based on rapid prototyping. *Medical Engineering & Physics*, 26(8), 671–676. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2004.06.001>
- Sokovic, M., & Kopac, J. (2005). RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1–3), 398–403. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.04.047>
- Ul Haq, M. I., Khuroo, S., Raina, A., Khajuria, S., Javaid, M., Ul Haq, M. F., & Haleem, A. (2020). 3D printing for development of medical equipment amidst coronavirus (COVID-19) pandemic—review and advancements. *Research on Biomedical. Engineering*. Published on line” 1 October. <https://doi.org/10.1007/s42600-020-00098-0>
- Vinesh, R., & Kiran, F. J. (2008). *Reverse engineering – An industrial perspective* (V. Raja & K. J. Fernandes, Eds.). London: Springer-Verlag.
- Wang, W. (2008). Application of reverse engineering in manufacturing industry. In *Departement of engineering technology universitas of massachusetts lowell*. MA, USA.
- Wego, W. (2010). *Reverse Engineering: Technology of REinvention*. CRC Press, Taylor & Francis
- Xia, Z. (2014). Application Of Reverse Engineering Based On Computer In Product Design. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 9 (5), 343–354. <https://doi.org/10.14257/ijmue.2014.9.5.35>
- Ye, X. Z., Peng, W., Chen, Z. Y., & Cai, Y. Y. (2004). Today’s students, tomorrow’s engineers — An industrial perspective on cad

education. *Computer-Aided Design*, 36(14), 1451–1460.
<https://doi.org/10.1016/j.cad.2003.11.006>

Bab 5

Desain – Manufaktur – Fabrikasi Produk Piring *Dining set Plate Tableware Motif Batik Kawung*

Batik Kawung adalah salah satu motif batik paling populer di Indonesia dan menggambarkan karakter asli budaya Indonesia dari buah kolang kaling dan hewan kumbang kelapa (*Rhynchophorus*). Motif ini dapat ditampilkan sebagai ornamen yang menarik dan artistik ketika ditempelkan pada permukaan produk piring keramik. Tampilan ornamen batik dapat meningkatkan nilai jual dan *storytelling* dari produk keramik tersebut. Solusi praktis untuk mendapatkan ornamen produk ini bukan menggunakan teknologi *handmade* seperti yang biasa dilakukan oleh Naruna Ceramik Studio, melainkan menggunakan penerapan teknologi modern berbasis komputer. Dalam studi ini, teknologi *virtual design and manufacturing* (VDM) yang berbasis pada software artistik ArtCAM Pro 2015, Autodesk PowerShape, dan PowerMill digunakan untuk menghasilkan motif batik kawung dari format .JPG menjadi gambar model 2.5D dengan format STL. Dengan bantuan software Autodesk PowerShape, motif tersebut ditempelkan pada permukaan piring sederhana hingga menjadi piring dengan motif batik Kawung menggunakan metode *wrapping*. Tulisan ini juga menjelaskan tahapan desain – manufaktur piring makan dengan motif Batik Kawung. Untuk mendapatkan gambaran umum tentang simulasi pembuatan cetakan pelat berpola ini, tahap pemesinan virtual juga dilakukan dengan menggunakan perangkat

lunak PowerMill manufaktur berbantuan komputer. Hasil akhir menunjukkan bahwa simulasi pemesinan virtual yang dihasilkan menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan presisi, presisi, akurat, dan dapat langsung diproses secara real manufacturing pada mesin router CNC. Hasil akhir berupa satu set piring bermotif Kawung dengan variasi ukuran 18; 22; dan 27 cm dengan warna glasir yang unik dan menarik.

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), artistik bersifat seni atau mempunyai nilai seni. Artistik adalah segala sesuatu yang berkaitan dengan kreasi artistik, ekspresi emosi, ekspresi diri dan kegiatan individualistik. Sedangkan desain menurut KBBI diartikan sebagai rancangan, kerangka bentuk, motif, pola dan corak. Beberapa pengertian tersebut, dapat disimpulkan bahwa desain artistik adalah sebuah kreasi artistik berupa suatu produk atau karya yang melalui proses perancangan dan pola pada proses pembentukannya. Artistik desain dapat menambah nilai tambah dalam proses pembuatan suatu produk atau desain seperti batik dan keramik.

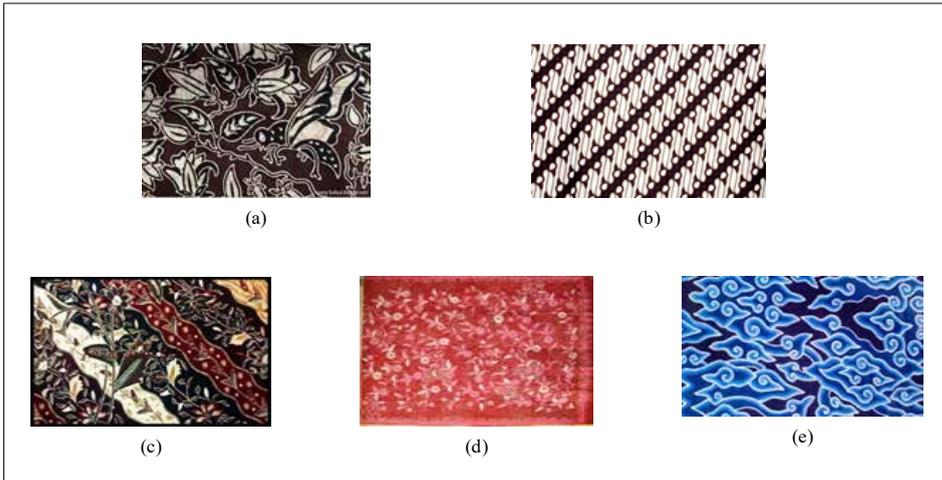
Keramik merupakan salah satu hasil karya seni berbahan dasar tanah liat. Keramik menjadi salah satu produk pada sektor industri kreatif Badan Ekonomi Kreatif (BEKRAF) kategori kriya. Proses pembuatan keramik melalui tahapan persiapan bahan baku, pembentukan model, pengeringan, pembakaran, hingga *finishing* atau penyempurnaan. Menurut Budiyanto et al., 2008 terdapat tiga bahan baku utama dalam industri keramik yaitu lempung (*clay mineral*), pasir untuk mengurangi penyusutan dan mengatur plastisitas, serta *feldspar* sebagai glasir untuk memperkuat keramik. Semakin berkembangnya zaman, inovasi untuk produk keramik menjadi semakin beragam. Hal ini telah diungkapkan oleh Ahmad dkk (2018) yang menjadikan batik Merboks asal Malaysia sebagai salah satu ornamen dalam produk keramik *tableware*. Penambahan desain artistik pada produk keramik terutama bentuk, tekstur, dan kontur lebih dari setengah milimeter yang dapat meningkatkan

nilai jual, dan keunggulan kompetitif dari perusahaan keramik dibandingkan dengan kompetitor sejenis. Motif pada produk keramik bercorak *European, Islamic, Chinese*, dan lain – lain yang merupakan hasil penelitian Lang (2004). Salah satu motif dan ukiran yang populer adalah motif batik.

Batik merupakan salah satu warisan kesenian budaya Indonesia yang memiliki ciri khas pada setiap motif dan polanya. Salah satunya yaitu batik Nusantara dengan motif yang spesifik pada setiap daerahnya seperti batik Aceh, batik Pekalongan, batik Banyumas, batik Yogyakarta, batik Lasem, Batik Cirebon dan lain – lain (lihat Gambar 1). Industri batik pernah berkembang besar pada tahun 1970an, kemudian pada tahun 1977 industri batik kembali meredup karena krisis moneter. Hal tersebut disebabkan karena kurangnya bahan baku untuk pembuatan batik, sehingga produsen harus melakukan ekspor sehingga berpengaruh pada peningkatan harga produksi dan penjualan batik. Harga batik yang meningkat menyebabkan beralihnya masyarakat membeli batik dari China dan Vietnam yang memiliki harga lebih murah yang merupakan hasil penelitian Nurainun (2008). Seiring berjalannya waktu, industri batik terus mempertahankan kiprahnya dengan memberikan beberapa inovasi. Motif batik banyak diaplikasikan pada tas, dompet, ukiran, lukisan dinding, dan lain – lain. Pengaplikasian motif batik pada keramik menjadi salah satu upaya untuk terus melestarikan kesenian batik agar dapat terus bertahan ditengah persaingan global.

Industri batik yang terus menggeliat membuat semakin banyaknya inovasi pada penerapan motif batik itu sendiri. Motif batik banyak diaplikasikan pada tas, dompet, ukiran, lukisan dinding dan lain-lain. Namun, masih kurangnya penerapan motif batik pada sentra industri kerajinan keramik seperti yang pernah dipaparkan oleh Saputro (2018) menggunakan motif batik kawung sebagai ornamen pada proses manufaktur keramik *tableware*. Namun penelitian tersebut terbatas hanya menggunakan satu motif

batik saja dan tidak menggabungkan beberapa motif batik menjadi sebuah batik dengan desain yang baru. Kelima penelitian yang telah dilakukan sebelumnya juga hanya terbatas pada *Islamic pattern* seperti yang telah ditulis oleh peneliti sebelumnya [Chrispambayun, 2017; Pesoa, 2018; Dewi, 2019; Karisma, 2019; Honoris, 2020].



Gambar 1. Jenis dan Motif Batik : a. Batik Banyumasan motif Kantil, b. Batik Parang Barong, c. Batik Pekalongan, d. Batik Lasem, e. Batik Megamendung

PT. Gyan Kreatif Indonesia merupakan satu dari sekian banyak sentra industri lokal yang bergerak disektor industri keramik. PT. Gyan Kreatif Indonesia terus berupaya menjadi salah satu industri keramik terbaik di Indonesia dengan memproduksi kerajinan keramik *tile* dan *tableware* meliputi *plates, microwave and dishwasher, bowl, mug*, dan lain – lain (lihat Gambar 2.). PT. Gyan Kreatif Indonesia menggunakan digital marketing untuk menyatukan ide dan gagasan dari *customer*. Sampai tahun 2020, PT. Gyan Keramik Indonesia masih menggunakan metode manual (*handmade*) dengan sumber daya manusia yang terbatas. Walaupun omset penjualan secara digital dan proses glasir keramik mengalami kenaikan, namun PT. GKI mengalami kendala pada saat salah satu customer unggulannya yaitu Batik Keris meminta perusahaan untuk

menghasilkan variasi desain produk keramik *tableware* dengan ornamen batik Indonesia. PT. GKI mengalami kendala karena tidak memiliki teknologi desain secara cepat untuk mengerjakan variasi desain produk keramik bermotif batik Indonesia.

PT. Gyan Kreatif Indonesia bekerjasama dengan tim peneliti Universitas UAJY melakukan proses penelitian dan pengembangan teknik desain dan manufaktur produk keramik bermotif dan berbasis artistik CAD CAM dan mesin CNC dalam rangka memenuhi kebutuhan pelanggan. Tahapan desain sampai pembuatan cetakan dikerjakan oleh peneliti, sedangkan proses *clay* sampai produk jadi dikerjakan oleh PT. GKI.

Budiyanto et al., (2008) mengatakan bahwa metode manual pada proses pembuatan keramik dengan pembentukan tangan langsung (*handbuildings*) seperti teknik pijit, pilin, lempeng, teknik putar (*throwing*) dan teknik lain yang sering digunakan pengrajin keramik. Proses pembuatan keramik *tableware* jenis *plate* pertama – tama dilakukan dengan meletakkan tanah liat pada tengah – tengah kepala putaran dengan tangan basah. Kemudian kepala putar ditekan sambil dilakukan tekanan pada tanah liat hingga tanah liat memusat dengan tepat. Bentuk tanah liat menyerupai kubah yang lebar menggunakan salah satu sisi tangan lalu tekan ke bawah hingga tanah liat melebar. Tekan tanah liat pada bagian pusat kebawah lalu tarik kearah luar sehingga terbentuk cekungan. Lakukan berulang – ulang hingga tepian tanah liat menjadi tipis dan rapi. Putar perlahan, gunakan ibu jari dan jari – jari satu tangan untuk memegang dinding *plate* hingga terbentuk bibir *plate*. Jika sudah maka gunakan kawat pemotong untuk memisahkan papan pemutar dengan *plate*. Diamkan *plate* kemudian angin – anginkan hingga *plate* menjadi keras. Tahapan terakhir yaitu proses pengikisan *plate* untuk membuang tanah liat yang tidak perlu yang merupakan hasil penelitian Budiyanto dkk (2008).

Konsep metode konvensional memiliki keterbatasan untuk melakukan repetitive karena geometri dan bentuk produk menjadi tidak konsisten. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang telah dilakukan Zhang dan Yang (2016); Zhang et al., 2018 mengatakan bahwa kurangnya teknologi dalam pembuatan keramik menyebabkan produk keramik menjadi kurang konsisten dari segi bentuk, hiasan, permukaan dan bahan.



Gambar 2. Model Produk Keramik Handmade: a. cangkir, b. *plate*, c. mug, dan d. mangkok

Penelitian ini akan membahas tahapan desain artistik CAD berdasarkan permintaan pelanggan PT. Gyan Kreatif Indonesia untuk mendapatkan variasi dinning set tableware. Produk ini meliputi piring dinning set tableware piring diameter 18, 22, dan 27 cm. Pembangkitan atribut produk ditampilkan peneliti menggunakan *Forum Group Discussion* (FGD) antara peneliti, PT. GKI dan Batik Keris. Berdasarkan permintaan PT. GKI, ornamen batik akan ditempelkan pada bagian tepian piring.

Sektor peralatan dapur berbahan tanah liat dan dimanufaktur menjadi keramik telah lama dianggap sebagai bisnis berbasis kerajinan. Dalam industri keramik di Indonesia, penggunaan komputer lebih banyak digunakan sebagai pengolah kata, *database*, catatan pembukuan dan aktivitas perusahaan, pembayaran, pergudangan, dan pemantauan proses. Kebanyakan industri keramik di Indonesia sampai dengan saat ini masih sedikit yang benar-benar menerapkan penggunaan teknologi komputer dalam upaya meraka untuk merancang. Hal ini terkendala karena keterbatasan sumber daya manusia, teknologi, dan biaya. Seiring dengan perkembangan jaman, saat ini beberapa industri keramik semakin tertarik untuk menggunakan teknologi komputer. Namun, sampai dengan saat ini masih jarang ditemukan adopsi teknologi dalam bisnis desain yang berbasis computer pada tahap inovasi perancangan dan pengembangan produk baru guna meningkatkan keunggulan kompetitif perusahaan terhadap pesaing lokal maupun internasional.

Sebelum prototipe sebuah produk baru dapat berfungsi dengan baik dan mampu diproduksi, maka sangat dimungkinkan pada setiap lini produksi untuk memverifikasi kemampuan manufaktur pada masing-masing bagian dan seluruh perakitan dalam sebuah aktivitas pengembangan produk seperti yang dipaparkan oleh [Anggoro et al., 2018; Anggoro, Bawono et al., 2019; Anggoro et al., 2021; Anggoro, Wibowo et al., 2019; Chang, 2015b, 2015c]. Terkait munculnya tingkat kesulitan pemesinan sebagai akibat dari fase desain yang menghasilkan produk desain dengan kontur surface dalam bentuk dan geometri yang detail, presisi, dan kompleks maka sangat mungkin diperlukan kebutuhan akan peralatan virtual machining (software CAM) dan penggunaan tooling yang benar – benar memadai sehingga mampu menyelesaikan permasalahan yang diminta oleh konsumen. Penggunaan teknologi berbasis simulasi untuk membantu para insinyur dalam mendefinisikan, mereplikasi, dan memvisualisasikan proses produksi dan pengembangan dalam

lingkungan komputerisasi dikenal sebagai virtual manufaktur (VM). Fabrikasi sebagai tahap akhir implementasi fase desain dapat dikonfirmasi dan diverifikasi melalui teknologi VM ini. Virtual Manufacturing merupakan topik studi riset yang sangat luas yang mencakup berbagai masalah dalam industri manufaktur mesin perkakas. Beberapa prosedur pemesinan manufaktur seperti: drilling, lathe, milling secara khusus sering dikenal sebagai pemesinan virtual (VM).

Saat ini, desainer CAD CAM dapat menggunakan pemesinan virtual untuk merencanakan operasi pemesinan, menghasilkan strategi pemesinan (toolpath) yang optimal [Anggoro et al., 2018, 2021; Chang, 2015c; Fergiawan, Anggoro, Ismail et al., 2021], memantau dan mensimulasikan langkah-langkah pemrosesan manufaktur secara simulasi, dan juga mampu memperkirakan waktu produksi secara simulasi. Selanjutnya, *toolpath* optimal yang sudah dihasilkan oleh engineer CAD CAM dapat mengubah toolpath tersebut menjadi kode CNC (kode-M dan kode-G) ke bagian-bagian yang berfungsi dengan mesin CNC untuk pengerjaan pembuatan die atau mold cetakan. Toolpath ini di-*create* berdasarkan gambar 3D CAD solid model yang ada kemudian dilakukan strategy pemilihan toolpath pada CAM dengan mentransformasikan kode CNC menggunakan post processor yang tersedia pada tiap mesin CNC sehingga mampu dibaca mesin guna proses manufaktur pada gambar yang dikerjakan.

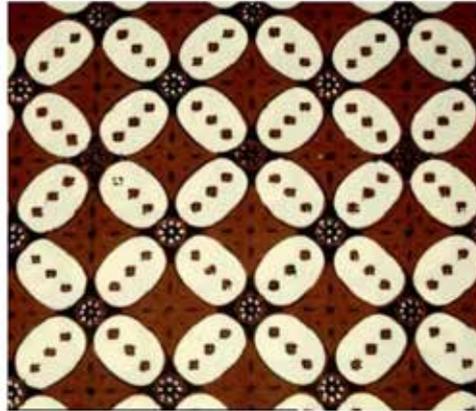
Dalam beberapa tahun terakhir terjadi peningkatan dalam penggunaan komputer dan bentuk otomatisasi lainnya di industri peralatan makan keramik [Chua, Gay, Hoheisel et al., 1997a; Homer & Skaar, 1991; McLaughlin, 1988a, 1988b]. Secara khusus, penerapan teknologi computer berbasis CAD - CAM untuk produksi keramik saat ini secara teknis layak untuk pembuatan saniter, peralatan makan dan produk keramik [Clayton, 1986; Dickin, 1993; Wormald, 1993]. Di Indonesia, penggunaan teknologi ini juga telah terbukti mampu meningkatkan pengembangan desain baru pada

produk keramik seperti yang dijelaskan oleh [Anggoro et al., 2018, 2021; Fergiawan et al., 2019]. Namun, keduanya masih cenderung digunakan oleh engineer untuk produk keramik polos saja, namun belum ada yang mulai melakukan inovasi produk keramik baru dengan adanya permintaan konsumen seperti pola emboss, relief ornamen detail dan kompleks sehingga dapat ditempelkan pada permukaan produk keramik yang dihasilkan (piring, teko set, dan perhiasan). Pola ornamen dan relief seperti ini masih jarang ditemukan dalam beberapa penelitian sebelumnya yang menerapkan penggunaan virtual design and machining (VDM) dalam upaya menciptakan inovasi produk keramik baru. Kebaruan inilah yang ingin ditampilkan dalam tulisan ini.

Studi ini mengkaji secara detail tahapan desain dan pembuatan piring makan berornamen motif batik *Kawung* yang berbasis *visual design – manufacturing* (VDM) dan dilanjutkan manufaktur pada mesin CNC router. Struktur batik yang muncul pada gambar dengan format .jpg melalui pola dan bentuk ornamen yang rumit dan presisi akan dibangkitkan secara detail oleh penulis dalam tulisan ini. Temuan studi ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap inovasi pengembangan produk baru pada produksi peralatan makan keramik tableware bermotif emboss dan berciri khas budaya Indonesia yang presisi, akurat, dan mampu produksi dalam jumlah banyak.

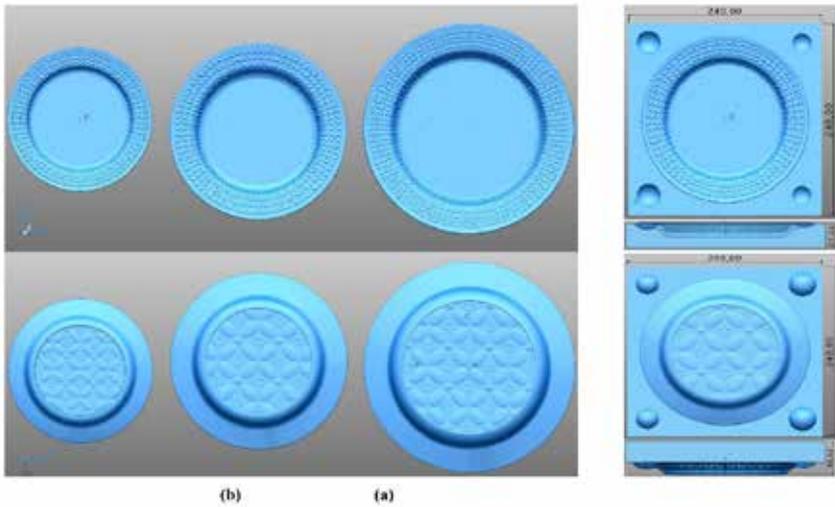
5.1. Material dan Metode

Satu type motif batik Kawung (Gambar 2) pada study ini telah dipilih dan ditetapkan oleh penulis dan pihak Naruna Ceramic Studio sebagai motif batik yang akan ditempekan pada permukaan piring sebagai ornamen embosnya. Motif ini dipilih karena memiliki latar belakang story telling yang sangat kuat dalam budaya Jawa khususnya pada motif Batik Indonesia yang merupakan salah satu warisan budaya Indonesia.



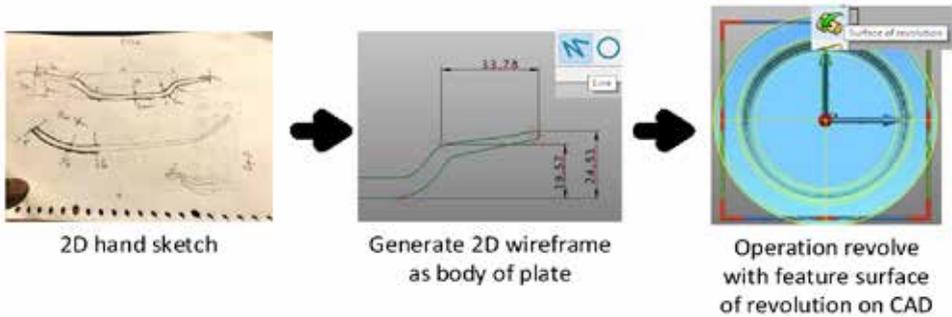
Gambar 2. Pola batik *Kawung* batik dengan format .jpg

Berdasarkan hasil diskusi bersama melalui FGD yang dibangun oleh penulis dan pihak Naruna Ceramic Studio, disepakati hasil pembangkitan inovasi produk baru adalah: type tableware yang diambil adalah dining plate tableware; diameter piring ditetapkan sebesar 270, 220, dan 180 mm sesuai standar dimensi keramik Tableware di Eropas. Output luaran desain yang dihasilkan oleh desainer Artistik CAD berupa variasi gambar 3D CAD model dalam tiga ukuran dan gambar 3D CAD model cetakan dalam bentuk core dan cavity yang digambarkan secara virtual menggunakan software ArtCAM dan Autodesk PowerShape seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.

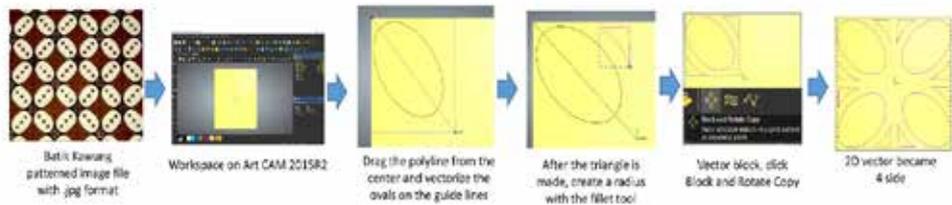


Gambar 3. Desain *dinner set tableware* dengan motif pola *Kawung* : (a) 3D CAD model piring dengan diameter 270, 220, 180 mm. (b) 3D CAD model *core and cavity*

Pada saat bersamaan, proses pembuatan gambar sket untuk pandangan potongan piring untuk memerlukan dimensi diameter, tebal, maupun kontur geometri piring lainnya dapat digambarkan dalam bentuk 2D menggunakan pensil pada kertas (Gambar 4). Tujuan pembuatan sket ini adalah agar engineer dapat membuat model arc dasar pembentuk piring menjadi 3D model piring dalam software CAD Autodesk PowerShape dengan mengkombinasikan antara point, wireframe, workplace, menjadi sebuah arc yang di rotasikan pada sumbu workplane (sumbu Z) sampai terbentuk sebuah model piring dalam bentuk 3 dimensi (Gambar 4).

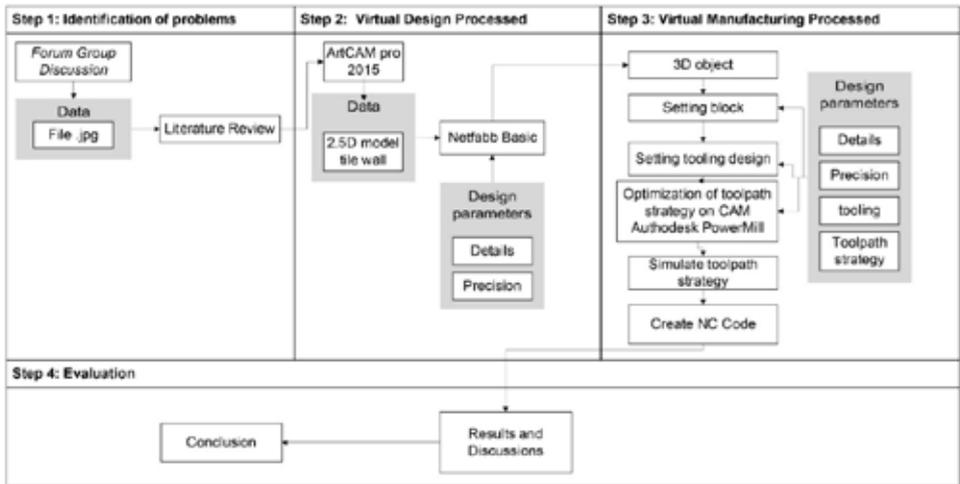


Gambar 4. Tahapan pembangkitan ide gambar sket menjadi bentuk piring yang simple



Gambar 5. Tahap pembangkitan pola Kawung dengan input file berformat .jpg yang ditransformasikan menjadi 2D solid model dengan format .stl

Pembuatan file foto dalam format .jpg (Gambar 2) menjadi gambar vektor 2D dan gambar 2.5D model dengan pola *Kawung* dilakukan dengan menggunakan software ArtCAM 2015 R2 (lihat Gambar 5). Selanjutnya dengan menggunakan perintah *wrapping* pada software PowerShape, output desain piring pada Gambar 4 akan ditempelkan sebuah gambar 2.5D solid model ornamen Kawung berformat .stl (Gambar 8) yang disatukan menjadi bentuk piring emboss dengan pola Kawung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 didepan. Proses wrapping dilakukan dua kali pada dua permukaan piring.



Gambar 6. Flowchart metodologi virtual desain dan manufaktur dari pengerjaan *dinner set tableware plate* dengan motif *Kawung*

Keempat tahap penelitian dalam tulisan ini dilakukan untuk mendapatkan perancangan dan optimalisasi pemilihan strategi pemesinan yang optimal menggunakan metode VDM dan pemesinan berbasis CAD-CAM pada mesin CNC router. Tahapan diagram alur metodologi virtual desain dan manufaktur disajikan pada Gambar 6.

5.2. Analisis 3D Modeling Dining Plate Tableware Motif Batik Kawung

5.2.1. Story telling Batik Kawung

Batik merupakan budaya yang telah lama berkembang dan dikenal oleh masyarakat Indonesia. Batik telah dikenal sejak era Majapahit dan penyebaran Islam. Batik awalnya hanya dibuat dan dibatasi oleh pihak keraton saja. Oleh punggawa keraton, batik kemudian dibawa keluar dari istana dan dikembangkan hingga saat ini. Batik Indonesia telah secara resmi dikukuhkan sebagai warisan budaya dunia oleh UNESCO pada tanggal 2 Oktober 2009

(Dalam siaran pers dari Departemen Kebudayaan dan Pariwisata di Jakarta pada hari Jumat, 2 Oktober 2009). Pengakuan ini membantu meningkatkan popularitas batik dan kesadaran masyarakat untuk merasa memiliki batik. Motif Batik Indonesia banyak dan beragam, seperti parang yang rusak, batik Garuda, batik keraton, batik parang, barong dan batik *parang Kawung* yang rusak. *Batik Kawung* adalah yang paling banyak digunakan karena motif batik ini sederhana, namun memiliki nilai filosofis yang tinggi (Gambar 2 dan Gambar 7).

Pemilihan motif batik *Kawung* lebih didasarkan atas permintaan dari pelanggan Naruna Ceramic Studio sendiri yang menginginkan 1 set produk piring makan malam ini nantinya memiliki tekstur relief ornamen yang menggambarkan budaya luhur bangsa Indonesia pada umumnya dan budaya Jawa pada khususnya. Pola tekstur yang harus ditampilkan nantinya dapat memberikan kesan mendalam bagi wisatawan maupun konsumen mancanegara dalam menggunakan produk ini nantinya.

Tekstur relief ini merupakan salah satu jenis corak batik kuno yang muncul dan berkembang di Ngayogyakarta Hadiningrat pada abad ke-13 dan diciptakan oleh Sultan Mataram saat itu. *Kawung* sendiri, menjadi pola yang diambil dari buah *kolang-kaling* yang dihasilkan oleh pohon palem dan banyak dijumpai di beberapa daerah Indonesia, sumber lain juga mengatakan bahwa *pola batik Kawung* juga dapat dikaitkan dengan hewan Kawungwung (Gambar 7). Filosofi terdalam yang terkandung pada pohon palem adalah bahwa semua bagian pohon dari atas (ujung daun) sampai akar dapat digunakan sehingga sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, hal ini menyiratkan bahwa manusia berguna bagi setiap orang dalam kehidupan bermasyarakat, berbangsa, dan bernegara. Beberapa buku Sejarah memaparkan tentang *corak batik Kawung yang* hanya diperuntukkan bagi keluarga bangsawan atau pejabat keraton. Corak geometris pada batik ini dalam filsafat tradisional Jawa memiliki makna khusus yang mencerminkan adanya satu titik

kekuasaan di alam semesta. Dengan dimulainya pengembangan produk berbasis budaya dan didukung oleh kondisi di atas, maka akan terjadi kolaborasi yang signifikan antara batik motif *Kawung* dan keramik untuk memperkuat daya saing dan meningkatkan positioning dalam menghadapi MAE bagi industri keramik nasional [Yuniarto et al., 2023; Yao, 2017]. Corak batik lebih mengutamakan aspek bunga dibandingkan fauna, dan penggunaan corak batik sebagai ornamen yang ditempelkan pada produk keramik juga telah berhasil dilakukan oleh peneliti sebelumnya [Abdullahi & Rashid, 2013, 2015; Yuniarto et al., 2023; Chua, Gay, Hoheisel et al., 1997b, 1997c; Renzi, 2009; Zhang et al., 2018].



Gambar 7. *Kawung* batik patterns, palm sugar fruit, and *Oryctes rhinoceros*

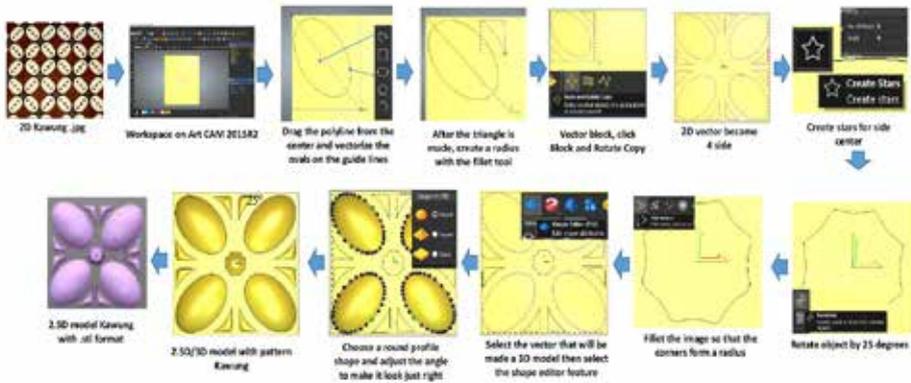
Gambar 2 dan 7 menunjukkan contoh batik Kawung yang model polanya berasal dari 2 bentuk tumbuhan dan hewan khas Indonesia yang mirip dengan buah gula aren (*kolong-kaling*), dan *badak Oryctes* (kumbang Kawangwung) yang pada akhirnya menjadi sebuah pengucapan atau pelafalan umum di masyarakat Indonesia menjadi Kawung.

5.2.2. Virtual Design patterned ceramic plate with computer-aided design (CAD)

Desain *dinner set tableware* yang dirancang dalam tulisan ini terdiri dari tiga jenis ukuran, masing-masing dengan diameter 270 mm; 220mm, dan 180mm. Ketiganya merupakan satu set piring makan yang memiliki pola dengan *ornamen Kawung* seperti

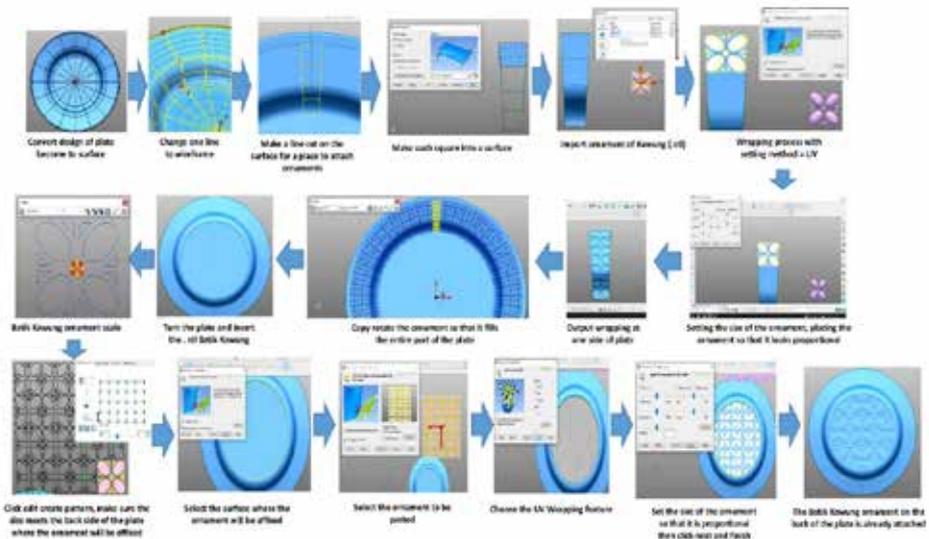
yang disajikan pada Gambar 3(a). Untuk mendapatkan desain ketiga piring tersebut, penulis melakukan tiga tahap proses pembuatan desain virtual dengan bantuan software CAD, yaitu: pembangkitan model 2.5D ornamen Kawung dalam bentuk solid modelling; melakukan proses operasi revolution dari arc yang sudah terbentuk menjadi gambar 3D model piring umum; dan proses operasi *wrapping* pada piring untuk menempelkan dan menyatukan ornamen Kawung menjadi emboss pada permukaan piring tersebut.

Pembuatan data file foto dalam format .jpg menjadi gambar 2D vektor dari pola *Kawung* ditunjukkan pada Gambar 5. Sementara itu, langkah-langkah untuk mendapatkan 3D solid model *Kawung* yang diimpor ke dalam file CAD dapat dilihat pada Gambar 8. Pola *Kawung* ini selanjutnya oleh engineer CAD digambar pada software ArtCAM dengan menggambar polyline dari tengah media. Kemudian gambar dan buat vektor berbentuk oval sesuai pedoman yang ada di ArtCAM. Pada bagian ujung buat vektor segitiga yang digambar dengan alat bantu polygons dan beri jari-jari pada setiap tepi segitiga menggunakan alat bantu fillet. Setelah vektor segitiga *oval dan kawung* terbentuk, copy and rotate sebanyak empat kali untuk mendapatkan gambar 2D vektor dengan pola *Kawung*. Selanjutnya, buat gambar bintang dan isikan jumlah titik sebanyak delapan titik dan putar gambar sebanyak 250 hingga gambar bintang terisi dan ditempatkan di tengah pola *Kawung* yang sudah terbentuk. Output pada tahap ini adalah pola Batik Kawung dalam format .stl yang akan diimpor ke dalam software PowerSHAPE untuk proses penempelan motif pola tersebut pada permukaan piring (lihat Gambar 8).

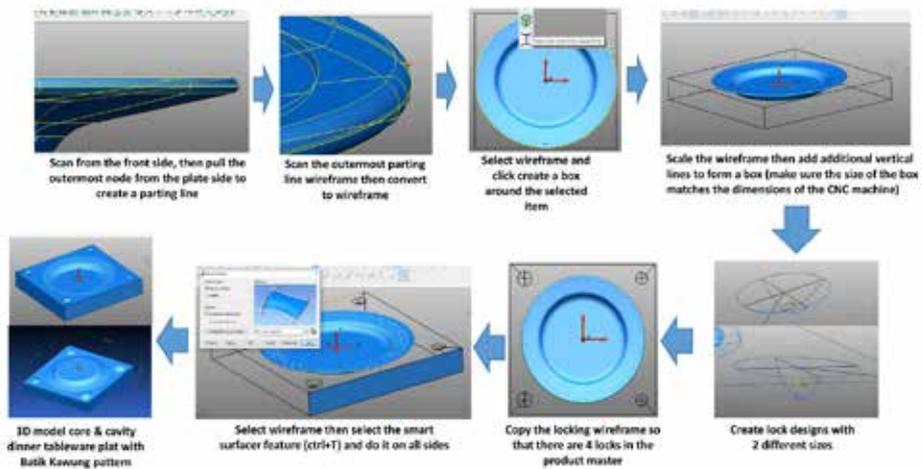


Gambar 8. Tahapan virtual dari proses desain artistic pola Kawung pada ArtCAM 2015 R2

Langkah selanjutnya adalah menempelkan *pola Kawung* (Gambar 8) dalam format .stl ke permukaan piring (Gambar 4). Operasi penempelan ini menggunakan fitur operasi *wrapping* pada software CAD Autodesk PowerShape. Tahapan pembuatan desain menggunakan operasi *wrapping* dapat disajikan pada Gambar 9. Output dari *image generation* pada proses *wrapping* ini berupa 3D model desain *dining set tableware* motif *batik Kawung* dengan tiga jenis dimensi yang berbeda, yaitu diameter plat 270 mm, 220 mm, dan 180 mm (lihat Gambar 3(a)). Sementara itu, proses ke tahap pembuatan desain cetakan piring dalam bentuk core dan cavity dapat ditunjukkan pada Gambar 10. Hal ini dilakukan karena nantinya pada industri keramik proses fabrikasi akan menjadi produk piring tanah liat yang diperoleh dari cetakan core dan cavity (lihat Gambar 3(b)). Virtual machining (VM) juga telah berhasil dilakukan oleh [Anggoro et al., 2018; Anggoro, Bawono et al., 2019; Anggoro et al., 2021; Chang, 2015a, 2015b, 2015c]. Proses pembuatan core dan cavity dengan desain virtual menggunakan software CAD dapat disajikan pada Gambar 10.



Gambar 9. Tahapan proses wrapping dalam desain piring dinner set tableware dengan motif Batik Kawung



Gambar 10. Desain virtual dari core dan cavity piring *dinner set tableware* menggunakan Autodesk PowerShape 2019i

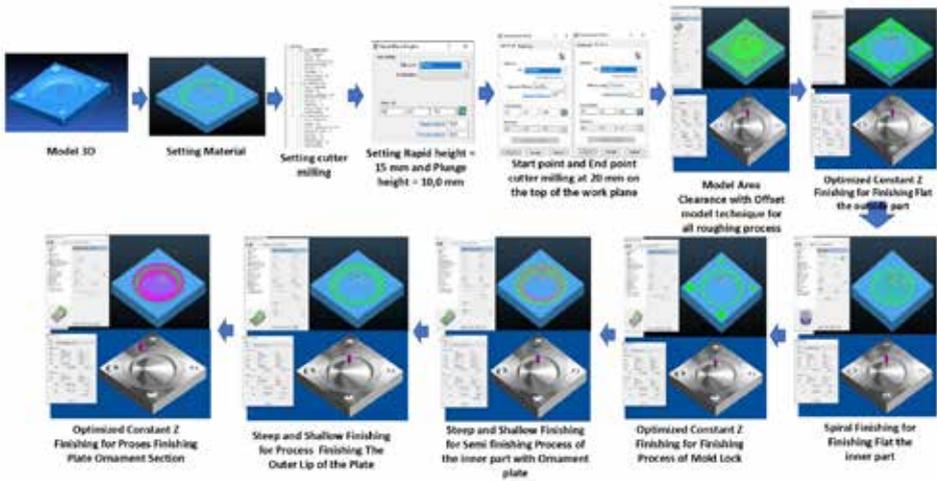
The core & cavity design in Figure 10 is conceptually the mold design development for the ceramic industry, it is feasible to

be forwarded to virtual machining with CAM software before being processed to a CNC machine. This result is also following and has been carried out successfully by previous researchers [Anggoro et al., 2018; Anggoro, Bawono et al., 2019; Anggoro et al., 2021; Chang, 2015a, 2015b, 2015c].

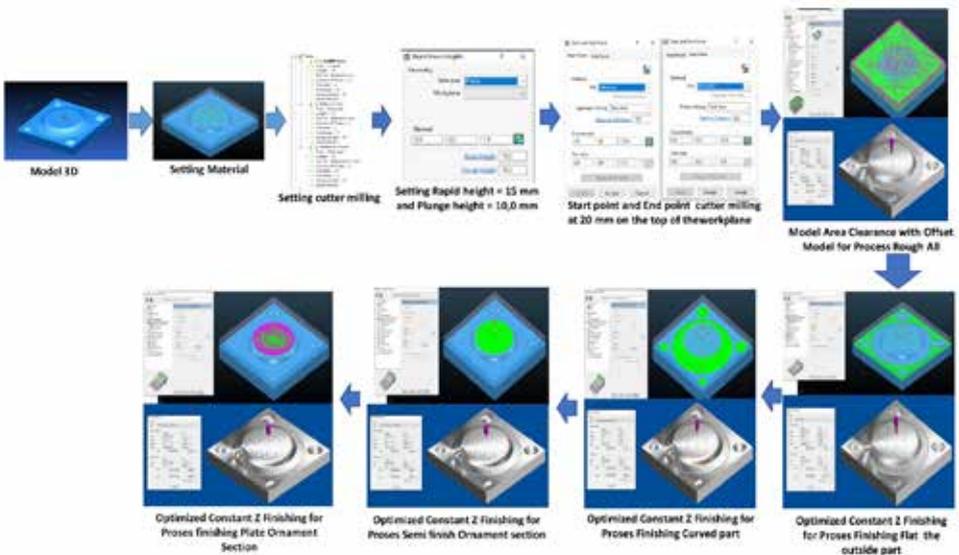
Desain core & cavity pada Gambar 10 secara konseptual adalah pengembangan desain cetakan untuk industri keramik, dan desain ini layak untuk diteruskan ke tahap pemesinan virtual dengan software CAM sebelum diproses lanjut pada mesin CNC. Hasil yang diperoleh dalam tulisan ini juga telah mengikuti dan berhasil dilakukan oleh peneliti sebelumnya [Anggoro et al., 2021; Anggoro, Yuniarto et al., 2019; Fergiawan, Anggoro, Anthony et al., 2021; Fergiawan et al., 2019].

5.2.3 Virtual Machining patterned ceramic plates with computer-aided manufacturing (CAM)

Figure 3(b) masing-masing bentuk gambar 3D CAD solid model core & cavity kemudian dilakukan proses virtual machining untuk mendapatkan strategy pemesinan optimal secara virtual. Pada tahap ini digunakan software CAM PowerMill. Tahapan optimasi manufaktur virtual untuk setiap core dan cavity disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 12. Subyek virtual machining yang dibahas dalam tulisan ini adalah VM produk master cetakan dalam bentuk core dan cavity untuk produk dinner set tableware bermotif Kawung. Adapun yang dibahas, meliputi: pembuatan NC Program untuk tiap komponen cetakan, simulasi pemesinan secara virtual, ketersediaan software CAM komersial agar mampu menghasilkan NC Code yang mampu dibaca oleh post processor pada mesin CNC router, beserta studi kasus dan contoh tutorial. Selain itu, kami secara singkat membahas aspek praktis pemesinan CNC, termasuk jig dan fixtures, cutter dan parameter pemesinan yang digunakan.



Gambar 11. Virtual Machining dari model 3D cavity piring menggunakan software CAM Autodesk PowerMill



Gambar 12. Virtual Machining dari model 3D core piring menggunakan software CAM Autodesk PowerMill

Proses pemesinan untuk ketiga jenis desain *diner set tableware plate* dibagi menjadi dua bagian, yaitu cetakan piring atas (*cavity*) dan cetakan piring bawah (*core*). Software VM Autodesk PowerMill [Anggoro, et al 2015; 2018, 2021] digunakan dalam studi ini untuk membuat program pemesinan pada CNC Milling hingga tahap proses running simulasi *toolpath strategy* machining yang optimal. Sedangkan *post-processor Mach3* digunakan untuk membuat NC Code yang dapat dibaca mesin CNC Milling seperti yang juga telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [Fergawan et al., 2019]. Hal ini dilakukan oleh penulis karena jenis mesin CNC yang akan digunakan dalam proses pembuatannya adalah mesin CNC router dengan *post-processor* standar.

Pemrograman pada proses pemesinan dimulai dengan mengimpor 3D model cetakan dalam format PSmold ke dalam software CAM Autodesk PowerMill (Gambar 11 dan Gambar 12). Pengaturan ukuran benda kerja ditentukan disini berdasarkan ukuran model dengan tambahan ketebalan tinggi 3,00 mm untuk mengantisipasi kerataan permukaan bahan gypsum yang merupakan bahan cetakan piring. Pada studi ini, *workplace* pada meja mesin dan di layar computer ditempatkan pada perpotongan diagonal antar permukaan benda kerja sehingga menjadi ini nantinya menjadi acuan koordinat utama dan memudahkan operator CNC dalam mengatur pemasangan alat potong, seperti end mill, ballnose maupun type cutter lainnya. Pilihan *cutting tool* disesuaikan dengan ketersediaan mesin CNC, yaitu EndMill 6 mm, Ballnosed 2 mm, dan Ballnosed 0,5 mm untuk tiga jenis pekerjaan (proses *roughing*, *semi-finishing*, dan *finishing*). Karena model yang sedang dikerjakan (Gambar 3(b)) tidak memiliki kontur yang terlalu curam, maka pengaturan *overhang cutting tool* pada studi ini diset hanya beberapa milimeter di atas panjang *flute milling cutter*. Dalam kondisi pengaturan awal, posisi alat pemotong adalah 20 mm di atas bidang kerja, rapid movement diset pada ketinggian 15 mm di atas workplane, dan mulai berputar pada ketinggian 10 mm di

atas work place. Spindle speed yang tersedia di mesin adalah 5000 rpm, sedangkan *feed speed* bervariasi untuk semi-finishing 250 mm/menit, dan untuk finishing hanya 200 mm / menit (lihat Gambar 11 dan Gambar 12).

Proses Virtual Machining untuk master pola cetakan piring bagian atas terdiri dari tujuh tahapan toolpath strategy, yaitu:

1. Roughing seluruh permukaan menggunakan strategi *Model Area Clearance* dengan cutting tool Endmill 6 mm. Proses ini memakan waktu 12 jam 53 menit 25 detik.
2. Proses finishing permukaan datar di luar profil plat menggunakan strategi toolpath Optimized Constant Z Finishing dengan cutting tool Endmill masih 6 mm. Proses ini memakan waktu 1 jam 55 menit 37 detik.
3. Proses finishing rata pada bagian dalam plat menggunakan strategi finishing Spiral dengan cutting tool EndMill 6 mm. Teknik toolpath berjalan melingkar di sepanjang permukaan datar bagian tengah piring sangat membantu untuk kerataan permukaan. Proses ini memakan waktu 21 menit 42 detik. Strategi finishing Spiral sangat cocok untuk permukaan datar dengan bentuk melingkar.
4. Proses finishing untuk mengunci cetakan menggunakan strategi Optimized Constant Z Finishing dengan pemotongan Ballnosed Tool 2 mm. Bentuk kunci cetakan yang berbentuk lingkaran dengan kontur melengkung radius mengharuskan proses finishing dilakukan dengan alat pemotong yang memiliki ujung yang juga kurang dari jari-jari kontur yang akan dikerjakan. Idealnya sedikit di bawah jari-jari kontur model, tetapi di sini yang terbesar yang tersedia adalah Ballnosed 2 mm. Proses ini memakan waktu 2 jam 41 menit 6 detik.

5. Proses semi finishing pada ornamen menggunakan strategi Steep and Shallow Finishing dengan alat pemotong Ballnosed 2 mm. Proses ini menjembatani proses roughing sebelumnya menggunakan cutting tool Endmill 6 mm dengan proses finishing menggunakan cutting tool berdiameter kecil yaitu Ballnosed 0,5 mm. Ini berarti alat pemotong Ballnosed adalah 0,5 mm sehingga tidak bekerja terlalu keras untuk memberi makan. Ada kontur yang menurun, perlu diatur agar stepdownnya sama dengan stepover, pilihan strategi inilah yang membedakan strategi Optimized Constant Z Finishing. Proses ini memakan waktu 10 jam 56 menit 25 detik.
6. Proses finishing pada tepi luar ornamen plat menggunakan strategi Steep and Shallow Finishing dengan alat pemotong Ballnosed 2 mm. Proses ini memakan waktu 3 jam 3 menit 4 detik.
7. Proses finishing ornamen menggunakan strategi Optimized Constant Z Finishing dengan Ballnosed cutting tool 0,5 mm. Proses ini memakan waktu 91 jam 33 menit 5 detik.

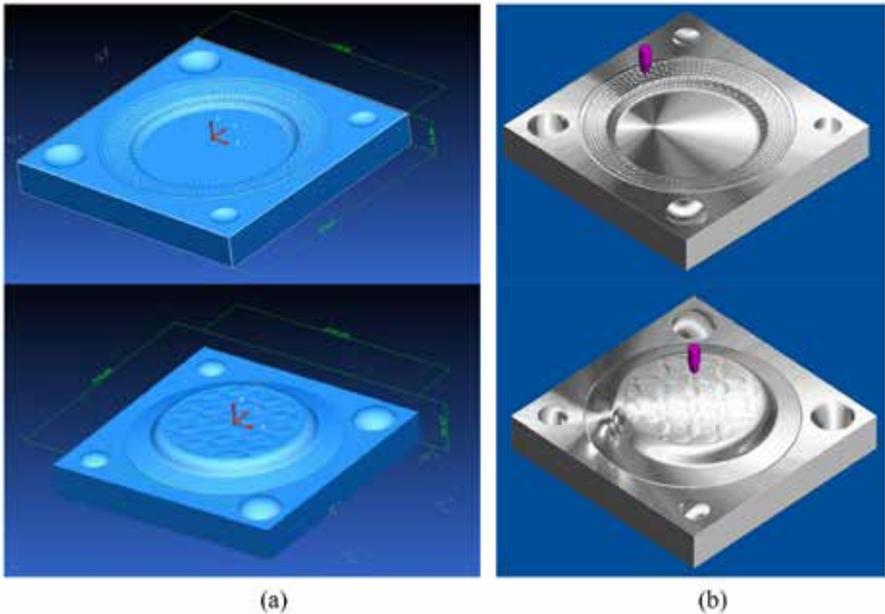
Sementara itu proses Virtual Machining untuk master pola cetakan piring bagian bawah terdiri dari lima tahapan toolpath strategy, yaitu:

1. Roughing seluruh permukaan menggunakan strategi Model Area Clearance dengan cutting tool EndMill 6 mm. Proses ini memakan waktu 26 jam 51 menit 7 detik.
2. Proses finishing permukaan datar di luar profil plat menggunakan strategi toolpath Optimized Constant Z Finishing dengan cutting tool Endmill masih 6 mm. Proses ini memakan waktu 1 jam 58 menit 17 detik.

3. Proses bagian melengkung dan kunci cetakan menggunakan strategi Finishing Z Konstan yang Dioptimalkan dengan alat pemotong Ballnosed 2 mm. Dalam proses ini, kedua bagian tersebut dapat digabungkan menjadi satu. Proses ini memakan waktu 19 jam 23 menit 37 detik.
4. Proses semi-finishing untuk ornamen menggunakan strategi Optimized Constant Z Finishing dengan alat pemotong Ballnosed 2 mm. Proses ini menjembatani proses roughing sebelumnya menggunakan cutting tool Endmill 6 mm dengan proses finishing menggunakan cutting tool berdiameter kecil yaitu Ballnosed 0,5 mm. Ini berarti alat pemotong Ballnosed adalah 0,5 mm sehingga tidak bekerja terlalu keras untuk memberi makan. Butuh waktu 4 jam 5 menit 45 detik.
5. Proses finishing ornamen menggunakan strategi Optimized Constant Z Finishing dengan alat pemotong Ballnosed 0,5 mm. Proses ini memakan waktu 58 jam 38 menit 43 detik.

Proses pemesinan master untuk pola cetakan piring bagian atas, total waktu pemesinan adalah 123 jam 24 menit 24 detik. Proses pemesinan master pola cetakan piring bagian bawah membutuhkan waktu 110 jam 57 menit 29 detik. Sehingga waktu pengerjaan sepasang cetakan dalam bentuk core dan cavity piring dinner set tableware motif Kawung ini membutuhkan waktu 234 jam 21 menit 53 detik. Hasil visual simulasi pemesinan virtual dengan gambar CAD memiliki presisi dan kesesuaian yang sama (Lihat Gambar 13). Secara umum, strategi pemesinan type Model Area Clearance dan Optimized Constant Z Finishing sangat praktis, efektif dan efisien untuk mendapatkan hasil pemesinan yang optimal dalam Virtual Machining dengan Autodesk PowerMill dan kedua strategi ini juga telah berhasil dilakukan oleh para peneliti sebelumnya dalam proses

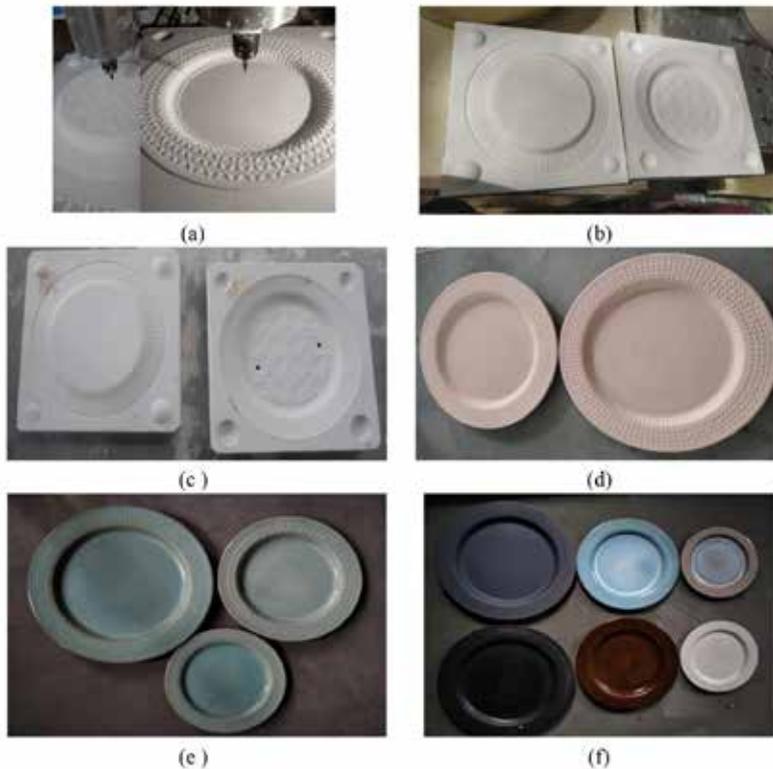
pengerjaan cetakan keramik Miranda Kear Tea. Set pot dan Insole Ankle Foot Orthotic [Anggoro et al., 2019; Anggoro et al, 20018; Anggoro et al, 2021; Fergiawan et al., 2021]. Hal ini membuktikan bahwa kedua jenis strategi pemesinan ini dapat diterapkan dengan sangat baik secara nyata pada mesin CNC (Gambar 14).



Gambar 14. Perbandingan visual antara core and cavity dari dining plate tableware with pattern Batik Kawung: (a) Gambar desain 3D CAD model; (b) output virtual machining hasil simulasi CAM PowerMill

Setelah proses pemesinan yang sebenarnya dilakukan pada mesin CNC router (lihat Gambar 14(a) dan 14(b)) dan hasil luaran dari mesin CNC ini kemudian dilakukan pembuatan master mold cetakan akhir sampai berlanjut pada proses fabrikasi di industri keramik lokal, maka akan diperoleh satu set produk peralatan dinner set tableware dengan motif Kawung yang ditunjukkan pada Gambar 14(c) hingga Gambar 14(f). Dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat bahwa ornamen yang dihasilkan dari desain virtual dan pemesinan dapat disajikan dengan baik dan sempurna. Hal ini

dikarenakan, selama dalam proses desain, semua engineer CAD-CAM-CNC dan operator pada rantai produksi di industri keramik telah melakukan perubahan pada alur desain pada ornamen sesuai dengan dimensi dari cutter ball nose milling yang digunakan pada mesin CNC. Hal ini sangat penting agar detail ornamen yang kompleks dan rumit dapat terbentuk dengan baik dan ketika model lempengan tanah liat dibuat, maka akan terbentuk pola ornamen Batik Kawung yang diinginkan seperti yang telah dilakukan oleh [Yuniarto et al., 2019; Chua, Gay, Hoheisel et al., 1997b; Fergiwani et al., 2019; Zhang et al., 2018].



Gambar 14. Dining plate tableware printed products with Batik *Kawung* pattern: (a) process machining on CNC router; (b) core & cavity plate from CNC machine; (c) master mold ceramic base on plaster technique; (d) biscuit clay product plate before process kiln; (e) one set dining plate tableware with pattern Batik *Kawung* ; (f) variation colour of dining plate tableware

Tabel 1 menunjukkan Parameter pemesinan yang optimal untuk menghasilkan produk master cetakan dinner set tableware ber *motif* Batik Kawung. Nilai optimal ini diperoleh dari hasil penelitian dan eksperimen yang dilakukan oleh penulis dan pihak industri keramik Naruna Ceramic Studio, Salatiga.

Table 1: Parameter pemesinan yang optimal dalam pembuatan *dining plate tableware*

| No | Parameter | Type/Value |
|----|-------------------------------|----------------------------|
| 1 | Machine | CNC machines router |
| 2 | Cutter endmill 6 mm | Roughing process |
| 3 | Cutter Ballnosed 2 mm | semi-finishing process |
| 4 | Cutter Ballnosed 0.5 mm | Finishing process |
| 5 | Position of the cutting tools | 20 mm above the work plane |
| 6 | Spindle speed | 5000 rpm |
| 7 | Feed speed semi-finishing | 250 mm/minutes |
| 8 | Feed speed semi-finishing | 200 /minutes |

Virtual design and machining (VDM) terbukti sangat efektif dan memberikan kontribusi besar bagi engineer akademisi (dosen, mahasiswa) dan engineer industri keramik lokal seperti yang ada di Naruna Ceramic Studio, Salatiga untuk mengembangkan desain produk keramik baru yang emboss, custom, berpola budaya Indonesia dengan hasil yang tepat, akurat, dan cepat. Hasil desain dan optimalisasi strategi pemesinan toolpath optimal yang diperoleh dalam studi ini dapat langsung diaplikasikan oleh industri keramik menjadi sebuah produk dinner set tableware emboss bermotik batik Kawung.

Penggunaan teknologi pemesinan virtual yang tepat dan berkelanjutan dalam makalah ini dapat menunjukkan kemampuan insinyur desain dan manufaktur untuk lebih percaya diri dan kompeten dalam menggunakan alat simulasi pemesinan virtual

untuk mengatasi kemampuan pembuatan produk dan mendapatkan perkiraan waktu pemesinan yang wajar guna mendukung desain produk keramik custom sesuai permintaan pelanggan dan mampu bersaing dengan competitor sejenis di era industri 4.0.

Dalam penelitian selanjutnya, kami akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam dan komprehensif tentang proses manufaktur pada mesin router CNC berupa data awal NC-code yang dibuat dari pemesinan simulasi virtual hingga tahap fabrikasi pelat pada industri keramik lokal di Indonesia.

Daftar Pustaka

- Abdullahi, Y., & Rashid, M. (2013). Evolution of ISLAMIC geometric patterns. *Frontiers of Architectural Research*, 2(2), 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2013.03.002>
- Abdullahi, Y., & Rashid, M. (2015). Evolution of abstract vegetal ornaments in Islamic architecture. *Archnet- IJAR*, 9(1), 31–49. <http://dx.doi.org/10.26687/archnet-ijar.v9i1.558>
- Anggoro, P. W., Avelina, M. M., Jamari, J., Tauviqirrahman, M., Jamari, J., Bayuseno, A. P., & Jin, Z. (2018). Computer-aided reverse engineering system in the design and production of orthotic insole shoes for patients with diabetes. *Cogent Engineering*, 5(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1470916>
- Anggoro, P. W., Bawono, B., Wicaksono, A., Tauviqirrahman, M., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. (2019). Reverse innovative design of insole shoe orthotic for diabetic patient. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(1), 106–113. <http://dx.doi.org/10.36478/jeasci.2019.106.113>

- Anggoro, P. W., Tan Wijaya, A. R., Yuniarto, T., Bayuseno, A. P., Jamari, J., Bayuseno, A. P., Setyohadi, D. B., & Zhou, Z. (2021). Reverse engineering from 3D mesh to ceramic product in the form of Miranda Kerr tea for one teapot in PT Doulton Indonesia. *Cogent Engineering*, 8(1), 1–20. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1981522>
- Anggoro, P. W., Wibowo, J., Saputro, Y. D., Tauviqirrahman, M., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. (2019). Optimal design and fabrication of shoe lasts for ankle-foot orthotics for patients with diabetes. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering*, 9(2), 62–80. <https://doi.org/10.4018/IJMMME.2019040104>
- Anggoro, P. W., Yuniarto, T., Tauviqirrahman, M., Jamari, J., Bayuseno, A. P., Purwanto, K. B., & Widyanarka, O. K. W. 2019. Puzzle Islamic floral patterns product tiles for wall and ceiling to decorate of Al Huda Mosque Indonesia— design, manufacturing, and fabrication. *Proceeding of 6th International Conference and exhibition on sustainable energy and advanced materials, ICE-SEAM*, 16-17 October 2019. Lecture Note in Mechanical Engineering.
- Budiyanto, W. G., Sugihartono, Sulistya, R., Prasudi, F., dan Yanto T. E. (2008). Kriya Keramik Jilid 1. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Budiyanto, W. G., Sugihartono, Sulistya, R., Prasudi, F., dan Yanto T. E. (2008). Kriya Keramik Jilid 2. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.

- Chang, K. H. (2015a). Chapter 1- introduction to e-design. design theory and methods using CAD/ CAE. *The Computer-Aided Engineering Design Series, Chapter 1- introduction to e-design*, 1–37. [https:// doi.org/10.1016/B978-0-12-398512-5.00001-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398512-5.00001-3)
- Chang, K. H. (2015b). Chapter 2- geometric modeling. Design theory and methods using CAD/CAE. *The Computer-Aided Engineering Design Series, Chapter 2- Geometric Modeling*, 41–124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382038-9.00002-8>
- Chang, K. H. (2015c). e-design. Design theory and methods using CAD/CAE. *The Computer-Aided Engineering Design Series, Chapter 11 - Virtual Machining*, 599–646. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382038-9.00011-9>
- Chang, T. C., Wysk, R. A., & Wang, H. P. (1998). *Computer- Aided Manufacturing* (2nd ed.) Prentice-Hall.
- Chrispambayun, M. F. (2017). *Design for Manufacturing Produk Keramik Dinding Berornamen Islamic*. Skripsi pada Program Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Chua, C. K., Gay, R., & Hoheisel, W. (1997a). Computer- aided decoration of ceramic tableware. Part I: 3-D Decoration. *Computer & Graphics*, 21(5), 641–653. [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(97\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(97)00041-1)
- Chua, C. K., Gay, R., & Hoheisel, W. (1997c). Computer- aided decoration of ceramic tableware. Part I: 3-D decoration. *Comput. & Graphics*, 21 (5), 641–6653 [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(97\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(97)00041-1). PII: SOO97-8493(97)00041-1
- Chua, C. K., Gay, R., & Hoheisel, W. Computer-Aided decoration of ceramic tableware. Part II: Rapid tooling. (1997b). *Comput. & Graphics*, 21(5), 655–672. PII: SOO97-8493(97)00042-3. [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(97\)00042-3](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(97)00042-3)

- Clayton, C. G. A. (1986). The use of CAD/CAM for the design and manufacture of moulds for ceramic products. *Ceramic Forum International*, 63 (4/5), 216–221.
- Dewi, P. M. (2019). Penyederhanaan Desain *Islamic Pattern Base Relief* Batik Indonesia untuk Masjid Al-Huda Dengan *Artistic CAD/CAM*. Skripsi pada Program Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Dickin, P. (1993). CAD/CAM at Wedgwood. *Ceramic Bulletin*, 72(12), 71–77.
- Fergiwawan, P. K., Anggoro, P. W., Anthony, A. A., Tauviquirrahman, M., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. 2021. Simulation of manufacturing strategy of an orthotic boots shoe insole product with computer-aided manufacturing for club foot patient. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 1034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1034/1/012095>
- Fergiwawan, P. K., Anggoro, P. W., Ismail, R., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. (2021). Application of computer-aided reverse engineering system in the design of orthotic boots for clubfoot patients. *Journal Southwest Jiaotong University*, 56(3), 405–418. <https://doi.org/10.35741/0258-2724.56.3.34>
- Fergiwawan, P. K., Anggoro, P. W., Yuniarto, T., Purwanto, K. B., & Widyanarka, O. K. W. 2019. Ceramic jewelry with texture and ornament Islamic pattern and Batik Indonesia – design, manufacturing, and fabrication. *Proceeding of 6th International Conference and exhibition on sustainable energy and advanced materials, ICE-SEAM*, 16-17 October 2019 (Springer) Surakarta, Indonesia. Lecture Note in Mechanical Engineering

- Homer, P., & Skaar, E. C. (1991). Computer usage in the ceramic industry: A CERABULL review. *Ceramic Bulletin*, 70(2), 198–199.
- Honoris, B. S. P. (2020). Penerapan *Software* ArtCAM dan Zbrush pada Desain Produk Artistik Keramik di PT. Naruna Keramik Studio. Skripsi pada Program Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Karisma, P. B. (2019). Pola Dasar Desain *Texture* dan *Ornament* untuk Produk di PT. Naruna Keramik Studio. Skripsi pada Program Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Lang, G., Ed. (2004). *1000 Tiles: Ten Centuries of Decorative Ceramics*. San Francisco: Chronicle Books.
- McLaughlin, P. (1988a). Observations on the use of computers in the ceramic industries (Part 1). *British Ceramic Transactions and Journal*, 87(4), 113–116.
- McLaughlin, P. (1988b). Observations on the use of computers in the ceramic industries (Part 2). *British Ceramic Transactions and Journal*, 87(5), 146&14X.
- Nurainun, N. (2008). Analisis Industri Batik di Indonesia. Fokus Ekonomi, 7(3), 124–135.
- Pesoa, J. A. (2018). *Enhancement and Simplification of Reverse Engineering Process on Dining Set Based Islamic Nuance Design Product*. S1 thesis, UAJY.
- Renzi, J. (2009). *The art of tile: Designing with time- honoured and new tiles* 1st. *Potter Style*, 2009 10: 0307406911 / 13: 9780307406910 .
- Saputro, Y. D. (2018). Proses Manufaktur *Dinner Set Tableware* dengan *Relief* Batik Kawung Indonesia. Skripsi pada Program Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

- Ullman, D. G. (1992). *The mechanical design process*. McGraw-Hill.
- Wormald, P. W. (1993). The application of computer-aided industrial design (CAID) for ceramic sanitaryware. *British Ceramic Transaction*, 92(4), 172–175.
- Yao, J. G. 2017. Application of Computer-Aided design in ceramic art design. *International Conference on Manufacturing Construction and Energy Engineering (MCEE 2017)*, August 17-18, 2017, 252–256.
- Yuniarto, T., Anggoro, P.W., Bawono, Fergawan, P.K., B., Jamari J., Bayuseno, A.P., Development of ceramic jewellery industry in the form of necklaces with Indonesian batik motifs. *AIP Conference Proceedings* 2674, 030029 (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0114917>
- Zhang, M., & Yang, L. (2016). Ceramic Product Forming Technologies Research Based on 3D Printing. *IEEE Access*, 4, 9345–9349. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2642122>
- Zhang, Y.-W., Chen, Y., Liu, H., Ji, Z., & Zhang, C. (2018). Modeling Chinese calligraphy reliefs from one image. *Computers & Graphics*, 70, 300–306. [http://dx.doi.org/ 10.1016/](http://dx.doi.org/10.1016/)

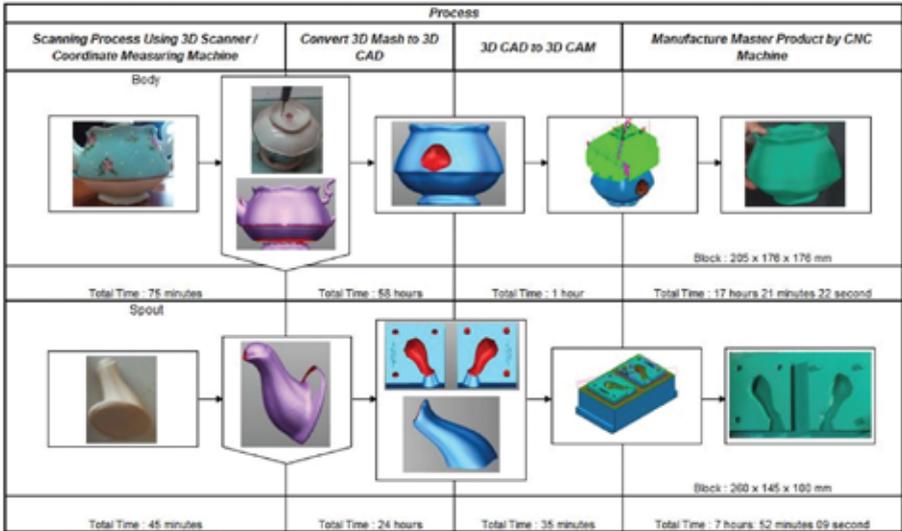
Bab 6

Desain dan Manufaktur *Dining set Coupe Plate* Motif batik Kawung

Pertumbuhan ekonomi kreatif di Indonesia sejak Tahun 2015 telah mencapai angka 5.76% dan unggul daripada sector lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia ternyata memiliki potensi besar di sector ekonomi kreatif sehingga dapat berkompetisi dengan baik ditingkat pasar lokal maupun pasar internasional. Keramik merupakan salah satu jenis ekonomi kreatif pada bidang kriya yang ada di Indonesia. Sebagian besar industri keramik di Indonesia masih mengandalkan teknologi *handmade*, salah satunya adalah Naruna Ceramic Studio, Salatiga, Indonesia. Walaupun sudah mampu melakukan produk ekspor ke beberapa negara eropa maupun timur tengah pada kurun waktu 2021 – 2023, namun ketika ada permintaan customer akan produk keramik tableware emboss yang berciri khas budaya Indonesia, presisi dan akurat dalam jumlah besar, NARUNA CERAMIC STUDIO kesulitan. Teknik ini memiliki kelemahan dalam tahapan desain, dan manufaktur master pola cetakan dalam bentuk core & cavity. Aplikasi teknologi *virtual design & machining* berbasis Computer Aided Desain (CAD) dan Computer Aided Manufacturing (CAM) pada mesin CNC router diterapkan pada paper ini guna mendapatkan desain dan master pola cetakan piring coupe berbahan gypsum. Cetakan master core & cavity untuk piring coupe dibuat menggunakan teknik plaster mold tableware yang ada di

NARUNA CERAMIC STUDIO. Selanjutnya piring coupe dicetak dan difabrikasi masal melalui dua kali pembakaran dan satu kali pewarnaan dengan teknik glasir sampai diperoleh piring coupe berwarna unik, menarik, presisi, dan akurat dalam menampilkan ornamen Batik Kawung yang dihasilkan. Output yang dihasilkan dalam paper ini adalah 3 desain piring coupe, 3 pasang master cetakan core & cavity piring coupe, dan piring coupe berdiameter 18, 22, dan 27 cm dengan warna unik dan menarik.

Orang-orang selalu merancang sesuatu. Salah satu karakteristik manusia yang paling mendasar adalah mereka membuat berbagai macam alat dan artefak lainnya untuk menyesuaikan dengan tujuan mereka sendiri. Oleh karena itu, dunia ini penuh dengan alat, peralatan, mesin, bangunan, furnitur, pakaian, dan banyak hal lain yang tampaknya dibutuhkan atau diinginkan manusia untuk membuat hidup mereka lebih baik. Segala sesuatu di sekitar kita yang bukan merupakan bagian dari Alam yang tak tersentuh telah dirancang oleh seseorang [Nigel Cross, 2005]. Insinyur pengembangan selalu menghasilkan konsep atau model yang diteruskan ke insinyur desain untuk diubah menjadi perangkat, proses, atau struktur (lihat Gambar 1). Perancang mengandalkan pendidikan dan pengalaman untuk mengevaluasi banyak kemungkinan pilihan desain, mengingat biaya pembuatan, kasus produksi, ketersediaan bahan, dan persyaratan kinerja. Biasanya beberapa desain dan desain ulang akan dilakukan sebelum produk dibawa ke masyarakat umum [Arvid R Eide et al., 2011]. Dalam rangka menciptakan produk baru, desain teknik menggunakan teknologi yang tersedia untuk meningkatkan kinerja, menurunkan biaya, atau mengurangi risiko [Philip Kosky et al., 2010].



Gambar 1. arsitektur pengembangan model reverse engineering produk miranda keer tea pot set berbasis CARE System pada industri keramik [Anggoro et al., 2021]

Reverse Engineering (RE), dari perspektif industri, saat ini dianggap sebagai salah satu teknik rekayasa yang menyediakan siklus pengembangan produk yang singkat (Oancea, 2013; Vinesh & Kiran, 2010; Anggoro et al., 2021; Anggoro et al., 2015) serta mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan produk type custom. RE ini selalu dikaitkan dengan analisis dan evaluasi model saat ini yang digunakan sebagai referensi dalam membangun sebuah solusi produk baru seperti yang ditunjukkan oleh (Clara López et al., 2014). Metode ini juga dapat didefinisikan pula sebagai proses modern yang mampu merekonstruksi suatu produk sesuai permintaan customer sementara bentuk aslinya dipertahankan (Wego, 2010). Beberapa tahapan pengembangan produk baru yang berbasis RE perlu dilakukan oleh para engineer agar dapat bersaing di pasar antara lain: digitalisasi model fisik atau model clay berbahan tanah liat dengan cara memindai, mengolah data hasil pindaian dalam format .stl atau mesh, mendesain ulang model fisik menjadi produk baru, desain model CAD 3D baru, optimasi

CAM, pembuatan kode NC, dan manufaktur menggunakan mesin CNC untuk mendapatkan produk (Bagci, 2009, Anggoro et al., 2015; Anggoro et al., 2019; Anggoro et al., 2021a; Anggoro et al., 2021b; Anggoro et al., 2022).

Beberapa penemuan yang bersumber pada US Paten [US 7,573.475 B2, Steve Sullivan et al., US20120182286A1, Xiao Yong Wang, ...; US 8.475,946 B1, Sebastion Dion el al., US 20060003111A1 oleh Tan Tseng, ...; US 2020/0130242 A1 , FONG - CHIN LIN dan TZONG - YANG SU,] secara umum sebenarnya semuanya sudah memperlihatkan adanya penemuan atau didapatkan sebuah metode pembuatan 2 dimensi menjadi obyek 3 dimensi. Namun temuan-temuan tersebut tidak diterapkan pada objek yang detail, dan tidak menghasilkan sebuah objek 3 dimensi yang akurat terutama untuk produk keramik dengan motif *emboss*. Oleh karena itu, study ini ingin mengenalkan dan memaparkan secara komprehensif tentang metode pembuatan desain dari objek 2 dimensi menghasilkan objek 3 dimensi berupa tekstur dan ornamen yang diaplikasikan pada sebuah desain produk keramik berbentuk piring type *Couple* dengan motif Batik Kawung. Untuk memverifikasi hasil desain supaya dapat divisualisaikan dengan baik maka dalam study ini juga dipaparkan tahapan manufaktur cetakan piring *couple* diameter 27, 22 dan 18 cm menggunakan *software* 25 CAM dan mesin CNC router.

Sektor industri produk keramik khususnya keramik tableware telah lama dianggap berbasis kerajinan atau kriya. Penggunaan komputer pada industri keramik di Indonesia kebanyakan untuk pengolah kata, basis data, pencatatan, pembayaran, pergudangan, dan pemantauan proses. Industri keramik di Indonesia masih sedikit menerapkan teknologi komputer modern dalam kegiatan mendesain produk keramik baru yang presisi dan akurat karena kendala teknologi dan biaya. Seiring dengan perkembangan, beberapa industri semakin tertarik untuk menggunakan teknologi komputer. Namun, adopsi bisnis teknologi desain berbasis komputer untuk tahap perancangan inovasi produk baru masih jarang ditemukan

[Anggoro et al, 2021a; Anggoro, et al, 2022]. Keunggulan teknologi *handmade* dan teknik glasir selalu diunggulkan oleh setiap industri keramik handmade di Indonesia, namun ketika ada permintaan order keramik emboss dengan ornament berciri khas budaya or keindahan alam or lainnya dalam jumlah massif yang besar, bentuk seragam dengan kontur detail ornamen yang fit, presisi, dan akurat maka permintaan ini tidak dapat dipenuhi oleh industri karena keterbatasan teknologi modern yang ada.

Adalah sangat penting bahwa pengembangan sebuah ide baru menjadi kenyataan dalam industri keramik yang berbasis teknologi modern CARE System seperti yang pernah diungkapkan dengan sangat baik oleh Anggoro et al, 2015; Anggoro et al., 2019; Anggoro et al. 2021a; Anggoro et al., 2021b dan Anggoro et al., 2022 pada beberapa industri keramik lokal dan nasional, seperti: Naruna Ceramic Studio, Salatiga, Jawa Tengah; PT Nuanza Porcelain Indonesia, Boyolali, Jawa Tengah; PT Gyan Kreatif Indonesia, Salatiga, Jawa Tengah; CV Sibad Engineering, Semarang, Jawa Tengah; dan PT Doulton Indonesia, Serang, Banten, terbukti mampu meningkatkan keunggulan kompetitif bagi kedua perusahaan dalam upaya berkompetisi dengan market luar Indonesia. Penggunaan *virtual design & machining* yang berbasis teknologi CAD, CAM pada mesin CNC router dirasa mampu untuk menciptakan produk keramik baru yang berbasis ornamen berciri khas budaya lokal maupun internasional sesuai pesanan customer.

Tableware merupakan salah satu produk dari industri keramik yang ada di Indonesia. Jenis – jenis *tableware* keramik yang sering dijumpai adalah piring, mangkuk, gelas, mug, dan sebagainya. *Tableware* dulunya hanya digunakan sebagai alat makan saja, akan tetapi sekarang juga digunakan sebagai elemen penunjang desain interior. Bagus Pursena selaku Direktur PT Nuansa Porselen Indonesia, menjelaskan bahwa mangkuk dan piring bisa memberikan nilai tambah pada interior rumah apabila memiliki nilai artistik yang tinggi (Rani Nosar & Gunawan, 2015). Berdasarkan hal itulah, maka

tableware keramik perlu dikembangkan agar bisa memiliki ciri khas tertentu. Tujuannya adalah untuk memberikan keunikan dan nilai tambah terhadap *tableware* keramik tersebut.

Batik merupakan salah satu budaya yang berasal dari Indonesia. UNESCO telah mengukuhkan Batik Indonesia menjadi warisan budaya dunia pada 2 Oktober 2009. Batik Indonesia memiliki jenis motif yang beraneka ragam dan berasal dari berbagai daerah di Indonesia. Batik bisa menjadi salah satu keunikan pada produk keramik bila diimplementasikan dengan baik pada produk keramik, seperti puzzle keramik dinding bermotif Islami dan Floral pattern; dining set plate tableware; jewelry ceramic liontin [Anggoro et al; 2021; 2022; Mahendra, et al., 2020; Fergiawan et al, 2019; Yuniarto et al., 2023]. Relief motif batik tersebut jelas akan meningkatkan nilai jual dan kualitas produk keramik untuk dapat bersaing di pasar global. Salah satu motif batik yang menarik untuk diimplementasikan pada piring keramik adalah batik kawung. Batik kawung memiliki bentuk seperti buah kolong – kaling yang ditata dan dirapikan secara geometris. Batik kawung digunakan sebagai ornamen pada elemen – elemen interior seperti lantai, dinding, plafon, furnitur, dan aksesoris lainnya. Menariknya batik kawung ini, belum pernah ditemukan dan menjadi corak/ornamen pada produk keramik *brand* Naruna melalui PT Gyan Kreatif Indonesia dan Naruna Ceramic Studio yang dimiliki oleh Bapak Roy Wibisono. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh perusahaan sampai dengan saat ini adalah Tim research and development mereka tidak memiliki kemampuan 3D modeling yang mumpuni sehingga didalam tulisan ini perlu adanya kolaborasi riset antara penulis dengan pihak perusahaan. Hal inilah yang mendorong kebutuhan mendesak akan pengembangan produk baru piring coupe bermotif Batik Kawung sebagai salah satu produk keramik model terbaru.

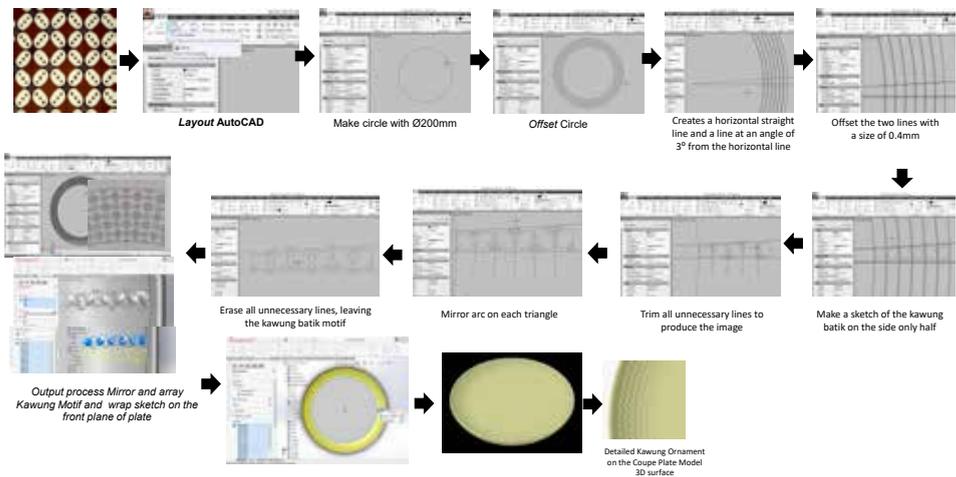
Ketidakmampuan perusahaan keramik ini karena masih menggunakan teknologi *handmade* dan jaranganya penggunaan

teknologi computer modern dalam tahapan desain, manufaktur, dan fabrikasi produk keramik pada umumnya dan piring coupe (khususnya) bermotif emboss yang custom, presisi dan akurat dalam study ini dijelaskan secara komprehensif. Ide batik kawung sebagai topik sentral dalam pengembangan produk keramik *dining set tableware* (piring *plate*, piring *coupe*, mug, cangkir, *teko tea set*) berbasis teknologi CAD CAM pada mesin CNC router dan fabrikasi dengan teknik plaster juga dijelaskan secara detail dan komplit dalam tulisan ini. Keakurasian dan kepresisian produk (dari sisi bentuk dan ornamer produk) beserta kemampuan *machinability* oleh penulis juga dibahas dalam tulisan ini. Study ini menjelaskan secara komprehensif tahapan desain – manufaktur dan fabrikasi piring coupe bermotif Batik Kawung.

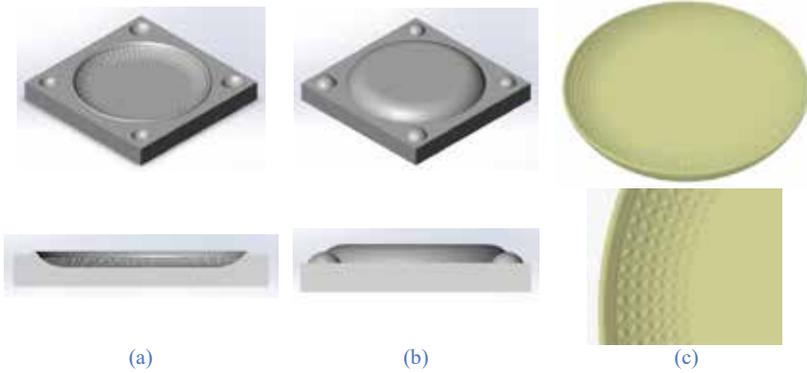
6.1. Alat, Bahan dan Metode Penelitian

Studi ini mengaplikasikan penggunaan teknologi CAD CAM dalam proses desain piring *coupe* bermotif batik Kawung. Piring yang didesain berdimensi 18, 22 dan 27 cm sesuai dengan standar baku mutu produk Tableware di Indonesia. Teknologi ini sudah terbukti memiliki kelebihan yang signifikan dibandingkan dengan teknik *handmade* untuk desain dan produksi keramik tableware berornamen relief detail dan kompleks (Anggoro et al., 2021; Anggoro et al., 2022; Fergiawan et al., 2019; Yuniarto, et al., 2023]. Teknologi CAD CAM yang digunakan dalam studi ini adalah Solid works, dimana untuk tahapan *virtual* desain menggunakan metode desain *3D modelling* piring seperti yang disajikan pada Gambar 2. Sedangkan hasil gambar dari master cetakan *core & cavity* piring Coupe ada pada Gambar 3. Tahapan *virtual machining* dalam study ini menggunakan software CAM PowerMill dengan luaran tahapan simulasinya ada pada Gambar 4. Output luaran *virtual machining* berupa bahasa pemesinan yang di *code*-kan menjadi NC Code yang kemudian dimanufaktur pada mesin CNC router guna mendapatkan master produk cetakan *Core & Cavity* Piring *Coupe*, dengan hasil

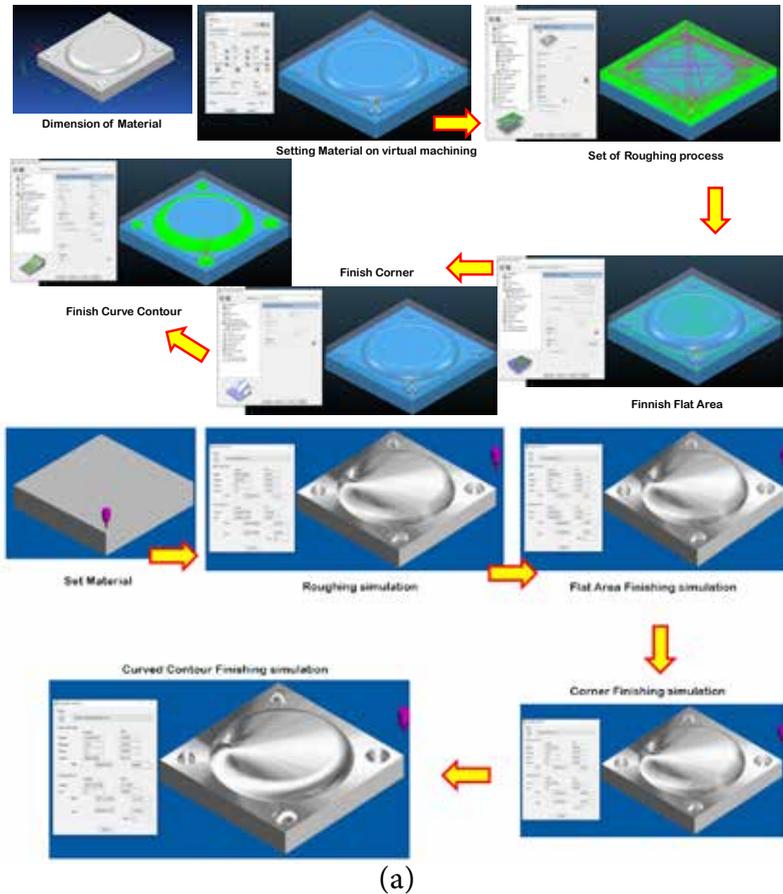
dapat disajikan pada Gambar 5. Material master produk cetakan dalam study ini, menggunakan gypsum kuning dan putih sesuai saran yang diminta bagian produksi di Naruna Ceramic Studio. Proses fabrikasi piring Coupe, dikerjakan pada lantai produksi Naruna Ceramic Studio yang detail tahapan fabrikasinya ada pada Gambar 6. Produk akhir piring Coupe ini ada pada Gambar 7. Motif Batik kawung yang akan menjadi ornamen penting untuk ditempelkan pada permukaan piring coupe disajikan pada Gambar 9.

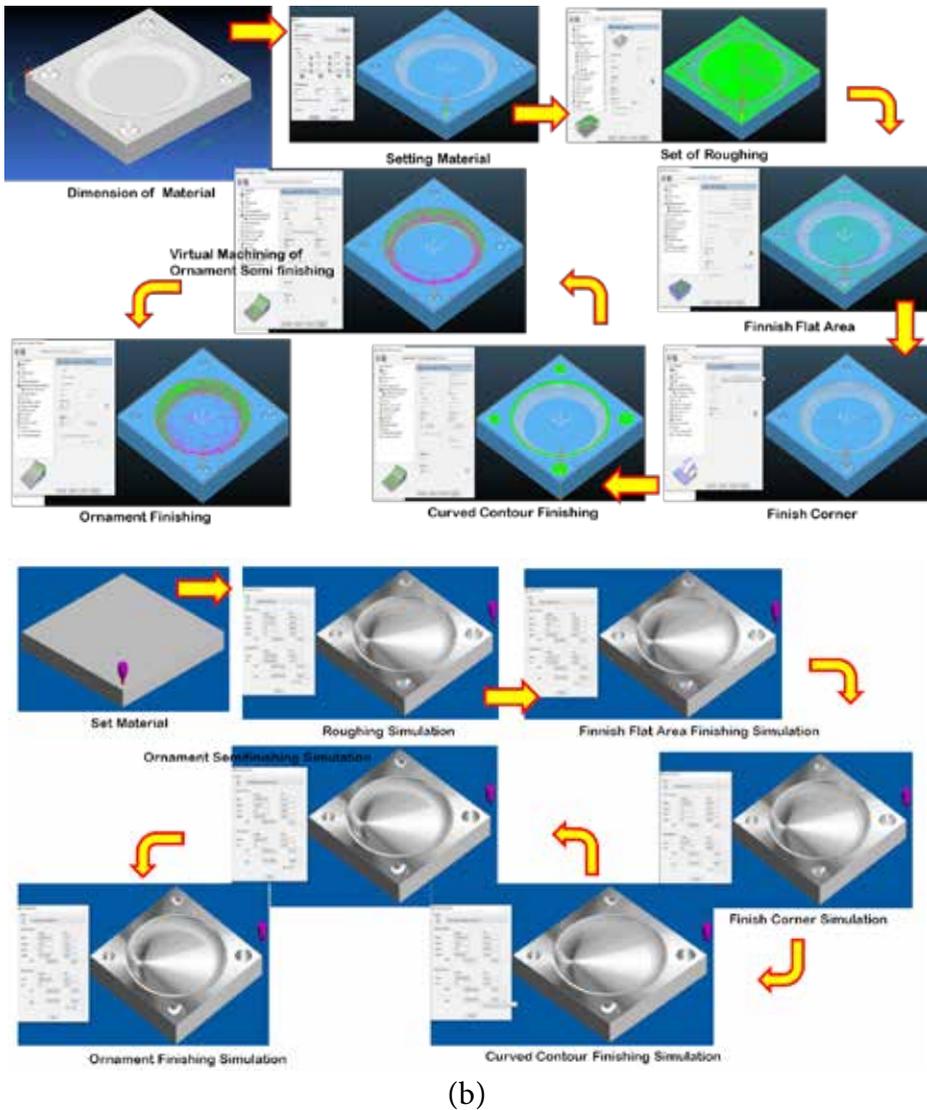


Gambar 2. Tahapan *virtual* desain 3D modelling piring coupe bermotif batik Kawung

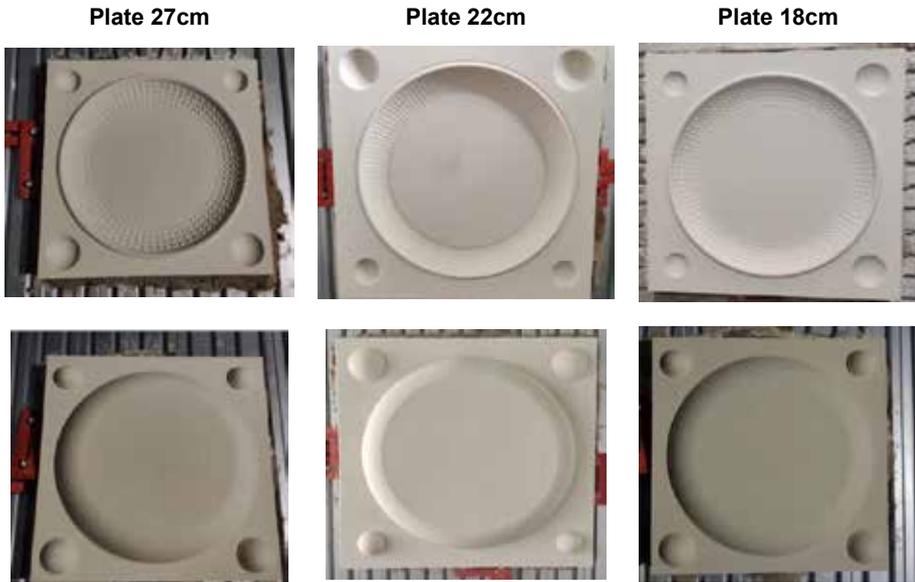


Gambar 3. 3D modelling master cetakan piring *coupe* bermotif batik Kawung: (a) Core; (b) Cavity; (c) Hasil model 3D produk piring beserta detail ornamen

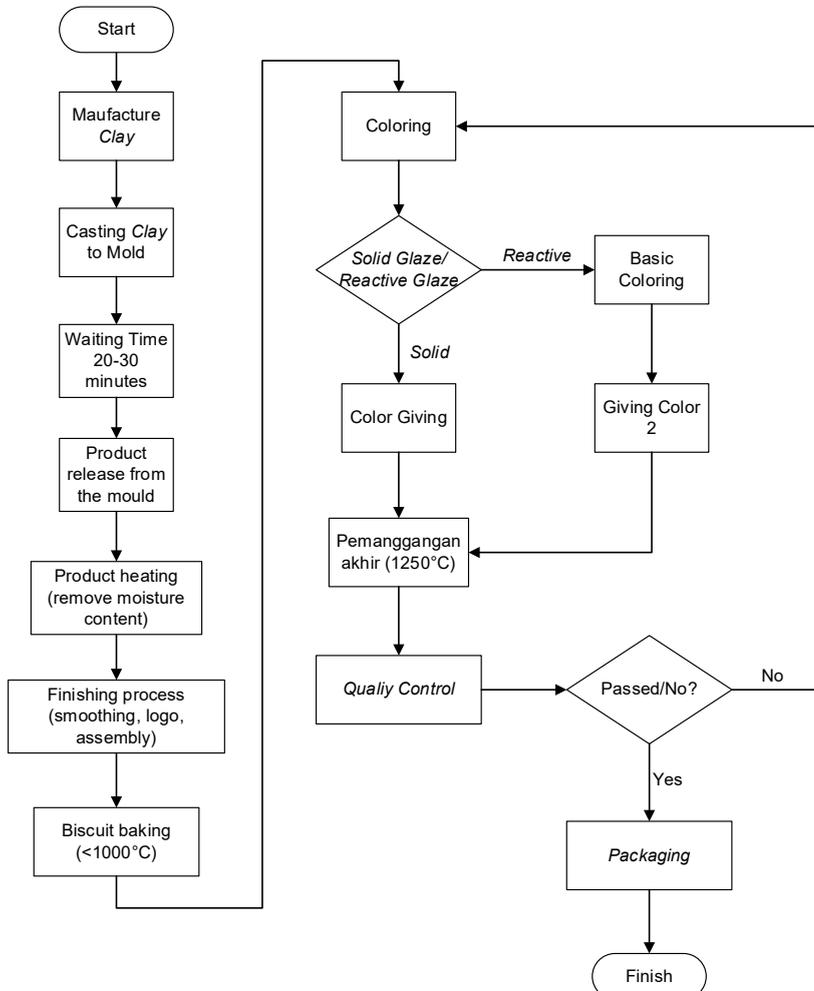




Gambar 4. Proses Virtual machining dengan software CAM untuk mendapatkan toolpath strategy optimal dari pengerjaan 3D model piring couple keramik bermotif batik Kawung: (a) Core; (b) Cavity



Gambar 5. Master produk cetakan *core & cavity* piring *coupe* Motif batik Kawung



Gambar 6. Flow chat proses Fabrikasi piring Coupe



Gambar 7. Produk piring coupe bermotif Batik Kawung

6.2. Analisis 3D Modeling Coupe Plate Kawung

Gambar 1, menjelaskan bagaimana upaya engineer keramik menjawab tantangan permasalahan yang dihadapi oleh industry keramik agar mampu berkompetisi secara global memenangkan pasar keramik tea pot seat. Penggunaan teknologi modern CARE System yang berbasis RE terbukti mampu menghasilkan desain, master pola cetakan, dan produk keramik miranda kear tea pot dengan keakuratan dan kepresisian geometri dan bentuk kurang dari 1.00 mm seperti yang pernah dipaparkan oleh peneliti sebelumnya [Arvid R Eide et al.2011; Nigel Cross, 2005; Anggoro, et al (2021)]. Demikian juga penggunaan teknologi modern virtual desain dan machining pada software ArtCAM, PowerShape dan PowerMill pada mesin CNC router juga mampu membentuk motif Batik Indonesia menjadi ornament penting dalam pembuatan dining set tableware (Anggoro, et al 2021). Sedangkan dalam study ini, RE dengan metode 3D modeling diaplikasikan menggunakan software CAD Solidworks dan PowerMill untuk membangkitkan input ornamen Batik Kawung dalam file dengan format .jpg menjadi ornament 3D CAD model solidworks yang kemudian ditempelkan pada permukaan bagian atas piring type coupe yang didesain.

Studi ini menjelaskan tentang bagaimana merancang dan membuat produk keramik 7 dengan ornamen batik kawung. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan inovasi pada produk keramik yang dibuat oleh PT. Gyan Kreatif Indonesia (PT GKI) melalui Naruna Ceramic Studio sebagai *divisi research & development*. Produk keramik tableware yang beragam ke depan dapat memperkuat pangsa pasar daripada PT GKI. Sampai dengan saat ini, salah satu keunggulan dari produk keramik *handmade* PT GKI adalah pada warna unik yang dihasilkan dari teknik glasir (lihat Gambar 8). Ciri khas warna pada produk keramik adalah pada warna yang bentuknya seperti lelehan cairan dari warna tersebut. Warna tersebut dibuat dengan menggunakan metode pewarnaan glasir. Study ini juga memaparkan tahapan pengembangan ide

menggunakan metode *3D modelling* berbasis teknologi modern CAD, di manufaktur melalui pemilihan strategy pemesinan yang optimal menggunakan CAM PowerMill pada mesin CNC router. Kedua tahapan ini sering disebut dengan *virtual design and machining* seperti yang dipaparkan pada Gambar 1 dan pernah dikerjakan dengan sangat baik oleh peneliti sebelumnya [Chang, 2015a; 2015b; 2015c; Anggoro et al., 2019; Anggoro et al., 2021b; Anggoro et al., 2021b; Anggoro et al. 2022; Fergiawan et al., 2019; Mahendra et al., 2020; Yuniarto, et al, 2023].



(a)



(b)

Gambar 8. Produk keramik *handmade* PT GKI: (a) cangkir; (b) plate

Ketidakmampuan tim *research and development* PT GKI untuk melakukan *3D modeling* berbasis teknologi modern CAD CAM dalam upaya pengembangan produk baru keramik yang presisi dan akurat sesuai permintaan pasar menjadi titik sentral dari study ini. Teknologi *handmade* yang selama ini dikuasai oleh *engineer* PT GKI, membuat kualitas produk keramik polos yang dihasilkan menjadi kurang baik untuk produksi masal keramik *emboss* berciri khas budaya Indonesia (dari sisi presisi, warna, dan bentuk yang tidak seragam). Disini, teknik tersebut masih dapat diijinkan untuk type produk keramik polos seperti pada Gambar 8 (tidak ada satupun relief ornamen yang dikembangkan). Permasalahan muncul ketika *customer* dan PT GKI ingin mengembangkan produk yang berornamen dan repetitive dengan bentuk dan relief yang seragam

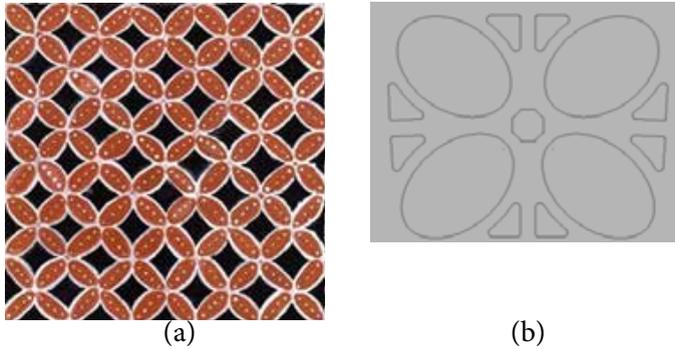
serta di fabrikasi dalam jumlah banyak. Hal ini sudah pernah dibuktikan oleh Anggoro, et (2021) yang berhasil membuat dining plate tableware bermotif Batik Kawung dan dikembangkan menjadi bentuk lain dalam study ini.

Metode pembuatan tekstur dan ornament yang sudah pernah dipaparkan dalam penelitian sebelumnya akan digunakan dalam studi ini untuk memperoleh proses pengubahan variasi ornament batik Kawung dalam bentuk file foto (2D) dengan format .jpg menjadi data gambar 3D dengan format .stl berupa: desain pola Batik Kawung; desain piring awal dan piring dengan motif Batik Kawung, dan master pola cetakan piring. Dimensi standar adalah piring berdiameter 27, 22 dan 18 cm yang nantinya menjadi satu set peralatan, yang sering disebut Dinning Set Tableware Plate type *Coupe*.

Desain ini diawali dengan pembangkitan file foto dengan format .jpg motif Batik Kawung yang kemudian diinput ke *software* Artistik CAD untuk dibangkitkan menjadi model 2D *vector* dan 3D model motif dalam format .stl. Desain awal piring dibangkitkan oleh penulis dengan memproses 2D gambar manual dengan pensil pada sebuah kertas gambar. Sedangkan untuk mendapatkan gambar 3D model dasar dari produk piring yang dihasilkan digunakan *software* CAD. Penempelan 3D model motif Batik Kawung pada 3D model piring menggunakan *software* CAD melalui operasi *Wrapping*. Hasil desain 3D model piring bermotif Batik Kawung (Gambar ...) ini kemudian dibangkitkan lagi menjadi sepasang desain cetakan piring dalam bentuk *Core & Cavity* (Gambar ...) dengan *software* CAD dan kemudian dibawa ke *software* CAM untuk dilakukan *Virtual Machining* (Gambar ...) sampai didapatkan parameter pemesinan yang optimal sesuai dengan spesifikasi dari mesin CNC router yang digunakan. Tahap akhir dilakukan proses *machining* pada mesin CNC dengan kode NC-code yang telah diperoleh. NC Code ini nantinya oleh engineer CAM dan CNC digunakan untuk mendapatkan produk cetakan dalam bentuk *core* dan *cavity* piring

bermotif Batik Kawung dengan ukuran diameter 27, 22, dan 18 cm (Gambar 13=...).

Seni batik merupakan suatu warisan dunia yang harus dijaga dan dipelihara, dalam perkembangan jaman batik terus berkembang dan mengalami proses perubahan bentuk. Batik memiliki beraneka ragam motif yang masing-masing memiliki makna simbolisme. Salah satu motif batik yakni motif kawung yang merupakan berbentuk bundar lonjong atau elips, susunan memanjang menurut garis diagonal miring ke kiri dan ke kanan berselang-seling. Motif batik kawung menurut buku sejarah seni rupa Indonesia masuk kelompok ragam hias geometrik, dimana dalam dunia Batik mengenal motif tua (kuno) Kawung yang masuk ke dalam kriteria motif-motif Ceplok (ceplok, keplok), dan lebih spesifik lagi masuk ke dalam motif Batik Pedalaman atau Keraton (Based on Hinduism traditions), serta merupakan salah satu anggota Motif Larangan di samping 7 (tujuh) motif larangan lainnya seperti Parang, Parang Rusak, Cemukiran, Sawat, Udan Liris, Semen, dan Alas-alasan (Muliani, 2018). Sejarah kawung ada yang menyebutkan sudah dikenal sejak abad 13, namun terdapat pendapat lain yang menyebutkan bahwa kawung berkembang pada masa Kesultanan Ngayogyakarta Hadiningrat dan versi lain menyebutkan bahwa kawung sudah menjadi peninggalan peradaban Jawa yang ditemukan pada relief candi prambanan. Motif kawung dapat diartikan seperti buah kolang kaling dari pohon palem/aren. Filosofi yang terkandung pada pohon aren mulai dari atas (ujung daun) hingga pada akarnya sangat manusia berguna bagi semua orang dalam kehidupan bermasyarakat, berbangsa, juga bernegara. Batik motif Kawung mempunyai makna yang melambangkan harapan agar manusia selalu ingat akan asal usulnya (Satriawan, 2019)



Gambar 9. Motif Batik Kawung:
(a) Foto motif Kawung terpilih; (b) 2D vector model

(Sumber: <https://m.fimela.com/lifestyle/read/3513301/batik-kawung-motif-batik-bermakna-kesucian-dan-panjang-umur>)

Produk yang dirancang pada penelitian ini adalah *piring type coupe*. Pengembangan produk yang diinisiasi itu adalah dengan menambahkan ornamen yang memiliki bentuk dan geometri kompleks pada permukaan produk keramik. Type ornamen yang dipilih adalah batik Kawung (Gambar 9). Ornamen batik sebenarnya juga telah banyak diaplikasikan di dunia desain interior (Hartanti & Setiawan, 2019; buku 1000 Tiles).

Piring yang dikerjakan dalam study ini, meliputi piring yang dikerjakan dalam study ini terdiri dari Dinner Plate (diameter 27 cm); Salad Bowl (diameter 22) dan Desert Plate (18 cm). Ketiga jenis piring ini sesuai dengan enam jenis *dinning plate tableware* yang dibuat berdasarkan fungsi dan ukuran masing-masing piring (laman Kopinadmin (2019)), yaitu untuk penyaji hidangan utama (dinner plate); penyaji untuk snack, appetizer, dan dessert (Desert Plate) dan untuk menyajikan salah (Salad Bowl). Penentuan dimensi piring coupe dalam paper ini juga telah merujuk dan sesuai dengan Permenperin Republik Indonesia Nomor 48/2018 dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7275: 2018 mengenai standar acuan keramik berglasir, tableware sebagai alat makan dan minum di Indonesia.

Metode pembuatan tekstur dan ornament serta desain piring *dining plate* motif Batik Kawung yang sudah pernah dipaparkan dalam penelitian sebelumnya (Anggoro et al., 2022) digunakan kembali dalam study ini untuk memperoleh proses pengubahan variasi ornament batik Kawung dalam bentuk file foto (2D) dengan format .jpg menjadi data gambar 3D dengan format .stl (lihat Gambar 2).

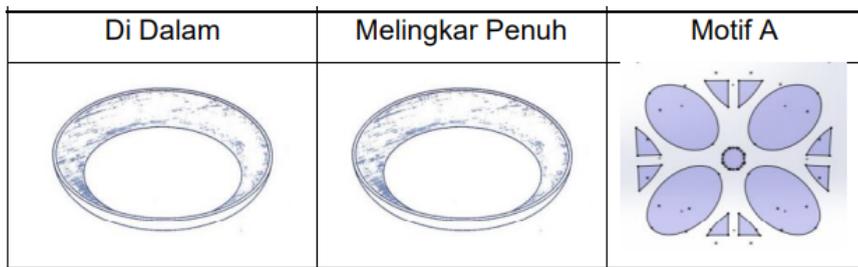
Metode pembentukan pola tekstur dan ornamen adalah segala kegiatan mencipta rupa sebuah ide menjadi tekstur dan ornamen dengan detail, akurat, dan presisi sehingga dapat digunakan untuk memenuhi suatu tujuan tertentu. Metode pembentukan pola tekstur dan ornamen pada keramik dimulai dari sebuah gambar 2D berformat .jpg menjadi model 3D berformat .stl dan mengandung beberapa unsur penting. Unsur ini meliputi garis, titik, bidang, warna, ruang dan tekstur yang sangat detail dan kompleks. Oleh karena itulah, penerapan metode ini digunakan. Metode ini adalah sebuah metode yang membantu dalam proses pengubahan dari gambar produk dalam bentuk file foto berformat .jpg menjadi data 2,5D/3D berformat .stl yang dapat diproses lanjut menjadi produk keramik yang siap diproses manufaktur pada CNC router.

Desain ini diawali dengan pembangkitan file foto dengan format .jpg motif Batik Kawung yang kemudian diinput ke software CAD untuk dibangkitkan menjadi model 2D vektor dan 3D model motif dalam format.stl. Desain awal piring dibangkitkan authors dengan proses gambar manual 2D dengan pensil pada kertas gambar. Sedangkan untuk mendapatkan gambar 3D model dasar dari produk piring yang dihasilkan digunakan software CAD (see Gambar 2). Penempelan 3D model motif Batik Kawung pada 3D model piring menggunakan software CAD melalui operasi *feature*. Hasil desain 3D model piring bermotif Batik Kawung ini kemudian dibangkitkan lagi menjadi desain master cetakan piring dalam bentuk *Core & Cavity* dengan software CAD (Gambar 3) dan kemudian dibawa ke *software* CAM untuk dilakukan *Virtual*

Machining (see Gambar 4) sampai didapatkan parameter pemesinan yang optimal sesuai dengan spesifikasi dari mesin CNC router yang digunakan. Tahap akhir dilakukan proses manufaktur pada mesin *CNC router* dengan kode NC-code sampai diperoleh master cetakan core dan cavity piring coupe seperti yang disajikan pada Gambar 5.

Pada tahap awal desain, engineer melakukan pengumpulan data foto beragam motif Batik Kawung Indonesia. Foto motif ini kemudian dibagi menjadi beberapa kategori, hal ini dilakukan untuk memudahkan engineer dalam mendesain dan menyimpan file nantinya. Hasil pemilihan motif batik Kawung dan 2D vektor Kawung terpilih disajikan pada Gambar 9.

Tahap berikutnya adalah penentuan alternatif konsep produk menggunakan proses *brainstorming* dan peta morfologi terhadap konsep produk piring couple bermotif Batik Kawung yang dilakukan antara authors dengan industri keramik *tableware*. Hasil alternatif konsep produk dalam invensi ini disajikan pada Gambar 10. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa nantinya motif ornamen Kawung akan diletakkan pada bagian dalam piring dan posisi melingkar penuh seperti pada produk *diningplate tableware* sebelumnya [Anggoro, et al 2022].



Gambar 10. *Sketch* desain piring *couple* dan type motif Kawung

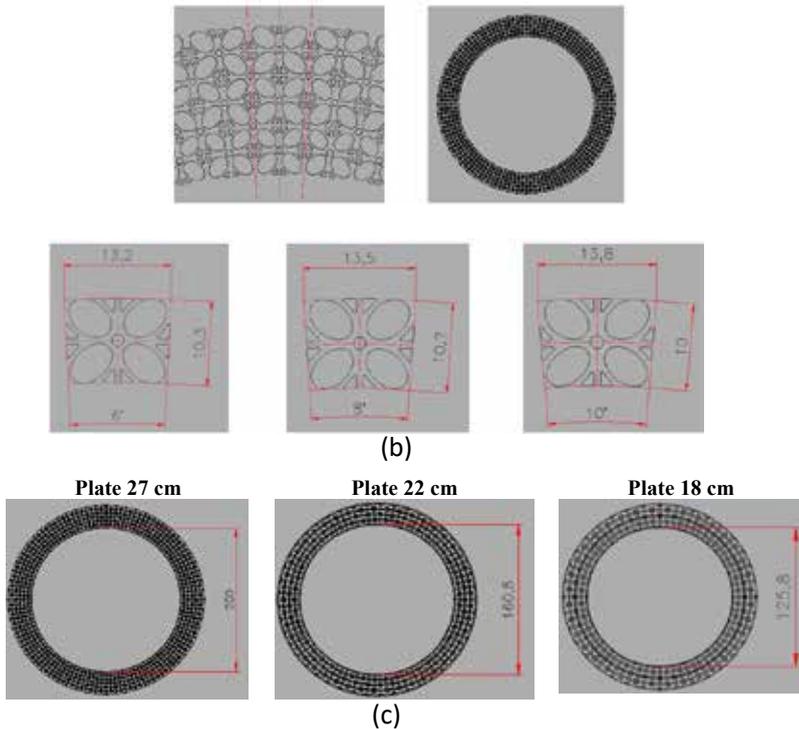
Selanjutnya dengan menggunakan software CAD dilakukan tahapan perancangan ornamen Batik Kawung yang terpilih menjadi 2D vektor Batik Kawung melalui tahap virtual desain (Gambar 2). Agar detail motif Batik Kawung yang didesain dapat diperjelas maka

perlu dilakukan langkah pengecekan desainnya. Pengecekan ini pada *software* CAD menggunakan proses *mirror* dan *array* dengan hasil seperti yang disajikan pada Gambar 11(a).

Ukuran motif Batik Kawung dalam invensi ini dibuat seproporsial dengan bentuk motif batik itu sendiri. Bentuk ornamen yang menyudut dan bentuk piring berupa lingkaran, maka ukuran ornamen menggunakan sudut. Setelah melalui beberapa percobaan didapatkan ukuran sudut 6° pada piring ukuran 27 cm, 8° pada piring ukuran 22 cm dan 10° pada piring ukuran 18 cm untuk setiap deret ornamen. Tujuannya adalah agar ornamen terlihat proporsional sehingga rapi dan menarik. Proporsional disini yang dimaksud adalah ornamen tidak terlalu kecil / besar serta perbedaan panjang dan lebarnya tidak terlalu besar dan disajikan pada Gambar 11(b).

Ukuran ornamen ditempelkan pada bagian dalam piring *couple*, di,ama tempat makanan yang akan disajikan di piring. Ornamen batik Kawung dalam invensi ini didesain tidak boleh terlalu besar yang berimbas tidak akan sampai menyentuh sisi datar piring. Ukuran diameter ornamen bagian dalam dari piring *couple* bermotif Batik Kawung diameter 27, 22, dan 18 cm dapat disajikan pada Gambar 11(c).

Coupe plate memiliki bentuk yang menyerupai mangkok, akan tetapi lebih lebar dan lebih pendek bila dibandingkan dengan mangkok. Fungsi piring ini sama dengan *dining plate* pada invensi sebelumnya yang pada umumnya dipakai sebagai tempat makanan. Ukuran piring yang digunakan sebagai referensi desain piring ini berasal dari data dari pihak salah satu industri keramik. Tujuan utama pemberian ukuran pada desain piring *couple* dalam invensi ini nantinya dapat berfungsi sebagaimana mestinya dan laku di pasaran (Gambar 12).

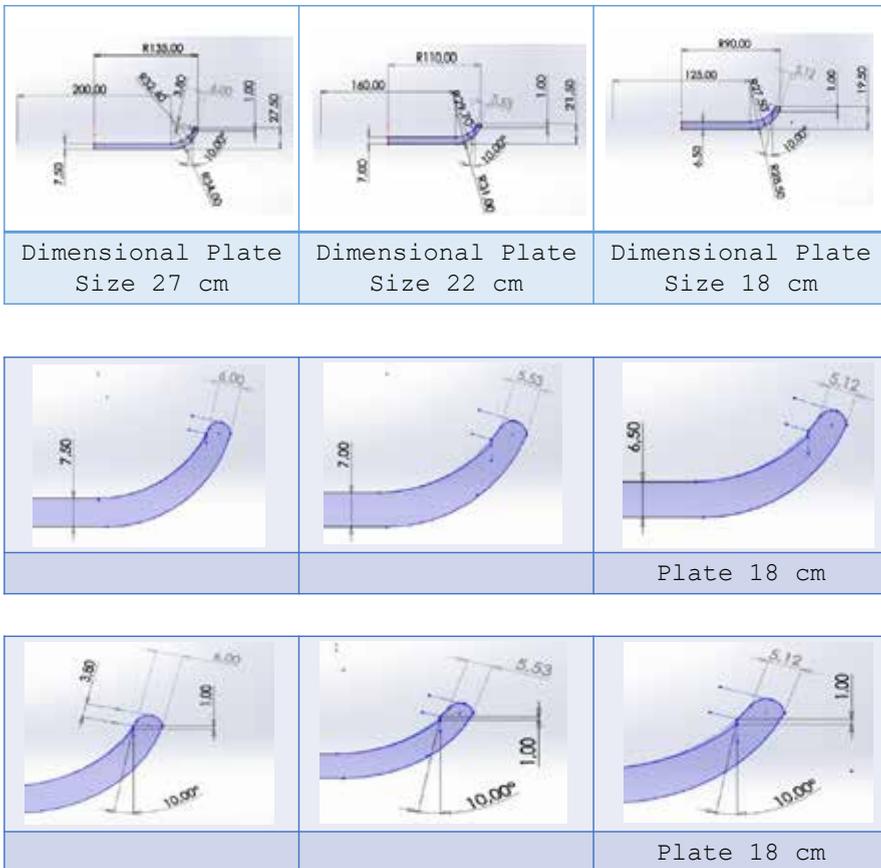


Gambar 11. Detail 2D ornamen Batik Kawung pada piring coupe: (a) Hasil Proses Mirror dan Array; (b) Ukuran Panjang dan Lebar Ornamen Proporsional; (c) Diameter Ornamen Bagian Dalam Tiap Piring

Tebal piring dalam invensi ini oleh inventor dibuat dengan dimensi yang berbeda dari bawah permukaan piring ke bagian atas, sehingga tebal piring bagian bawah menjadi lebih tebal dan semakin mengerucut ke atas dengan ketebalan yang semakin kecil. Tujuannya adalah untuk menghindari deformasi dan ketika dicetak struktur piring menjadi kuat karena memiliki pondasi yang lebih tebal dibandingkan dengan bagian piring yang ditopang (Gambar 12).

Produk keramik piring *couple* yang didesain oleh authors dalam studi ini nantinya diproduksi menggunakan metode cetak tuang dan akan mengalami gesekan ketika terjadi pelepasan produk *clay* dari cetaknya. Hal ini berimbas pada resiko produk untuk terkunci dari cetakan atau susah dilepaskan karena tidak

memiliki sudut bebas pada desain piring *couple*. Oleh inventor, sudut bebas ditetapkan sebesar 10° untuk ketiga diameter piring dan detail gambarnya disajikan pada Gambar 12. Kontur ornamen yang ditempelkan pada piring *couple* ini tidak hanya sekedar ditempelkan saja namun lebih dipertimbangkan dari aspek estetika. Hasil brainstorming inventor bersama engineer industri keramik ditetapkan tinggi kontur ornamen adalah sebesar 1.00 mm (Gambar 12).



Gambar 12. Detail dimensi piring coupe: (a) 2D Dimensi proporsional; (b) Gradasi dimensi dari tebal piring; (c) Sudut Bebas dan Tinggi Ruang Ornamen

Setelah semua parameter desain diperoleh tahap selanjutnya adalah pembentukan model 3D piring *couple* bermotif Batik Kawung untuk ketiga diameter menggunakan software CAD. Dari gambar sketch dengan detail ukuran yang sudah ada dilakukan proses *revolve* dan *offset top plane* sejauh 50 mm ke arah atas sampai diperoleh model 3D piring. Sedangkan pembangkitan 2D vektor Kawung menjadi ornamen 3D Kawung yang ditempelkan melingkar pada ping menggunakan proses *wrap sketch* ornamen setinggi 0.01 mm; membuat radius pada tiap sisi tajam pada bagian ornamen; proses *dome* pada hasil *wrapping* ornamen; proses *mirror* terhadap *front plane* pada ornamen yang sudah dibuat dan terakhir dilakukan *proses circular pattern ornamen sebanyak 60, 45, dan 36 buah ornamen untuk piring diameter 27, 22, dan 18 cm* (Gambar 2). Hasil akhir pada tahap ini adalah berupa model 3D produk piring *couple* (Gambar 3(c)) dengan detail ornamen Kawung yang mengalami gradasi seperti tampak Gambar 3(c).

Tahap pembentukan master cetakan piring *couple* bermotif batik kawung dimulai dengan membuka software CAD dan pilih file produk dengan format *.sldprt* kemudian dilakukan proses *scalling* piring sebesar 15% karena produk keramik selalu mengalami penyusutan ketika proses pengeringan dan pembakaran di kiln nantinya. Lakukan *surface offset* pada sisi *surface* bawah piring sejauh 0.00 mm. Buat *plane 2* dengan referensi *edge* pada bagian terluar dari piring yang didesain. Pembuatan *surface* dengan ukuran yang telah ditetapkan menggunakan *feature planar surface* kemudian satukan *surface* yang sudah dibuat menggunakan *knit surface*. Buat *plane 3* sejauh 30 mm dari *plane 2*. Dari sini buat *sketch* pada *plane 3* dan lakukan proses *extude up to surface* dari hasil proses *knit surface* yang telah dilakukan oleh inventor sebelumnya. Dari sini kemudian dilakukan pembuatan *plane 4* dan *plane 5* sejauh 25 mm terhadap sisi kanan dan kiri dari *master core* cetakan. Langkah terakhir adalah pembuatan 4 pengunci sampai akhirnya diperoleh 3D master cetakan *core & cavity* piring *couple* bermotif Batik Kawung diameter

27, 22 dan 18 mm (Gambar 3(a, b)). Hasil akhirnya berupa produk master 3D model core dan cavity untuk ketiga ukuran piring couple (Gambar 5).

Tahap virtual machining (Gambar 4), merupakan tahap berikutnya setelah desain *core & cavity* piring *couple* keramik bermotif ini terbentuk. Pada tahap ini, dilakukan optimasi pemilihan strategi pemesinan yang optimal pada mesin CNC router agar desain cetakan yang sudah terbentuk dapat dilakukan proses machining secara virtual melalui simulasi machining pada software CAM. Hasil simulasi ini nantinya berupa perkiraan waktu proses machining secara simulasi dan bentuk visual akhir dari produk cetakan yang didesain. Pada tahap ini pula dapat dihasilkan NC-code yang nantinya dipakai sebagai modul pengantar di mesin CNC router sehingga pergerakan cutter milling yang telah didesain dapat benar-benar tepat sesuai yang didesain oleh engineer CAM.

Proses selanjutnya setelah pembentukan NC-code dilakukan setting material pada mesin CNC router dan proses manufaktur cetakan piring keramik bermotif Batik Kawung (Gambar 18) dapat berjalan dengan baik sampai diperoleh produk cetakan dalam bentuk *core* dan *cavity* piring *couple* bermotif Batik Kawung dengan ukuran diameter 27, 22, dan 18 cm (Gambar 5).

Tahap fabrikasi dilakukan proses pembuatan cetakan mold menggunakan teknik klister untuk mendapatkan core dan cavity piring. Secara umum tahapan proses fabrikasi dapat disajikan pada Gambar 6. Pada tahap ini, dilakukan dua kali pembakaran oleh pihak industri keramik dengan memberikan warna setelah pembakaran pertama. Efek signifikan dari pemberian warna menggunakan teknik glasir adalah setelah pembakaran kedua pada kiln akan mendapatkan variasi piring coupe bermotif Batik Kawung yang warna uniq (Gambar 7).

Secara umum tahapan fabrikasi pembuatan produk piring coupe seperti pada Gambar 6, meliputi:

- a. Menyiapkan material *clay* untuk dituangkan ke cetakan.
- b. Menyiapkan cetakan (*core* dan *cavity*) yang akan digunakan.
- c. Menuangkan material *clay* ke dalam cetakan.
- d. Menunggu material *clay* mengeras menjadi produk piring keramik dalam waktu 20-30 menit.
- e. Produk dikeluarkan dari cetakan, kemudian dimasukkan ke oven untuk proses pengeringan.
- f. Produk dikeluarkan dari oven, lalu diproses dibagian *assembly* untuk proses menempelan logo dan merapikan (menghilangkan cacat) produk.
- g. Produk yang sudah rapi dan berlogo akan masuk ke proses pembakaran biskuit (Temperatur Kiln < 1000°C). di oven.
- h. Produk dikeluarkan dari oven, kemudian masuk ke proses pewarnaan.
- i. Produk yang sudah diwarnai, lalu akan dimasukkan ke oven untuk proses pembakaran akhir (Temperatur Kiln > 1000°C).
- j. Produk dikeluarkan dari oven untuk proses pendinginan.
- k. Produk yang sudah dingin kemudian akan diperiksa oleh bagian QC.
- l. Produk yang lolos akan langsung di-*packaging* untuk dijual dan yang tidak lolos akan dikembalikan ke bagian terkait.

Implementasi teknologi modern 3D modeling berbasis CAD pada mesin CNC router ini juga terbukti lebih efektif, cepat, presisi dan akurat dibandingkan dengan teknologi handmade yang sudah sering dikerjakan oleh pihak industry keramik local di Indonesia (PT Gyan Kreatif Indonesia, Naruna Keramik Studio, etc). Berikut

akan ditampilkan perbandingan luaran riset dengan teknologi manual oleh engineer keramik local dengan teknologi modern yang digunakan oleh peneliti terhadap motif emboss Kawung yang menjadi ornament penting dalam study ini (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan aplikasi teknologi desain keramik emboss motif Kawung

| Teknologi desain | Operator desainer | Foto Hasil mock up | Keterangan |
|--|--|---|---|
| Handmade | Naruna Ceramic Studio; PT Gyan Kreatif Indonesia |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. terlihat hasil motif ornament yang terbentuk tidak presisi dan tidak akurat 2. Bentuk motif Kawung tidak dapat melingkar penuh karena antar motif tidak bertemu 3. Waktu desain untuk motif dengan ornament yang presisi berkisar 1-2 month 4. Proses manufaktur manual 1 bulan |
| 3D modeling base on CAD – CAM – CNC router | Authors |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil 3D modeling dan pemesinan presisi, akurat, dan motif Kawung yang didesain benar-benar dapat melingkar penuh dengan rapi. Antar tepi motif ornamwn dapat bertemu 2. Waktu desain untuk motif dengan ornament presisi 1 minggu 3. Proses manufaktur di mesin CNC router 4 – 6 hari kerja |

Study ini berhasil membuktikan keunggulan teknologi modern val desain dan manufaktur berbasis CAD 3D modelling dalam upaya peneliti menjawab tantangan industri keramik handmade PT Gyan Kreatif Indonesia melalui Naruna Ceramic Studio untuk pengembangan produk baru piring type coupe dengan motif emboss Batik Kawung yang presisi, akurat, unik dan warna menarik. Hasil study ini juga menunjukkan bahwa aplikasi teknologi modern ini terbukti lebih cepat, presisi dan akurat dibandingkan dengan metode handmade yang dikerjakan oleh pihak industri.

Luaran akhir dari study ini berupa model 3D produk; *master* cetakan dalam bentuk core & cavity; dan produk piring keramik *tableware* berjenis *coupe plate* dengan ukuran 27 cm, 22 cm, dan 18 cm.

Riset kedepan lebih difokuskan lagi untuk bentuk-bentuk ornament batik Indonesia motif lainnya yang dapat ditempelkan pada permukaan produk tableware sehingga mampu meningkatkan keunggulan kompetitif produk keramik porselen local Indonesia menuju produk ekspor.

Daftar Pustaka

- Anggoro P.W., Bawono, B., Sujatmiko, I., Reverse Engineering Technology in Redesign Process Ceramics: Application for CNN Plate. Desember 2015. *Procedia Manufacturing* 4:521-527. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.071>
- Anggoro P. W., Yuniarto T., Tauviqirrahman M., Jamari J., Bayuseno A. P., Purwanto K. B., Widyankaro O. K. W. Puzzle Islamic Floral Patterns Product Tiles for Wall and Ceiling to Decorate of Al Huda Mosque Indonesia—Design, Manufacturing, and Fabrication. *Proceedings of the 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials. ICE-SEAM 2019, 16–17 October*

2019, Surakarta, Indonesia. *Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. Pp 549-562*

Anggoro P. W., Yuniarto T., Bawono B., Setyohadi D. B., Felasari S., Widyanarka O. D. W., Tauviqirrahman M., Jamari J., Bayuseno A. P., Advanced Design and Fabrication of Islamic Tile Ceramic Wall Tiles With Indonesian Batik Patterns Using Artistic CAD/CAM and 3D Printing Technology. **Frontiers in Mechanical Engineering. 2021a.** 7:799086. doi: 10.3389/fmech.2021.799086

Anggoro, P.W.; Tan Wijaya, A.R.; Yuniarto, T.; Tauviqirrahman, M.; Jamari, J.; Bayuseno, A.P.; Setyohadi, D.B. Reverse Engineering from 3D mesh to ceramic product in the form of miranda kerr tea for one teapot in PT Doulton Indonesia. *Cogent Engineering. 2021b.* Vol. 8 (1), pp 1-20. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1981522>

Anggoro, P.W., Krishnayuda, M.B., Yuniarto, T., Bawono, B., Suharyanti, Y., Felasari, S., Setyohadi, D.B., Widyanarka, O.K.W, Bayuseno, A.P., Virtual design and machining of core and cavity for fabrication of dining plate tableware with Kawung batik pattern. *Cogent Engineering. 2022.* 9 (1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2084985>

Arvid R Eide, Roland D. Jenisoa, Larry L. Northup, Steven K. Mickelson. Engineering Fundamentals and Problem Solving, 6 th edition, McGraw Hill.2011

Bagci, E., 2009. Reverse Engineering Application For Recovery of Broken or Worn Part and Re Manufacture: Three Case Studies, Advances in Software, 40, pp 407-418

Chang, K.H.; Chapter 1- Introduction to e-Design. *Design Theory and Methods Using CAD/CAE. The Computer-Aided Engineering Design Series. 2015a,* Pages 1-37. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398512-5.00001-3>

- Chang, K.H.; Chapter 11- Virtual Machining. Design Theory and Methods Using CAD/CAE. The Computer-Aided Engineering Design Series. 2015c, Pages 599-646. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382038-9.00011-9>
- Chang, K.H.; Chapter 2- Geometric Modeling. Design Theory and Methods Using CAD/CAE. The Computer-Aided Engineering Design Series. 2015b, Pages 41-124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382038-9.00002-8>.
- Clara Isabel López Gualdrón; Juan C. Moreno; Julio C. Pinillos., Comparison between two design methods implants, based on reverse engineering, design and engineering technologies, BIOCAD/CAD/CAE. June 2014; Ingeniería y Competitividad 16(1):61-68
- Wego Wang. *Reverse Engineering – Technology of Reinvention*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. USA.
- Fergiawan P. K., Anggoro P. W., Yuniarto T., Purwanto K. B., Widyanarka O. D.W. Ceramic Jewelry with Texture and Ornament Islamic Pattern and Batik Indonesia—Design, Manufacturing, and Fabrication. Proceedings of the 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials. **ICE-SEAM 2019, 16–17 October 2019, Surakarta, Indonesia**. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2019. Pp 723-733
- Mahendri, CD, PW Anggoro, P.W.; Fergiawan, P.K., Yuniarto, T., Bayuseno, A.P., Jamari, J. Development of the Ceramic Jewellery Industry for Necklace with Indonesian Batik Motifs. Proceedings of the 2nd Borobudur International Symposium on Science and Technology (BIS-STE 2020), Magelang 2020. *Advances in Engineering Research*, volume 203, pp 387-393. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Nigel Cross, Engineering Design Methods, Strategy for Product Design, 4th edition, Jhon Iley & Son, Ltd., Chicester, England, 2005

Oancea, Gh. et al. 2013. Computer aided reverse engineering system used for customized products. Annals of MTeM for 2013 & Proceedings of the 11th International MTeM Conference. Hal. 181-186

Philip Kosky, Robert Balmer, Willian Keat, George Wise. Exploring Engineering, An Introduction to Engineering and Design. 2nd Edition, Academic Preesis in an imprint of Elsevier, 2010, England

Rani Nossar dan Hendra Gunawan. Suskes jadi pengusaha keramik & porselen premium yang diakses pada kontan.co.id dengan link url: <https://peluangusaha.kontan.co.id/news/sukses-jadi-pengusaha-keramik-porselen-premium> diakses pada 29 July 2023

US 20060003111A1 oleh Tan Tseng yang berjudul “*System and method for creating a 3D figurine using 2D and 3D image capture*”

US 7,573.475 B2 oleh Steve Sullivan, Alan D. Trombla, dan Francesco G. Callari yang berjudul “*2D TO 3D IMAGE CONVERSION*”

US 7,573.475 B2 oleh Steve Sullivan, Alan D. Trombla, dan Francesco G. Callari yang berjudul “*2D TO 3D IMAGE CONVERSION*”

US 8.475,946 B1 oleh Sebastian Dion, Jhon Balistreri, dan Amber Reed, yang berjudul “*Ceramic article and method of manufacture*”

US20120182286A1 oleh Xiao Yong Wang yang berjudul “*Systems and methods for converting 2D data files into 3D data files*”

Vinesh Raja, Kiran J Fernandes, Reverse Engineering: An Industrial Perspective 1st edition; Springer; Jerman, 2010

- Y.A.W. Ninggar, P.W. Anggoro, B. Bawono, D.B. Setyohad, M. Tauvirqirrahman, J. Jamari*; Optimization of Parameter for Cutting Condition of Uhmwpe Acetabular Cup Based On Taguchi and Desirability Functions. *Cogent Engineering*, 10(1), 2023. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2233247>
- Yuniarto, T., Anggoro, P.W., Bawono, Fergiawan, P.K., B., Jamari J., Bayuseno, A.P.*, Development of ceramic jewellery industry in the form of necklaces with Indonesian batik motifs. *AIP Conference Proceedings* 2674, 030029 (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0114917>

Proses Fabrikasi Piring dengan Teknik Plaster

Proses fabrikasi piring keramik dengan motif ornamen batik kawung yang ditempelkan pada permukaan atas dan bawah piring, terdiri dari Langkah perbaikan produk cetakan piring atas dan piring bawah hasil dari pemesinan CNC yang menghasilkan ornament batik kawung yang akurat, detail dan kompleks. Cetakan ini akan menghasilkan model clay piring yang kemudian dibuat cetakan ulang menggunakan teknik cetak plaster dengan material gypsum putih atau kuning dan diberi lubang sebagai mulut tempat penuangan material clay keramik dengan system pengunci. Pembuatan piring clay basah dilakukan dengan proses penuangan material clay cair ke dalam cetakan dan didiamkan selama beberapa menit untuk kemudian dilakukan pembersihan dan pembuangan clay cair sampai terbentuk model piring clay yang siap di keringkan dan dibakar dua kali pada oven pembakar sampai pada temperature maksimal 1500⁰ C. Teknik glasir digunakan pada pembakaran kedua untuk mendapatkan warna mengkilap dan elegan dari produk keramik piring bermotif yang dihasilkan.

Temuan baru penulis ini berhubungan dengan proses fabrikasi satu set piring keramik bermotif batik kawung berdiameter 270 mm; 220 mm; dan 180 mm. Piring yang difabrikasi memiliki ornamen bermotif batik Kawung yang ditempelkan pada permukaan sisi atas piring dan sisi bawah piring. Fabrikasi piring termasuk Langkah-langkah perbaikan master produk Ceramic Mold Casting

piring dari mesin milling CNC, pembuatan Plaster cetakan secara manual dengan teknologi Plaster berbahan gypsum putih atau kuning; pembuatan Clay piring awal; penuangan material Clay cair ke cetakan piring; pembongkaran; Proses pengeringan clay piring; pembakaran pertama sampai diperoleh Biscuit Clay piring; pewarnaan Biscuit Clay piring dengan teknik glasir menggunakan air spray gun (pistol penyemprot udara); pembakaran kedua di tungku pembakaran sampai terbentuk piring keramik bermotif batik Kawung dengan warna unik.

Beberapa hasil telusuran penelitian sebelumnya mengenai teknik plaster pada pembuatan cetakan mold keramik dapat disajikan berikut ini. US 8.475,946 B1 oleh Sebastion Dion, Jhon Balistreri, dan Amber Reed, yang berjudul “ Ceramic article and method of manufacture”, membahas tentang sebuah metode penyiapan ceramic Precursor Article yang dapat dikerjakan menggunakan mesin 3DP (Three-Dimensional Printing) yang telah dipatenkan oleh Institut Teknologi Massachusetts. Sistem pembuatan berbasis serbuk yang digunakan dalam paten ini telah sesuai dengan salah satu perwujudan dari penemuan ini lebih disukai menggunakan teknologi ink-jet untuk menerapkan pengikat keramik khusus pada lapisan tipis bubuk Prekursor keramik (biasanya serbuk tanah liat), dengan cepat membangun objek dari file gambar 3D digital. Proses 3DP dalam paten ini menggunakan bahan organik seperti selulosa dan menyebabkan pengurangan yang lebih besar pada objek akhir daripada normal dalam pembuatan objek keramik tradisional. Karena sifat mudah terbakar dari pengikat organik ini, objek dibiarkan dengan struktur berpori yang terkadang menyebabkannya runtuh atau mengalami deformasi saat terkena panas tinggi dari bisque. Objek akhir sesuai dengan standar keramik tradisional dan dengan demikian dapat digunakan dalam banyak mode yang mirip dengan keramik tradisional.

INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER
THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT) dengan

International Publication Number WO 2004/062934 A2 oleh inventor Mary L Parker, menjelaskan tentang metode pembuatan objek Dining Plates yang dibentuk, terdiri dari langkah-langkah mencetak foto berkualitas tinggi seperti yang diinginkan atau gambar mirip foto pada bahan pembentuk pada resolusi yang secara substansial sama dengan resolusi gambar digital asli yang digunakan untuk membentuk gambar berkualitas tinggi, dan membentuk benda yang dibentuk oleh proses pembentukan di mana suhu dan tekanan di seluruh benda bervariasi. Terdapat potongan-potongan porselen dan kaca halus yang diproduksi dengan tangan dan proses manual menggunakan decals dan dekorasi terapan lainnya yang dengan setia mereproduksi seni rupa, alam, dan gambar kompleks lainnya pada peralatan makan seperti piring, saucer, mug, dan gelas. Ini adalah proses mahal yang menghasilkan produk konsumen keramik Dining set Tableware dengan harga tinggi.

INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT) dengan International Publication Number WO 2008/148005 A3 dengan judul *Balanced Individual Dining Plate* oleh Duane Ebesu, memaparkan Temuan baru penulis tentang sebuah piring yang menyediakan area pegangan, area kontak makanan, area transisi antara pegangan dan area kontak makanan, lubang cangkir, dan lubang ibu jari pertama dan kedua yang berdekatan dengan cangkir. Lubang cangkir piring, serta pegangan ibu jari pertama dan kedua, terletak di dalam area pegangan pada ketinggian yang berbeda dari ketinggian area kontak makanan dari piring.

Anggoro, dkk. (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Puzzle Islamic Floral Pattern Product Tiles for wall and Ceilling to decorate of Al Huda Mosque Indonesia-Design, Manufacturing and Fabrication” dan telah dipublikasikan pada *Proceedings of the 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials, Lecture Notes in Mechanical Engineering*, https://doi.org/10.1007/978-981-15-4481-1_51. Dalam penelitiannya

berhasil membentuk ornament islami menjadi keramik dinding bermotif batik Indonesia jenis flora seperti daun, batang, kuncup, bunga dan palem yang setelah difabrikasi menjadi keramik dinding bermotif dengan system perakitan yang tersambung satu sama lain semacam puzzle. Integrasi penggunaan teknologi CAD dan additive manufacturing dalam pembentuk master cetakan ceramic menghasilkan kesalahan dimensi kurang dari 2,00 mm dan telah dipasang pada dinding bangunan masjid.

Fergiawan, dkk. (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Ceramic Jewelry with Texture and Ornament Islamic Pattern and Batik Indonesia—Design, Manufacturing, and Fabrication” dan telah dipublikasikan pada Proceedings of the 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials, Lecture Notes in Mechanical Engineering, https://doi.org/10.1007/978-981-15-4481-1_69 berhasil menggunakan teknik yang sama untuk menempelkan beberapa ornament batik Indonesia ke permukaan liontin keramik yang kemudian diproses menjadi jewerly keramik berwarna unik. Kedua peneliti ini melakukan proses fabrikasi keramik dari tahap pembentukan model, plaster dan berlanjut ke proses fabrikasi produk di industry keramik.

Temuan baru penulis sebelum ini memang memberikan kemajuan tentang desain piring yang menampilkan adanya pegangan dan tempat untuk minum. Namun belum ada yang mampu menampilkan ornament bermotif emboss atau timbul pada permukaan atas dan bawah piring dengan warna unik melalui teknik glasir yang akhirnya dapat memberikan nilai lebih secara ekonomis pada piring keramik ini. Oleh karena itu, Temuan baru penulis yang diajukan ini berupa proses fabrikasi piring bermotif ornament Batik Kawung dengan warna unik melalui penerapan teknik glasir pada saat proses pembakaran kedua di tungku pembakaran pada industry keramik sehingga memunculkan warna mengkilap dan unik pada permukaan piring. Untuk memverifikasi hasil desain dengan hasil manufaktur cetakan master produk Ceramic Mold

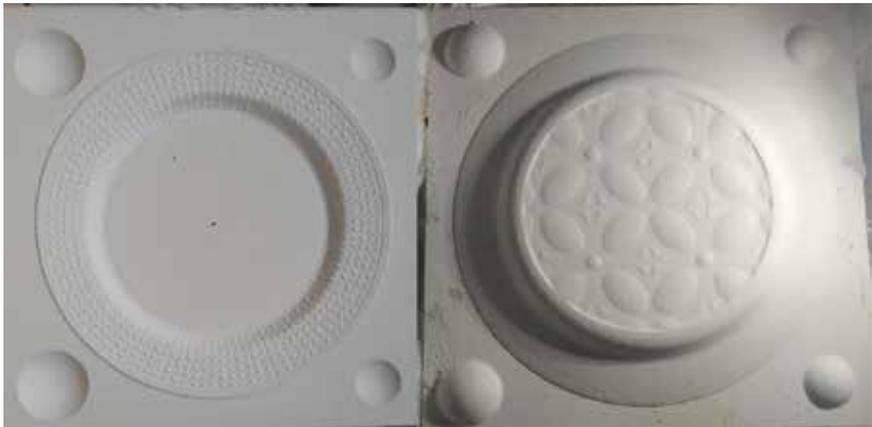
Casting piring dari mesin CNC maka akan dipaparkan tahapan fabrikasi piring keramik dengan ornament batik Kawung dari Tahap perbaikan cetakan master produk Ceramic Mold Casting hasil CNC, Pembuatan cetakan piring dengan teknik Plaster, Proses Casting Clay piring melalui penuangan material clay cair pada cetakan piring berbahan gypsum, Proses pembongkaran cetakan Clay piring, Proses cutting dan Drying Clay Piring; Proses Pembakaran #1 pada oven kiln sampai diperoleh Biscuit Clay Piring; Proses Pewarnaan menggunakan teknik glasir dengan alat spry gun; Proses Pembakaran #2 untuk mendapatkan piring keramik bermotif batik Kawung dengan warna unik yang presisi, akurat dan menarik. Tujuan Temuan baru penulis ini adalah untuk menghasilkan piring keramik berornamen batik kawung pada bagian permukaan atas (area pegangan) dan bagian bawah (area penahan piring) dengan warna unik dan berukuran diameter 270 cm, 220 cm dan 180 cm.

7.1. Metodologi Singkat Fabrikasi Piring emboss dengan teknik Plaster

Proses fabrikasi produk keramik dinding, keramik liontin jewelry dengan ornament batik Indonesia seperti yang pernah dipaparkan dalam penelitian sebelumnya juga digunakan dalam Temuan baru penulis ini untuk memperoleh satu set piring keramik bermotif batik kawung pada bagian permukaan atas (pegangan piring) dan permukaan bawah (penahan piring). Namun dalam Temuan baru penulis ini, untuk memperoleh kepresisian dan geometri dari ornamen yang ditampilkan pada piring, maka pembuatan cetakan piring diawali dengan proses manufaktur desain master produk Ceramic Mold Casting piring bermotif batik kawung di mesin milling CNC sesuai dengan desain dari software Computer-Aided Design (CAD) di komputer. Untuk mendapatkan Clay piring keramik awal maka dilakukan pembuatan cetakan piring dengan master dari produk Ceramic Mold Casting tadi dengan teknik Plaster menggunakan material gypsum menjadi cetakan

modal piring dengan lubang pengisian. Hasil cetakan inilah yang kemudian dilakukan proses casting sampai pembakaran di tungku pembakaran sebanyak dua kali untuk mendapatkan produk piring bermotif batik kawung dengan warna unik yang presisi dan akurat dan dicetak dalam jumlah banyak.

Untuk memudahkan pemahaman mengenai inti Temuan baru penulis ini, selanjutnya akan diuraikan perwujudan Temuan baru penulis ini melalui gambar-gambar terlampir.



Gambar 7.1. Master produk Ceramic Mold Casting piring bermotif batik kawung hasil manufaktur dari mesin milling CNC.



Gambar 7.2. Proses perbaikan master produk Ceramic Mold Casting cetakan piring secara manual oleh operator cetakan.



Gambar 7.3. Proses pembuatan cetakan piring bermotif batik Kawung dengan teknik Plaster.



Gambar 7.4. Cetakan piring batik Kawung dengan material Gypsum putih.



Gambar 7.5. Tahapan proses Casting Clay Cair ke dalam cetakan piring



Gambar 7.6. Proses pembongkaran cetakan untuk mendapatkan Clay Piring Keramik Bermotif Batik Kawung



Gambar 7.7. .Clay produk piring bermotif batik kawung ukuran diameter 270 cm, 220 cm dan 180 cm



Gambar 7.8. Proses *cutting* permukaan sisi tepi piring untuk menghilangkan scrap



Gambar 7.9. Proses pengeringan *clay* produk piring batik Kawung dengan diletakkan rak pengeringan



Gambar 7.10. Peletakan *clay* piring dan produk keramik lain di rak tray sebelum proses pembakaran di tungku pembakar



Proses Pembakaran #1 pada oven Kiln



Biscuit Clay Piring Keramik Bermotif Hasil
Pembakaran #1

Gambar 7.11. Proses Pembakaran 1 dengan temperature 700 – 1000° C selama 8 jam operasional



Proses Pembakaran #1 pada oven Kiln



Biscuit Clay Piring Keramik Bermotif Hasil
Pembakaran #1

Gambar 7.12. Biscuit Clay piring hasil pembakaran pertama



Pembuatan Adonan Warna



Pengadukan adonan warna



Pewarnaan pada permukaan piring menggunakan alat semprot sry gun

Gambar 7.13. Proses pewarnaan Biscuit Clay piring keramik bermotif dengan komposisi warna yang telah ditetapkan menggunakan teknik glasir dengan alat air sry gun (pistol penyemprot udara)



Gambar 7.14. Proses pembakaran kedua dengan temperature sampai 1500°C selama 8 – 12 jam pada oven pembakaran sampai diperoleh produk piring keramik bermotif



Gambar 7.15. adalah produk piring keramik bermotif Batik Kawung dengan warna unik dan ukuran presisi serta ornament Batik Kawung yang sesuai dengan desain awal



Gambar 7.17. Piring keramik bermotif Batik Kaung: (a) Tahapan proses fabrikasi; (b) Flow chart fabrikasi

7.2. Fabrikasi Piring Keramik Bermotif Batik Kawung

Proses Fabrikasi Piring keramik bermotif Batik Kawung ini menjelaskan tahapan proses manufaktur dan fabrikasi piring yang dilakukan oleh inventor dan operator di industry keramik lokal dengan teknologi casting umum. Cetakan piring keramik bermotif batik kawung dimulai dari perbaikan secara manual pada produk master produk Ceramic Mold Casting piring bermotif ini (Gambar 1). Perbaikan awal adalah pembersihan seluruh permukaan cetakan dengan melakukan pencucian dan pembersihan permukaan master produk Ceramic Mold Casting dengan spon halus dan sikat gigi. Perbaikan juga dikerjakan pada permukaan cetakan piring atas dan bawah karena material gypsum putih yang dipakai berlubang, rusak karena karakteristik material saat proses cetak material gypsum diawal banyak muncul bubble atau lubang udara sehingga perlu ditutup secara manual oleh operator cetak. Perbaikan berikutnya ada pada bagian bawah piring di bagian penahan piring dimana pada bagian ini harus lebih tinggi daripada tinggi kontur ornament yang didesain untuk menghindari kocak atau goyang atau tidak stabil saat piring diletakan di atas permukaan meja atau datum (Gambar 2).

Hasil perbaikan dari master produk Ceramic Mold Casting tersebut kemudian berlanjut pada proses pembuatan cetakan piring keramik bermotif batik kawung menggunakan teknologi Plaster, dimana operator desain membuat dinding berbahan akrilik bening atau kayu pada setiap tepi dari produk master produk Ceramic Mold Casting (Gambar 3 dan Gambar 4) kemudian dituang material gypsum putih untuk dilakukan proses pencetakan dari kedua produk tersebut. Hasilnya berupa cetakan piring (Gambar 4) dengan dua atau empat lubang di bagian atas piring sebagai lubang tempat masuknya clay cair keramik. Clay yang bertype cairan ini merupakan bahan pembentuk piring keramik bermotif.

Setelah produk cetakan piring berbahan gypsum putih (Gambar 4) diperoleh maka dilakukan proses cetak dengan

menuangkan material Clay cair ke dalam lubang penuangan sampai terisi penuh. Clay cair yang sudah terperangkap di dalam cetakan kemudian didiamkan selama 10 - 15 menit hingga mengendap. Setelah itu proses penuangan dilakukan secara bertahap sebanyak kurang lebih tiga kali dengan waktu pengendapan tiap penuangan adalah 10 – 15 menit tergantung dari tingkat kekeringan cetakan. Setelah kering kemudian dibuang bagian Clay yang telah kering untuk dilakukan pembalikan cetakan. Setelah dibalik, kemudian dilakukan pembongkaran cetakan untuk mengeluarkan clay piring yang masih basah menggunakan air sry gun (Gambar 5). Clay produk piring (Gambar 7) yang dikeluarkan masih terlihat belum maksimal karena masih ada material lebih pada bagian sisi-sisi tepi piring (Gambar 6) sehingga perlu dilakukan proses finishing berupa proses cutting bagian sisa tersebut menggunakan alat potong manual sampai terbentuk Clay produk piring terbaik (Gambar 8)

Clay produk piring keramik bermotif ini kemudian dilakukan proses pengeringan secara alami di bawah sinar matahari dengan meletakkan pada rak tray keramik yang telah disiapkan (Gambar 9 dan Gambar 10).

Proses drying dalam suhu ruangan biasanya dilakukan sekitar 12-24 jam yang kemudian dilakukan pembakaran #1 (Gambar 11) pada oven kiln berbahan gas selama 7-8 jam pada suhu maksimal 1060-1070⁰C sampai diperoleh Biscuit Clay Produk Piring (Gambar 11 dan Gambar 12).

Biscuit Clay Produk Piring ini kemudian dilakukan proses pewarnaan dengan menyemprotkan zat pewarna keramik dengan komposisi tertentu menggunakan air sry gun secara merata ke seluruh permukaan piring (Gambar 13). Setelah kering kemudian dilakukan pembakaran #2 dengan oven kiln selama 13 Jam pada temperature maksimal 1220⁰C (Gambar 14) sampai diperoleh Produk Piring Keramik Bermotif Batik Kawung dengan warna unik,

mengkilap, presisi dan akurat (Gambar 15). Semua tahapan fabrikasi piring keramik ini dapat disajikan pada Gambar 16.

Teknik plaster yang disajikan dalam bab 8 ini telah terbukti berhasil mewujudkan sebuah tahapan proses fabrikasi piring keramik tableware menjadi produk keramik diningset tableware emboss bermotif Batik Kawung yang presisi, akurat, custom, dan berwarna unik.

Metode ini dapat diaplikasikan dengan sangat baik juga untuk pengerjaan type produk keramik lainnya, seperti: piring coupe; Mug; Cangkir; dan tea pot set dengan motif Kawung seperti yang diinginkan oleh konsumen dan pabrikan PT Gyan Kreatif Indonesia melalui Naruna Ceramic Studio.

Kedepan akan dikerjakan tahapan proses hilirisasi riset bersama antara penulis, industri keramik di Indonesia dengan motif ornamen lainnya, seperti Indonesia Batik Motif, Pemandangan, figuring dan sebagainya.

Daftar Pustaka

- Anggoro, P. W., Yuniarto, T., Tauviqirrahman, M., Jamari, J., Bayuseno, A. P., Purwanto, K. B., & Widyanarka, O. K. W. 2019. Puzzle Islamic floral patterns product tiles for wall and ceiling to decorate of Al Huda Mosque Indonesia— design, manufacturing, and fabrication. *Proceeding of 6th International Conference and exhibition on sustainable energy and advanced materials, ICE-SEAM*, 16-17 October 2019. Lecture Note in Mechanical Engineering. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4481-1_51 .
- Anggoro, P.W., Bawono, B., Yuniarto, T., et al., Pengembangan desain produk keramik tableware bermotif batik kawung menuju produk ekspor. Laporan Matching Fund 2021.

Fergiawan, P. K., Anggoro, P. W., Yuniarto, T., Purwanto, K. B., & Widyanarka, O. K. W. 2019. Ceramic jewelry with texture and ornament Islamic pattern and Batik Indonesia – design, manufacturing, and fabrication. *Proceeding of 6th International Conference and exhibition on sustainable energy and advanced materials, ICE-SEAM*, 16-17 October 2019 (Springer) Surakarta, Indonesia. Lecture Note in Mechanical Engineering. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4481-1_69

INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT) dengan International Publication Number WO 2004/062934 A2 oleh inventor Mary L Parker

INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT) dengan International Publication Number WO 2008/148005 A3 dengan judul Balanced Individual Dining Plate oleh Duane Ebesu,

US 8.475,946 B1 oleh Sebastian Dion, Jhon Balistreri, dan Amber Reed, yang berjudul “ Ceramic article and method of manufacture”,

PENULIS



Prof. Dr. Ir. Paulus Wisnu Anggoro, ST., MT., IPU adalah Profesor Teknik Industri dan Insinyur Profesional Utama yang memiliki keahlian di bidang CAD, Reverse Engineering, CAM, CNC, 3D Printer dan Statistik Inferensial pada produk sepatu orthotik custom, keramik porselen tableware, keramik dinding bermotif emboss, keramik jewelry. Disertasi membahas tentang aplikasi computer aided reverse engineering system pada tahapan desain dan manufaktur sepatu orthotik custom

untuk pasien diabetes. Memiliki H-index Scopus = 7 dengan jumlah document lebih dari 40 paper membahas tentang Reverse Engineering, Optimasi Manufaktur berbasis Desain Eksperimen, dan Pengembangan Produk Baru. Saat ini riset yang sedang dikembangkan adalah material komposit berbahan serat rami/kenaf dan serat kelapa untuk alat transportasi, desain interior dan produk alkes; serta riset pembuatan 3D printer custom untuk produk implant.



Ir Tonny Yuniarto, ST., M.Eng., IPU merupakan Magister Engineering dan Insiyur Profesional Utama yang memiliki keahlian di bidang CAD, Reverse Engineering, CAM, CNC, 3D Printer dan Mold & Dies pada produk industri manufaktur. Lulus S1 pada Teknik Mesin UGM, Semarang; S2 Teknik Mesin UGM. Fokus riset pada optimasi manufaktur berbasis CAM dan mesin CNC. Memiliki H-index Scopus = 2 dengan jumlah document kurang lebih 9 paper yang kebanyakan membahas tentang Optimasi Manufaktur berbasis CAD CAM dan mesin CNC. Saat ini riset yang sedang dikembangkan adalah material komposit berbahan serat rami dan serat kelapa sebagai material terbarukan.



Dr Ir Baju Bawono, ST., MT., IPU adalah Doktor Teknik Mesin Industri dan Insiyur Profesional Utama yang memiliki keahlian di bidang management kualitas, statistik inferensial, material science, reverse engineering. Disertasi membahas tentang Optimasi parameter pemesinan optimal berbasis statistic inferensial pada pengembangan sepatu orthotik custom untuk pasien diabetes. Memiliki H-index Scopus = 7 dengan jumlah document kurang lebih 20 paper yang kebanyakan membahas tentang Optimasi Manufaktur berbasis CAD CAM dan mesin CNC. Saat ini memimpin riset material terbarukan dari bahan serat rami / keanf dan serabut kelapa sebagai material terbarukan untuk alat transportasi, Kesehatan, desain interior dan raw material lainnya.

Aplikasi 3D modelling dan Reverse Engineering: Desain – Manufaktur Produk Keramik Emboss

Reverse engineering (RE) merupakan metode rekayasa balik yang cepat dan memberikan kontribusi besar bagi engineer dan peneliti pengembangan produk di industri manufaktur dan Perguruan Tinggi.

Saat ini RE terbagi menjadi Reverse Innovative Design (RID) dan Computer Aided Reverse Engineering System (CARE) System. Kedua metode ini sama-sama memanfaatkan implementasi teknologi Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Engineering (CAE), Computer Aided Manufacturing (CAM) yang berakhir pada proses manufaktur pada mesin CNC dan 3D printer.

Buku ini memberikan gambaran sederhana kepada mahasiswa dan pembaca umum namun detail dalam pemaparan kontribusi real RE dan 3D modeling pada industri keramik porselen dan sepatu orthotik custom dalam upaya memenuhi permintaan konsumen terhadap pengembangan produk baru yang menuntut adanya kompleksitas, kepresisian, keakuratan dan mampu produksi masal inovasi baru pada produk keramik (tableware, tiles, dan jewelry) dan sepatu orthotik custom bagi pasien kelainan bentuk kaki (diabetes, club foot, high heels, metatarsalgia). Dalam buku ini juga dipaparkan 3 cara proses scanning dengan handyscann; computer measurment machine (CMM) dan kamera tunggal SLDR guna mendapatkan gambar 3D mesh yang siap di RE pada CAD menjadi gambar 3D model yang siap dimanufaktur.

Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari No. 5-6 Yogyakarta 55281
Telp. +62 274 487711
E-mail: lib.publisher@uajy.ac.id

