

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Toolpath adalah arah pergerakan *cutter* yang dapat mempengaruhi waktu permesinan secara nyata. Pergerakan *toolpath* terjadi karena besar kecepatan dan arah perubahan pada gerakan mesin CNC yang merupakan hasil penelitian Monreal dan Rodriquea (2003). Ada banyak jenis *toolpath* sesuai kegunaannya masing-masing. Menurut Souza dkk (2014) *toolpath* yang umum digunakan pada optimasi manufaktur berbasis *computer aided manufacturing (CAM)* adalah *zig-zag or raster curves, countour curves, spiral curves, space filling curves, sequential generated curves*, dan *radial curves*. Pada *software* CAM terdapat sebuah *strategy pra toolpath* yang masih jarang penggunaannya, yaitu *strategy pra toolpath leads and links* yang sebenarnya memiliki fungsi untuk mengatur gerakan *cutter* saat akan mendekati dan meninggalkan benda kerja. Hal tersebut dapat memberikan keuntungan bagi waktu permesinan serta kehalusan benda.

Penelitian mengenai *insole shoe orthotic* yang telah dilakukan oleh Anggoro, P.W. dkk (2016a), Anggoro, P.W. dkk (2016b), Anggoro, P.W. dkk (2016c) dan Bawono, B. dkk (2016), semua sudah melakukan pembuatan *design* serta proses manufaktur *insole shoe orthotic*, tetapi belum ada yang melakukan pengaturan lebih lanjut untuk *strategy pra toolpath leads and links*. Dari hasil diskusi dengan tim riset *grup CIBIO3M* maka diputuskan penelitian ini akan lebih berfokus pada penggunaan *Lead and links* dengan obyek *insole shoe orthotic*.

Anggoro, P.W. dkk (2016a) melakukan penelitian mengenai strategi optimisasi *parameter* pada mesin *milling CNC Roland Modela MDX – 40R* untuk pembuatan kehalusan permukaan dengan objek *insole shoe orthotic* berbahan *EVA Rubber Foam*. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa *Taguchi method* dimana parameter yang digunakan ada empat yaitu *speed, feed, depth of cut*, dan *types of milling cutter*. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian tersebut diambil dari hasil ANOVA yang memperlihatkan bahwa *depth of cut* serta *type cutter* memiliki pengaruh besar terhadap kehalusan permukaan *insole shoe orthotic* serta didapatkan parameter yang optimal yaitu 14,500 rpm, *cutter feed* sebesar 2000mm/min, DoC sebesar 2mm dan *type of cutter* adalah *end mill SECO* dengan $R_a = 2 \mu\text{m}$. Penelitian ini menggunakan bentuk kaki orang normal serta belum ada penambahan pengaturan *strategy pra toolpath leads and links*.

Anggoro, P.W. dkk (2016b) melakukan sebuah penelitian mengenai *reverse innovative design* dari *3D mesh* menjadi *3D model insole shoe orthotic for deformities people*. Model geometri dari kaki dibuat dari produk *insole shoe orthotic* memiliki kemiripan dengan kontur atau relief kaki cacat yang dapat dideskripsikan dengan detail dari *3D mesh* dan *3D solid*. Penelitian ini menggunakan hasil *scan* kaki orang Indonesia dengan umur antara 50 hingga 70 dengan berat rata-rata 50-80kg dan memiliki kaki yang cacat. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah data berupa gambar 3D serta variasi gambar dari hasil *scan* dan hasil proses *machining*. Dan dapat disimpulkan bahwa *RID method* dapat diaplikasikan pada produk *insole shoe orthotic*.

Anggoro, P.W. dkk (2016c) melakukan penelitian tentang optimisasi *cutting parameter condition* pada mesin CNC untuk proses manufaktur *insole shoe orthotic for diabetic patients* dengan *Taguchi method*. Dari penelitian tersebut diambil kesimpulan desain yang paling optimum untuk pasien 1 dengan *strategy finishing raster 45°* pada enam kali percobaan (*spindle speed 15,000 RPM, feeding 1000 mm/rotation, step over 0.2 mm*), dan pasien 2 dengan *strategy step and shallow* pada delapan percobaan (*spindle speed 14,000 RPM, feeding 800 mm/rotation, step over 0.2 mm*). Sedangkan untuk nilai kehalusan permukaan pada kedua pasien adalah 0,0060 mm (6 μ m). Untuk penelitian ini sudah dilakukan pengaturan lebih lanjut pada *strategy pra toolpath leads and links* tetapi hanya satu dan tidak seluruh dilakukan pada seluruh penelitian.

Bawono, B. dkk (2016) melakukan penelitian tentang optimalisasi parameter proses manufaktur produk *insole shoe orthotic diabetes* untuk pasien dengan resiko tinggi. Penggunaan *Reverse Innovative Design (RID)* pada *insole shoe orthotic* sebagai langkah pada penelitian ini membuat waktu desain lebih cepat dan proses manufaktur produk dapat sesuai dengan kualitas permukaan yang diinginkan oleh pasien. Penelitian ini menggunakan beberapa *design insole* yang berbeda-beda tetapi dikerjakan dengan jenis material yang sama yaitu *eva rubber*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa desain *insole shoe orthotic diabetes type 0,75mm* merupakan desain yang paling optimal dengan *surface roughness* mendekati 0,0069 mm dan waktu pengerjaan berkisar 4,20 jam untuk kedua pasien. Penelitian ini telah menggunakan pengaturan *strategy pra toolpath leads and links* tetapi hanya satu dan tidak menyeluruh.

Masmiati dkk (2012) melakukan penelitian tentang pengoptimalan parameter potong untuk kualitas *surface* yang lebih baik di 2,5D menggunakan *End Mill*. Penelitian ini difokuskan pada pengoptimalan parameter pemotongan dengan memanfaatkan titanium yang dilapisi karbida pada *end mill*. Parameter yang digunakan adalah permukaan sudut miring, aksial kedalaman potong, kecepatan *spindle*, dan *feed rate*. Metode yang digunakan adalah *Taguchi method*, dimana dari hasil penelitian didapatkan bahwa *depth of cut* memberikan efek yang lebih signifikan pada hasilnya.

Masmiati dan Sarhan (2015) melakukan penelitian tentang optimasi parameter pemotongan dengan kecenderungan *end milling* untuk meminimalkan *surface residual stress* dengan menggunakan *Taguchi*. Penelitian ini berfokus pada menyelidiki tentang efek dari permukaan sudut kemiringan mesin, DoC, *spindle speed* dan *feed rate* untuk permukaan yang lebih baik dimana *end mill* berbahan titanium yang dilapisi karbida. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa sudut kemiringan permukaan mesin merupakan salah satu faktor yang memberikan efek paling besar terhadap obyek yang diteliti yaitu *microhardness* dan *residual stress*.

Yao dan Gupta (2004) meneliti tentang pembangkitan alur *cutter* untuk 2,5D *Milling* dengan mengkombinasikan beberapa pola *cutter* yang berbeda. Pada penelitian ini alur pemotongan yang berbeda secara sistematis dianalisis dan membahas beberapa *heuristic* yang ada untuk memilih pola alur *cutter*. Umumnya pembangkitan alur *cutter* pada komputer tidak terlalu cepat. Manfaat yang ada dari pembangkitan alur *cutter* yang tepat adalah pengurangan waktu permesinan dan peningkatan keseluruhan proses permesinan.

Kuram dan Ozcelik (2013) meneliti tentang optimisasi dengan menggunakan *Taguchi* berbasis *grey relational analysis* untuk *micro milling*. Tahapan pertama yang dilakukan menggunakan *Taguchi method* dimana yang di investigasi adalah *spindle speed*, *feed per tooth* dan *dept of cut*, *force* dan *surface roughness*. Semua data yang dikumpulkan dari hasil eksperimen digunakan untuk merumuskan model orde pertama dengan interaksi. Semua respon yang didapat diolah menggunakan ANOVA dan dioptimalkan secara bersamaan menggunakan *grey relational analysis*. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil kombinasi yang optimum adalah *spindle* 10.000rpm, *feed per tooth* 5 *lm/tooth* dan DoC 100 *lm*.

Park dan Chung (2002) melakukan sebuah penelitian tentang *offset toolpath linking* untuk *pocket machining*. Pada penelitian tersebut dikatakan bahwa *toolpath*

linking dapat memberikan efek serius untuk performansi mesin. Penelitian ini menggunakan struktur data yang disebut TPE-net, dimana TPE-net ini memberikan informasi pada hubungan *parent/child* sepanjang *toolpath elements*. Penggunaan TPE-net dapat memberikan keunggulan yaitu meningkatkan produktivitas dari *toolpath* itu penting untuk mengurangi angka dari *tool retractions*, karena *tool retraction* tidak menyumbangkan hasil yang maksimal pada benda kerja.

2.2. Penelitian sekarang

Berdasarkan jurnal penelitian yang telah dijelaskan pada sub bab 2.1 yaitu penelitian oleh Anggoro, P.W. dkk (2016a), Anggoro, P.W. dkk (2016b), Anggoro, P.W. dkk (2016c) dan Bawono, B. dkk (2016), bahwa penelitian diatas sudah dapat menghasilkan produk *insole shoe orthotic* sesuai dengan permintaan *customer* dari sisi kehalusan permukaan (Ra) dan waktu pengerjaan yang berkisar 4-6 jam, namun hal ini masih dapat dioptimalkan lagi dengan memanfaatkan pemakaian *strategy pra toolpath leads and links* pada proses optimasi manufaktur sehingga waktu pengerjaan yang diharapkan bisa berkurang sampai 30%. *Orthogonal array* yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya di optimasi manufaktur *eva rubber foam* untuk produk *insole shoe orthotic* berbeda dengan yang dikerjakan saat ini. Perbedaan tersebut disebabkan karena peneliti sebelumnya hanya memasukkan satu jenis *strategy pra toolpath leads and links*. *Orthogonal array* yang akan dilakukan saat ini akan memasukkan salah satu faktornya yaitu lima jenis *strategy pra toolpath leads and links*. Oleh sebab itu penelitian ini akan melakukan tentang pemilihan *strategy pra toolpath lead and links* dengan objek *insole shoe orthotic* menggunakan material *EVA Rubber Foam* yang diproses dengan mesin CNC Roland Modela MDX – 40. Penelitian diawali dengan pembuatan *design* benda menggunakan *software* CAD yaitu *PowerShape 2016* dan dilanjutkan dengan *software* CAM berupa *PowerMill 2016* dimana pada *software* ini akan diatur *strategy toolpath lead and links* yang dapat mengatur hasil kehalusan permukaan. Penelitian ini akan mengatur *strategy pra toolpath lead and links* pada proses *finishing* dimana terfokus pada pengaturan *1st choice Lead in* dan *Lead out* sehingga nantinya akan didapatkan kehalusan permukaan yang lebih baik (nilai *roughness average* tinggi) sesuai dengan tujuan proses *finishing* serta dapat membuat waktu pemesinan akan lebih cepat, sesuai dengan tujuan proses *roughing*. Penelitian ini akan menggunakan metode berupa Metode *Desain of*

Experiment Taguchi. Metode ini digunakan untuk menentukan kombinasi eksperimen optimal yang akan dilakukan. Pada proses permesinan *cutter tool* yang digunakan terdiri dari 2 macam yaitu *end milling seco 93060-F* dan *JS533060D1B. 0Z3-NXT to ballnose* dengan harapan bisa mendapatkan *cutting parameters condition* dan waktu pemesinan simulasi dan real yang optimal pada proses manufaktur *insole shoe orthotic* dengan mesin *CNC Roland Modela MDX – 40*.

2.3. Dasar Teori

Kegiatan penelitian untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah yang ada, mengacu pada referensi-referensi dari teori-teori sebelumnya yang sudah ada dan dikembangkan lebih lanjut agar dapat menentukan *strategy pra toolpath leads and links* yang terbaik. Dasar teori yang digunakan akan dijabarkan dalam sub bab berikut:

2.3.1. Elastomers dan EVA

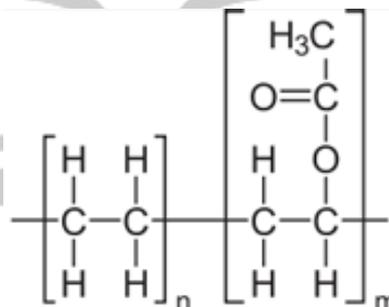
Elastomers merupakan istilah umum untuk kelompok polimer dengan beberapa karakter umum, seperti elastisitas tinggi, *viscoelasticity* dan *glasstransition temperature* yang jauh dibawah suhu ruangan. *Rubber* atau *Elastomers* adalah jenis *polimer* yang ketika mengalami regangan yang besar dapat kembali dengan cepat untuk mendekati bentuk aslinya. *Elastomers* dapat memanjang sampai beberapa ratus persen bahkan dengan penerapan tekanan yang relatif kecil (Zang, 2004).

Adapun pengertian EVA menurut *Indonesian Natural Rubber (2011)* menjelaskan bahwa, EVA berasal dari kata *Etilena-vinil-asetat* yang sering disebut juga *poli (etilena-vinil-asetat)*. Secara umum terdapat tiga jenis EVA kopolimer, yang berbeda terdapat pada konten *vinil asetat nya (VA)* dan cara bahan yang digunakan. Jenis pertama yaitu EVA kopolimer berdasarkan proporsi YA yang rendah sekitar 4%. Jenis ini biasa disebut *vinil asetat* diubah menjadi *polyethylene*. *Polyethylene* ini merupakan *kopolimer* dan diproses sebagai bahan termoplastik seperti *polyethylene* dengan kepadatan rendah. Jenis pertama ini memiliki sifat dari *polyethylene low density* tetapi meningkatkan *gloss* (berguna untuk film), kelembutan yang baik serta fleksibilitas yang baik serta dianggap bahan *non toksik*.

Jenis yang kedua adalah EVA kopolimer yang didasarkan pada proporsi konten VA sekitar 4% hingga 30%. Jenis ini disebut sebagai *termoplastik etilen-vinil aasetat kopolimer* dan merupakan bahan *elastomer termoplastik*. EVA jenis kedua ini tidak divulkanisir tetapi memiliki beberapa sifat dari karet, memiliki sifat suhu rendah yang baik. Dengan sekitar 11% VA yang dimiliki jenis ini dapat digunakan sebagai perekat meleleh panas.

Dan yang terakhir adalah jenis EVA kopolimer dengan konten VA lebih besar dari 40% yang disebut sebagai *EVA rubber*. Material ini memiliki sifat *gloss*, tangguh akan suhu rendah, ketahanan stress-retak, sifat tahan air panas meleleh perekat, dan ketahanan terhadap radiasi UV. Selain itu EVA memiliki bau cuka yang khas. Berbagai produk telah menggunakan aplikasi material EVA *rubber* seperti aplikasi dalam produk kelistrikan, produk biomedis sebagai perangkat pengiriman obat.

Selain tiga jenis tersebut dikenal pula *EVA foam*, dimana material ini umumnya digunakan sebagai bantalan dalam peralatan olahraga seperti sepatu ski, sadel sepeda, bantalan hoki, sarung tinju, campuran helm, dll. EVA dipilih dalam pembuatan sepatu atau sandal dikarenakan bahannya ringan, mudah untuk membentuk, tidak berbau, mengkilap dan lebih murah dibandingkan dengan karet alam. Semakin berkembangnya zaman, sekarang material EVA digunakan pula dalam bidang *orthotic*.



Gambar 2.1 Komposisi Kimia EVA

Sumber: (www.wikipedia.com – *Etilena vinyl aasetat*)

2.3.2. Numerical Control (NC)

Numerical Control (NC) adalah suatu bentuk dari sistem terotomasi yang menggunakan *variable input* untuk mengontrol jalanya peralatan produksi. *Variable input* ini berupa serangkaian kode yang berisi angka, huruf dengan simbol yang mendefinisikan sebuah program intruksi untuk menjalankan suatu pekerjaan.

Program instruksi akan berubah sesuai 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.

2.3.3. Mesin CNC Roland Model MDX - 40

CNC merupakan singkatan dari *Computer Numerical Control* yaitu hasil dari pengembangan dari *Numerical Control* dimana mesin ini merupakan peralatan elektromekanikal yang membaca dan mengintruksikan program instruksi dan mengubahnya menjadi tindakan mekanikal pada peralatan mesin dengan menggunakan *microprocessor* sebagai unit pengontrol. Mesin Roland Model MDX - 40 adalah sebuah "*Desktop Milling*" yang menerapkan sistem *Subtractive Rapid Prototyping (SRP)*. Mesini ini berfungsi sebagai mesin CNC yang khusus digunakan untuk membuat prototipe produk.



Gambar 2.2. Roland Model MDX - 406

(sumber: www.rolanddg.com)

2.3.4. *Cutting Tool*

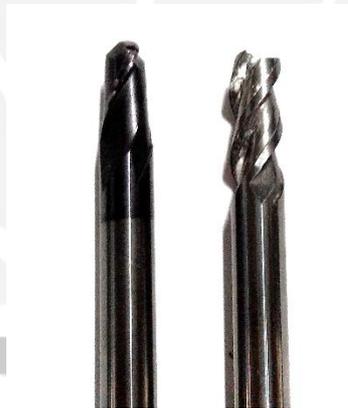
Hal yang tidak kalah penting adalah *tooling* atau pisau pahat yang digunakan dalam proses *milling* pada mesin CNC Roland Model MDX 40R. *Tooling* yang

digunakan dalam proses pemesinan *insole shoe orthotic* ini adalah *93060F* untuk *EndMill cutter* dan *JS533060D1B. 0Z3-NXT* untuk *BallNose cutter*, dengan masing - masing data *tooling* sebagai berikut:

Tabel 2.1. Data Tooling

Sumber: (Catalog SOLID END MILS SECO)

Nama Tooling	D _{mm} (mm)	Z _n (mm)	l ₂ (mm)	D _c (mm)
<i>93060F</i> untuk <i>EndMill cutter</i> (Seco)	6	2	75	6
<i>JS533060D1B. 0Z3-NXT</i> to <i>BallNose cutter</i> (seco)	6	2	75	6



Gambar 2.3. Ballnose cutter dan End mill cutter

Pemilihan *tooling ballnose* dalam proses *finishing* karena *ballnose* merupakan solusi untuk pengerjaan *finishing surface countouring*. Jenis *cutter* ini memiliki sudut mata *tip radius* yang bagus dalam proses pemakanan sehingga menghasilkan permukaan yang halus serta saat *filleting* pada benda kerja.

Karakteristik yang harus dimiliki oleh sebuah *tooling* meliputi:

- Hardness*, merupakan kekuatan dan ketahanan dari *tool* terhadap kenaikan *temperature* pada saat *cutting*.
- Toughnes*, ketahanan (*impact force*) dari *tool* untuk melakukan pemakanan terhadap material produk.
- Wear Resistance*, *life cycle* produk yang tinggi.
- Chemical stability* tidak ada reaksi kimia pada saat terjadi kontak antara *tool* dengan material produk.

2.3.5. CAD CAM

CAD adalah teknologi yang berkaitan dengan penggunaan sistem komputer untuk membantu dalam sebuah penciptaan, modifikasi, analisis, dan optimasi desain serta teknologi yang melibatkan sistem komputer yang merencanakan, mengelola dan mengendalikan operasi manufaktur melalui antarmuka komputer dengan sumber daya produksi. Penggunaan CAD adalah untuk mendefinisikan geometri desain bagian mekanik, perakitan produk, struktur arsitektur, sirkuit elektronik, tata letak bangunan dll.

CAM merupakan proses pengerjaan dimana operator akan mengerjakan gambar dari sebuah produk dan membuat *toolpath strategy*. Pemilihan *toolpath strategy* sendiri terdiri dari bermacam-macam. Zaman modern ini banyak perusahaan yang menawarkan *software* CAD dan CAM salah satunya adalah DELCAM. Mereka menawarkan berbagai *software* untuk memudahkan pekerjaan yang berhubungan dengan CAD dan CAM.

2.3.6. Software CAD PowerShape

Software CAD keluaran DELCAM yang satu ini bernama *PowerShape*. DELCAM telah banyak mengeluarkan *software* untuk *engineer* baik daam mempermudah pekerjaan yang berhubungan dengan CAD ataupun CAM. *Software PowerShape* menawarkan fungsi-fungsi baru untuk memanipulasi bentuk dari model CAD, untuk membangun sebuah *wireframe* serta membuat perubahan menyeluruh dengan adanya fitur operasi *solid* dan *editing*. Filosofi yang dipegang oleh *software* ini adalah "*simple to create, easy to modify*". Dalam *PowerShape* terdapat modul *basic functionality* dan *several specialized*; PS-Drafts (untuk membuat gambar secara detail), PS-Mold (untuk membuat mold tool), PS-Electrode (*a wizard for generating electrode from a solid model*), PS-Assembly (untuk memodelkan proses perakitan dari gambar kerja *solid*) dan PS-Render (untuk menampilkan gambar dengan kualitas visual yang baik).

2.3.7. Software CAM PowerMill

Software PowerMill merupakan *software* yang digunakan untuk melakukan simulasi proses permesinan. Pada *software* ini perlu adanya pengaturan dari bentuk *raw material*, ukuran, *cutter*, cutting tool, *toolpath strategy*, serta *toolpath* lainnya. Semua hal yang diatur pada proses CAM akan mempengaruhi hasil dari permesinan nantinya, sehingga seluruh pengaturan harus disamakan dengan keadaan *real* saat permesinan nanti berlangsung. *Software PowerMill* ini

merupakan salah satu *software* keluaran DELCAM. Dimana nantinya *software* ini memiliki output berupa *NC CODE* yang akan dibaca oleh mesin CNC.

Pada penelitian ini digunakan beberapa faktor eksperimen yang merupakan bagian dari parameter di dalam *software PowerMill*. Faktor-faktor eksperimennya terdiri dari:

a. *Toolpath Strategy Finishing*

i. *Raster Finishing*

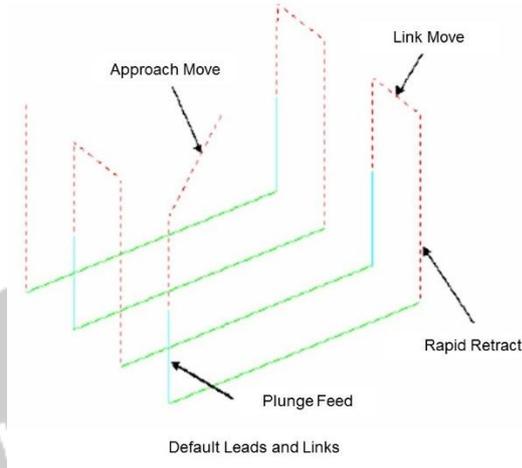
Toolpath Raster Finishing merupakan salah satu *toolpath* yang digunakan dalam proses *semi finishing* serta *finishing*. *Toolpath* ini memiliki pola pergerakan *cutter* dimana bentuk pergerakannya adalah melakukan pemakanan dari kiri ke kanan hingga membentuk benda. Kelemahan yang dimiliki oleh *toolpath* ini adalah proses pengerjaan pemakanan ke segala arah dan kurang teratur.

ii. *Steep and Shallow Finishing*

Toolpath steep and shallow adalah pengembangan dari gabungan dua *toolpath strategy* yaitu *3D Offset* dan *Constant Z*. *Toolpath* ini dapat digunakan sebagai *toolpath alternative* dalam melakukan simulasi pemesinan. Penggabungan *3D Offset* serta *Constant Z* dipilih dalam penggabungan *toolpath* ini karena sudut ambang yang dimilikinya, sehingga pada *toolpath alternative* ini pemakanan pada bagian irisan dari sudut yang tidak dapat dikerjakan oleh *3D offset* serta *constant Z* dapat teratasi.

b. *Leads and Links*

Leads and links adalah *strategy pra toolpath* untuk mengatur mengenai cara awal dan akhir masuknya alat potong. *Strategy pra toolpath lead and links* hanya berpengaruh pada operasi *finishing*. *Leads* sendiri terbagi menjadi dua yang akan diatur yaitu *lead in* dan *lead out* serta mengatur *links*.



Gambar 2.4. Pegerakan *Lead and links*

Sumber: (*PowerMill Training Course* hal 5-1)

c. *Step Over*

Step over merupakan gerak bergesernya *cutter* atau alat potong ke sumbu X atau sumbu Y. Faktor ini ditentukan oleh diameter dari alat potong atau *cutter* dengan satuan mm.

d. *Spindle speed*

Spindle speed adalah banyaknya putaran yang dilakukan oleh *spindle* dalam satu menit. Satuan dari kecepatan putar *spindle* adalah *Rotation per Minute (RPM)*. RPM ditentukan oleh diameter dari alat potong dan tingkat kekerasan dari metarial benda kerja.

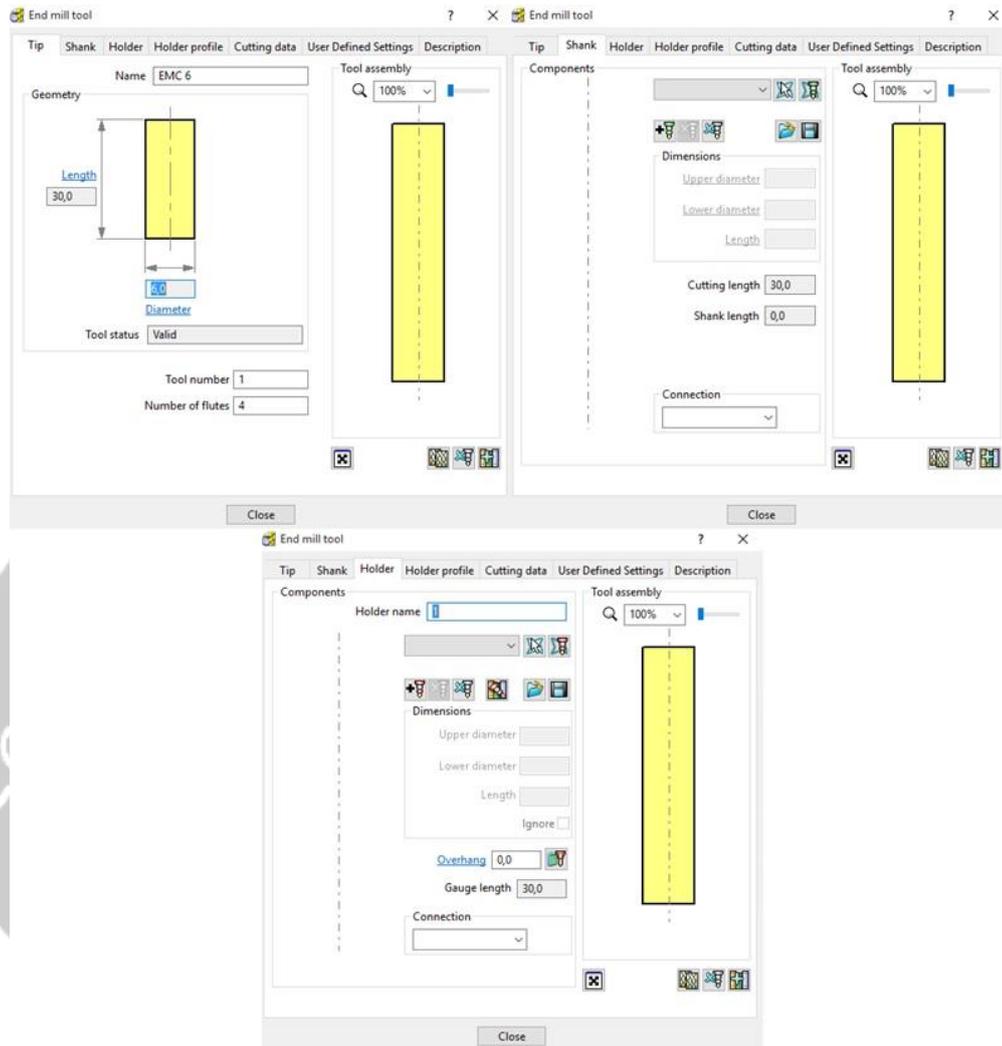
e. *Feeding*

Feeding adalah kecepatan alat potong untuk melakukan pemakanan terhadap benda kerja. Besaran *feeding* dapat ditentukan dari alat potong yang digunakan dan tingkat kekerasan dari benda kerja. Satuan dari *feeding* adalah mm/menit.

2.3.8. *Cutter*

Cutter atau alat pahat merupakan alat potong dalam sebuah proses permesinan. Pemilihan sebuah *cutter* pada proses simulasi sangatlah penting, agar sesuai dengan proses yang akan dilaksanakan di proses permesinan. Pengaturan *cutter* pada simulasi permesinan di *PowerMill* haruslah sesuai dengan *cutter* yang akan digunakan pada proses permesinan asli, hal ini dilakukan agar hasil dari proses permesinan tidak cacat dan menghasilkan produk yang bagus. Pada penelitian ini *cutter* yang akan digunakan terdiri dari dua jenis yaitu *end mill cutter* dan *ball nose cutter*. Berdasarkan dari pembahasan pada bab 5 yang diambil dari salah satu

percobaan (percobaan pertama) pengaturan *cutter* di *PowerMill* dilakukan dengan beberapa langkah. Langkah-langkah pengaturan *cutter* adalah memilih jenis *cutter* yang akan digunakan, mengisi *form tip*, *form shank*, dan *form holder*. Dimulai dari *form tip*, *form* ini mengenai spesifikasi dari *cutter*, sehingga yang perlu diisi pada bagian ini adalah nama (nama *cutter*), *length* (panjang *tip*), diameter (diameter dari *cutter*), *tool number* (urutan *cutter* pada *magazine* mesin), *number of flutes* (jumlah mata potong). *Form* selanjutnya adalah *form shank* dimana *form* ini berisi tentang diameter atas dan bawah dari *shank* sebuah *cutter* sehingga yang harus diisi adalah *upper* diameter (diameter bagian atas), *lower* diameter (diameter bagian bawah), *length* (panjang dari *shank*). Untuk *form* yang terakhir adalah *form holder* dimana pada bagian ini kita harus mengisikan tentang ukuran *holder* yang hendak digunakan, sehingga yang harus diisi adalah *upper* diameter (diameter bagian atas), *lower* diameter (diameter bagian bawah), *length* (panjang *holder*), *overhang* (panjang *cutter* yang keluar dari *holder*). Berikut adalah pengaturan *EndMill cutter* Ø6mm pada percobaan pertama:



Gambar 2.5. Pengaturan EndMill Cutter Ø6 pada Percobaan Pertama

Selain *EndMill cutter* terdapat satu jenis *cutter* lagi yang digunakan pada penelitian ini, yaitu jenis *Cutter Ball Nose Ø6mm*. *Form* yang harus diisi pada jenis kedua ini sama dengan *cutter* pertama. Yang membedakan hanya jenisnya saja. Berikut cara pengaturan *Cutter Ball Nose Ø6mm* pada percobaan pertama:

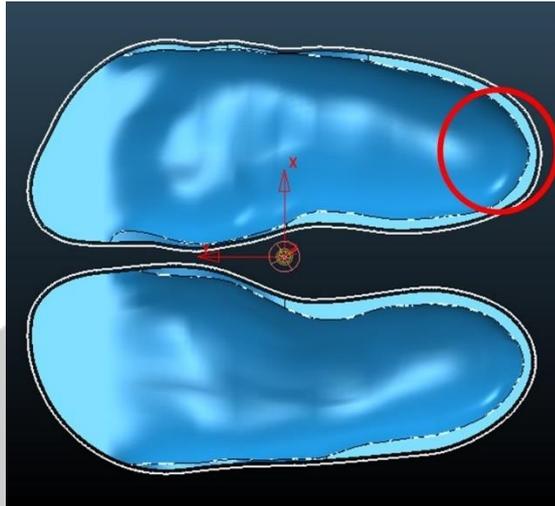


Gambar 2.6. Pengaturan *Ball Nose Cutter* Ø6 pada Percobaan Pertama

2.3.9. Strategy Pra Toolpath Leads and Links

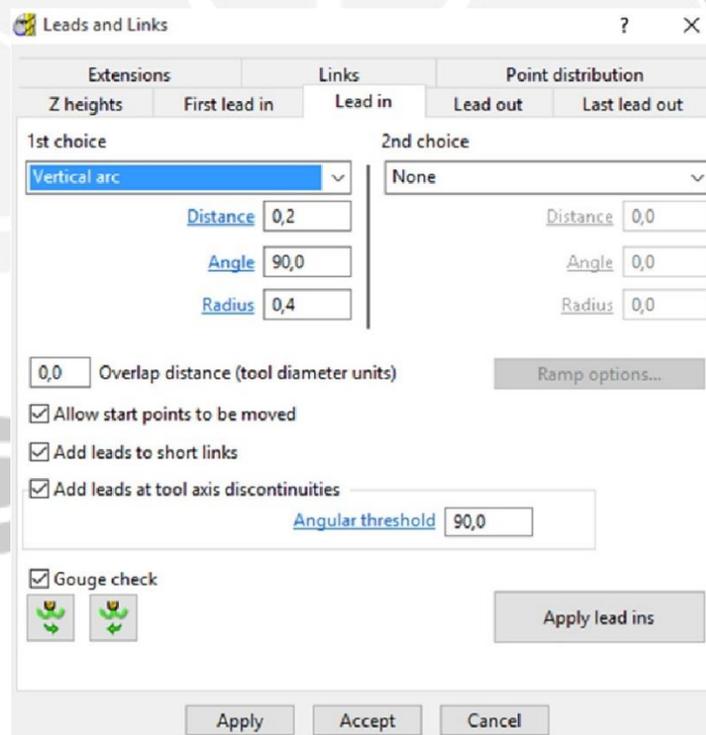
Strategy pra toolpath Leads and links adalah *strategy* untuk mengatur mengenai cara awal dan akhir masuknya alat potong. *Strategy pra toolpath lead and links* ini hanya berpengaruh pada operasi *finishing* yang dapat diatur saat pembuatan simulasi dengan *software CAM PowerMill 2016*. *Strategy* ini terbagi menjadi delapan bagian yaitu *Extensions*, *Links*, *Point distribution*, *Z heght*, *first lead in*, *Lead in*, *Lead out* serta *last lead out*. Setiap bagian memiliki pengaturannya masing-masing yang akan memberikan efek yang berbeda-beda. Penelitian kali ini hanya akan berfokus pada bagian *Lead in* dan *Lead out 1st choice*. Bagian pertama yang akan dibahas adalah *Lead in* dimana bagian ini terbagi lagi menjadi dua pengaturan utama yaitu *1st choice*, dan *2nd choice*. Penggunaan *1st choice* dan *2nd choice* memiliki fungsi seperti contoh berikut: *1st choice* dipilih *vertical arc*,

dan *2nd choice* dipilih *surface normal arc*. Pada saat simulasi benda, *lead in* pada bagian tertentu tidak dapat menggunakan *vertical arc*, maka secara otomatis *lead in* yang digunakan adalah *surface normal arc*. Tetapi pada penelitian ini tidak akan Bagian kedua yang dibahas adalah *Lead out*. Pada bagian ini bentuk *form* yang ditampilkan sama persis seperti pada *form Lead in*, hanya saja ini akan memberikan efek pada *Lead out* benda kerja. Jika tidak ingin mengatur satu persatu maka dapat dipilih salah satu dari dua tombol pada *form* yaitu *Lead in the same as Lead out* atau *Lead out the same as Lead in*, maka secara otomatis pada bagian *form lead in* akan sama dengan *lead out*. Pada *PowerMill 2016* terdapat beberapa jenis *Lead* yang dapat dipilih saat akan mengatur bagian *Lead in* dan *Lead out*. Jenis-jenis yang dapat dipilih adalah *none*, *surface normal arc*, *vertical arc*, *horizontal arc*, *horizontal arc left*, *horizontal arc right*, *extended move*, *boxed*, *straight*, *ramp*, dan *pocket centre*. Pada penelitian ini jenis *Leads* yang akan dijadikan faktor hanya lima jenis yaitu , *vertical arc*, *horizontal arc*, *extended move*, *straight*, dan *ramp*. Tetapi setelah dimasukkan kedalam minitab, pada hasil tabel *orthogonal array* hanya terpilih empat jenis yang sesuai dan cocok dalam penelitian tersebut. Keempat jenis tersebut adalah *vertical arc*, *horizontal arc*, *surface normal arc*, *extended move*, dan *straight*. Bentuk pergerakan *cutter* dengan menggunakan *strategy pra toolpath Lead in* dan *Lead out* perlu dilihat dengan cara melakukan pembesaran pada gambar. Perbesaran gambar akan dilakukan di bagian tungkai kaki. Sehingga seterusnya gambar akan diberikan pada daerah yang sama. Daerah yang diberi lingkaran merah adalah daerah yang akan di perbesar. Berikut gambar awal secara utuh pada *PowerMill*:



Gambar 2.7. Perbesaran Gambar pada Daerah Tunggak Kaki yang Diberi Lingkaran Merah

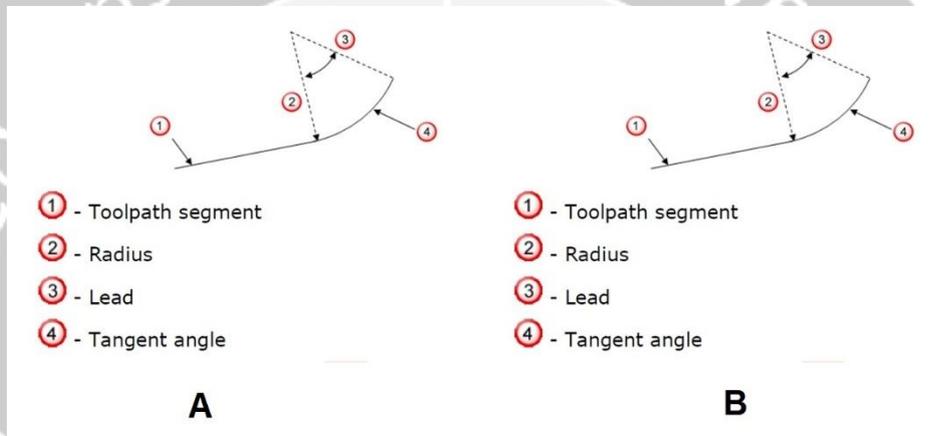
Tampilan *form Lead in* dan *Lead out* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.8. Contoh *Form Lead in* pada Percobaan Pertama

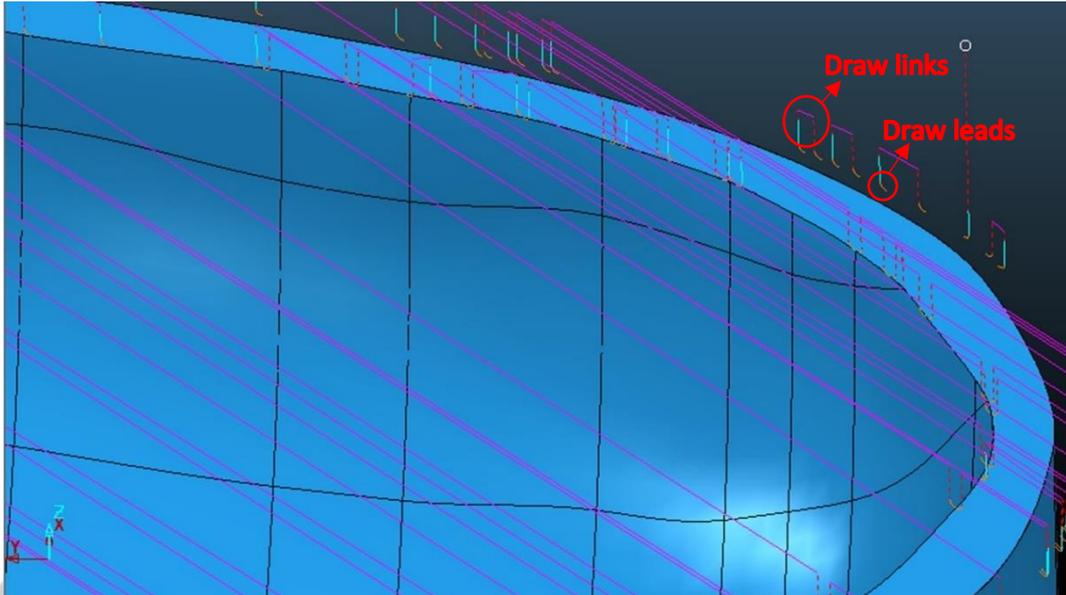
Lead pertama yang akan dibahas adalah *vertical arc*, jenis ini mengharuskan peneliti mengisi tiga bagian terlebih dahulu yaitu *distance*, *angle* dan *radius*. *Vertical arc* akan membuat gerakan melingkar dengan perpindahan ke bawah di awal serta naik pada setiap akhir jalur permesinan. Untuk *leads* kedua adalah

horizontal arc, dimana gerakannya hampir sama dengan gerakan pada jenis *vertical arc*. Perbedaan jenis *horizontal arc* adalah adanya gerakan melingkar pada bidang *horizontal*, berbeda dengan jenis *vertical arc* yang membuat gerakan melingkar saat melakukan gerakan menurun. Yang ketiga adalah *surface normal arc*, *lead ini akan* melakukan gerakan mengikuti bentuk *surface* yang ada pada benda kerja, sehingga hasil pergerakan akan berbeda-beda pada setiap bagian. Penjelasan untuk jenis *leads yang terakhir* adalah jenis *straight*. *Leads* jenis *straight* memiliki bentuk pergerakan seperti *horizontal arc* tetapi untuk jenis ini secara langsung membuat gerakan pemakanan lurus tanpa menggunakan *angle* dan *radius*.

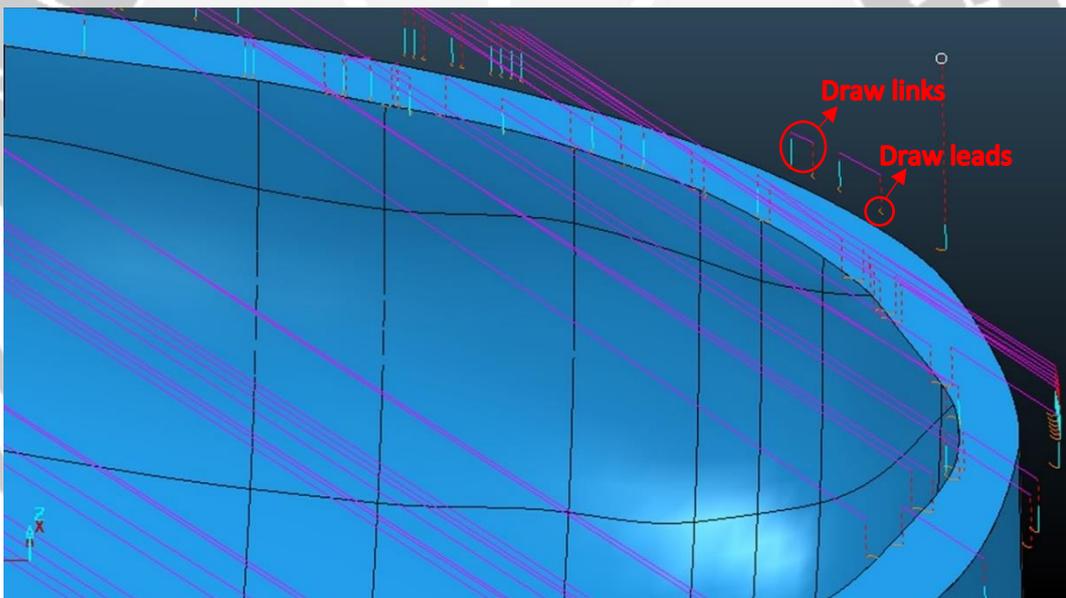


Gambar 2.9. Penjelasan gerakan strategy pra toolpath Vertical arc (A) dan Horizontal arc (B)

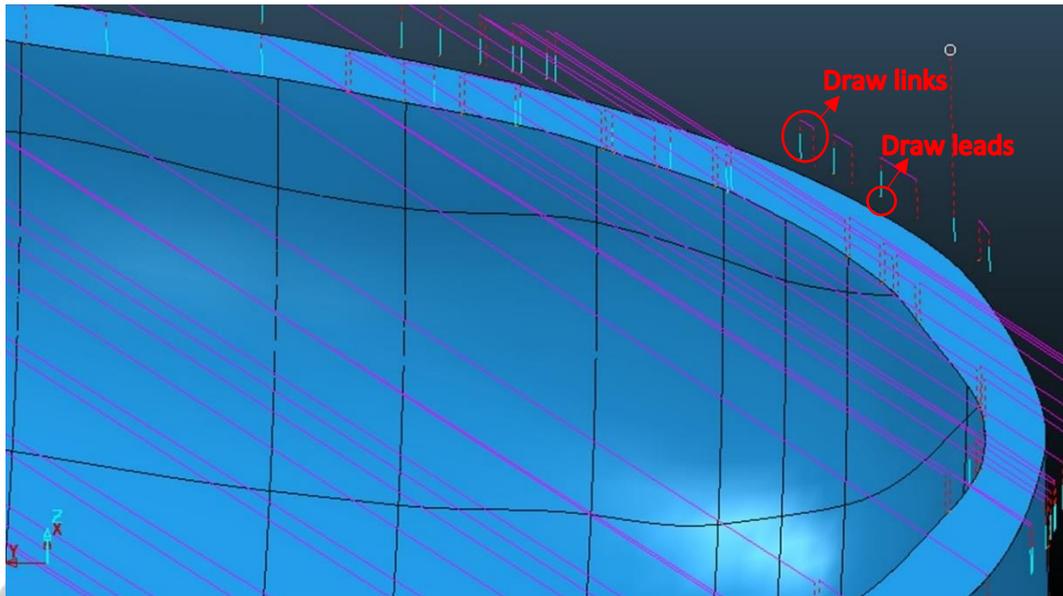
Sumber: (PowerMill Training Course hal 5-4 dan 5-6)



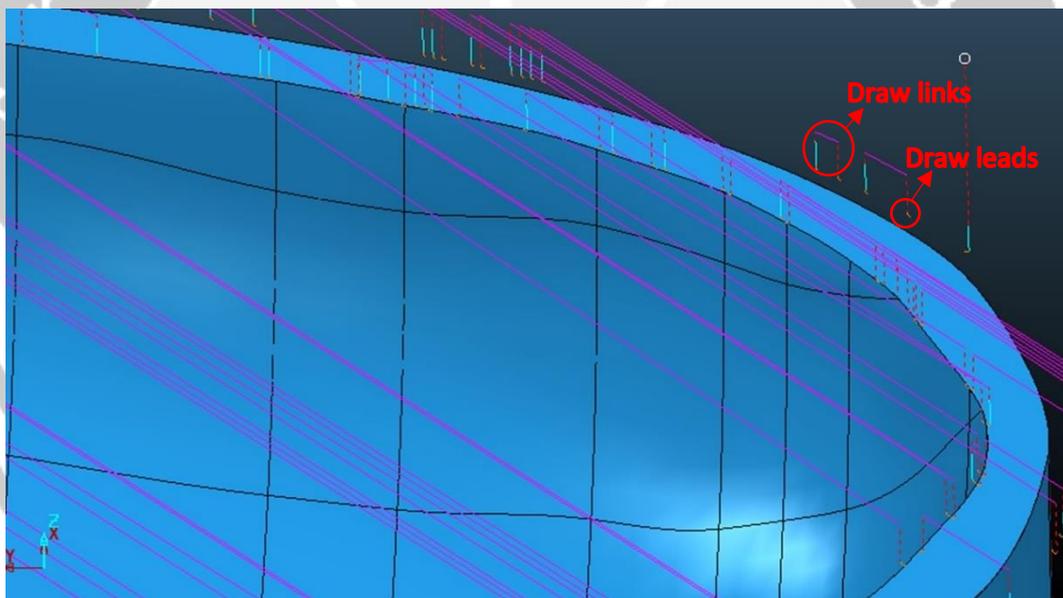
Gambar 2. 10 Bentuk *Draw Leads and Links* Jenis *Vertical Arc* pada Simulasi



Gambar 2.11. Bentuk *Draw Leads and Links* Jenis *Horizontal arc* pada Simulasi



Gambar 2.12. Draw Leads and Links Jenis Straight pada Simulasi



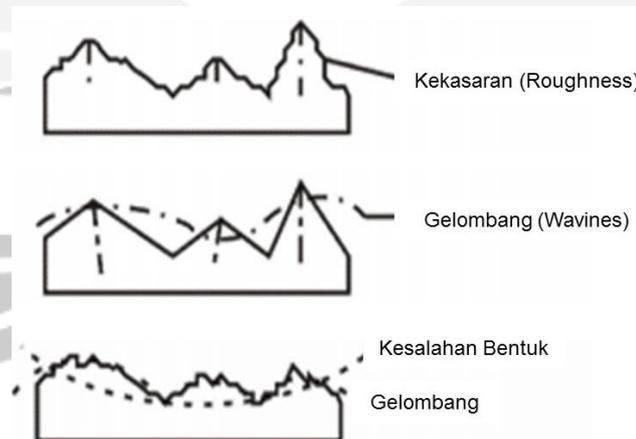
Gambar 2.13. Draw Leads and Links Jenis Surface Normal Arc pada Simulasi

Dari gambar 2.10 hingga 2.13 dapat dilihat terdapat tulisan *draw links* dan *draw links*. *Draw links* merupakan arah gerakan *cutter* yang menghubungkan antar gerak *leads*, sedangkan *draw leads* merupakan arah gerakan *leads*. Untuk garis yang berwarna ungu merupakan gerak *incremental* atau *link move*. Garis yang berwarna biru adalah gerak *plunging*, lalu untuk garis putus-putus berwarna merah merupakan gerak *full rapid*. Dalam lingkaran *draw leads* terdapat garis berwarna orange, garis tersebut merupakan garis *lead in* dan *lead out*, tergantung arah

gerakan menuju obyek atau meninggalkan obyek. Setiap jenis *leads and links* memiliki bentuk *draw leads and draw links* yang berbeda-beda.

2.3.10. *Roughness Surface*

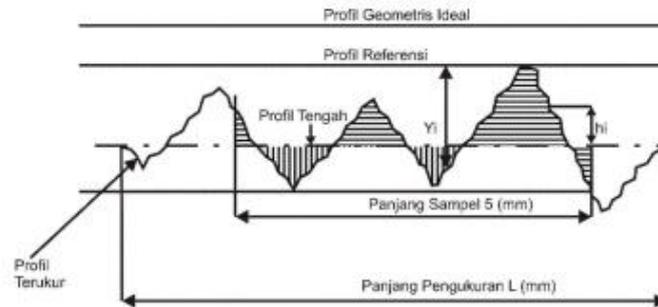
Kekasaran permukaan merupakan penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil. Pada ISO 1302-1978 definisi mengenai kekasaran permukaan digunakan untuk menerapkan harga rata-rata kekasaran permukaan. Pada dasarnya, permukaan dibedakan menjadi dua jenis yaitu kasar (*roughness*) dan bergelombang (*waviness*). Permukaan kasar adalah permukaan dengan bentuk gelombang pendek yang terjadi karena proses machining dari benda tersebut. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan alat potong yang tidak tajam ataupun kecepatan alat potong yang tidak tepat. Sedangkan permukaan bergelombang merupakan permukaan yang memiliki bentuk gelombang panjang dan tidak teratur. Hal tersebut dapat terjadi seperti karena adanya kesalahan proses *heat treatment* ataupun pengerindaan yang tidak tepat. Baik permukaan kasar ataupun permukaan bergeombang sudah sering kita rasakan menggunakan indera perasa kita yaitu jari. Untuk mengukur kekasaran pada benda selain menggunakan indera perasa, kita dapat menggunakan sebuah alat ukur seperti *roughness tester*.



Gambar 2.14. Kekasaran, Gelombang, Kesalahan Bentuk Permukaan

(Sumber: www.staff.uny.ac.id)

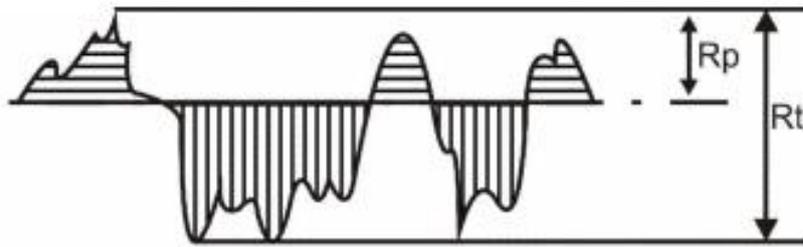
Berikut merupakan beberapa profil yang terdapat pada permukaan suatu benda kerja:



Gambar 2.15. Profil Suatu Permukaan

(Sumber: www.staff.uny.ac.id)

- a. Profil Geometris Ideal (*Geometrically Ideal Profile*)
 Profil ini adalah profil yang ideal dari suatu permukaan tetapi profil ini tidak mungkin dapat dicapai karena banyak faktor yang mempengaruhi dalam proses pengerjaan suatu benda kerja.
- b. Profil Referensi (*Reference Profile*)
 Profil permukaan ini digunakan sebagai referensi dalam menganalisa karakteristik permukaan benda kerja. Profil permukaan referensi hampir sama dengan profil permukaan
- c. Profil Terukur (*Measured Profile*)
 Profil terukur adalah profil permukaan benda kerja yang didapat dari hasil pengukuran permukaan. Profil inilah yang digunakan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan benda kerja hasil permesinan.
- d. Profil Dasar (*Root Profile*)
 Profil dasar adalah profil yang dijadikan referensi yang digeserkan ke bawah hingga tepat pada titik terendah pada profil terukur.
- e. Profil Tengah (*Centre Profile*)
 Profil tengah adalah profil yang berda di tengah-tengah posisi sehingga jumlah luas bagian atas profil tengah sampai pada profil terukur sama dengan jumlah luas bagian bawah profil tengah sampai pada profil terukur.
- f. Kedalaman Total (*Peak to Valley*), R_t
 Kedalaman total adalah jarak antara profil referensi sampai dengan profil dasar.
- g. Kedalaman Perataan (*Peak to Mean Line*), R_p
 Kedalaman perataan adalah jarak rata-rata dari profil referensi sampai pada profil terukur atau jarak antara profil tengah dengan profil referensi.



Gambar 2.16. Kedalaman Total dan Kedalaman Perataan

(Sumber: www.staff.uny.ac.id)

h. Kekasaran Rata-Rata Aritmetis (*Mean Roughness Index/Center Line Average*)

Ra

Kekasaran rata-rata adalah harga rata-rata secara aritmetis dari harga absolute antara profil terukur dengan profil tengah dari suatu permukaan benda kerja.

i. Toleransi Harga Ra

Toleransi harga Ra adalah kelas-kelas kekasaran yang terdapat pada permukaan suatu produk. Besarnya toleransi untuk Ra biasanya adalah antara 50% ke atas sampai 25% ke bawah. Satuan untuk kekasaran permukaan adalah μm . Tabel dibawah menunjukkan kelas-kelas dari harga kekasaran rata-rata permukaan.

Tabel 2.2. Toleransi Harga Kekasaran Rata-Rata Ra

(Sumber: www.staff.uny.ac.id)

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	Toleransi $N_{0.025}$ - $N_{0.25}$	Panjang sampel (mm)
N1	1	0.0025	0.02 – 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 – 0.08	
N3	4	0.1	0.08 – 0.15	0.25
N4	8	0.2	0.15 – 0.3	
N5	16	0.4	0.3 – 0.6	
N6	32	0.8	0.6 – 1.2	
N7	63	1.6	1.2 – 2.4	
N8	125	3.2	2.4 – 4.8	0.8
N9	250	6.3	4.8 – 9.6	
N10	500	12.5	9.6 – 18.75	2.5
N11	1000	25.0	18.75 – 37.5	
N12	2000	50.0	37.5 – 75.0	8

2.3.11. Roughness Tester

Kehalusan permukaan suatu benda dapat diukur menggunakan alat ukur yang disebut *surface roughness tester*. Setiap permukaan komponen suatu benda memiliki variasi baik struktur ataupun bentuk yang berbeda-beda. *Roughness* sendiri memiliki arti yaitu ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi

yang disebabkan oleh pengerjaan mesin. Nilai internasional dari kekasaran ini dinyatakan dalam satuan *roughness average* (Ra). Ra sendiri adalah rata-rata aritmatika dan penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah rata-rata. Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan *stylus* berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan sebagai alat *indicator* pengukur kekasaran permukaan benda uji. Prinsip kerja dari Surface Roughness adalah dengan menggunakan *transducer* dan diolah dengan *mikroprocessor*. Roughness Tester dapat digunakan di lantai di setiap posisi, *horizontal*, *vertikal* atau di mana pun. Ketika mengukur kekasaran permukaan dengan *roughness* meter, sensor ditempatkan pada permukaan dan kemudian meluncur sepanjang permukaan seragam dengan mengemudi mekanisme di dalam tester. Sensor mendapatkan kekasaran permukaan dengan probe tajam *built-in*. Instrumen *roughness* meter ini kompatibel dengan empat standar dunia yaitu ISO, DIN, ANSI, dan JIS sehingga tidak diragukan lagi dalam ketepatan dan keakuratan dalam pengukuran kekasaran.

2.3.12. Perancangan Eksperimen

Perancangan eksperimen digunakan untuk mempertahankan atau meningkatkan kualitas produk serta penentuan parameter-parameter terbaik/optimal. Definisi perancangan eksperimen adalah suatu rancangan eksperimen (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan (Sudjana, 2002). Perancangan eksperimen juga dapat diartikan suatu percobaan atau serangkaian percobaan dimana penyesuaian-penyesuaian tertentu dilakukan terhadap variabel input proses atau sistem sehingga dapat diteliti dan diidentifikasi sebab-sebab perubahan dari variabel output (Montgomery, 1991).

Eksperimen adalah tes atau sekumpulan tes yang membuat perubahan-perubahan yang berguna terhadap variabel input dari suatu proses atau sehingga kita dapat mengamati dan mengidentifikasi alasan-alasan perubahan tersebut yang dapat diamati pada respon output. Peranan yang dimiliki adalah dalam perancangan produk baru, pengembangan proses manufaktur, dan peningkatan proses. Secara umum, eksperimen digunakan untuk mempelajari *performansi* proses dan sistem.

2.3.13. Taguchi Method

Taguchi method merupakan suatu pendekatan terstruktur untuk menentukan kombinasi terbaik dalam menghasilkan produk berupa barang atau jasa. Salah satu ilmuwan Jepang yang bernama Genichi Taguchi, mengembangkan suatu metodologi dengan pendekatan yang berdasarkan pada DoE (*Design Of Experiments*) yaitu suatu metode untuk mengidentifikasi menurut banyaknya masukan (input) yang benar dan parameter untuk membuat suatu produk atau layanan berkualitas tinggi yang didambakan oleh pelanggan atau konsumen yang pada akhirnya disebut dengan *Taguchi method*. Genichi *Taguchi* mengembangkan suatu pendekatan desain dari perspektif desain yang sempurna (*robust*), dimana produk (barang atau jasa) harus dirancang bebas dari cacat (*defect*) dan berkualitas tinggi.

Genichi *Taguchi* memiliki ide mengenai *quality engineering* dimana tujuan desain kualitas diterapkan ke dalam setiap produk dan proses yang berhubungan. Kualitas diukur berdasarkan deviasi dari karakteristik terhadap nilai targetnya (Mitra, 1998). *Taguchi* memiliki pandangan bahwa kualitas berhubungan dengan biaya dan kerugian dalam unit moneter. Kerugian yang diderita mencakup pada proses produksinya dan kerugian yang diderita konsumen. Definisi kualitas menurut *Taguchi* adalah “*The quality of product is the (minimum) loss imparted by the product to society from the time the product is shipped*”, yang berarti bahwa kualitas suatu produk adalah kerugian minimum yang diberikan oleh suatu produk kepada masyarakat atau konsumen sejak mulai produk tersebut siap untuk dikirim kepada konsumen. Dari definisi tersebut maka terdapat sudut pandang yang baru dimana suatu kualitas tidak hanya pada proses produksi saja tetapi juga dikaitkan dengan biaya dan dikaitkan dengan kerugian kepada masyarakat (produsen dan konsumen). Tujuan dari fungsi kerugian *Taguchi* (*loss function*) adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi (Belavendram, 1995).

Orthogonal array merupakan suatu matrik yang terdiri dari susunan kolom serta baris. Setiap kolom pada *orthogonal array* adalah faktor yang dapat diubah sesuai dengan eksperimen. Dan setiap baris merupakan keadaan dimana keadaan tersebut mewakili faktor yang ada pada kolom. Sehingga isi dari baris dan kolom memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya. *Orthogonal array* adalah matrik yang seimbang yang tersusun dari beberapa level dan faktor, sehingga pengaruh antara level dan faktor memiliki keterkaitan dan tidak berbaur.

Orthogonal array memiliki fungsi untuk mendesain suatu eksperimen yang digunakan untuk menganalisis data percobaan. Berikut tabel standar untuk *orthogonal array* yang ditabulasi oleh *Taguchi* (Belavendram, 1995):

Tabel 2.3. Standar *Orthogonal Array*

Sumber: (Belavendram, 1995)

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Mixed-Level	
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^6 \times 3^7)$	
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^6 \times 4^9)$	
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^6$	$\times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^6$	$\times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^6$	$\times 3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^6$	$\times 5^{11})$

2.3.14. Analisis Data

Langkah yang harus dilakukan setelah mendapatkan data dari eksperimen adalah melakukan analisis data hasil eksperimen. Langkah ini merupakan langkah terakhir yang harus dilakukan dari rangkaian DoE. Pada analisis data dilakukan pengumpulan data dan pengolahan yang dilanjutkan dengan menampilkan dengan menggunakan *layout* tertentu sesuai dengan metode dan desain awal yang telah dipilih yang dilanjutkan dengan pengujian data.

2.3.15. Analysis of variance (ANOVA)

Analysis of variance (ANOVA) adalah suatu metode untuk menguraikan variansi total data menjadi komponen-komponen yang mengukur berbagai sumber varian. ANOVA berguna dalam pengujian hipotesis untuk membandingkan nilai rerata sampel dengan membandingkan *unbiased estimated varians* populasi dari sumber yang berbeda.

2.3.16. Two-Way ANOVA

Pada penelitian ini terdapat perbandingan antara dua atau lebih faktor spesifik sehingga digunakan *multi-way ANOVA* untuk menentukan varian yang disebabkan oleh rerata, faktor, dan *error* (Belavendram, 1995). Metode *multi-way ANOVA* memiliki tahapan sebagai berikut:

- a. Rata-rata Respon Tiap Eksperimen

Rata-rata adalah data kualitatif yang terdapat dalam populasi dihitung dengan membagi jumlah nilai data oleh banyaknya data. Rumus rata-rata adalah:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \dots\dots (1)$$

Keterangan:

μ : nilai rata-rata populasi

X_i : data ke-i

N : ukuran populasi

b. Nilai Rata-rata Seluruh Respon

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad \dots\dots (2)$$

Keterangan:

\bar{y} : nilai rata-rata seluruh respon

N : banyaknya percobaan

c. Perhitungan Rata-rata setiap faktor dan level (Perhitungan Tabel Respon)

d. *Sum of Square Total* (Total Jumlah Kuadrat)

$$ST = \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad \dots\dots (3)$$

Keterangan:

y_i : nilai pengamatan

n : banyak pengamatan

e. *Sum of Square Due to The Mean* (Jumlah Kuadrat Rerata)

$$Sm = n \cdot \bar{y}^2 \quad \dots\dots (4)$$

f. *Sum of Square Due to The Factor* (Jumlah Kuadrat Karena Faktor)

Contoh perhitungan *sum of square due to the factor* untuk faktor A adalah:

$$SA = n_{A1} \cdot \bar{y}_{A1}^2 + n_{A2} \cdot \bar{y}_{A2}^2 + n_{A3} \cdot \bar{y}_{A3}^2 - Sm \quad \dots\dots (5)$$

Keterangan:

A_1 : nilai data pada level 1 untuk faktor A

n_{A1} : jumlah data pada level 1 untuk faktor A

g. *Sum of Square Due to Error* (Jumlah Kuadrat Karena Kesalahan)

$$Se = ST - Sm - \sum_{i=A}^n Si$$

$$\sum_{i=A}^n Si = SA + SB + SC + SD + SE + SF \quad \dots\dots (6)$$

h. *Mean Sum of Square* (Jumlah Kuadrat Rata-rata)

$$Mq_A = \frac{SA}{v_A} \quad \dots\dots (7)$$

i. Uji Rasio-F (*F-ratio*)

Apabila dalam ANOVA tidak dapat membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam percobaan, maka secara statistik terdapat suatu metode yang menyediakan keputusan pada suatu tingkat kepercayaan apakah ada perbedaan secara signifikan dalam mengestimasi. Metode tersebut adalah *F-Test*. *F-Test* dilakukan dengan cara membandingkan variasi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dengan variasi *error*. Variasi *error* adalah variasi pada tiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor dari luar yang tidak dapat dikendalikan (Belavendram, 1995). *F-Test* dapat dirumuskan dengan:

$$F = \frac{Mq_A}{Mq_e} \quad \dots\dots (8)$$

Keterangan:

MSA: rata-rata jumlah kuadrat faktor A

MSE: rata-rata jumlah kuadrat *error*

Hasil dari *F-Ratio* (F_{hitung}) nantinya dibandingkan dengan nilai F dari tabel dengan harga α tertentu yang biasa disebut dengan F_{tabel} . Hipotesis pengujian dalam suatu percobaan adalah:

H_0 : tidak ada pengaruh pada perlakuan

H_1 : ada pengaruh pada perlakuan

Apabila nilai *F-Ratio* $\leq F_{tabel}$ maka H_0 diterima, sebaliknya bila *F-Ratio* $\geq F_{tabel}$ maka H_0 ditolak.

j. *Pure Sum of Square* (Jumlah Kuadrat Murni)

Contoh perhitungan *pure sum of square* untuk faktor A adalah:

$$S'A = SA - v_A * Ve \quad \dots\dots (9)$$

k. *Contribution Ratio* (ρ %)

Contribution Ratio adalah porsi masing-masing faktor atau interaksi faktor yang signifikan terhadap total variansi yang diamati. *Contribution ratio* merupakan fungsi *sum of square* dari masing-masing faktor signifikan yang mengindikasikan kekuatan sebuah faktor atau interaksi faktor untuk mengurangi varian.

Perhitungan *contribution ratio*, misalnya untuk faktor A dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho_A = \frac{S'A}{S_t} * 100\% \quad \dots\dots (10)$$

Keterangan:

S_t : jumlah kuadrat total

ρ_A : % kontribusi faktor A

2.3.17. Respon Optimizer

Untuk memahami tentang *respon optimizer*, berikut ini akan disajikan penjelasan materi tersebut dari *Minitab 17 Support*. Analisis *respon optimization* digunakan untuk mengidentifikasi pengaturan kombinasi variabel secara bersama untuk mengoptimalkan *respon* tunggal atau serangkaian tanggapan. Analisis ini juga digunakan untuk mengevaluasi dampak beberapa variabel pada respon yang diukur. *Respon optimizer* dapat digunakan untuk mencari tanggapan yang paling optimal untuk setiap respon. Terdapat tiga pilihan untuk tiap respon yaitu: *minimize the response*, *target the responses*, dan *maximize the response*. Pada perhitungan *respon optimizer* umumnya akan dicari nilai *desirability* (d) yang mendekati 1, hal ini dikarenakan nilai d mendekati 1 memiliki arti bahwa respon tersebut mendekati optimal. Tetapi tidak seluruh respon dapat sesuai dengan nilai d mendekati 1, hal ini diakrenakan terdapat faktor lain yang mempengaruhi seperti faktor mesin. Optimalisasi respon akan efektif bila ditafsirkan bersamaan dengan hasil yang diperoleh dari pengamatan atau eksperimen sebelumnya.

2.3.18. Confidence Interval

Confidence Interval atau nilai kepercayaan adalah salah satu parameter lain untuk mengukur seberapa akurat nilai *mean* sebuah *sample* mewakili nilai *mean* populasi sesungguhnya. Jika nilai *confidence interval* dari nilai *mean* sebuah *sample* semakin sempit maka hasil yang didapat semakin akurat., hal tersebut berarti nilai *mean* dari *sample* mewakili/mecakup nilai *mean* populasi sesungguhnya.

Berikut merupakan rumus untuk menghitung nilai *confidence interval* menurut (Belavendram, 1995):

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} \times V_e \times \frac{1}{n}} \quad \dots\dots (11)$$

Keterangan:

F_{α, v_1, v_2} = Nilai F-ratio dari tabel

α = Resiko, Level kepercayaan = 1 – resiko

v_1 = Derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan suatu rata - rata dan selalu sama dengan 1 untuk suatu interval kepercayaan.

v_2 = Derajat kebebasan untuk penyebut yang berhubungan dengan derajat kebebasan dari variansi *pooled error*

V_e = Variansi *pooled error*

N = Jumlah pengamatan yang digunakan untuk menghitung rata-rata (*mean*)