

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Machining process*

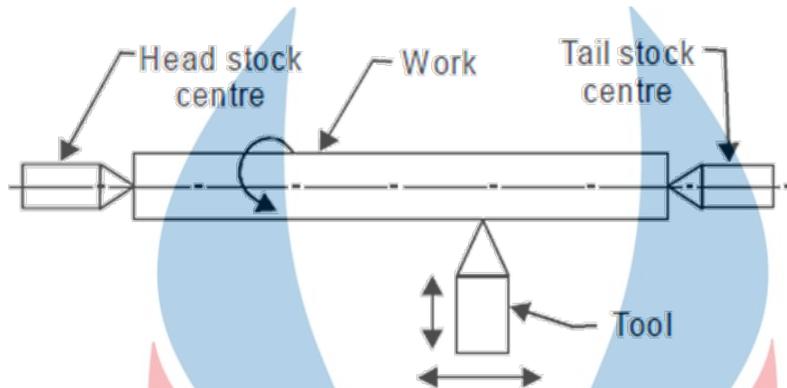
*Machining process* merupakan salah satu proses produksi yang menggunakan mesin perkakas, dengan memanfaatkan gerak antara pergerakan benda dengan pahat yang menghasilkan material sisa yang dinamakan *chip*. *Machining process* dapat diartikan juga sebagai suatu proses pemakanan benda kerja yang menyebabkan hilangnya sebagian benda kerja sehingga terjadi deformasi plastis yang menghasilkan produk sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan. Pada dasarnya proses permesinan dibagi berdasarkan bentuk alat potong (Widarto, 2008).

Pada proses permesinan terjadi sebuah interaksi antara tiga elemen berbeda, yaitu, mesin perkakas, pahat potong, benda kerja, dan pemegang benda kerja. Terdapat tiga langkah kerja yaitu (Daryanto, 2011).

1. Proses *facing* ialah proses perataan permukaan benda kerja.
2. Proses *roughing* proses pemakanan benda untuk mendapatkan ukuran yang dituju.
3. Proses *finishing* proses yang dilakukan untuk menyelesaikan benda kerja.

#### 2.2 Mesin Bubut

Mesin Bubut atau biasa disebut mesin lathe ialah mesin yang paling banyak digunakan diseluruh dunia dalam dunia manufaktur. Fungsi utama dari sebuah mesin bubut ialah untuk menghilangkan sebagian dari sebuah logam untuk mendapatkan benda dengan ukuran yang diinginkan. Pengerjaan yang dilakukan yaitu dengan cara mencekam benda kerja di dalam chuck atau di antara pusat pusat mesin bubut dan kemudian berputar berlawanan dengan alat pemotong satu titik yang menghilangkan sebagian dari benda kerja dalam bentuk *chip*. Gambar 2.1 akan menunjukkan prinsip kerja mesin bubut (Singh, 2006).



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Mesin Bubut (Singh, 2006).

Prinsip kerja mesin bubut adalah proses pemotongan yang dilakukan dengan menggunakan pahat yang berada pada eretan dan melakukan pemotongan benda kerja yang berputar pada kepala tetap. Kedalaman pemakanan dapat diartikan sebagai jarak yang membuat tersentuhnya pahat dengan benda kerja dalam pekerjaan satu putaran mesin dengan spindle *headstock*. Biasanya terjadi pada saat gerakan linier per revolusi spindle. Selama benda kerja berputar pada spindle, pemegang pahat juga ikut bergerak disepanjang alas bubut untuk memotong benda kerja (Singh, 2006).

### 2.2.1 *Cutting speed*

*Cutting speed* atau kecepatan pemotongan dalam proses kerja mesin bubut dapat didefinisikan sebagai kecepatan permukaan pahat melewati permukaan benda kerja. Permesinan dengan kecepatan potong yang baik dapat membuat pahat menjadi tahan lama dan efisien dalam pemotongan benda kerja. Begitu pun sebaliknya jika kecepatan pemakan melambat maka akan memperlambat proses pengerjaan dan meningkatkan biaya dalam proses pengerjaan, sedangkan jika kecepatan potong terlalu tinggi menyebabkan pahat mudah panas dan mengurangi umur pahat. Faktor faktor yang mempengaruhi kecepatan pemakan ialah (Kalpakjian and Schmid, 2013).

1. Pahat yang digunakan pada pembubutan
2. Model pahat yang digunakan

3. Jenis material yang akan dipotong
4. Jenis pendingin yang digunakan
5. Ketahanan mesin dan benda kerja

Perhitungan untuk mencari kecepatan potong ialah:

$$C_s = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \quad (2.1)$$

Dimana:

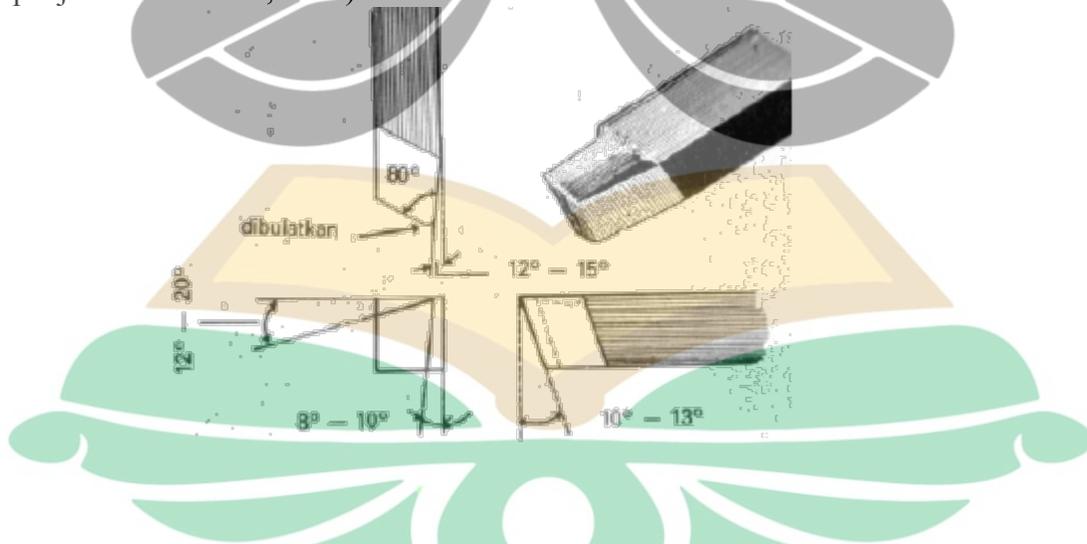
Cs: *Cutting speed* (m/menit)

D: Diameter Benda Kerja Awal (m)

N: Kecepatan Putaran Spindle (Rpm)

### 2.3 High speed steel (HSS)

*High speed steel* (HSS) atau dapat diartikan sebagai baja berkecepatan tinggi ialah alat perkakas yang penting dalam dunia pemesinan. Baja ini mengandung unsur paduan yang tinggi sehingga memiliki kemampuan kekerasan yang sangat baik dan dapat bertahan dalam kondisi pemotongan hingga 650°C. Untuk menjamin proses pengerjaan diperlukan material pahat yang lebih unggul daripada material benda kerja. Sudut potong yang digunakan pada proses pemesinan ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Kalpakjian and Schmid, 2013).



Gambar 2.2 Bentuk Pahat HSS (Kalpakjian and Schmid, 2013).

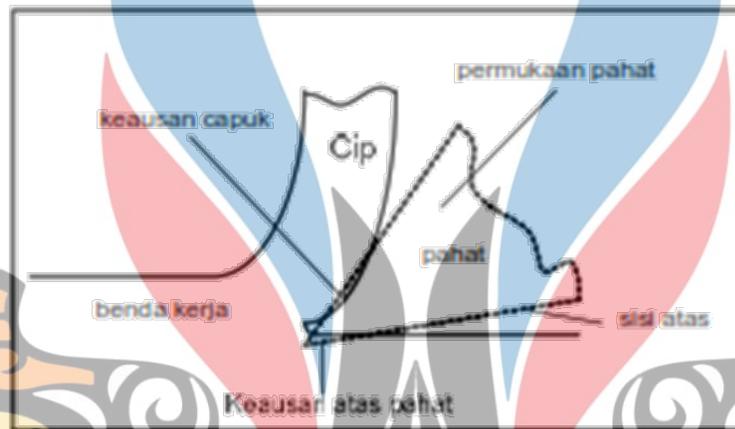
HSS adalah baja berkecepatan tinggi yang berbasis material molibdenum. HSS sendiri adalah material yang memiliki kemampuan pemesinan yang baik. Kemampuan HSS yang baik meliputi ketahanan aus, ketangguhan, serta sifat kekerasan yang cukup tinggi. Pahat HSS banyak digunakan dalam kegiatan industri pada alat perkakas seperti mesin bubut, mata bor, dan alat lainnya. (ASTM M2 Tool Steel).

### **2.3.1 Tool Wear**

Keausan biasanya didefinisikan sebagai kehilangan sebagian material secara konstan pada suatu permukaan pada saat material tersebut bergesekan dengan material lainnya. Keausan memiliki proses berbeda yang berlangsung secara bersamaan. Kompleksitas proses keausan dapat dibaca dengan mengetahui berbagai variabel yang terlihat, yaitu kekerasan, ketangguhan, kelenturan, elastisitas, kekuatan tarik, kelelahan, dan struktur permukaan yang saling bertemu, seperti geometri, temperatur, tegangan, distribusi tegangan, koefisien gesek, dan atmosfer dari permukaan yang aus (Panatas, 2017).

Keausan atau patah pahat bubut menyebabkan pahat kehilangan bentuk aslinya, sehingga tidak dapat memotong secara sempurna. Jika keausan terus menerus dibiarkan akan semakin menyebar dan mempengaruhi hasil waktu pemakanan material, dan jika sudah mencapai keausan yang cukup parah maka pahat perlu untuk diasah kembali untuk mendapatkan hasil pemotongan yang baik. Keausan pada pahat merupakan faktor penentu untuk hasil pemotongan dan dapat mempengaruhi umur pahat tersebut. Seorang operator pemesinan sangat dituntut untuk meninjau keadaan pahat sebelum melakukan proses pemesinan agar pahat yang digunakan berada dalam keadaan yang baik dan tidak memiliki keausan yang dapat mengakibatkan kegagalan pada proses produksi.

Bentuk keausan pada mata pahat terjadi pada dua bagian yaitu, terjadi pada muka pahat dan pada tepi pahat. Keausan yang terjadi pada muka pahat yang berbentuk kawah karena hasil pergerakan pahat yang memotong benda kerja, dan keausan pada tepi pahat terjadi akibat gaya potong yang tinggi sehingga sisi pahat bergesekan dengan cepat pada material. (Mustafa, 2009).



Gambar 2. 3 Penyebab Keausan Pahat (Mustafa, 2009).

### 2.3.2 Gaya Pemotongan

Faktor penting pada proses pemesinan adalah gaya pemotongan pada prosesnya gaya pemotongan mempengaruhi penggunaan energi yang dibutuhkan pada proses pemotongan suatu material. Gaya pemotongan memiliki beberapa faktor pengaruh seperti, keausan pahat, *feed rate*, kedalaman pemotongan, sudut pahat, kecepatan potong, serta material benda kerja serta pahat yang digunakan. Sudut pahat sendiri mempengaruhi gaya pemotongan yang cukup besar, sudut pahat dapat diukur pada saat pengasahan pahat. Pahat memiliki beberapa bagian yang penting seperti sudut bebas, *rake angle*, dan sudut buang. *Rake angle* merupakan sudut dimana pahat melakukan pemotongan benda kerja bergantung sudut tersebut hingga membentuk *chip*. *Rake angle* yang tajam memudahkan dalam proses pemotongan akan tetapi bentuk *rake angle* tersebut memungkinkan pahat mendapatkan keausan yang lebih cepat karena proses pemotongan materil lebih menumpu pada ujung pahat, pada pengaplikasiannya *rake*

*angle* yang tajam dapat digunakan pada material yang lunak sehingga ujung pahat tidak terlalu cepat mengalami keausan. Sudut buang merupakan bagian yang menentukan arah *chip* akan dibuang pada prosesnya, sudut buang sendiri memiliki pengaruh yang cukup besar dalam menentima tekanan pada material untuk mengurangi besarnya pemakanan yang diterima pada ujung pahat. Sudut bebas merupakan bagian pahat yang tidak bersentuhan dengan material karena sudut bebas sendiri memiliki letak pada bagian bawah pahat sehingga jika pahat tidak memiliki sudut bebas maka bagian tersebut akan bersentuhan dengan material dan mengakibatkan kekasaran pada permukaan material yang telah dipotong (Ardinta, 2011).

Proses pemesinan sendiri sangat kerap dijumpai dengan penggunaan pahat sebagai alat potong. Jenis pahat dan spesifikasi pahat sendiri merupakan faktor penting dalam menentukan parameter pemesinan seperti kecepatan potong, kedalaman pemakanan, *feed rate*, serta RPM yang digunakan pada proses pemesinan. parameter pemesinan tersebut juga memiliki pengaruh yang cukup banyak pada prosesnya, penentuan parameter dapat menentukan umur pahat, laju keausan pahat, kekasaran benda kerja, dan lamanya waktu pengerjaan suatu material. Ujung pahat atau biasa disebut *rake angle* pahat yang secara langsung bergesekan dengan benda kerja untuk melakukan proses pemotongan, *rake angle* ini memiliki pengaruh yang besar pada kekasaran permukaan benda kerja (Lubis, 2018).

#### **2.4 Finite Element Analysis (FEA)**

Fitur yang paling khas dari *Finite Element Analysis* (FEA) dengan yang lain adalah pembagian domain tertentu menjadi satu set subdomain sederhana yang disebut *finite element* atau elemen hingga. Fitur lain dari metode ini termasuk mencari pendekatan terus menerus, fungsi polinomial, dari solusi atas masing-masing elemen dalam hal nilai-nilai nodal, dan perakitan persamaan elemen dengan memaksakan kontinuitas antar elemen dari solusi dan keseimbangan gaya antar elemen. FEA telah mendapatkan popularitas besar di bidang pemotongan logam untuk memberikan wawasan terperinci dalam proses pembentukan *chip*. Pada penelitian ini menyajikan tinjauan umum tentang penerapan FEA dalam studi proses pemotongan logam. Dasar-dasar dari kedua

metode pemotongan logam dan elemen hingga, menjadi yang terpenting dalam memahami penerapan metode elemen hingga dalam pemotongan logam. Beberapa masalah kritis terkait dengan pemodelan elemen hingga permesinan ortogonal telah dikutip melalui berbagai studi kasus. Dasar proses pembentukan *chip* meliputi pembubutan, *shaping*, *milling*, pengeboran, dan yang lainnya. Fenomena pembentukan *chip* dalam semua kasus serupa pada titik dimana ujung pahat bertemu dengan benda kerja. Selama pemotongan, *chip* terbentuk dengan cara mendeformasi benda kerja pada permukaan dengan alat potong (Priyadarshini, 2012).

*Finite Element Analysis* atau biasa disebut metode elemen hingga merupakan proses pembagian struktur menjadi bagian yang lebih kecil tetapi terbatas atau hingga yang didefinisikan menjadi sebuah elemen yang dihubungkan oleh node atau nodal. Dengan menggunakan fungsi polinomial dan dengan operasi matriks, perilaku setiap elemen akan terus menerus dikembangkan dalam bentuk geometris. Beban yang digunakan dapat diterapkan pada permukaan elemen atau pada nodal elemen. Nodal elemen adalah sesuatu yang mengatur dasar elemen, karena elemen menghubungkan unsur lain pada struktur (Priyadarshini, 2012).

Peningkatan dalam pemrosesan komputer membuat kemungkinan untuk menggabungkan FEA agar mempermudah dalam penganalisaan berbagai aspek dalam proses pemotongan logam, sehingga mengatasi sebagian besar asumsi pembatasan yang terkait dengan model analitik. Banyak dari peneliti yang menggunakan FEA agar dapat memahami proses permesinan lebih baik lagi. Sebuah penelitian tentang FEA pada proses permesinan sudah di mulai pada tahun 1973 oleh Klamecki. Semenjak saat itu lah banyak penelitian proses permesinan menggunakan FEA agar dapat lebih memahami proses permesinan tersebut (Priyadarshini, 2012).

Sebagai contoh matriks yang digunakan dalam FEA, komponen gaya ( $F_{1x}$ ;  $F_{1y}$ ;  $F_{2x}$ ;  $F_{2y}$ ; . . . ;  $F_{nx}$ ;  $F_{ny}$ ) bekerja pada berbagai node atau titik (1; 2; . . . ; n) pada struktur dan himpunan displacement pada node yang sesuai ( $d_{1x}$ ;  $d_{1y}$ ;  $d_{2x}$ ;  $d_{2y}$ ; . . . ;  $d_{nx}$ ;  $d_{ny}$ ). Keduanya dapat dinyatakan sebagai matriks berikut:

$$\{F\} = F \begin{Bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ \vdots \\ F_x \\ F_y \end{Bmatrix} \quad \{d\} = d \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ \vdots \\ d_x \\ d_y \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

Subskrip di sebelah kanan F dan d masing-masing mengidentifikasi node dan arah gaya atau displacement. Misalnya, F<sub>1x</sub> menunjukkan gaya pada node 1 yang diterapkan dalam arah x (Norrie, 1987).

$$\{k\} = k \begin{Bmatrix} k_{11} & k_{21} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

$$\{K\} = K \begin{Bmatrix} K_{11} & K_{21} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{Bmatrix} \quad (2.4)$$

Bentuk yang lebih umum dari matriks yang diketahui biasanya ditunjukkan dengan menggunakan notasi braket [ ]. Misalnya, matriks element stiffness dan global structure [k] dan [K], masing-masing diwakili oleh matriks persegi sebagai berikut:

Beban node global F dan node displacement global d terhubung melalui stiffness matrix global K melalui persamaan berikut:

$$F = K d \quad (2.5)$$

Dimana persamaan tersebut dinamakan dengan global stiffness equation dan merepresentasikan sejumlah persamaan simultan. Hal tersebut merupakan persamaan dasar yang digunakan dalam stiffness dan displacement method dalam FEA (Norrie, 1987).

## 2.5 Orthogonal Cutting Model

Selama proses pemotongan pahat menyentuh benda kerja, deformasi plastik terjadi di dalam material benda dan hasil dari pemotongan mengalir pada permukaan sudut

serpih pahat yang biasa disebut *chip*. Zona deformasi plastik yang dikenal sebagai bidang geser terletak diantara *chip* dan bahan kerja yang tidak terdeformasi. Berdasarkan *rake angle* pahat, pemotongan benda dapat diklasifikasikan sebagai perpotongan orhtogonal dan perpotongan oblique (Priyadarshini et al. 2012).

Dalam pemotongan orthogonal, juga dikenal sebagai pemotongan dua dimensi, *Rake angle* tegak lurus terhadap arah kecepatan potong. Pemotongan orthogonal hanya perumpamaan dari pemotongan oblique yang dibuat sama persis sehingga setiap analisis pemotongan orthogonal dapat diterapkan pada pemotongan oblique. Perpotongan oblique adalah perpotongan 3d yang digunakan seperti proses pemesinan. Sehingga dalam persyarata penerapan dari rake dan sudut lainnya, untuk mendapatkan kondisi ideal dalam pemotongan orthogonal sangat jarang tercapai, tetapi pada dasarnya analisa pemotongan oblique lebih susah dibandingkan dengan orthogonal sehingga para peneliti memilih menggunakan metode orthogonal dengan segala pengecualian. Salah satu teori yang penting digunakan pada penelitian proses pembentukan *chip* ialah Lee and Shaffer's model (Priyadarshini, Pal and Samantaray, 2012).

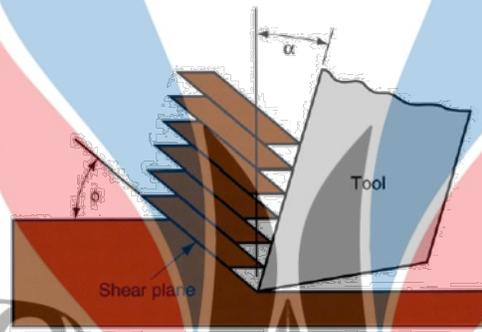
## 2.6ST 41

ST 41 adalah baja karbon rendah sebesar 0.08% - 0.20%, ST memiliki makna baja atau disebut dengan steel sedangkan 41 memiliki makna kekuatan Tarik sebesar 41 kg/mm<sup>2</sup>. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ST 41 merupakan baja struktural yang mempunyai karakteristik sifat keuletan tinggi, ketangguhan dan mudah dibentuk namun kekerasannya rendah (Setyawan dkk, 2018).

Penggunaan material benda kerja dengan ST 41 cukup banyak pada dunia industri. Jenis material ini digunakan bada berbagai bagian – bagian pada komponen industry seperti baut, Gardan mobil, dan lain – lain. Penggunaan material yang sangat banyak menjadi dasar material ini perlu dianalisis terhadap proses pemesinannya untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan material ST 41.

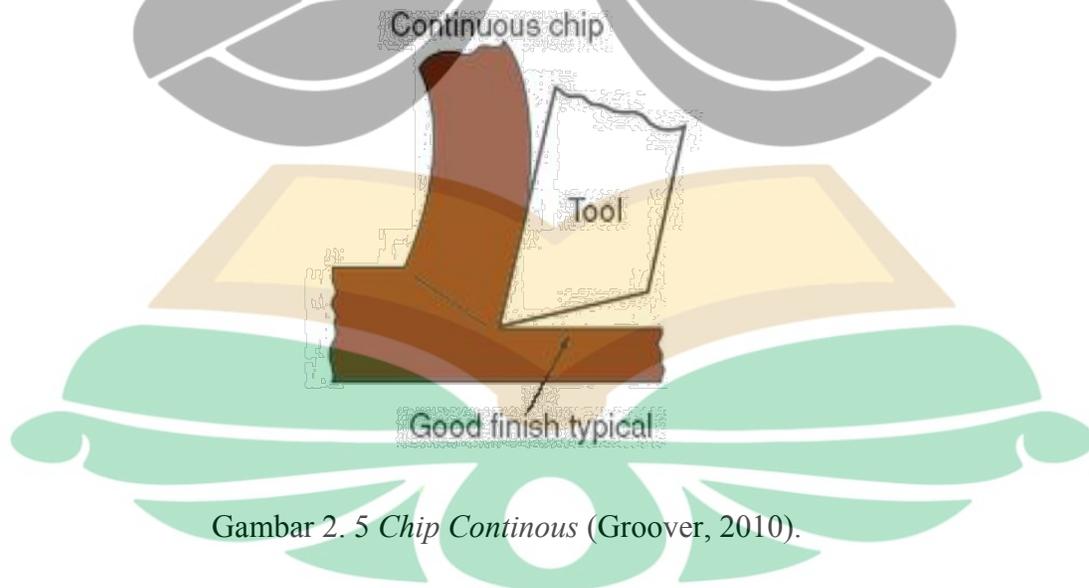
## 2.7 Chip Morphology

*Chip* atau biasa di sebut geram adalah benda sisa hasil dari proses permesinan salah satu mesin yang sering dijumpai adalah mesin bubut. *Chip* yang terbentuk berupa suatu tali yang terus menyambung ataupun berupa serpihan. *Chip* yang dihasilkan bisa juga di dapatkan dengan permodelan proses permesinan orthogonal yang dinyatakan oleh Merchant, bahwa terbentuknya *chip* dianalogikan sebagai tumpukan kartu dengan posisi sedikit miring kemudian didorong dengan menggunakan pahat.



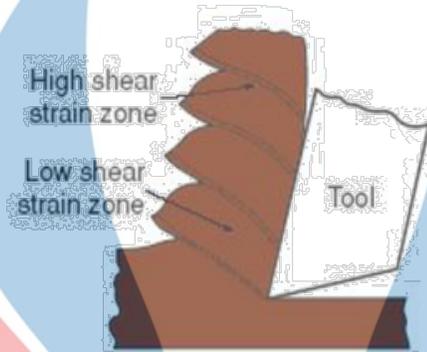
Gambar 2.4 Analogi Pembentukan *Chip* (Groover, 2010).

*Chip* yang dihasilkan pada proses permesinan dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu *chip continuous*, *saw-tooth*, dan *discontinuous chip*



Gambar 2. 5 *Chip Continuous* (Groover, 2010).

*Chip Continuous* terbentuk karena benda kerja yang ulet, *cutting speed* yang tinggi, *rake angle*, serta pemakanan yang rendah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 6 *chip saw tooth* (Groover, 2010).

Proses pemesinan dengan menggunakan bahan yang keras memiliki permukaan *chip* yang kasar, sehingga memiliki bentuk seperti mata gergaji atau biasa disebut *chip saw tooth* seperti Gambar 2. 6.



Gambar 2.7 *chip discontinuous* (Groover, 2010).

Bentuk *chip discontinuous* pada Gambar 2.7 diperoleh akibat material benda kerja yang getas, pemakanan material yang besar, serta kecepatan potong yang rendah maka *chip* yang dihasilkan menjadi putus – putus atau biasa disebut *discontinuous*. (Groover, 2010).

## 2.8 Jhonson Cook

Jhonson Cook merupakan sebuah penggambaran tegangan aliran suatu material dengan nilai regangan, laju regangan, efek suhu. Proses pemodelan yang diusulkan oleh Jhonson dan Cook menggunakan persamaan di bawah ini

$$\bar{\sigma} = [A + B(\bar{\epsilon})^n][1 + C \ln \left( \frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\dot{\epsilon}_0} \right)] \left( 1 - \frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \quad (2.6)$$

Pada penelitian ini, FEA dalam proses pemesinan baja ST 41 menggunakan model bahan J-C yang diberikan pada Tabel 2.1 (Bhopale, 2017).

Tabel 2. 1 Jhonson Cook Parameter

Material	ST 41
A (MPa)	520
B (MPa)	269
N	0.282
C	0.0476
M	0.083
T <sub>melt</sub> (°C)	1520

(Bhopale, 2017).

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut rangkuman terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul	Hasil dan Variabel
1	(Rambeay, Hidayat and Jatimurti, 2018)	Simulasi Pemotongan Bubut Baja Karbon Rendah 1018 dengan Mesin Bubut Menggunakan Metode Elemen Hingga	Variabel : <i>Rake angle</i> : 15°, 0°, -15°. <i>Feed</i> : 1 mm/rev, 1.5 mm/rev

No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul	Hasil dan Variabel
2	(Rusnaldy, Tauvqiirlahman. M., 2010)	Optimalisasi Besarnya <i>Rake angle</i> Pahat pada Proses <i>Roughing</i> AISI 1040 Menggunakan Metode Elemen Hingga	<p>Hasil :</p> <p>Penurunan gaya potong terjadi ketika <i>rake angle</i> mengalami kenaikan dari 15° ke -15°. Gaya potong juga meningkat dengan bertambahnya kedalaman pemakanan dari 1 mm ke 1.5 mm.</p> <p>Variabel :</p> <p><i>Rake angle</i> : -15°, -12.5°, -10°, -7.5°, -5°, -2.5, 0.</p> <p><i>Cutting speed</i> (mm/min) : 80, 100, 120, 150, 180.</p> <p>Hasil :</p> <p>Pahat dengan <i>rake angle</i> negatif akan menghasilkan gaya pemotongan yang tinggi, tetapi kekuatan pahat akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan pahat berrake angle positif, sehingga sesuai untuk proses <i>roughing</i> dan besarnya <i>rake angle</i> optimum pada proses <i>roughing</i> AISI 1040 adalah pada -7,5°.</p>
3	(Sutarto, 2019)	Analisis Karakteristik Geram Dan Kekasaran	Variabel :

No	Nama dan Tahun Publikasi	Judul	Hasil dan Variabel
		Permukaan Pada Proses Bubut Kecepatan Rendah Terhadap Baja Karbon	<p>Material :</p> <p>AISI (1010, 1044, 1068).</p> <p><i>Feed</i> (mm/rev) : 0.1, 0.2, 0.3.</p> <p>Hasil :</p> <p>Bentuk geram yang dihasilkan pada umumnya berbentuk pipih seiring dengan peningkatan <i>feeding</i> geram cenderung berbentuk <i>spiral</i> dan semakin keras material diameter <i>spiral</i> geram akan semakin kecil. Karakterisasi bentuk geram untuk semua <i>feeding</i>, baja AISI 1010 dikategorikan dalam bentuk geram <i>arc</i>, baja AISI 1044 bentuk geram <i>short conical helical</i>, baja AISI 1068 bentuk geram <i>short tabular</i>.</p>