

Perp. Sultanah Zanariah, UTM



30000010072394

10359760

**KAJIAN PEMBENTUKAN TEGASAN DAN ANJAKAN PADA MATALAT
PEMOTONG DISEBABKAN OLEH PARAMETER PEMOTONG
MENGGUNAKAN KAEDAH UNSUR TAK TERHINGGA (*FEA*)**

57

ROZAIMI MOHD SAAD

**Laporan projek ini dikemukakan sebagai memenuhi
sebahagian syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Kejuruteraan Mekanikal
(Teknologi Pembuatan Termaju)**

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia**

OKTOBER, 2003

DEDIKASI

*Untuk isteri tersayang dan anak – anak yang dikasihi
dan
kedua ibu bapa
serta
saudara mara yang lain.*

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, bersyukur saya kehadiran Ilahi kerana dengan izin dan limpah kurniaNya, dapat saya menyiapkan lapuran projek ini. Ribuan terima kasih kepada penyelia saya Prof. Madya Dr. Safian Sharif di atas pandangan dan cadangan serta tidak dilupakan penolong penyelia iaitu Prof. Madya Dr. Noordin Hj. Mohd Yusof di atas bantuannya bagi melakukan ujikaji pengukuran daya dengan menggunakan peralatan dinamometer.

Begitu juga dengan semua kakitangan Makmal Pengeluaran dan mesin-syop yang membantu saya di dalam menyiapkan projek saya ini. Bantuan anda semua amat dihargai dan diucapkan ribuan terima kasih

ABSTRAK

Perkembangan teknologi masa kini dan penemuan bahan-bahan baru telah merealisasikan penghasilan pelbagai komponen kejuruteraan yang dapat memenuhi pelbagai keperluan. Penemuan bahan-bahan baru ini telah menyebabkan proses pembentukan atau proses penyudahan komponen menjadi lebih sukar untuk dilakukan dengan menggunakan alat pemotong. Perkembangan teknologi telah mewujudkan pelbagai teknologi baru seperti perisian komputer yang boleh menganalisa komponen yang hendak dihasilkan sebelum produk tersebut dikeluarkan secara komersial.

Kemudahan perisian *CAD/CAM/CAE* telah merubah konsep pengeluaran produk di mana analisa boleh dilakukan terlebih dahulu sebelum proses pengeluaran produk sebenarnya dilakukan.

Dengan kemudahan yang ada seperti analisa unsur tak terhingga (*FEA*), komponen dapat dianalisa terlebih dahulu bagi memastikan ianya memenuhi aplikasi dan ketahanannya.

Di dalam kajian yang dijalankan melalui projek ini, perisian Unigraphics II akan digunakan untuk menganalisa tegasan dan anjakan yang berlaku pada matalat pemotong yang digunakan untuk memotong bendakerja logam yang terpilih iaitu logam alat yang mempunyai nilai kekerasan sehingga 45 HRC. Pemilihan matalat yang dikaji adalah dari jenis Karbida terekat (K068) dan Seramik tanpa salutan (K090) yang dikeluarkan oleh pengeluar matalat terkenal iaitu KENNAMETAL.

Berdasarkan kajian yang dilakukan dengan menggunakan analisa unsur tak terhingga (*FEA*), di dapati bahawa hayat matalat turut dipengaruhi oleh sudut pemotong tepi (*SCEA*) dimana lebih rendah sudut maka hayat matalat lebih panjang. Begitu juga dengan anjakan matalat semasa proses pemotongan dilakukan, penggunaan sudut pemotong tepi (*SCEA*) yang rendah akan mempengaruhi hayat matalat lebih panjang.

ABSTRACT

The technology growth produced many types engineering components which including various achievement of the new materials. The discovery of the new materials has been caused forming process/finishing process of the components become complicated to make by using cutting tools. The growth of technology has been realized several of new technologies such as software that can be analyzed outputs of components before it will be commercialized.

The superficial of CAD/CAM/CAE has been changed the concept of the product manufacture which the analysis can be instants made before the high volume product will be manufacture.

From the facilities such as Finite Unsur Analysis (FEA), the components can be instant analyzed for encouraging the demands of the market in terms of quality and durability.

In the research study carried out through this project, fillinf unigraphic II will be used to analyse the strength and adjustment required to be done on cutting tool used in the machining of the chosen metal work-piece, thats the metal having the hardness value of 45HRC maximum. Cutting tool being studied is the Carbide (K068) and Un-coated Ceramic (K090) manufactured by famous cutting tool manufacturer, KENNAMETAL.

Based on the research done by the use of finite element (FEA), it is found out that the tool life is being affected by the cutting angle (SCEA) whereas the lower the angle, the longer the tool life. It is also similar when adjustment of cutting tool during machining process in progress, the usage of low cutting angle (SCEA) will cause longer tool life.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGESAHAN PENYELIA	i
	PENGAKUAN PELAJAR	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	x
	SENARAI SIMBOL	xiv
	SENARAI LAMPIRAN	xv
BAB 1	PENDAHULUAN	1
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Objektif	3
	1.3 Skop kajian	3
BAB 2	KAJIAN LITERATUR	4
	2.1 Pengenalan	4
	2.2 Latar belakang proses pemotongan logam	7
	2.3 Mekanik pemotongan tepat (<i>orthogonal</i>).	8
	2.3.1 Daya pemotong.	10
	2.3.2 Tegasan pada satah ricih	14
	2.3.3 Tegasan pada muka sadak matalat	15
	2.3.4 Pembentukan geseran pada persentuhan antara muka serpihan-matalat	17
	2.4 Mekanik pemotongan serong (<i>oblique</i>).	17
	2.4.1 Daya pemotong	22
	2.4.2 Daya pada matalat.	23
	2.4.3 Daya antara muka serpihan-matalat	24
	2.4.4 Daya Pada Satah Ricih	25
	2.4.5 Analisa daya pemotongan	26
	2.5 Geometri matalat	28
	2.5.1 Sudut sadak	28
	2.6 Jenis bahan matalat	30

2.6.1	Keluli Karbon	31
2.6.2	Keluli Laju Tinggi (<i>HSS</i>)	31
2.6.3	Aloi Tuangan (<i>Cast Alloy</i>)	33
2.6.4	Karbida (<i>Carbide</i>)	33
2.6.5	Seramik atau Oksida Logam (Ceramics or Metallic Oxides)	35
2.6.6	Nitrida Boron Kiub (Cubic Boron Nitride - CBN)	36
2.6.7	Intan (<i>Diamond</i>)	37
2.7	Analisa Unsur Tak Terhingga (<i>FEA</i>) dalam proses pemesinan	38
2.7.1	Penyelidikan Model Unsur Tak Terhingga (<i>FEA</i>)	38
BAB 3	TEKNIK UJIKAJI	43
3.1	Pengenalan	43
3.2	Proses pemesinan	43
3.2.1	Bahan bendakerja	44
3.2.2	Bahan matatalat	45
3.2.3	Pemegang matalat (<i>tool holder</i>)	46
3.2.4	Keadaan pemotongan	47
3.2.5	Prosedur ujikaji	48
3.3	Proses Analisa Unsur Tak Terhingga (<i>FEA</i>)	48
3.3.1	Permodelan komponen	48
3.3.2	Masukan daya	49
3.3.3	Masukan keadaan sempadan (<i>boundary condition</i>)	50
3.3.4	Masukan sifat bahan (<i>material properties</i>)	51
3.3.5	Masukan penjaringan (<i>meshing</i>)	53
3.3.6	Analisa keputusan (<i>Analysis</i>)	54
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	55
4.1	Pengenalan	55
4.1.1	Keputusan ujikaji	55
4.2	Kesan kadar suapan (mm/pus) terhadap tegasan	60
4.2.1	Pembentukan tegasan pada matalat Seramik (kelajuan pemotongan).	60
4.2.2	Pembentukan tegasan pada matalat Karbida (kelajuan pemotongan).	62
4.2.3	Pembentukan tegasan pada matalat Seramik kelajuan putaran – RPM).	63
4.2.4	Pembentukan tegasan pada matalat Karbida (kelajuan putaran – RPM).	65
4.3	Kesan kadar suapan (mm/pus) terhadap anjakan (mm)	68
4.3.1	Pembentukan anjakan pada matalat Seramik (kelajuan pemotongan).	68
4.3.2	Pembentukan anjakan pada matalat Karbida (kelajuan pemotongan).	69
4.3.3	Pembentukan anjakan pada matalat Seramik (kelajuan putaran – RPM).	71

4.3.4 Pembentukan anjakan pada matalat Karbida (kelajuan putaran – RPM).	73
BAB 5 KESIMPULAN.....	75
SENARAI RUJUKAN	76
LAMPIRAN A.....	80
LAMPIRAN B	82
LAMPIRAN C	84
LAMPIRAN D.....	86
LAMPIRAN E.....	88
LAMPIRAN F.....	90
LAMPIRAN G.....	92
LAMPIRAN H.....	94
LAMPIRAN I.....	96
LAMPIRAN J	98
LAMPIRAN K.....	100
LAMPIRAN L.....	102

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
Jadual 3. 1:	Komposisi kimia untuk STAVAX ESR	44
Jadual 3.2 (a):	Keadaan pemotongan bagi matalat Seramik (K090)	47
Jadual 3.2 (b):	Keadaan pemotongan bagi matalat Karbida (K068).....	47
Jadual 3.3 :	Jadual sifat bahan matalat	52
Jadual 4.1 (a):	Jadual keputusan ujikaji bagi matalat Karbid tanpa salutan (K068)	56
Jadual 4.1 (b):	Jadual keputusan ujikaji bagi matalat Seramik tanpa salutan (K090).....	57
Jadual 4.2 (a) :	Keputusan analisa FEA bagi matalat jenis Seramik	58
Jadual 4.2 (b) :	Keputusan analisa FEA bagi matalat jenis Karbida	59

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
Rajah 2.1:	Operasi pemotongan logam	5
Rajah 2.2:	Perbandingan beberapa proses pemotongan	6
Rajah 2.3:	Geometri asas pemotongan (a) pemotongan tepat (<i>orthogonal</i>), (b) pemotongan serong (<i>oblique</i>)	7
Rajah 2.4 :	Zon ubah bentuk pada pemotongan tepat (<i>orthogonal</i>)	10
Rajah 2.5:	Rajah daya oleh Merchant [2].	11
Rajah 2.7:	Geometri pemotong dan daya pemotong pada pemotongan serong (<i>oblique</i>).....	18
Rajah 2.8:	Daya-daya yang bertindak antara matalat dengan bendakerja	23
Rajah 2.10:	Daya pada antara muka serpihan–matalat.....	25
Rajah 2.11:	Daya bertindak pada satah ricih	26
Rajah 2.12:	Bulatan daya Merchant	27
Rajah 2.13:	Terminologi penentuan permukaan, sudut dan jejari pada matalat [25]	29
Rajah 2.14:	Gambarajah matalat pemotong dengan sudut sadak belakang (a) neutral (b) positif (c) negatif (d) positif/negatif (e) positif berganda	29
Rajah 2.15:	Variasi sudut sadak sisi (a) negatif (b) positif.....	30
Rajah 2.16:	Ikatan sisip pada pemegang matalat menggunakan skrew kelim.	34
Rajah 3.1:	Mesin larik Harison M500	44
Rajah 3.2 :	Pemegang matalat MCLNR-2525-M12K (SCEA - 5 ⁰).....	46
Rajah 3.3 :	Pemegang matalat MCRNR–2525–M12 NF8 (SCEA +15 ⁰)	47

Rajah 3.4 :	Gambarajah tiga dimensi matalat yang dimodelkan dalam Unigraphics II	49
Rajah 3.5 :	Masukan nilai-nilai daya yang diukur.....	50
Rajah 3.6 :	Penentuan keadaan sempadan (<i>boundary condition</i>)	51
Rajah 3.7 :	Masukkan data-data bagi komposisi bahan matalat.....	52
Rajah 3.8 :	Masukkan data-data bagi penjaringan (<i>meshing</i>)	53
Rajah 3.9 :	Contoh keputusan analisa anjakan.....	54
Rajah 4.1 :	Tegasan pada matalat Seramik berbanding dengan kadar suapan (SCEA +15 ⁰)	61
Rajah 4.2 :	Tegasan pada matalat Seramik berbanding dengan kadar suapan (SCEA -5 ⁰)	61
Rajah 4.3 :	Tegasan pada matalat Karbida berbanding dengan kadar suapan (SCEA +15 ⁰)	62
Rajah 4.4 :	Tegasan pada matalat Karbida berbanding dengan kadar suapan (SCEA -5 ⁰)	63
Rajah 4.5 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap tegasan bagi matalat Seramik pada N = 500 RPM	64
Rajah 4.6 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut tegasan bagi matalat Seramik pada N = 400 RPM	64
Rajah 4.7 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap tegasan bagi matalat Seramik pada N = 315 RPM	65
Rajah 4.8 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap tegasan bagi matalat Karbida pada N = 315 RPM	66
Rajah 4.9 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap tegasan bagi matalat Karbida pada N = 250 RPM	67
Rajah 4.10 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap tegasan bagi matalat Karbida pada N = 200 RPM	67
Rajah 4.11 :	Anjakan pada matalat Seramik berbanding dengan kadar suapan (SCEA +15 ⁰)	68

Rajah 4.12 :	Anjakan pada matalat Seramik berbanding dengan kadar suapan (SCEA 5^0)	69
Rajah 4.13 :	Anjakan pada matalat Karbida berbanding dengan kadar suapan (SCEA $+15^0$)	70
Rajah 4.14 :	Anjakan pada matalat Karbida berbanding dengan kadar suapan (SCEA 5^0)	70
Rajah 4.15 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap anjakan bagi matalat Seramik pada N = 500 RPM	71
Rajah 4.16 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap anjakan bagi matalat Seramik pada N = 400 RPM	72
Rajah 4.17 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap anjakan bagi matalat Seramik pada N = 315 RPM	72
Rajah 4.18 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap anjakan bagi matalat Karbida pada N = 315 RPM	73
Rajah 4.19 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap anjakan bagi matalat Karbida pada N = 250 RPM	74
Rajah 4.20 :	Kesan kadar suapan (mm/pus) serta sudut pemotong terhadap anjakan bagi matalat Karbida pada N = 200 RPM	74

SENARAI SIMBOL

t_1	-	Tebal serpihan sebelum pemotongan
α	-	Sudut sadak
t_2	-	Tebal serpihan selepas pemotongan
V	-	Halaju relatif
ϕ	-	Sudut ricih
θ	-	Sudut kelegaan
v_c	-	Halaju serpihan (<i>deformed chip</i>)
i	-	Sudut kecondongan
R	-	Daya paduan
F_c	-	Daya pemotongan
F_t	-	Daya tujah
F	-	Daya geseran
b	-	Lebar serpihan
τ	-	Tegasan ricih
β	-	Sudut di antara daya paduan, R dengan daya normal pada muka sadak.
V_{serpihan}	-	Halaju serpihan (<i>undeformed chip</i>)
v_s	-	Halaju ricih
$\bar{\gamma}$	-	Kadar terikan
r_1	-	Nisbah pemotongan
F_{ns}	-	Daya normal ricih
F_s	-	Daya ricih
A_s	-	Luas kawasan satah ricih
σ_{ns}	-	Tegasan ricih normal
τ_s	-	Tegasan ricih
τ_f	-	Tegasan geseran
σ_n	-	Tegasan normal
N	-	Daya normal
η_s	-	Sudut pengaliran serpihan
α_n	-	Sudut sadak normal
ϕ_n	-	Sudut ricih normal
F_r	-	Daya jejarian
F_n	-	Daya normal sadak
F_{f1}	-	Daya geseran normal kepada pinggir pemotong
F_{f2}	-	Daya geseran selari kepada pinggir pemotong
μ	-	Pekali geseran
β_n	-	Sudut geseran normal
η_c	-	Sudut aliran serpihan
β	-	Sudut geseran

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A1 (a) :	Ukuran pertama bacaan daya pemotongan untuk seramik ($v = 130\text{m/min}$, $f = 0.28\text{ mm/pus}$ dan SCEA $+15^0$)	81
A1 (b) :	Ukuran kedua bacaan daya pemotongan untuk seramik ($v = 130\text{m/min}$, $f = 0.28\text{ mm/pus}$ dan SCEA $+15^0$)	81
B1 (a) :	Ukuran pertama bacaan daya pemotongan untuk seramik ($v = 140\text{m/min}$, $f = 0.28\text{ mm/pus}$ dan SCEA -5^0)	83
B1 (b) :	Ukuran kedua bacaan daya pemotongan untuk seramik ($v = 140\text{m/min}$, $f = 0.28\text{ mm/pus}$ dan SCEA -5^0)	83
C1 (a) :	Ukuran pertama bacaan daya pemotongan untuk karbida ($v = 70\text{m/min}$, $f = 0.28\text{ mm/pus}$ dan SCEA $+15^0$)	85
C1 (b) :	Ukuran kedua bacaan daya pemotongan untuk karbida ($v = 70\text{m/min}$, $f = 0.28\text{ mm/pus}$ dan SCEA $+15^0$)	85
D1 (a) :	Ukuran pertama bacaan daya pemotongan untuk karbida ($v = 75\text{m/min}$, $f = 0.28\text{ mm/pus}$ dan SCEA -5^0)	87
D1 (b) :	Ukuran kedua bacaan daya pemotongan untuk karbida ($v = 75\text{m/min}$, $f = 0.28\text{ mm/pus}$ dan SCEA -5^0)	87
E1 :	Magnitud anjakan matalat seramik ($v = 130\text{ m/min}$, $f=0.28\text{ mm/pus}$, $d = 0.01\text{mm}$, SCEA $+15^0$)	89
F1 :	Magnitud anjakan matalat seramik ($v = 140\text{m/min}$, $f=0.28\text{ mm/pus}$, $d = 0.01\text{mm}$, SCEA -5^0)	91
G1 :	Magnitud anjakan matalat karbida ($v = 70\text{ m/min}$, $f=0.28\text{ mm/pus}$, $d = 0.01\text{mm}$, SCEA $+15^0$)	93
H1 :	Magnitud anjakan matalat karbida ($v = 75\text{ m/min}$, $f=0.28\text{ mm/pus}$, $d = 0.01\text{mm}$, SCEA -5^0)	95
I1 :	Tegasan mampatan matalat seramik ($v = 130\text{ m/min}$, $f=0.28\text{ mm/pus}$, $d = 0.01\text{mm}$, SCEA $+15^0$)	97

J1 :	Tegasan mampatan matalat seramik ($v = 140$ m/min, $f=0.28$ mm/pus, $d = 0.01$ mm, SCEA - 5^0).....	99
K1 :	Tegasan mampatan matalat karbida ($v = 70$ m/min, $f=0.28$ mm/pus, $d = 0.01$ mm, SCEA $+15^0$).....	101
L1 :	Tegasan mampatan matalat karbida ($v = 75$ m/min, $f=0.28$ mm/pus, $d = 0.01$ mm, SCEA -5^0)	103

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

Pada pertengahan abad ke-18, mesin larik dan beberapa jenis mesin telah wujud dan kebanyakan diperbuat daripada kayu dan digunakan untuk membentuk komponen-komponen daripada kayu. Pembangunan awal pemotongan logam adalah disebabkan oleh keperluan enjin stim yang mengandungi selinder logam yang besar dan bahagian-bahagian dalaman yang memerlukan kejituan dimensi. Bahan yang mula digunakan untuk membuat enjin stim adalah besi tuang, besi tempawan, loyang dan gangsa yang mudah dimesin dengan menggunakan matalat keluli karbon keras. Seperti yang dilaporkan proses menggerak dan memotong permukaan salah satu daripada selinder Watt yang besar mengambil masa sehingga 27 hari untuk disiapkan [1].

Menjelang akhir abad ke-19, kos pemesinan telah menjadi begitu tinggi dari segi bentuk tenaga manusia dan pelaburan yang dibuat menjadi lebih besar bagi mengurangkan kos dengan memotong secara lebih cepat dan mengautomatkan proses pemotongan. Sehingga tahun 1971, terdapat lebih satu juta mesin di United Kingdom, iaitu hampir 85% daripadanya adalah mesin pemotong logam [2]. Kos pemesinan di United Kingdom pada tahun 1981 pula dianggarkan kira-kira £20 000 juta [3]. Di US pula dianggarkan pada tahun 1957 sahaja, hampir 100 juta tan keluli telah dikeluarkan dan 15 juta daripadanya telah menjadi serpihan. Ini bermakna bahawa lebih kurang 10% daripada logam yang dikeluarkan akhirnya menjadi

serpihan [4] dan ini menunjukkan bahawa pemotongan logam adalah merupakan aktiviti utama dalam industri pembuatan di mana terdapat berjuta-juta manusia terlibat dengan aktiviti ini.

Proses pemotongan logam adalah merupakan proses pembuangan bahan untuk mendapatkan bentuk yang dikehendaki. Proses pembuangan bahan yang tidak dikehendaki melibatkan penggunaan matalat untuk memotong dan membuang bahagian tersebut bagi mendapatkan dimensi dan bentuk tertentu. Dengan penggunaan matalat yang berkesan, akan dapat menjimatkan masa pemesinan sehingga 60% [5].

Perkembangan teknologi masa kini telah menyebabkan banyak penemuan bahan-bahan baru yang lebih kuat dan ringan di mana bahan-bahan ini mempunyai nilai kekerasan yang tinggi yang memerlukan penggunaan matalat yang lebih keras dan tahan lama. Teknologi pemotongan telah diperbaiki hasil dari sumbangan semua cabang kejuruteraan yang mempunyai kepentingan di dalam industri pemesinan. Keluli berkelajuan tinggi dan Karbida terekat telah menggantikan keluli alat karbon yang membenarkan kelajuan pemotongan ditambah beberapa kali ganda.

Penggunaan matalat yang sesuai untuk memotong bendakerja yang mempunyai nilai kekerasan yang tinggi telah menyebabkan banyak penyelidikan dilakukan oleh pihak pengeluar matalat seperti KENNAMETAL, SANVIK dan lain-lain lagi.

1.2 Objektif

Objektif kajian ini adalah untuk :

- i. Menganalisa daya–daya pemotongan keatas matalat Karbida dan Seramik semasa pemesinan keluli alat yang terkeras.
- ii. Mengkaji gaya laku tegasan dan anjakan yang terhasil pada matalat dengan menggunakan kaedah analisa unsur tak terhingga (*FEA*).
- iii. Mengkaji kesan parameter pemotongan keatas gaya laku tegasan dan anjakan pada kedua-dua jenis matalat.

1.3 Skop kajian

Skop kajian telah dibataskan kepada:

- i. Dua jenis matalat akan digunakan yang dikeluarkan oleh KENNAMETAL iaitu Karbida terikat gred (K068) dan Seramik gred (K090) di mana kedua-dua jenis matalat ini tidak disalut.
- ii. Bahan yang dipotong adalah dari keluli alat jenis STAVAX ESR di mana kekerasan bahan adalah di antara 43 HRC ~ 44 HRC.
- iii. Sudut pemotongan tepi (SCEA) yang digunakan adalah -5° dan $+15^{\circ}$.
- iv. Kaedah analisa unsur tak terhingga (*FEA*) dilakukan dengan menggunakan perisian UNIGRAPHICS II untuk menganggarkan nilai ketegasan (*stress*) dan anjakan (*displacement*) yang terhasil ke atas matalat semasa pemotongan.

SENARAI RUJUKAN

- [1] Rolt, L.T.C., Tools For The Job, Batsford (1965)
- [2] Cookson, J.O., dan Sweeney, G., ISI Publication No. 138, m.s 83 (1971)
- [3] Lardner, E., Towards Improved Performance of Tools Material, Metals Society, London (1981)
- [4] Merchant, M.E. Trans. Amer. Soc. Mech. Eng., 79, 1137. (1957)
- [5] Tonshoff, H.K. , Wobker, H.G. & Brandt, D. (1996)., Hard Turning – Influence on the Workpiece Properties. Transactions of NAMRI/SME. 23. m.s 215-220.
- [6] Armarego, E.J.A. dan Brown, R.H. The Machining of Metal, Prentice-Hall Inc., New York (1969)
- [7] Zainal, A.A., Proses Pembuatan Jilid 1, (1999)
- [8] Boothroyd, G., 1966, The Fundamentals of Metal Machining, Edward Arnold, London.
- [9] DeVries, W.R., 1992, Analysis of Material Removal Processes, Springer-Verlag Publication, New York.
- [10] Shaw, M.C., 1989, Metal Cutting Principles, Oxford Science Publication, New York.
- [11] Trent, E.M., 1979, Metal Cutting Butterworths,
- [12] Ernst, H., dan M.E. Merchant, Chip Formation, Friction and High Quality Machine Surface, in Surface Treatment of Metals, vol. 29. American society of Metals, New York, 1941,
- [13] Lee, E.H., Shaffer, B.W., 1951, The Theory of Plasticity Applied to A problem of Machining, Journal of Applied Mechanics, Vol. 18, m.s. 405-413.
- [14] Zorev, N.N., 1963, Inter-relationship Between Shear Processes Occuring Along Tool Face and Shear Plane in Metal Cutting, International Research in production engineering, ASME, m.s. 42-49.
- [15] Merchant, M.E., 1945, Mechanic of the Cutting Process, Journal Applied Physic, m.s.267-318.
- [16] Oxley, P.L.B., 1989, Mechanics of Machining, An Analytical Approach to Assesing Machinability, Halsted Press: a division of John Wiley & Sons Limited, New York.

- [17] Lee, L.C., Liu, X., Lam, K.Y., 1995, Determination of Stress Distribution on the Tool Rake Face Using A Composite Tool, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol.35, No.3, m.s. 373-382.
- [18] Barrow, G., Graham, w., Kurimato, T., Leong, Y.F., 1982, Determination of Rake Stress Distribution in Orthogonal Machining, *International Journal of Machine Tools Design Research*, Vol.22, No.1, m.s. 75-85
- [19] Li, X., 1997, Development of A Predictive Model for Stress Distributions at the Tool-Chip Interface in Machining, *Journal of Material Processing Technology*, Vol.63, m.s. 169-174.
- [20] Childs, T.H., Dirikolu, M.H., Sammons, M.D., Maekawa, K., Kitagawa, T., 1997, Experiment on and Finite Element Modelling of Turning Free-Cutting Steels at Cutting Speeds up to 250 m/min, *Proceeding of the 1st French and German Conference on High Speed Machining*, m.s. 325-331.
- [21] Schulz, H., Moriwaki, T., 1992, High Speed Machining, *Annals of the CIRP*, Vol. 41/2, m.s. 901-906.
- [22] Stabler, G.V., 1951, The Fundamental Geometry of Cutting Tools, *Proceedings of the the Institution of Mechanical Engineering*, Vol. 165, m.s. 14-21.
- [23] Merchant, M.E., *Mechanics of the Cutting Process*, J. Appl. Phys., 16 (1945)
- [24] Bowden, F.P., dan Tabor, D., *Friction and Lubrication of Solids* Oxford University Press (1954).
- [25] S. Cyrill Donaldson, George H. LeCain and V. C. Goold, "Tool Design", McGraw-Hill, USA, 1973.
- [26] Taylor, F.W., *Trans. A.S.M.E.*, 28, 31 (1907)
- [27] King, A.E. dan Wheildon, W.M., *Ceramic in Machining Processes*, Academic Press, New York (1990).
- [28] Brookes, C.A., dan Lambert, W.A., *Ultrahard Materials Application Technology*.(De Beers) hlm. 128 Hornbeam Press Ltd. (1982).
- [29] Hibbs, L.E., Jr., dan Wentorf, R.H., Jr., 8th. Plansee Seminar, Paper No. 42 (1974)
- [30] Schulz, H., dan Moriwaki, T., High Speed Machining, *Annas of CIRP*, Vol. 41/2, m.s 637-643.
- [31] Mathew, P., Oxley, L.B., 1982, Predicting the Effects of Very High Cutting Speeds on Cutting Forces, *Annals of the CIRP*, Vol. 31/1/, m.s. 49-52

- [32] Childs, T.H., Maekawa, K., 1990, Computer – Aided Simulation and Experiment Studies of Chip Flow and Tool Wear in the Turning of Low Alloy Steels by Cemented Carbide Tools, *Wear*, 139, m.s 235 – 250.
- [33] Maekawa, K., Ohhata, H., Kitigawa, T., Childs, T.H.C., (1996), Simulation Analysis of Machinability of Leaded Cr – Mo and Mn – B Structural Steels, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 62, m.s 363 –369
- [34] Maekawa, K., Kitigawa, Shirakashi, T.,T., Childs, T.H.C., (1993), Finite Element Simulation of Three – Dimensional Continuous Chip Formation Processes, *Proceeding of the 8th ASPE Annual Meeting*, m.s 519 – 522.
- [35] Eldridge, K.F., Dillon, O.W., Lu, W.L., (1991), Thermo-Viscoplastic Finite Element Modelling of Machining Under Various Cutting Condition, *Transaction of NAMRI/SME*, Vol. XIX. m.s. 162-169.
- [36] Iwata, K., Osaka, K., Terasaka, Y., (1984), Process Modelling of Orthogonal Cutting by the Rigid-Plastic Finite Element Method, *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 106, m.s. 132-138.
- [37] Klamecki, B.E., (1973), Incipient Chip Formation in Metal Cutting-A Three Dimension Finite Element Analysis, Ph.D. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [38] Komvopoulos, K., Erpenbeck, S.A., (1991), Finite Element Modelling of Orthogonal Metal Cutting, *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 113, m.s. 253-267.
- [39] Lin, S.Y., (1992), A Coupled Finite Element Model of Thermal-elastic-plastic Large Deformation for Orthogonal Cutting, *ASME Journal of Engineering Material Technology*, Vol. 114, m.s. 218-216.
- [40] Lin, Z.C., Pan, W.C., (1994), A Thermal-elastic-plastic Model with Special Elements in A Cutting Process with Tool Flank Wear, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 34, No. 6, m.s. 757-770.
- [41] Lin, Z.C., Liu, C.C., (1995), Analysis of Orthogonal Finish Machining Using Tungsten Carbide and Diamond Tools of Different Heat Transfer Coefficients, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 36, m.s. 73-78.
- [42] Marusich, T.D., Ortiz, M., (1995), Finite Element Simulation of High Speed Machining Simulation of Material Processing, *Proceeding of the NUMIFORM'95*, m.s. 101-108.
- [43] Rakotomalala, R., Joyot, P., Tauratier, M., (1993), Arbitrary Lagrangian-Eulerian Thermomechanical Finite Element Model of Material Cutting, *Communication in Numerical Methods in Engineering*, Vol. 9, m.s. 975-987.

- [44] Pantale, O., Rakotomalala, R., Tauratier, M., Hakem, N., (1996), A Three-Dimensional Numerical Model of Orthogonal and Oblique Metal Cutting Processes, Proceeding of Engineering Systems Design and Analysis, ASME, Vol. 3, m.s. 199-206.
- [45] Sekhon, G.S., Chenot, J.L., (1992), Some Simulation Experiments in Orthogonal Cutting, Numerical Methods in Industrial Forming processes, m.s. 901-906.
- [46] Shih, A.J., Chandrasekar, S., Yang, H.T., (1990), Finite Element Simulation Of Metal Cutting Process with Strain-Rate and Temperature Effects, Fundamental Issues in Machining, ASME, PED-Vol. 43, m.s. 11-24.
- [47] Shih, A.J., (1995), Finite Element Simulation Of Orthogonal Metal Cutting, ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 117, m.s. 84-93.
- [48] Shih, A.J., (1996), Finite Element Analysis Of Orthogonal Metal Cutting Mechanics, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 36, m.s. 255-273.
- [49] Strenkowski, J.S., Carroll, J.T., (1985), A Finite Element Model of Orthogonal Metal Cutting, ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 107, m.s. 346-354.
- [50] Ceretti, E. , Fallbohmer, P. , Wu, W.T. , Altan, T. , (1996), Application of 2D FEM to Chip Formation in Orthogonal Cutting, J. Mater. Process. Technol. 59 (1:2), m.s. 169-180.