

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Alai (2013) dalam penelitian berjudul “*A Review of 3D Design Parameterization using Reverse Engineering*” menjelaskan tentang parameter teknologi bentuk desain 3D dari *reverse engineering*, serta kemampuan *software* komputer yang di gunakan juga diuji kemampuannya. Di penelitian ini menggunakan model badan mobil sebagai objek, Hasilnya berupa kemampuan keakuratan sistem untuk mengukur badan mobil, serta menjelaskan kemampuan *reverse engineering* yang dapat menyediakan komponen fisik yang dapat menjadi sebuah desain lalu di proses manufaktur.

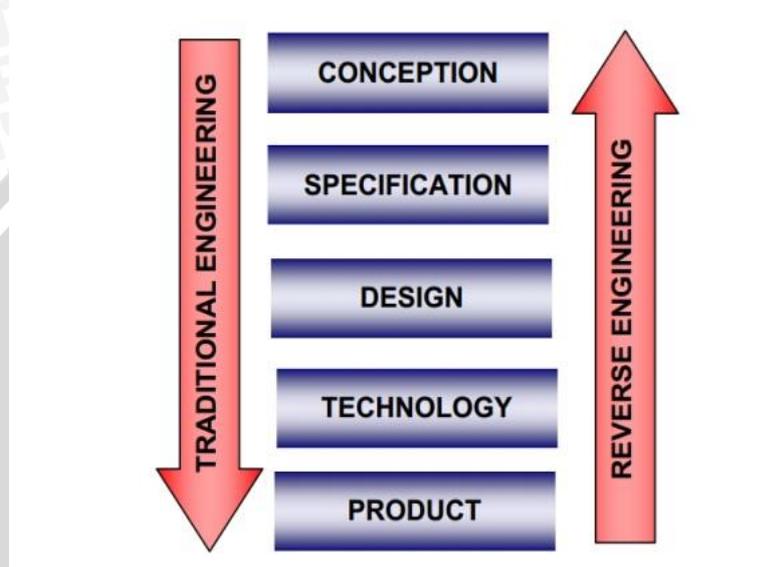
Kumar et al (2013) dalam penelitian berjudul “*Reverse Engineering in Product Manufacturing : An Overview*”. Prinsip dasar dari *reverse engineering* serupa di sebagian besar industri, yaitu pengumpulan data, analisis rinci berskala *micro*, permodelan, membuat bentuk dasar (*prototyping*), mengevaluasi hasilnya dan penyesuaian pengaturan. Desainnya didukung oleh perangkat lunak seperti CAD/CAE/CAM yang dapat mengoptimalkan hasil dari proses manufaktur dengan menggunakan mesin CNC, yang digunakan untuk pengembangan produk yang cepat, mendesain ulang dan memproduksi. Dengan adanya *reverse engineering* dapat mempercepat realisasi produk baru dan menurunkan biaya produksi.

Bagci (2009) dalam penelitian berjudul “*Reverse Engineering Application For Recovery Of Broken Or Worn Parts And Re-manufacturing: Three Case Studies*”. Penelitian ini menunjukkan manfaat kegunaan *reverse engineering* dalam proses manufaktur terutama dalam memperbaiki *part* yang rusak ataupun aus. Tanpa adanya dokumen mekanik seperti gambar dan spesifikasinya. Hasilnya, *reverse engineering* mempercepat proses realisasi produk dengan mengurangi biaya manufaktur yang sangat besar.

2.2 Reverse Engineering

Rekayasa (*engineering*) sebagai proses perancangan, manufaktur, perakitan, dan pemeliharaan produk serta sistem. Ada dua jenis rekayasa, *forward engineering* dan *reverse engineering*. *forward engineering* adalah proses tradisional dari desain

menjadi fisik benda dari sebuah sistem. Sedangkan *reverse engineering* merupakan proses dari duplikasi produk yang sudah ada, *subassembly*, membuat produk tanpa desain, dokumentasi, atau model komputer (Raja and Fernandes,2008:2). *Reverse Engineering* mengacu pada membuat desain menggunakan komputer (CAD model) dari objek fisik yang telah ada, yang digunakan untuk memproduksi salinan objek tersebut, pengamatan terhadap desain model yang telah ada, dan rekayasa ulang bagian yang telah ada



Gambar 2.1 *Traditional engineering* dan *reverse engineering*

Sumber : Alai (2013:1)

Proses utama pada *reverse engineering* ini adalah memproses data dan mengukur objeknya serta membuat model 3 dimensi. *Reverse engineering* dimulai dengan produk atau *prototype* dan datanya di proses menjadi desain dalam bentuk CAD model, dengan adanya desain maka dapat diketahui spesifikasi dan konsep yang nantinya bisa dikembangkan. Dengan menggunakan *reverse engineering* suatu produk dapat dengan cepat di produksi kembali menggunakan mesin *multi axis* CNC. Namun *reverse engineering* membutuhkan mesin berteknologi tinggi sehingga membutuhkan biaya yang besar dalam pembelian mesin tersebut.

Aplikasi dari *reverse engineering* pada dunia industri, yaitu:

- Desain komponen baru. Desain dari *part* yang baru dapat diperoleh dari *part* nyata model yang telah ada.

- Memproduksi kembali komponen yang telah ada. Beberapa *part* yang telah ada tanpa adanya desain dan dokumen manufaktur dapat diperoleh dan dibuat kembali dengan *reverse engineering*
- Pembaruan ataupun perbaikan dari kerusakan komponen yang telah ada. Jika permukaan *part* yang akan di *scan* rusak atau aus, CAD model yang diporeh mungkin tidak tepat dengan permukaan *part* yang telah ada
- Pengembangan model yang presisi. Kita dapat menyelesaikan konsep produk desain berdasarkan fungsi dan estetika lalu menggunakan bahan bahan yang lembut untuk membuat model seperti kayu,dan lain lain.
- Observasi data numerik. Pemindaian *part* dan pembuatan kembali 3D CAD model dari *reverse engineering* dapat membantu dalam membandingkan model yang baru dengan model yang pertama.

2.2.1 Scanning

Proses *scanning* meliputi mempersiapkan bagian yang akan di pindai dan melakukan proses *scanning* secara benar agar dapat memindai geometri seperti lubang, tingkatan, dan celah. *Scanner* 3D digunakan untuk memindai bagian geometri benda dan membuat gambaran permukaan benda. Hasil dari pemindaian inilah yang nantinya akan digunakan oleh mesin *computer numerically controlled* (CNC). Ada dua jenis tipe *scanner*, yaitu kontak *scanner* dan nonkontak *scanner*.

1. Kontak *Scanner*

Alat ini bekerja secara otomatis mengikuti bentuk permukaan benda yang ingin dipindai. Konsep *probe* pada alat ini seperti teknologi *coordinat measuring machine* (CMM). jenis *scanner* ini mempunyai batas tekan kontak tergantung material yang ingin dipindai, contohnya material yang mudah berubah bentuk jika terkena tekanan seperti karet tidak bisa dengan mudah dipindai secara akurat.



Gambar 2.2 Kontak *Scanner*

Sumber : Bagci (2009:1)

2. Nonkontak *Scanner*

Perangkat nonkontak yang digunakan pada *scanner* ini adalah laser, optik, dan sensor untuk menangkap titik data benda. Perangkat ini menggunakan cahaya dalam memproses data sehingga ada beberapa masalah yang dapat mempengaruhi hasil pemindaian dengan *scanner* jenis ini, seperti pada permukaan benda yang mengkilap dapat mengganggu proses *scanning*.



Gambar 2.3 Nonkontak *Scanner*

Sumber : Singh (2012:6)

2.2.2 CAD dan CAM

CAD merupakan teknologi sistem komputer yang digunakan untuk fungsi tertentu dalam desain. Proses *reverse engineering* dibantu sistem komputer CAD ini dapat memperoleh bagian geometri, mengidentifikasi material, memperbaiki desain,

merencanakan proses manufaktur dan realisasi bentuk fisik. Proses untuk mendapatkan CAD model dinamakan proses digitalisasi. Proses digitalisasi adalah proses mendapatkan *point* koordinat dari permukaan benda. Digitalisasi digunakan untuk memindai geometri benda dan menghasilkan *point cloud* data (permukaan geometri). CAM (*Computer aided manufacturing*) didefinisikan sebagai penggunaan sistem komputer sebagai perencanaan, pengatur dan pengendali operasi permesinan. Dengan adanya CAM, proses manufaktur akan lebih mudah untuk diawasi, mudah untuk menganalisis kerusakan yang terjadi serta perawatan mesin yang lebih mudah dari pada mesin konvensional.

Manfaat dari CAD / CAM adalah dengan adanya model komputer memberikan peluang untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi desain dan nyaman untuk pembuatan. CAD dapat menurunkan biaya menjadi semakin efektif dan menghasilkan produktivitas yang tinggi pada industri, bahkan untuk desain manufaktur di industri kecil. CAD dapat berupa 2 dimensi maupun 3 dimensi. Model CAD dapat di ekspor kedalam format standar seperti IGES, STL dan data ASCII dan diimpor ke CAM/CAE.



Gambar 2.4 Model CAD

Sumber : *EasyScan 3D User Guide*

2.3 Manufaktur

Kata manufaktur berasal dari bahasa latin “*manu factus*” yang berarti dibuat dengan tangan. Proses manufaktur adalah prosedur yang digunakan untuk menghasilkan perubahan fisik/kimia pada suatu bahan/material dengan tujuan meningkatkan nilai material tersebut. Proses manufaktur meliputi sebuah unit operasi, yang berarti setiap langkah-langkah prosesnya di perlukan untuk mengubah material awal menjadi produk akhir.

2.3.1 Proses Milling

Proses *milling* merupakan mesin perkakas yang memiliki beberapa fungsi, seperti memotong, membuat lubang, membuat alur, dan lain-lain. Gerak potong pada proses ini berupa putaran benda kerja dan gerak makan berupa gerak translasi pahat.

proses milling ini memiliki perbedaan dengan proses permesinan yang lain, yaitu proses milling tidak menghasilkan geram yang tebal melainkan berbentuk seperti koma.

2.3.1.1 End mill cutter

Pahat ini termasuk jenis pahat yang paling banyak digunakan pada mesin *cnc milling*. Pahat ini memiliki satu atau lebih alur (*flute*) dan terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida. Pahat *end mill* digunakan untuk pengefraisan permukaan, vertikal, horizontal, melingkar maupun menyudut. pahat ini juga memiliki beberapa jenis, seperti *flat bottom end mill* dan *ball nose end mill*. Setiap jenis pahat ini digunakan sesuai dengan tipe pemakanan saat proses permesinan.

2.3.2 Computer Numerically Control

Mesin CNC merupakan mesin yang penggunaannya dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai dengan standart ISO. Dibandingkan dengan mesin perkakas sejenis, mesin CNC lebih teliti, lebih fleksibel, dan cocok untuk produksi massal. Mesin CNC juga dapat memproduksi produk dengan tingkat kerumitan tinggi dan mengurangi kerja operator selama mesin beroperasi. Format program yang digunakan pada mesin CNC yaitu absolut dan *incremental*. Program absolut menggunakan kode G90 yang mempunyai titik acuan absolut nol X0 dan Y0. Program *incremental* menggunakan kodel G91, titik acuan pergerakan *tool* berdasarkan posisi *tool* sebelumnya.



Gambar 2.5 Mesin *Milling* DENFORD 2600 pro

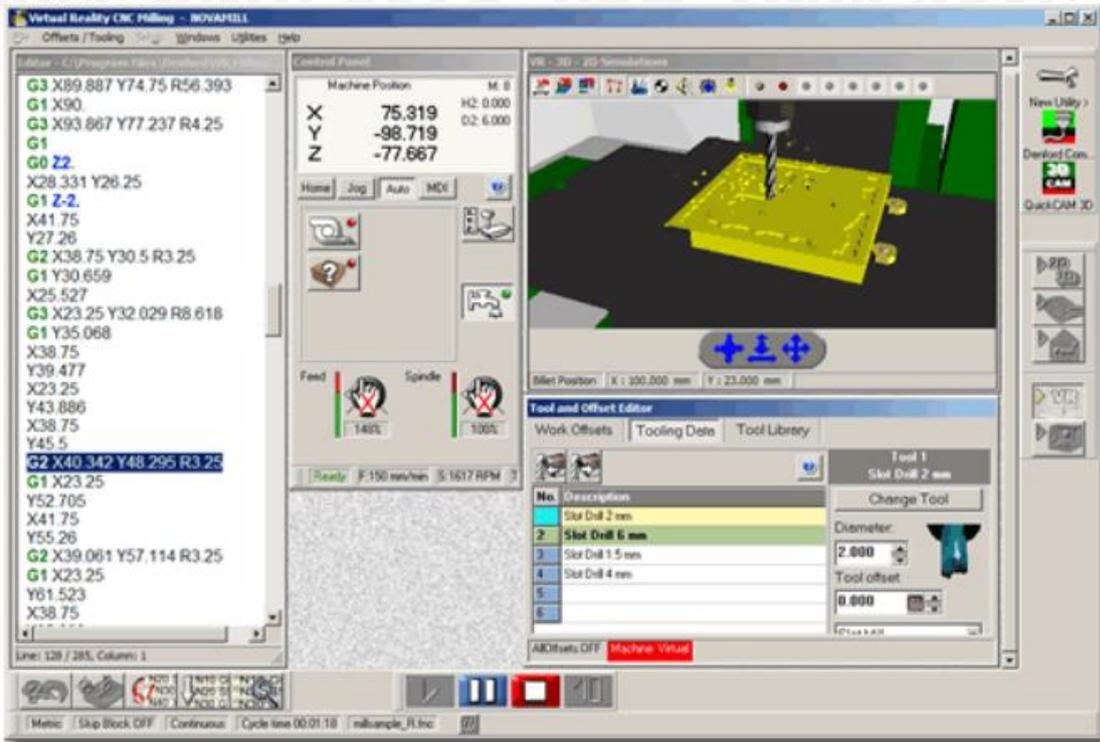
Sumber : Laboratorium Otomasi Manufaktur Universitas Brawijaya

2.4 *Software 3D Scanning dan Milling Process Simulation*

2.4.1 *VRMilling5*

Virtul Reality (VR) CNC Milling merupakan *software* dasar yang berfungsi sebagai *editing* dan kontrol mesin CNC yang menampilkan jendela tampilan yang sama dengan keadaan mesin yang sebenarnya. *Software* ini berasal dari pengembangan *software* mesin CNC dari Denford. Titik *offset* dan *tools* dari benda kerja dapat diatur untuk menghindari pengaturan secara langsung yang biasa dilakukan mesin CNC itu sendiri. Kemampuan dari *software* ini dapat memilih bentuk dan material pahat yang tersedia di katalog yang ada, dan untuk jenis material benda kerja dapat di simulasikan secara otomatis dalam menentukan *depth of cut* sesuai dengan jenis material benda kerja tersebut agar pahat tidak cepat aus.

Untuk menghindari kesalahan yang terjadi saat pengoperasian mesin yang sebenarnya, proses simulasi sangat diperlukan agar tidak terjadi kerusakan pada mesin, pahat, dan juga benda kerja. *Software* ini dapat menampilkan gerak pemakanan pahat yang sesuai dengan desain lalu ditransfer ke mesin CNC menggunakan koding-koding yang telah disimulasikan, sehingga gerakan pahat yang sebenarnya akan sama dengan simulasi. tampilan Simulasi dapat berupa 2 dimensi maupun 3 dimensi. Fitur lain dari simulasi *VRMilling5* ini bisa dikoneksikan dengan mesin CNC Denford serta *scannernya*, sehingga dapat menggunakan *keyboard* dalam pengaturan gerakan pahat saat penyetingan datum titik pahat dan menggerakkan titik sinar laser dapat dilakukan.

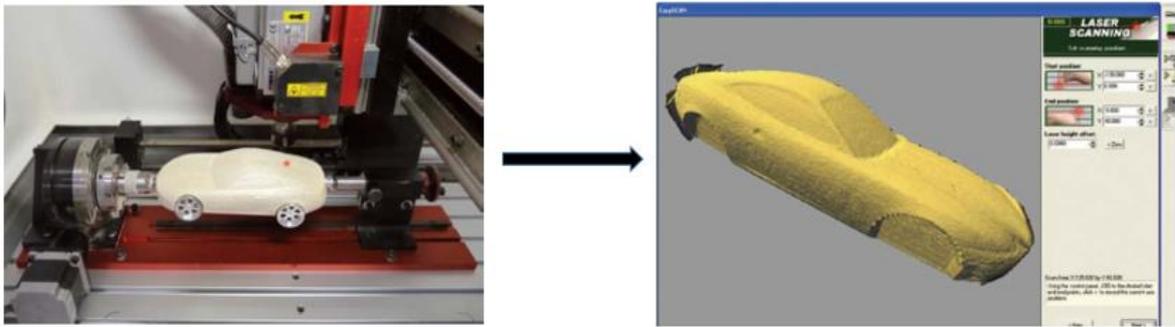


Gambar 2.6 Interface VRMilling5

Sumber : 4th Axis Manufacturing Training-QuickCAM 4D and VR Milling V5 Software

2.4.1.1 EasyScan 3D Scanner

aplikasi yang terdapat pada *software* simulasi VRMilling5 adalah *easyscan 3D scanner*. *Scanner* yang digunakan berupa sinar laser sebagai pemindai data dari benda kerja yang akan di *scanning*. Aplikasi ini dapat melakukan *scanning* secara linear maupun circular dengan sudut rotasi 360 derajat. Hasil *scanning* digunakan sebagai desain berbentuk 3 dimensi dalam format CAD yang nantinya akan diproses milling. Hal-hal yang dapat mempengaruhi hasil *scanning* yaitu kecepatan dan kerapatan *scanning* yang dapat mempengaruhi resolusi hasil *scanning*, serta benda kerja yang berkilau dapat mengakibatkan sinar menyebar sehingga optik scanner sulit terfokuskan, namun untuk mendapatkan hasil *scanning* yang baik dan beresolusi tinggi maka membutuhkan waktu *scanning* yang lebih lama.



Gambar 2.7 Proses *scanning* dan *editing model scanning*

Sumber : *EasyScan 3D User Guide*

2.4.1.1.1 Step Over Scanning

Step over scanning adalah jarak kerapatan scanner dalam membagi luas pada objek *scanning*. Kerapatan yang dimaksud adalah pada garis *axis Y scan* yang nantinya akan menentukan resolusi hasil *scanning*. Nilai *step over* yang kecil akan menghasilkan resolusi model yang tinggi karena pembagian luas objek *scanning* yang semakin banyak, sedangkan nilai *step over* yang besar akan menghasilkan resolusi model yang rendah. *Step over scanning* dibagi menjadi dua, yaitu dengan satuan mm dan derajat ($^{\circ}$), jika benda yang akan di *scan* hanya satu sisi saja maka satuan *step over* adalah mm, namun jika benda *scan* akan di *scan* dari segala sisi dimana dibutuhkan rotasi saat proses *scanning* maka satuan *step over* adalah derajat ($^{\circ}$).



Gambar 2.8 *Step over scanning*

Sumber : *EasyScan 3D User Guide*

Gerakan sinar *scanner* akan bergeser sesuai dengan nilai *step over* dan berhenti pada *end point* yang telah ditentukan. Resolusi maksimum hasil *scan* tergantung angka dari *stepper motor steps* per mm. perhitungan dari jumlah titik *scanning* pada *scanning* linear adalah luasan koordinat X, Y per nilai dari *scan axis* resolusi untuk sumbu X dan per nilai

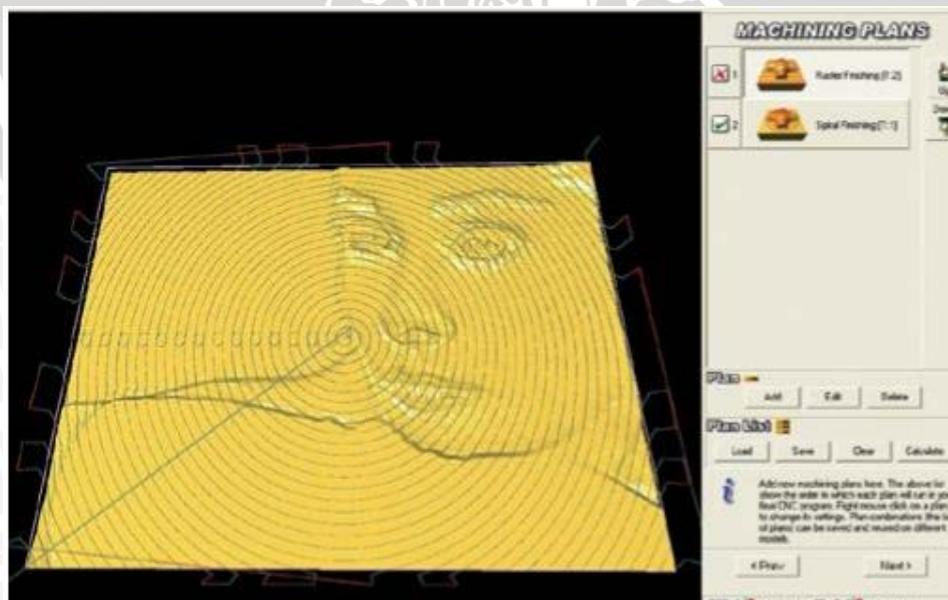
dari *step over* untuk nilai sumbu Y, misalkan koordinat X150 Y100 dengan nilai *scan* resolusi 0,1 mm dan *step over* 0,2 mm maka didapat $(150/0,1) \times (100/0,2) = 1500 \times 500 = 750.000$ titik.

2.4.2 QuickCAMPro

QuickCAM pro merupakan *software* untuk menentukan langkah pahat pada proses permesinan mesin CNC berbasis CAM. Alur gerakan pahat akan disesuaikan dengan desain CAD yang diinginkan. gerakan *machining plans* yang tersedia dalam *quickCAM pro* ada :

- 3 *Roughing Plans*
- 6 *Finishing Plans*
- 3 *Fine Finishing Plans*

Semua gerakan *machining plans* dapat di kombinasikan untuk menghasilkan bentuk benda kerja yang diinginkan. Untuk menentukan Setiap gerakan pahat diperlukan pemilihan parameter permesinan. jenis material benda yang akan di proses dan pahat tersedia dari berbagai ukuran dan jenis. Setelah parameter permesinan telah ditentukan maka komputer akan mengkalkulasi gerakan pahat dan akan memperlihatkan simulasi gerakan permesinan yang digunakan. *Software* ini juga terintegrasi dengan *VRmilling5* jadi akan mempermudah dalam simulasi dan proses manufaktur desain dengan menggunakan mesin CNC.



Gambar 2.9 *Machining plans* dengan *quickCAM Pro*

Sumber : *4th Axis Manufacturing Training-QuickCAM 4D*

2.5 Pengukuran Geometri

Dalam arti umum, pengukuran adalah membandingkan suatu besaran dengan besaran acuan/pembanding/referensi (taufiq rochim:2006). Hasil dari pengukuran berupa angka yang harus memiliki besaran acuan.

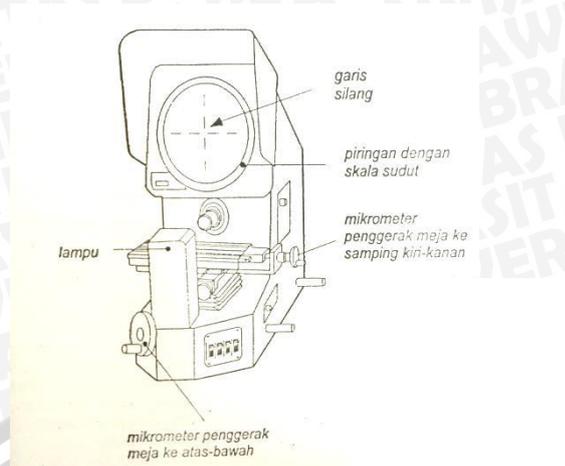
Pengukuran geometri adalah cabang ilmu matematika yang menggambarkan sifat-sifat garis, sudut, bidang dan ruang. Dari penjelasan tersebut dapat dilihat bahwa geometri tidak hanya menerangkan bentuk fisik benda berupa bidang dan ruang, namun juga garis dan sudut. Maka geometri adalah ilmu yang menjabarkan bentuk dimensi suatu benda 2 dimensi (persegi, lingkaran, segitiga, dsb) maupun 3 dimensi (kubus, balok, tabung, dsb), maka geometri dapat digolongkan menjadi 2 macam yaitu geometri yang bersifat 2 dimensi (Geometri datar) dan geometri bersifat 3 dimensi (geometri ruang).

Suatu komponen mesin mempunyai karakteristik geometrik yang ideal berupa, ukuran/dimensi (panjang, lebar, tinggi, luas, dsb) yang diteliti, bentuk yang sempurna, dan permukaan yang halus sekali.

2.6 Alat Ukur

2.6.1 *Profile Projector*

Profile projector digunakan untuk mengukur permukaan objek ukur melalui bayangan yang terbentuk pada kaca buram pada *profile projector*. Bayangan benda ukur pada *profile projector* dapat difokuskan dengan memperjelas garis tepi benda ukur. *Profile projector* berfungsi untuk mengukur panjang, bentuk, dan sudut dari suatu benda. Benda yang akan di ukur oleh *profile projector* biasanya berukuran relatif kecil karena memerlukan bayangan yang diperbesar, dan komponen utama alat ukur ini menggunakan lensa sehingga untuk menghindari kerusakan pada permukaan lensa saat penempatan benda ukur. Untuk ketelitian pada *profile projector* yaitu $1\ \mu\text{m}$, sedangkan untuk sudut ketelitian pada *profile projector* yaitu 1° berlaku $60'$ (60 menit).



Gambar 2.10 profile projector dan bagian-bagiannya

Sumber : Rochim (2006:325)

Cara pengukuran pada *profile projector* yaitu pertama-tama letakkan benda ukur pada meja kaca atau bila perlu gunakan penjepit benda ukur. Kemudian nyalakan lampu yang sinarnya diarahkan langsung ke benda ukur. Lensa proyeksi atau cermin datar digunakan untuk membiaskan sinar menuju layar, sehingga bayangan dari benda ukur dapat terlihat pada layar. Bayangan yang terlihat pada layar akan lebih besar dari dimensi sebenarnya benda ukur akibat proyektor ini dilengkapi dengan lensa pembesar. Pembesaran dan pengecilan bayangan benda ukur pada layar dapat diatur pada lensa proyeksi. Fokus pada layar dapat di atur dengan menaikkan dan menurunkan meja kaca. Hasil pengukuran dapat dilihat pada skala milimeter (mm) untuk mengukur panjang dan bentuk maupun skala sudut ($^{\circ}$). Sistem skala sudut pada *profile projector* memiliki skala utama maupun skala nonius.

2.7 Camshaft

Camshaft merupakan part pada mesin empat langkah berupa poros pengatur buka dan tutupnya katup masuk dan buang. Proses pembuatan *camshaft* dapat dilakukan dengan proses *machining*, *casting*, maupun *forging*. Proses CNC biasanya dilakukan untuk memperhalus permukaan benda kerja saat proses *finishing*.



Gambar 2.11 *Camshaft*

Sumber : Bayrakceken (2006:2)

2.8 Polimer

Material polimer yang saat ini sering digunakan adalah sintetis. Material polimer dibuat oleh pengolahan kimia dan sebagian besar produk yang dibuat oleh proses pemadatan. Polimer adalah senyawa yang terdiri dari molekul rantai panjang. Polimer dapat dipisahkan ke dalam plastik dan karet. Polimer dibagi menjadi tiga kategori, yaitu :

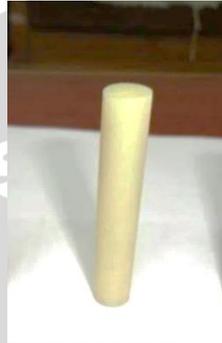
1. Polimer *thermoplastic* ini adalah material padat pada suhu ruangan namun akan menjadi cairan kental ketika dipanaskan dengan suhu yang hanya beberapa ratus derajat. Karena sifatnya ini, material jenis ini mudah dan murah dibentuk menjadi produk. Material ini juga dapat dipanaskan dan didinginkan secara berulang yang tidak berdampak signifikan terhadap kualitas material.
2. Polimer *thermosetting* atau thermoset, material ini tidak dapat di panaskan secara berulang seperti polimer thermoplastik. Saat awal pemanasan material ini akan melunak dan mengalir ke cetakan, tetapi suhu yang sangat tinggi dapat menyebabkan reaksi kimia yang mengeraskan material menjadi padatan yang tidak dapat dicairkan.
3. Elastomer atau karet adalah polimer yang memiliki kemampuan elastisitas tinggi ketika diberikan tegangan mekanik yang relatif rendah. Beberapa elastomer dapat direntangkan dan tidak dapat kembali ke bentuk aslinya. Material ini memiliki struktur molekul yang mirip dengan thermoset walaupun berbeda sifat.

2.8.1 Material *Cast Nylon*

Cast nylon termasuk polimer *thermoplastic*. Nylon adalah material yang kuat, memiliki elastisitas tinggi, tahan abrasi, dan keras. Nylon dalam bentuk solid dibuat menjadi komponen mesin seperti screw dan gears. Spesifikasi sifat mekanik material nylon, yaitu:

- Densitas : 1,14 gr/cm³
- Modulus elastisitas : 25%
- *Tensile strength at yield* : 76 MPa
- *Tensile strain at break* : 25%
- Temperatur leleh : 260 °C

Sumber : Lubis (2014)



Gambar 2.12 Material *Cast Nylon*

Sumber : Bhuptani and Prajapati (2013:3)

2.9 Hipotesis

step over scanning mempengaruhi kualitas hasil manufaktur suatu produk (*camshaft*). Semakin kecil *step over scanning* menghasilkan resolusi CAD model yang tinggi karena permukaan benda kerja yang terkena sinar laser akan semakin banyak sehingga geometri dimensi benda kerja pada proses permesinan semakin teliti.