

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar

2.1.1 Mesin *Milling*

Mesin *milling* adalah Mesin perkakas yang digunakan secara akurat untuk menyelesaikan satu atau lebih pengerjaan permukaan suatu benda dengan menggunakan *cutter* (pisau) sebagai alatnya. Mesin ini dapat memenuhi kebutuhan produksi untuk berbagai produk dengan bentuk yang kompleks. Seperti memproduksi perkakas-perkakas penting yaitu *dies*, *mould*, *jig* dan *fixture* yang memiliki tuntutan kualitas yang tinggi baik secara geometri maupun tingkat kekasaran (kehalusan) permukaannya (Laili). Benda kerja dipegang dengan aman pada meja benda kerja dari mesin atau dalam sebuah alat pemegang khusus yang dijepit atau dipasang pada meja mesin. Selanjutnya benda kerja dikontakkan dengan pemotong yang bergerak maju mundur. Mesin *milling* merupakan mesin potong yang dapat digunakan untuk berbagai macam operasi seperti pengoperasian benda datar dan permukaan yang memiliki bentuk yang tidak beraturan, roda gigi dan kepala baut, *boring*, *reaming*. Kemampuan untuk melakukan berbagai macam pekerjaan membuat mesin *milling* merupakan salah satu mesin yang sangat penting dalam bengkel kerja. Proses pemesinan mesin *milling* adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang

banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat biasanya berbentuk datar, menyudut, atau melengkung.

Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Mesin yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pisau, dan penyayatannya disebut mesin *milling*.



Gambar 2. 1 Mesin *Milling*
(Sumber : PT.Amtek Engineering Batam)

Tabel 2. 1 Spesifikasi mesin milling

Merk Brand	=	Kanto
Made	=	Sakado Japan

2.1.2 Bagian-bagian Utama Mesin *Milling*

Bagian-bagian dari mesin *milling* terdiri dari beberapa bagian inti, beberapa jenis *milling* pada umumnya memiliki bagian dan fungsi yang sama walaupun berbeda merk (Prastyo, 2014:9). Adapun bagian-bagian dari mesin *milling* adalah :

1. *Spindle* Utama

Adalah pencekam yang digunakan untuk memegang pahat agar tidak bergerak ketika melakukan proses pemesinan. Spindel utama ini dapat disetel sesuai kebutuhan dan menyesuaikan ukuran dari pahat yang akan dikerjakan.

2. Meja Mesin / *Table*

Meja mesin ini digunakan untuk alas dari benda kerja yang akan dikerjakan dan *spindel* utama. Pada umumnya bentuk dari meja ini adalah datar untuk memudahkan dari pergerakan dari benda kerja saat pengaturan posisinya.

3. Motor Penggerak

Motor penggerak ini adalah bagian dari mesin *milling* yang menggerakkan mesin *milling* memanfaatkan putarannya. Sumber tenaga dari mesin *milling* ini berasal dari arus listrik.

4. Transmisi

Transmisi berfungsi untuk menghantarkan putaran mesin dari motor penggerak ke bagian yang akan digerakkannya, seperti transmisi *feeding* dan transmisi *spindel* utama.

5. *Knee*

Knee merupakan bagian dari badan mesin *milling* yang berguna untuk menopang bagian-bagian dari mesin *milling*. *Knee* atau dapat disebut juga sebagai chasis memiliki fungsi untuk pemegang struktur dari bentuk mesin *milling*.

6. *Control*

Bagian ini digunakan untuk mengatur pergerakan dari bagian-bagian mesin *milling* oleh operator.

7. Dasar / Alas

Adalah bagian paling dasar dari mesin *milling* yang berguna untuk menopang beban keseluruhan dari mesin *milling*. Pada bagian dasar mesin *milling* ini, digunakan pula untuk menyimpan cairan pendingin (*coolant*). Bagian paling dasar dari mesin *milling* ini ditanamkan pada lantai selain agar mesin tidak bergerak juga berguna sebagai redaman dari getaran yang ditimbulkan mesin ketika bekerja.

2.1.3 Jenis-jenis Pengerjaan Mesin *Milling*

Jenis pengerjaan yang dapat dilakukan oleh mesin *milling* cukup beragam, tidak hanya terpaku pada jenis pengerjaan Slab *milling* dan *face milling*, masih ada beberapa proses yang dapat dilakukan oleh mesin *milling* yaitu diantaranya adalah :

1. *End Milling*

Proses ini digunakan untuk membentuk alur, untuk merapikan sisi dari material dan untuk membuat lubang alur.

2. *Side Milling*

Pada *Side Milling* ini bukan bertujuan untuk merapikan permukaan benda kerja, melainkan untuk menyayat benda kerja dalam hal yang masih bertujuan untuk pembentukan.

3. *Sloting (Alur Milling)*

Proses ini digunakan untuk membentuk alur pada benda kerja.

4. *Sawing (Pemotongan)*

Potongan benda kerja juga dapat dilakukan oleh mesin *Milling*, bila dibandingkan dengan jenis pemotongan pada mesin bubut, maka pemotongan menggunakan mesin *Milling* ini lebih efisien.

5. *Form Milling (Bentuk Milling)*

Prosesnya mirip dengan pengerjaan *milling* sisi, namun mata potong yang digunakan berbeda, jika *milling* sisi hanya digunakan untuk sisi yang datar, *milling* bentuk ini dapat digunakan untuk membentuk permukaan sisi yang cembung.

6. *Thread Milling (Milling Ulir)*

Penggunaan jenis ini adalah untuk membuat ulir pada benda kerja.

7. *Gear Hobbing*

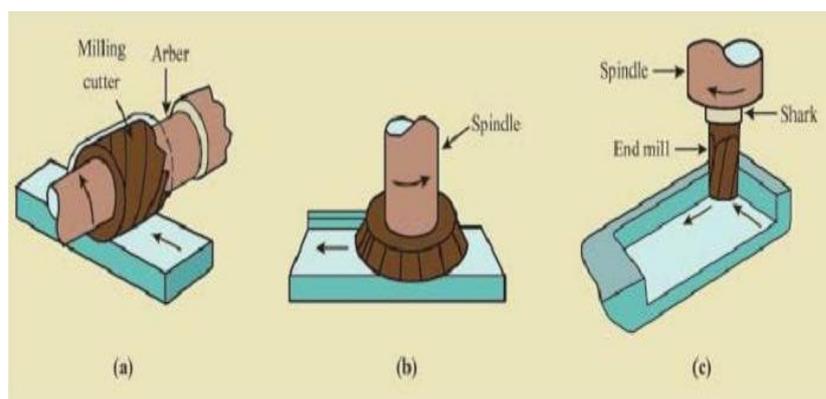
Milling juga digunakan untuk membuat roda gigi, baik yang berukuran kecil maupun besar.

2.1.4 Proses Mesin *Milling*

Proses pemesinan *milling* adalah proses penyayatan benda kerja menggunakan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pisau ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat biasanya berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Mesin yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pisau, dan penyayatannya (Hari Yanuar et al, 2014:28).

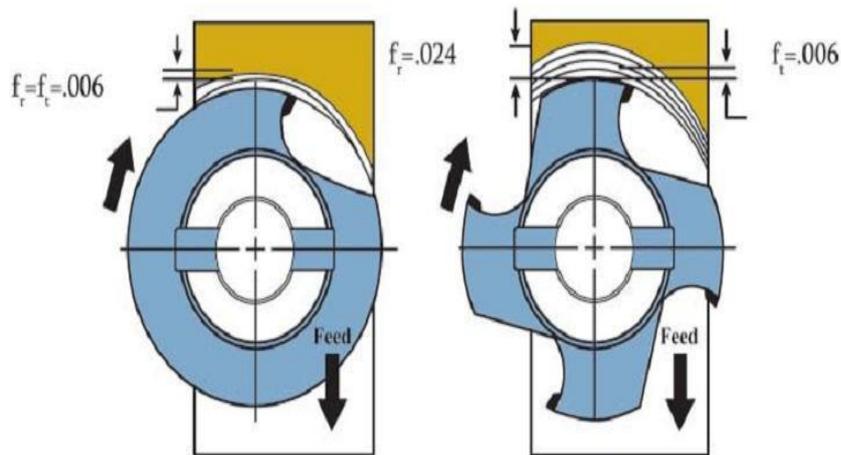


Gambar 2. 2 Proses mesin *milling*
(sumber : PT.Amek Engineering Batam)



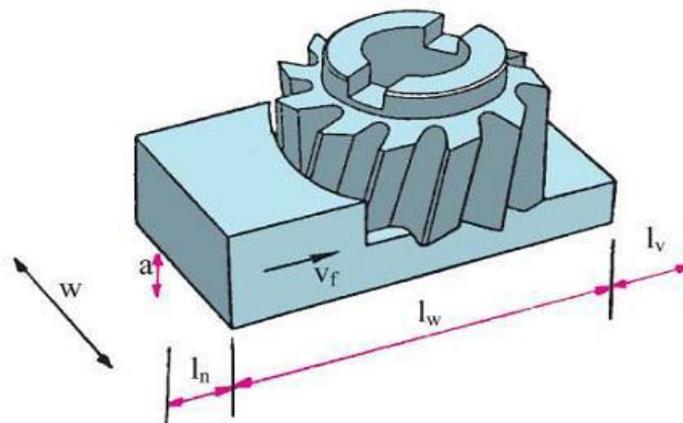
Gambar 2. 3 Klasifikasi Proses *Milling*

Proses *milling* dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis. Klasifikasi ini berdasarkan jenis pisau, arah penyayatan, dan posisi relatif pisau terhadap benda kerja. Parameter yang dapat diatur adalah parameter yang dapat langsung diatur oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan mesin *milling*. Seperti pada mesin *milling* tersebut, maka parameter yang dimaksud adalah putaran *spindel* (n), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a). Putaran *spindel* bisa langsung diatur dengan cara mengubah posisi *handle* pengatur putaran mesin. Gerak makan bisa diatur dengan cara mengatur *handle* gerak makan sesuai dengan tabel f yang ada di mesin. Gerak makan ini pada proses *milling* ada dua macam yaitu gerak makan per gigi (mm/gigi), dan gerak makan per putaran (mm/putaran). Kedalaman potong diatur dengan cara menaikkan benda kerja, atau dengan cara menurunkan pisau.



Gambar 2. 4 Jalur pisau *milling* menunjukkan perbedaan antara gerak makan per gigi (f_t) dan gerak makan per putaran (f_r)

Elemen dasar proses *milling* hampir sama dengan elemen dasar proses bubut. Elemen diturunkan berdasarkan rumus sebagai berikut :



Gambar 2. 5 Skematis Proses *Milling Vertikal*

Keterangan :

W = Lebar pemotongan (mm)

L_w = Panjang pemotongan (mm)

L_t = $l_v + l_w + l_n$ (mm)

a = Kedalaman potong (mm)

Pisau *milling*:

d = Diameter luar (mm)

z = Jumlah gigi/mata potong

X_r = Sudut potong utama (900) untuk pisau *milling* selubung

Mesin *milling*:

n = Putaran poros utama (rpm)

V_f = Kecepatan makan (mm/putaran)

Hasil *milling* adalah benda kerja yang dihasilkan setelah mengalami perlakuan pada mesin *milling* yang meliputi pengurangan ukuran-ukuran karena pemakanan yang dilakukan oleh pahat. Hasil *milling* dapat dikatakan baik atau buruk didasarkan oleh dua faktor, yaitu ketepatan pada ukuran-ukurannya (kepresisian) dan tingkat kualitas permukaan yang dihasilkan. Melihat kedua faktor tersebut maka hasil *milling* dapat dikatakan baik apabila benda yang dihasilkan sesuai dengan ukuran yang dikehendaki dan permukaan benda kerja mempunyai tingkat kekasaran yang rendah (halus) (Simanjuntak Budi Amin, 2012:3).

Pada proses *milling* menggunakan jenis endmill yaitu *HSS*, Alat potong (*cutter*) jenis ini merupakan alat potong yang paling umum digunakan pada proses *milling*.



Gambar 2. 6 Mata pisau (*Endmill HSS*)
(Sumber : PT.Amtek Engineering Batam)

Tabel 2. 2 Spesifikasi mata pisau (*Endmill HSS*)

Merk Brand	Jenis Endmill	Diameter (mm)
NACHI	HSS (Co.4SE UST6210)	16 mm

Pahat potong HSS memiliki kecepatan potong sebesar 20 – 30 m/menit. HSS ditemukan pada tahun 1898 dengan unsur paduan Khrom dan Tungsten.

2.1.5 Kecepatan Putaran Spindel (*Spindle Speed*)

Kecepatan putaran *spindel* (*spindle speed*) ditentukan berdasarkan kecepatan potong. Dalam menentukan kecepatan potong beberapa faktor yang dipertimbangkan antara lain jenis bahan yang akan dikerjakan, jenis pahat, diameter pisau, dan hasil kehalusan permukaan yang diinginkan. Kecepatan potong (V_c) adalah jarak yang ditempuh oleh satu titik dalam satuan meter pada selubung pisau dalam waktu satu menit.

Adapun rumus kecepatan potong untuk mesin *milling* sama dengan rumus kecepatan potong untuk mesin bubut yang dijelaskan di bawah :

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000} \text{ m/menit}$$

Dimana :

V_c = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter pisau (mm)

n = *spindle speed* (rpm)

$\pi = 3.14$

Dari rumus tersebut dapat dicari kecepatan putaran *spindel* (n) yang digunakan adalah:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d}$$

Berikut adalah spesifikasi kecepatan *spindle speed*.

Tabel 2. 3 Spesifikasi spindel speed (Rpm)

HIGH					
1	2	3	4	5	6
100	150	220	340	540	800
200	300	440	680	1080	1600
300	420	660	1020	1620	2400
400	600	880	1360	2160	3200
500	750	1100	1700	2700	4000

2.1.6 Kecepatan Pemakanan (*Feed rate*)

kecepatan pemakanan adalah jarak tempuh gerak maju benda kerja dalam satuan milimeter permenit atau feed permenit. Hal ini menyatakan bahwa kecepatan pemakanan berbeda dengan kecepatan potong. Kecepatan potong disimbolkan dengan V_c lebih menekankan kepada istilah kecepatan potong yang diijinkan atau distandarkan yang sudah ditetapkan dalam tabel untuk masing-masing jenis bahan. Kecepatan potong yang diijinkan (V_c) digunakan untuk menentukan rpm atau kecepatan putaran mesin. Sedangkan hantaran atau *feed rate* (V_f) lebih menekankan pada pengertian kecepatan laju pemakanan meja frais pada saat melakukan proses penyayatan benda kerja.

Pada mesin *milling*, kecepatan pemakanan dinyatakan dalam satuan millimeter permenit di mana dalam pemakaiannya perlu disesuaikan dengan

jumlah mata potong pisau yang digunakan. Kecepatan pemakanan tiap mata potong pisau *milling* (f_z) untuk setiap jenis pisau dan setiap jenis bahan sudah dibakukan tinggal dipilih mana yang sesuai dengan kebutuhan (Hari Yanuar *et al*, 2014:29). Dengan demikian rumus kecepatan pemakanan (*feed rate*) adalah:

$$V_f = n \times f_z \times Z_n$$

Dimana :

$$V_f = \text{feed rate (mm/menit)}$$

$$n = \text{kecepatan putaran spindle}$$

$$f_z = \text{feed pergigi (mm)}$$

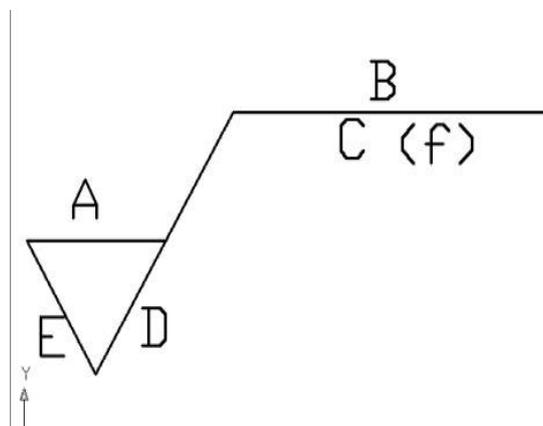
$$Z_n = \text{jumlah mata pisau}$$

2.1.7 Kekasaran Permukaan

Setiap permukaan dari benda kerja yang telah mengalami proses pemesinan, baik itu proses bubut, sekrup, milling, akan mengalami perubahan pada bentuk pada permukaannya walaupun hal tersebut terkadang tidak dapat dilihat hanya dilihat dengan kasat mata, namun apabila diperhatikan dengan seksama menggunakan alat bantu, maka akan terlihat perubahan yang terjadi pada permukaan tersebut setelah mengalami proses pemesinan. Yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis rata-rata permukaan. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga rata-rata dari kekasaran permukaan.

Dalam dunia industri, permukaan benda kerja memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan dari alat tersebut. Nilai kekasaran permukaan memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda, Nilai kualitas

kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh ISO dimana yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (R_a) $0,025 \mu m$ dan yang paling tinggi N11 yang nilai kekasarannya $25 \mu m$ (Yudhyadi et al, 2016:42). Kekasaran permukaan mempunyai lambang konfigurasi yang universal dan memudahkan dalam pembacaannya seperti pada gambar 2.7 berikut yang menerangkan simbol-simbol kekasaran permukaan :



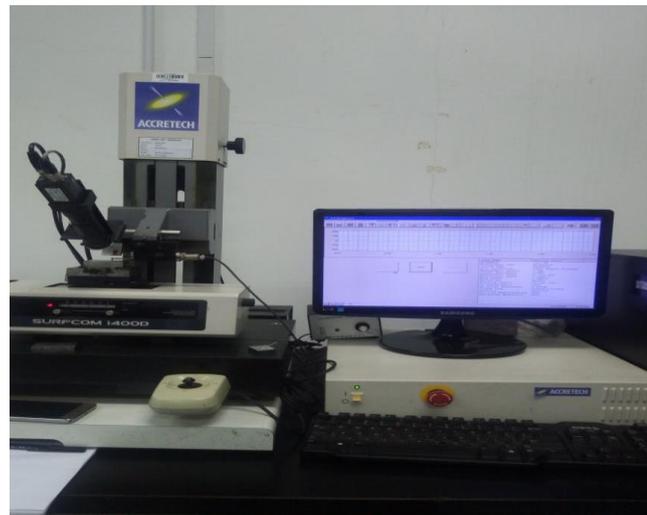
Gambar 2. 7 Simbol-simbol kekasaran permukaan

Keterangan :

- A = Nilai kekasaran permukaan (R_a) atau tingkat kekasaran <N1 sampai N12
- B = Cara pengerjaan, produksi atau pelapisan
- C = Panjang sampel
- D = Arah bekas pengerjaan
- E = Kelebihan ukuran yang dikehendaki
- (f) = Nilai kekasaran lain, jika diperlukan

2.1.8 Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Untuk mengukur kekasaran permukaan pada *specimen* atau benda kerja, digunakan peralatan yang dilengkapi dengan jarum peraba (Alfatih, 2010:39). Peralatan yang digunakan pada penelitian ini bekerja berdasarkan prinsip elektrik *Surface Roughness Tester*.



Gambar 2. 8 *Surface Roughness Tester*
(Sumber : PT.Amtek Engineering Batam)

Tabel 2. 4 Spesifikasi *Surface Roughness Tester*

Merk Brand	=	Tokyo Semeitsu
Model No	=	1400D
Serial No	=	KA 9805KA

2.1.9 Metode *Analysis Of Variance* (ANOVA)

Statistika adalah ilmu atau seni yang berkaitan dengan tata cara (metode) pengumpulan data, analisis data, dan interpretasi hasil analisis untuk mendapatkan informasi guna penarikan kesimpulan dan pengambilan keputusan. Metode

statistik yang banyak digunakan menganalisis data dari suatu percobaan yang terancang adalah teknik analisis ragam atau sering disebut dengan *ANOVA*. Analisis ragam adalah metode untuk memeriksa hubungan antara dua atau lebih set data. Dengan kata lain ada hubungan antara set data melakukan analisis varians. Analisis varians kadang-kadang disebut sebagai *F-Test*. Suatu ciri analisis ragam adalah model ini terparameterisasikan secara berlebihan, artinya model ini mengandung lebih banyak parameter dari pada yang dibutuhkan untuk mempresentasikan pengaruh-pengaruh yang diinginkan. Salah satu tipe dari analisis ragam adalah analisis varians satu jalur atau juga dikenal dengan istilah *One-Way ANOVA* (Fajrin et al, 2016:13)

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian (Hari Yanuar et al, 2014:29) dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh variasi kecepatan potong dan kedalaman pemakanan kekasaran permukaan dengan berbagai media pendingin pada proses frais konvensional. Dari hasil penelitian ini maka kehalusan permukaan benda uji yang telah difrais untuk semua bahan yang digunakan pada pengujian dengan menggunakan cutter carbide termasuk kedalam kategori nilai kekasaran yang ada pada standard yaitu N6 sampai dengan N9 yang mempunyai nilai $0,8 \mu\text{m}$ sampai dengan $6,3 \mu\text{m}$. Nilai kekasaran yang paling rendah didapat pada penelitian ini adalah $0,67 \mu\text{m}$ dan yang tertinggi $4,83 \mu\text{m}$.

Penelitian (Rudin, 2018:5) dalam penelitiannya yang berjudul optimasi Putaran *Spindel*, Gerak Makan Dan Sudut Potong Utama Terhadap Kekasaran

Permukaan Pada Hasil Bubut Material ST 42. Dari hasil penelitian Variasi putaran *spindel* terhadap kekasaran material ST 42 dengan menggunakan kecepatan 250 rpm, 450 rpm dan 650 rpm diperoleh hasil variasi semakin lambat putaran *spindel* maka tingkat kekasaran yang dihasilkan semakin kasar dan semakin cepat putaran *spindel* akan semakin halus, maka variasi putaran *spindel* mengalami tingkat perbedaan kekasaran dengan cepat putaran yang digunakan dalam proses pembubutan material, Pengaruh gerak makan terhadap kekasaran permukaan material ST42 dengan gerak makan 0,065 mm/putaran, 0,115mm/putarandan 0,225 mm/putaran diperoleh hasil variasi semakin kecil gerak makan yang digunakan maka tingkat kekasaran yang di hasilkan semakin kasar dan semakin besar gerak makan yang digunakan maka tingkat kekasaran yang dihasilkan akan semakin halus, dan Variasi sudut potong utama terhadap kekasaran permukaan material ST42 dengan menggunakan sudut potong utama 800 dan 900 diperoleh hasil variasi semakin kecil sudut potong utama yang digunakan maka tingkat kekasaran yang di hasilkan semakin kasar dan semakin besar sudut potong utama yang digunakan maka tingkat kekasaran yang dihasilkan akan semakin halus.

Penelitian (Siska Merry, 2012:182) dalam penelitiannya yang berjudul Desain Eksperimen Pengaruh Zeloit Terhadap Penurunan Limbah Kadmium (Cd). Setelah dilakukan eksperimen dan pengolahan data didapat nilai F_{Hitung} (0.22924) < $F(Tabel, \alpha, 0.05)$ (3.49) untuk tingkat kepercayaan 95% dan pada tingkat kepercayaan 99% F_{Hitung} (0.22924) < $F(Tabel, \alpha, 0.01)$ (5.95) maka hipotesis yang diajukan ditolak, sehingga hasil ini mengemukakan bahwa zeolit

memberikan manfaat yang nyata terhadap penurunan kadar kadmium (Cd) limbah pelapisan logam.

Penelitian c dalam penelitiannya yang berjudul *Aplikasi Metode Analisis Of Variance (Anova)* untuk Mengkaji Pengaruh Penambahan *Silica Fume* Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Mortar. Dari hasil penelitian didapatkan penambahan bahan pozolan *silica fume* mampu membuat mortar menjadi lebih kedap air yang ditandai dengan menurunnya daya serap air seiring dengan bertambahnya proporsi *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen. Terjadi penurunan daya serap air sebesar 18,3% ketika mortar diberi tambahan *silica fume* sebesar 3% dari berat semen. Selanjutnya terjadi penurunan secara konstan sebesar 22,7%, 33,2% dan 35,2% ketika ditambahkan *silica fume* sebesar 5, 7 dan 10%, penambahan *silica fume* juga mampu menurunkan pH mortar. Tetapi pada penelitian ini, meskipun pH mortar menurun dengan bertambahnya proporsi *silica fume*, kondisi pH nya masih dalam keadaan basa yang relatif aman bagi tulangan yang dilindungi oleh mortar dan untuk sifat mekanik, terlihat bahwa kuat tekan mortar berbanding lurus dengan peningkatan kandungan *silica fume* yang dicampurkan. Rata-rata kuat tekan mortar normal tanpa campuran *silica fume* adalah 39,9 MPa. Sementara kuat tekan rata-rata mortar dengan campuran *silica fume* secara berturut-turut adalah 40,4 MPa, 42,3 MPa, 43,2 MPa dan 45,1 MPa atau terjadi peningkatan kuat tekan berturut-turut sebesar 1,1%, 5,9%, 8,2%, dan 12,8 % untuk proporsi 3, 5, 7 dan 10%.

Penelitian (A. As'ad Sonief *et al*, 2017:343) dalam penelitiannya yang berjudul *Komparasi antara proses UP-MILLING dan DOWN MILLING* dalam

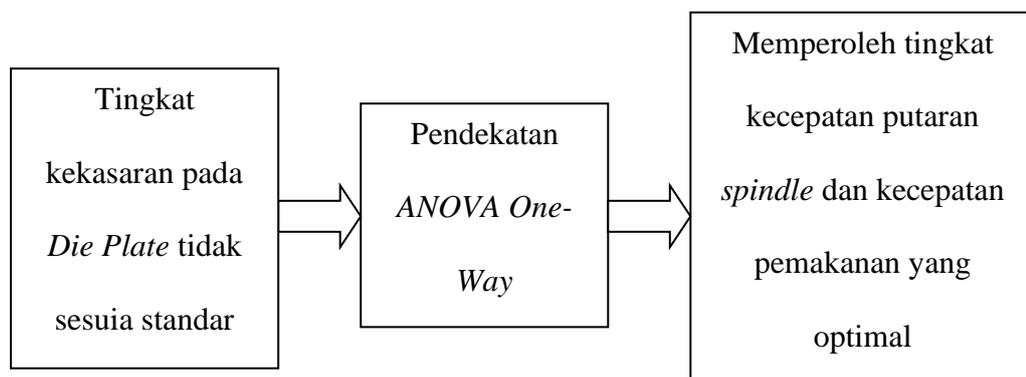
variasi *Speed*, *feed*, dan *flute* terhadap kekasaran permukaan dalam pemotongan AL 6061. Dari Hasil Penelitian menunjukkan hubungan antara *speed*, *feed*, *flute* dan kekasaran permukaan Aluminium 6061. Proses permesinan operasi *down-milling* mempunyai gradien lebih rendah dari pada operasi *up-milling*. Proses *up-milling* lebih stabil dari pada *down-milling*. Pemilihan proses pemotongan yang optimal sangat tergantung pada pemilihan parameter pemotongan, geometri pahat. Pemilihan kinematika pemotongan kedua proses *up* dan *down milling* dapat digunakan tentunya dengan memilih parameter pemotongan yang tepat.

Penelitian (Dinesh Kumar Chauhan *et al*, 2014:42) dalam penelitiannya yang berjudul *Optimization Of Milling Process By The Effects Of Machining Parameters For High Carbon Alloy Steel*. Dalam penelitian ini teknik pecahan faktorial pecahan digunakan untuk mengoptimalkan parameter proses dalam penggilingan wajah baja karbon tinggi paduan EN-31 dengan sisipan pabrik face tungsten dilapisi. Dua tingkat dari 24-1 desain faktorial pecahan dari delapan run yang dipilih untuk melakukan experiments. Model matematika dikembangkan dari data yang dihasilkan. Signifikansi koefisien dan kecukupan model yang dikembangkan diuji dengan 't'-test dan 'F'-test masing-masing. Dari empat variabel, kedalaman pemotongan berkontribusi efek tertinggi pada MRR, diikuti oleh pakan, efek interaksi pakan dan kedalaman potong. Dari analisis itu jelas pakan memberikan efek tertinggi pada kekasaran permukaan. Persamaan yang ditetapkan jelas menunjukkan bahwa kekasaran permukaan meningkat dengan meningkatnya feed dan kedalaman potongan tetapi menurun dengan meningkatnya kecepatan pemotongan dalam kondisi basah.

Penelitian (Mihirthakorbbhai, 2015:27) dalam penelitiannya yang berjudul *Optimization of Milling Process Parameters-A review*. Dari hasil penelitian Metodologi Taguchi banyak digunakan untuk pengoptimalan tunggal. Namun, kadang-kadang diperlukan parameter kualitas multi objektif untuk dioptimalkan. Untuk multi-tujuan konsep optimasi Utilitas, analisis hubungan abu-abu, PCA dll. Banyak digunakan ANOVA Analisis juga digunakan untuk menentukan parameter mana yang paling berpengaruh signifikan pada parameter kualitas yang dipilih.

2.3 Kerangka Pemikiran

Suatu penelitian yang baik memiliki sebuah paradigma penelitian . paradigma penelitian diartikan sebagai pola fikir yang menunjukkan hubungan antara variabel yang akan diteliti.



Gambar 2. 9 Kerangka Pemikiran