

**PEMBANGUNAN MATA ALAT SERAMIK UNTUK
PEMESINAN KELULI ALOI**

MUHAMMAD SOBRON YAMIN LUBIS

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2008

PEMBANGUNAN MATA ALAT SERAMIK UNTUK PEMESINAN KELULI ALOI

Oleh

MUHAMMAD SOBRON YAMIN LUBIS

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi Ijazah
Doktor Falsafah**

APRIL 2008

PENGHARGAAN

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang

Pertama sekali saya ucapkan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya saya dapat menjalankan dan menyelesaikan kajian ini dengan jayanya. Seterusnya dapat saya menyempurnakan penulisan tesis ini dengan baik. Segala cabaran yang saya terokai di dalam menyelesaikan tesis ini menjadi satu bukti bahawa hanya kekuasaan Allah SWT sahaja yang dapat membimbing dan memberikan kekuatan kepada saya.

Dikesempatan ini saya merakamkan setinggi - tinggi penghargaan dan ucapan ribuan terima kasih kepada kedua - dua penyelia saya Prof.Radzali Othman dan Prof Hj. Mohd Razali Muhamad di atas segala kesediaan, kesanggupan, dan kesungguhan mereka menjadi penyelia, selama saya menuntut ilmu di Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik (PPKM) dan Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan Dan Sumber Mineral (PPKBSM). Mereka telah banyak meluangkan masa memberikan bimbingan, tunjuk ajar, bantuan, motivasi, dan nasehat yang tak ternilai.

Sekalung penghargaan dan ucapan ribuan terima kasih kepada Prof.Madya Dr.Zaidi Mohd Ripin selaku Dekan, Prof.Madya Dr.Hj.Zainal Alimuddin Zainal Alaudin selaku Pengerusi Rancangan Ijazah Tinggi, dan Prof.Madya Dr.Zulkifli Abdullah selaku Timbalan Dekan Akademik Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik, dan kepada Prof.Madya Dr.Khairun Azizi selaku Dekan dan Prof.Madya Dr.Azizan selaku Pengerusi Rancangan Ijazah Tinggi Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral.

Terima kasih kepada En.Rosnin, En.Hamid Fahmi, En.Azhar, En.Baharom, En.Jamari, En.Abd.Latif, En.Ali, En Amri dan lain-lain kakitangan teknikal Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik. Terima kasih kepada En.Khairul, En.Saharul Azmi, En.Shahid, En.Rasyid, En.Mokhtar dan lain-lain kakitangan teknikal Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral atas bantuan yang diberikan semasa melakukan ujikaji di makmal.

Terima kasih kepada Rektor Univ.Muhammadiyah Sumatera Utara atas kesempatan dan bantuan yang diberikan kepada saya untuk mengikuti program Doktor Falsafah dalam Bidang Kejuruteraan Mekanik di Universiti Sains Malaysia.

Dan juga terima kasih kepada kedua Orang Tua ; Drs.H.M.Yamin Lubis /Rosna Harahap atas bantuan serta dorongan moral yang diberikan. Serta kepada mama ; Hj.Asniar atas segala dorongan motivasi yang diberikan selama mengikuti pendidikan.

Terima kasih kepada Isteri Ir.Silvi Ariyanti, M.Sc, dan ketiga-tiga anakanda tercinta Annisa Nabilla Lubis (Ica), Siti Amirah Sania (Sania), dan Sarah Afifah Lubis (Sarah) diatas dorongan semangat, ketabahan dan kesetiaan mendampingi saya selama mengikuti pengajian di Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik Kampus Kejuruteraan USM, Seri Ampangan, Nibong Tebal Pulau Pinang - Malaysia.

Tak lupa ucapan terima kasih disampaikan kepada kawan-kawan seperjuangan Suhaili, Hanif, Sufri, Ande, Zoel, Ivan, Teguh Darsono, Sugeng dan Persatuan Pelajar Indonesia (PPI) Kampus Kejuruteraan USM, Seri Ampangan atas kerja sama, perhatian dan dukungan yang di berikan selama menuntut ilmu.

Kehadrat Allah S.W.T saya mohonkan do'a semoga yang saya sebutkan di atas mendapat balasan amal dan limpahan rahmat atas segala keihlasannya.

Amin ya rabbal alamin.

Muhammad Sobron Yamin Lubis

April 2008

KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	v
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI LAMPIRAN	xvi
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xx

BAB.1 : PENGENALAN

1.0	Latar Belakang Penyelidikan	1
1.1	Objektif Dan Skop Penyelidikan	6
1.2	Kaedah Penyelidikan	7
1.3	Faedah Penyelidikan	9

BAB.2 : KAJIAN ILMIAH

2.0.	Pengenalan	10
2.1	Bahan-Bahan Mata Alat Potong	11
2.2	Sifat-Sifat Mata Alat Potong	17
2.3	Bahan Seramik	18
2.3.1	Sifat-Sifat Fizik Seramik	24
2.3.2	Sifat-Sifat Mekanik Seramik	26
2.3.3	Seramik Berasaskan Alumina	27
2.3.4	Seramik Berasaskan Silikon Nitrida	29
2.3.5	Proses Pensinteran	29
2.3.6	Kekerasan	33
2.3.7	Mikrostruktur	34

2.4 Mata Alat Seramik	35
2.4.1 Sifat-Sifat Bahan Mata Alat Seramik	38
2.5 Mekanik Proses Pemotongan	40
2.5.1 Mekanik Pembentukan Serpihan	41
2.5.2 Kuasa Pemotongan	46
2.5.3 Suhu Dalam Pemotongan Logam	47
2.5.4 Bahan Kerja AISI D2	50
2.5.5 Hayat Mata Alat	52
2.5.6.Keausan Mata Alat	55
2.5.7 Parameter Pemotongan	64
2.5.8 Kekasaran Permukaan	67
2.6 Rumusan	69

BAB.3 : BAHAN DAN KAEDAH UJIKAJI

3.0 Pengenalan	70
3.1.Bahan Seramik	71
3.2 Kaedah Pembuatan Mata Alat Seramik	71
3.2.1 Reka Bentuk Acuan	73
3.2.2 Proses Pemampatan	84
3.2.3 Proses Pensinteran	86
3.3.Pengujian Sifat-Sifat Mata Alat Seramik	93
3.3.1 Ujian Ketumpatan Pukul Dan Peratus Keliangan	94
3.3.2.Ujian Kekerasan	95
3.4. Pengujian Prestasi Mata Alat	97
3.4.1 Bahan kerja	97
3.4.2.Mata Alat	99
3.4.3 Mesin Alat	99
3.4.4 Kaedah Ujikaji Prestasi Mata Alat Seramik	100

3.4.5 Pengukuran Kehausan Mata Alat	104
3.4.6 Pengukuran Kekasaran Permukaan	105
3.5 Rumusan	107
 BAB.4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.0 Pengenalan	108
4.1. Penilaian Sifat Mata Alat Potong Keramik	108
4.1.1 Proses Pensinteran Relau Induksi	111
4.1.1.1 Analisis Sifat Komposit Keramik Tersinter	111
4.1.1.2 Analisis Sifat Alumina Tersinter	119
4.1.2 Analisis Sifat Bahan Komposit Menerusi Proses Pensinteran Relau Vakum	122
4.1.3 Proses Pensinteran Penekan Isotatik Panas Dan Kesannya Ke Atas Sifat-Sifat Komposit Keramik Tersinter	126
4.1.4 Analisis Sifat Bahan Komposit Keramik Tersinter Melalui Proses Pensinteran Penekan Panas	128
4.2 Prestasi Mata Alat Potong Keramik	132
4.2.1 Pengenalan	132
4.2.2 Haus Mata Alat Keramik	133
4.2.3 Ujikaji	134
4.2.3.1 Mata Alat Potong	134
4.2.3.2 Bahan kerja	135
4.2.4 Keputusan	135
4.2.4.1 Haus Mata Alat	135
4.2.5 Hayat Mata Alat	148
4.2.6 Analisis Serpihan Bahan Kerja	161
4.2.7. Analisis Kekasaran Permukaan Bahan Kerja	162

4.3 Perbandingan Prestasi Di Antara Mata Alat Seramik Fabrikasi Dan Komersil	167
4.3.1 Perbandingan Hayat Mata Alat	164
4.3.2. Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Bahan Kerja	169
4.4 Rumusan	171
BAB.5 : KESIMPULAN & CADANGAN	
5.0 Pengenalan	173
5.1 Rangkuman Penyelidikan	173
5.2 Kesimpulan Penyelidikan	175
5.3 Cadangan	177
RUJUKAN	178
LAMPIRAN	187

SENARAI JADUAL

	Muka Surat
Jadual 1.1	Perkembangan mata alat potong (Vidosic, 1964) 4
Jadual 2.1	Sifat-sifat mata alat potong (Kalpakjian, 1995) 20
Jadual 2.2	Sifat-sifat fizik beberapa seramik (De Garmo, 1997) 25
Jadual 2.3	Sifat-sifat mekanikal pelbagai jenis seramik pada suhu bilik (Zainal, 1999) 27
Jadual 2.4	Skala kekerasan Rockwell (Surdia & Saiti, 2000) 34
Jadual 2.5	Sifat-sifat fizik mata alat potong seramik (Xing Shen ^[1] , 1994) 39
Jadual 2.6	Sifat-sifat Bahan AISI D2 51
Jadual 2.7	Had kehausan mata alat (Rochim, 1993) 53
Jadual 3.1	Ujikaji bahan seramik didalam proses sinter menggunakan relau induksi dengan suhu sinter 1600°C, kadar sinter 5 °C/min 87
Jadual 3.2	Ujikaji bahan seramik didalam proses sinter menggunakan relau vakum dengan suhu sinter 1500°C, kadar kenaikan suhu 10°C/min 89
Jadual 3.3	Ujikaji bahan seramik didalam proses sinter menggunakan relau HIP dengan suhu sinter 1800 °C, kadar sinter 10°C/min 90
Jadual 3.4	Ujikaji bahan seramik didalam proses sinter menggunakan relau penekan panas dengan suhu sinter 1800°C dan 2000 °C, kadar sinter 10°C/min 92
Jadual 3.5	Kaedah dan keadaan pensinteran bahan mata alat seramik 93
Jadual 3.6	Data fizik bahan kerja keluli aloi AISI D2 98
Jadual 3.7	Parameter pemotongan pada ujikaji prestasi mata alat seramik 103
Jadual 4.1	Sifat bahan mata alat seramik komersil (Kennametal, 2000) 109
Jadual 4.2	Keputusan ujian sifat-sifat komposit seramik alumina titanium karbida tersinter pada masa rendaman 180 minit 114

Jadual 4.3	Keputusan ujian sifat-sifat komposit seramik alumina titanium karbida tersinter pada masa rendaman 120 minit	115
Jadual 4.4	Keputusan ujian sifat seramik alumina tersinter	121
Jadual 4.5	Keputusan ujian sifat bahan mata alat seramik alumina-titanium karbida ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$) tersinter menggunakan relau vakum	123
Jadual 4.6	Keputusan ujian sifat bahan komposit seramik pada suhu sinter 1800°C menggunakan HIP	127
Jadual 4.7	Keputusan ujian sifat bahan seramik alumina titanium karbida pada suhu sinter 1800°C menggunakan penekan panas	130
Jadual 4.8	Keputusan ujian sifat bahan komposit seramik alumina titanium karbida pada suhu sinter 2000°C	131
Jadual 4.9	Hayat mata alat potong komposit seramik ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$)	149
Jadual 4.10	Hayat mata alat potong karbida (komersil)	152
Jadual 4.11	Hayat mata alat potong seramik Al_2O_3 (komersil)	155
Jadual 4.12	Hayat mata alat potong seramik Al_2O_3 (fabrikasi)	155

SENARAI RAJAH

	Muka Surat	
Rajah 1.1	Pergantungan sifat beberapa jenis mata alat potong	
	(a) kekerasan mata alat sebagai fungsi suhu	
	(b) kekerasan panas dan ketahanan haus melawan kekuatan (Schneider, 2004)	3
Rajah 2.1	Sudut-sudut mata alat potong (Schneider, 2004)	12
Rajah 2.2	Sifat-sifat pengembangan seramik berbanding logam dan polimer (Zainal, 1999)	25
Rajah 2.3	Kekuatan bahan seramik stabil sehingga suhu tinggi (Zainal, 1999)	26
Rajah 2.4	Skema mekanisme pensinteran (a) Aliran likat atau plastik zarah (b) Resapan (c) Pengewapan (d) Larutan dan pemendekan (Zainal, 1991)	31
Rajah 2.5	Proses pembentukan serpihan	42
Rajah 2.6	Serpihan benda kerja (a) serpihan selanjar (b) serpihan tidak selanjar	44
Rajah 2.7	Ketebalan serpihan	45
Rajah.2.8	Taburan suhu sewaktu proses pemotongan logam (Schneider, 2000)	47
Rajah.2.9	Kehausan rusuk mata alat	57
Rajah 2.10	Kehausan kawah pada mata alat (Subramaniam dan Gekonde, 2002)	58
Rajah 2.11	Kehausan takuk pada mata alat (Nabhani, 2001)	59
Rajah.2.12	Kerosakan pecah pada mata alat (Jawaid ,1999)	61
Rajah 2.13	Ciri-ciri kehausan mata alat	62
Rajah 2.14	Kedalaman potong pada proses larik	66

Rajah 3.1	Proses pembuatan mata alat seramik	72
Rajah 3.2	Penebuk, acuan, dan andas mata alat seramik	74
Rajah 3.3	Geometri mata alat	75
Rajah 3.4	Acuan mata potong alat seramik	80
Rajah 3.5	Penebuk serbuk didalam acuan	82
Rajah 3.6	Andas pada acuan mata alat seramik	83
Rajah 3.7	Mesin penekan insani	85
Rajah 3.8	Mesin penekan automatik	85
Rajah 3.9	Jadual pensinteran sampel seramik	87
Rajah 3.10	Relau pensinteran jenis <i>Carbolite</i>	88
Rajah 3.11	Skema proses penekanan isostatik panas	90
Rajah 3.12	Proses penekanan panas	93
Rajah 3.13	Alat uji kekerasan Rockwell	96
Rajah 3.14	Bahan kerja keluli aloi	98
Rajah 3.15	Mesin larik kawalan berangka berkomputer jenis Okuma LB 15	100
Rajah 3.16	Carta alir kaedah ujikaji prestasi mata alat	101
Rajah.3.17	Mikroskop tool make untuk mengukur kehausan mata alat	104
Rajah 3.18	Alat ukur kekasaran permukaan	106
Rajah 4.1	SEM mikrostruktur mata alat seramik komersil alumina-titanium karbida (pembesaran 1000 x)	110
Rajah 4.2	Bahan serbuk seramik alumina dan titanium karbida	111
Rajah 4.3	SEM partikel komposit seramik (alumina-titanium karbida)	112
Rajah 4.4	Sampel alumina-titanium karbida	113
Rajah 4.5	Jadual pensinteran menggunakan relau induksi	113
Rajah 4.6	Tekanan pemampatan lawan peratus keliangan ketara pada masa rendaman berbeza	116

Rajah 4.7	Tekanan pemampatan lawan ketumpatan pukal	117
Rajah 4.8	Mikrostruktur sampel alumina-titanium karbida tersinter pada suhu 1600 °C (pembesaran 1000 x)	118
Rajah 4.9:	Sampel alumina – titanium karbida tersinter pada suhu 1600 °C	119
Rajah 4.10	Jadual pensinteran alumina dalam relau induksi	120
Rajah 4.11:	Sampel alumina tersinter pada suhu 1600 °C	124
Rajah 4.12:	Mikrostruktur alumina tersinter menggunakan relau induksi pada suhu 1600 °C (pembesaran 1000 x)	122
Rajah 4.13:	Sampel bahan mata alat alumina-titanium karbida tersinter pada suhu 1500 °C	123
Rajah 4.14	SEM mikrostruktur bahan alumina-titanium karbida (70:30%) tersinter pada suhu 1500 °C (pembesaran 1000 x)	125
Rajah 4.15	SEM mikrostruktur bahan alumina-titanium karbida (70:30%) tersinter pada suhu 1800 °C (pembesaran 1000 x)	128
Rajah 4.16	Sampel alumina titanium karbida tersinter penekan panas pada suhu 1800°C. (a) Al ₂ O ₃ (70%) TiC (30%) (b) Al ₂ O ₃ (80%) TiC (20%)	129
Rajah 4.17	SEM mikrostruktur bahan alumina –titanium karbida (70:30%) tersinter menggunakan penekan panas pada suhu 1800 °C (pembesaran 1000 x)	131
Rajah 4.18	Sampel alumina-titanium karbida tersinter pada suhu 2000°C.	132
Rajah 4.19	Masa pemesinan lawan kehausan mata alat seramik alumina-titanium karbida (komersil)	136
Rajah 4.20	Kerosakan mata alat potong seramik alumina-titanium karbida (a) kelajuan pemotongan 150 m/min (15 minit) (b) kelajuan	

	pemotongan 200 m/min (14 minit) (c) kelajuan pemotongan	
	250 m/min (12 minit) (d) kelajuan pemotongan 300 m/min	138
Rajah 4.21	Masa pemesinan lawan kehausan mata alat karbida (komersil)	139
Rajah 4.22	Kerosakan mata alat potong karbida komersil	
	DNMG 110404-MF2 (kelajuan pemotongan 300 m/min, 6 minit)	142
Rajah 4.23	Masa pemesinan lawan kehausan mata alat alumina (fabrikasi)	143
Rajah 4.24	Kerosakan mata alat potong alumina fabrikasi	
	(kelajuan pemotongan 250 m/min, 8 minit)	145
Rajah 4.25	Masa pemesinan lawan kehausan mata alat alumina (komersil)	146
Rajah 4.26	Kerosakan mata alat alumina komersil (kelajuan pemotongan	
	250 m/min, 8 minit)	147
Rajah 4.27	Kelajuan pemotongan lawan hayat mata alat alumina-titanium	
	karbida (komersil)	149
Rajah 4.28	log Vc lawan log hayat mata alat alumina-titanium karbida	
	(komersil)	150
Rajah 4.29	Kelajuan pemotongan lawan hayat mata alat karbida (komersil)	152
Rajah 4.30	log Vc lawan log hayat mata alat karbida (komersil)	152
Rajah 4.31	Kelajuan pemotongan lawan hayat mata alat alumina (komersil)	155
Rajah 4.32	log Vc lawan log hayat mata alat alumina (komersil)	156
Rajah 4.33	Kelajuan pemotongan lawan hayat mata alat alumina (fabrikasil)	159
Rajah 4.34	log Vc lawan log hayat mata alat alumina (fabrikasi)	160
Rajah 4.35	Masa pemesinan lawan kekasaran permukaan	162
Rajah 4.36	Masa pemesinan lawan kekasaran permukaan	164
Rajah 4.37	Masa pemesinan lawan kekasaran permukaan	165
Rajah 4.38	Masa pemesinan lawan kekasaran permukaan	166

Rajah 4.39	Perbandingan nilai hayat mata alat menggunakan mata alat berbeza	168
Rajah 4.40	Perbandingan nilai kekasaran permukaan bahan kerja menggunakan mata alat berbeza	169

SENARAI LAMPIRAN

	Muka surat
Lampiran . 1 Pemampatan Bahan Sampel	187
Lampiran . 2 Keadaan Pensinteran	190
Lampiran . 3 Keputusan Ujian Keliangan, dan Ketumpatan Pukal	193
Lampiran . 4 Keputusan Ujian Sifat-Sifat Bahan Mata Alat Seramik	195
Lampiran . 5 Keputusan Ujikaji Prestasi Mata Alat	198
Lampiran . 6 Mikrostruktur Sampel	202
Lampiran . 7 Spesifikasi Teknikal Alat Penekan Panas Isostatik	205
Lampiran . 8 Mata Alat Potong Fabrikasi	213
Lampiran . 9 Mata Alat Potong Komersil	214
Lampiran .10 Pemegang Mata Alat	215
Lampiran .11 Bahan Sampel Tersinter Menggunakan Alat Penekan Panas	216
Lampiran .12 Kod Geometri Mata Alat	217
Lampiran .13 Perhitungan Tegasan Tekan Pemampatan	219
Lampiran. 14 Acuan Mata Alat	221

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

	Muka surat
1.1 Penilaian Kemampuan Potong Mata Pahat Keramik Pada Pemesinan Stainless Steel. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin I (SNTTM-I) Institiut Teknologi Surabaya Indonesia.(2002).	222
1.2 Kesan Mata Pahat Terhadap Kekasaran Permukaan Dan Biaya Pemesinan Logam. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin II (SNTTM-II) Universitas Andalas Padang Sumatera Barat Indonesia. (15 – 16 Desember 2003).	223
1.3 Wear Behaviour of Ceramic Cutting Tools In the Machining of Stainless Steels. International Conference On Recent Advances In Materials and Environment 2003. Orginsed by School of Materials & Mineral Resource Engineering Universiti Sains Malaysia.(20 th – 22 nd October 2003).	224
1.4 Manufacturing Process of Ceramic Cutting Tools. Kolokium Penyelidikan Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik USM Penang Malaysia (07-09 April 2004).	225

PEMBANGUNAN MATA ALAT SERAMIK UNTUK PEMESINAN KELULI ALOI

ABSTRAK

Pembangunan bahan kejuruteraan yang semakin meningkat kekuatan dan kekerasannya, memerlukan bahan mata alat potong yang memiliki kekerasan, kekuatan dan ketahanan terhadap suhu yang tinggi. Dari pelbagai jenis bahan mata alat yang ada, bahan seramik sangat berpotensi digunakan sebagai bahan mata alat, kerana bahan seramik memiliki sifat-sifat keras, kuat, tahan terhadap suhu tinggi dan tidak bertindakbalas secara kimia dengan bahan logam. Kajian ini memiliki dua bahagian utama iaitu proses pembuatan mata alat seramik dan penilaian sifat-sifat serta prestasi pemotongan mata alat. Proses pembuatan mata alat komposit seramik meliputi proses penimbangan bahan, pencampuran, pemampatan dan pensinteran. Pencampuran bahan dilakukan antara lain 70% alumina dan 30 % titanium karbida Serbuk yang telah tercampur dimampatkan dalam acuan mata alat dengan beban pemampatan sebanyak 50, 100, 150 dan 200 MPa. Sampel dilakukan perawatan haba dengan menggunakan 4 kaedah pensinteran, diantaranya pensinteran relau induksi, relau vakum, penekan panas dan penekan isostatik panas. Sampel yang tersinter selanjutnya dilakukan penilaian untuk mendapatkan sifat-sifat fizik dan prestasi pemotongan. Ujian sifat fizik meliputi ujian peratus keliangan, ketumpatan pukal, kekerasan dan mikrostruktur. Penilaian prestasi pemotongan mata alat dijalankan menggunakan mesin larik kawalan berangka berkomputer Jenis Okuma LB 15. Bahan kerja yang digunakan adalah keluli aloi AISI D2. Penilaian prestasi mata alat meliputi ujian hayat mata alat, kehausan mata alat dan kekasaran permukaan bahan kerja termesin.

Daripada keputusan ujikaji sifat-sifat mata alat diperolehi bahawa bahan alumina-titanium karbida (Al_2O_3 -TiC) saiz zarah 2.05 mikron telah berjaya dihasilkan sebagai

mata alat potong dengan menggunakan teknologi pensinteran penekan panas. Pensinteran penekan panas dilakukan pada suhu 1800°C, kadar sinter 10°C/min, masa rendaman 60 minit dan beban tekanan 50 MPa. Demikian juga halnya dengan bahan alumina (Al_2O_3) saiz zarah 0.6 mikron telah berjaya dihasilkan sebagai mata alat pemotong dengan menggunakan kaedah pensinteran relau induksi. Pensinteran dijalankan pada suhu sinter 1600 °C, kadar sinter 5°C/min, masa rendaman 120 minit. Keputusan ujikaji pensinteran dalam proses pembuatan mata alat menggunakan relau induksi didapati bahawa bahan alumina-titanium karbida ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$) mengalami pengoksidaan. Keputusan ujian pemesinan logam keluli aloi pada kelajuan pemotongan 150 m/minit diperolehi nilai hayat mata alat karbida lebih besar berbanding mata alat seramik alumina titanium karbida dan alumina fabrikasi. Pada kelajuan pemotongan 200 m/minit hayat mata alat karbida sama dengan mata alat seramik alumina dan alumina titanium karbida. Sedangkan pada kelajuan pemotongan 250 m/minit hayat mata alat alumina lebih besar berbanding mata alat alumina titanium karbida dan karbida. Pada kelajuan 300 m/minit hayat mata alat alumina titanium karbida lebih lama berbanding mata alat alumina dan karbida.

DEVELOPMENT OF CERAMIC CUTTING TOOL FOR MACHINING OF ALLOY STEEL

ABSTRACT

The development of engineering materials has increased the strength and hardness so much so that cutting tool materials with higher strength, hardness and high temperature resistance are needed. From the various cutting tool materials available, ceramic materials have the potential to fill this need due to the attractive properties of this material, such as hardness, strength, and high temperature resistance and chemical inertness with metal. In this study, there were two main objectives; i.e. the manufacturing process of ceramic cutting tools and the evaluation of properties and performance of ceramic cutting tools. The manufacturing of ceramic composite cutting tools involves the weighing of starting materials, mixing, pressing and sintering. The materials (Al_2O_3 and TiC) were mixed in a ratio of 70 % of alumina and 30 % of titanium carbide. The mixed powder was pressed in a metal (or graphite) mould with a pressure loading of 50, 100, 150 and 200 MPa. The sample was heat-treated using four sintering processes namely an induction furnace, vacuum furnace, hot pressing and hot isostatic pressing. The sintered sample was then evaluated for physical properties and cutting performance. Analysis of physical properties involved porosity, bulk density, hardness and microstructure. The evaluation of cutting tools performance was carried out using Okuma LB 15 CNC lathe machines. Using commercial ceramic tools and compared to the conventional WC tool tip. The Alloy steel used AISI D2 as the workpiece material. The evaluation of performance of the cutting tools involved tool wear, tool life testing, and surface roughness of workpiece. The results of the experiment on properties obtained indicated alumina-titanium carbide (Al_2O_3 -TiC) of particle size 2.05 micron can be successfully fabricated as cutting tools using sintering by hot pressing technology. The hot pressing was carried out at 1800°C , sintering rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$, soaking time of 60 min and pressure load of 50

MPa. A part from this, this work has successfully found that alumina (Al_2O_3) of particle size 0.6 micron had also been successfully fabricated as a cutting tool using the induction furnace method. The sintering process was carried out at 1600°C , sintering rate of $5^\circ\text{C}/\text{min}$ and a soaking time of 120 min. The results from the manufacturing process of cutting tool showed that the alumina-titanium carbide ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$) material was oxidized during the sintering process using an induction furnace. The machining of alloy steel using carbide cutting tools at a cutting speed of 150 m/min resulted in a tool life value which is longer compared to the tool life of ceramic alumina-titanium carbide and fabricated alumina. At a cutting speed of 200 m/min, the tool life of carbide cutting tools is similar to the tool life of ceramic alumina and alumina-titanium carbide cutting tools. However, at a cutting speed of 250 m/min the tool life of alumina cutting tools is longer compared to the ceramic alumina-titanium carbide and carbide cutting tools. At a cutting speed of 300 m/min the tool life of alumina-titanium carbide cutting tools is longest compared to ceramic alumina and carbide of cutting tools.

BAB 1 PENGENALAN

1.0 Latar Belakang Penyelidikan

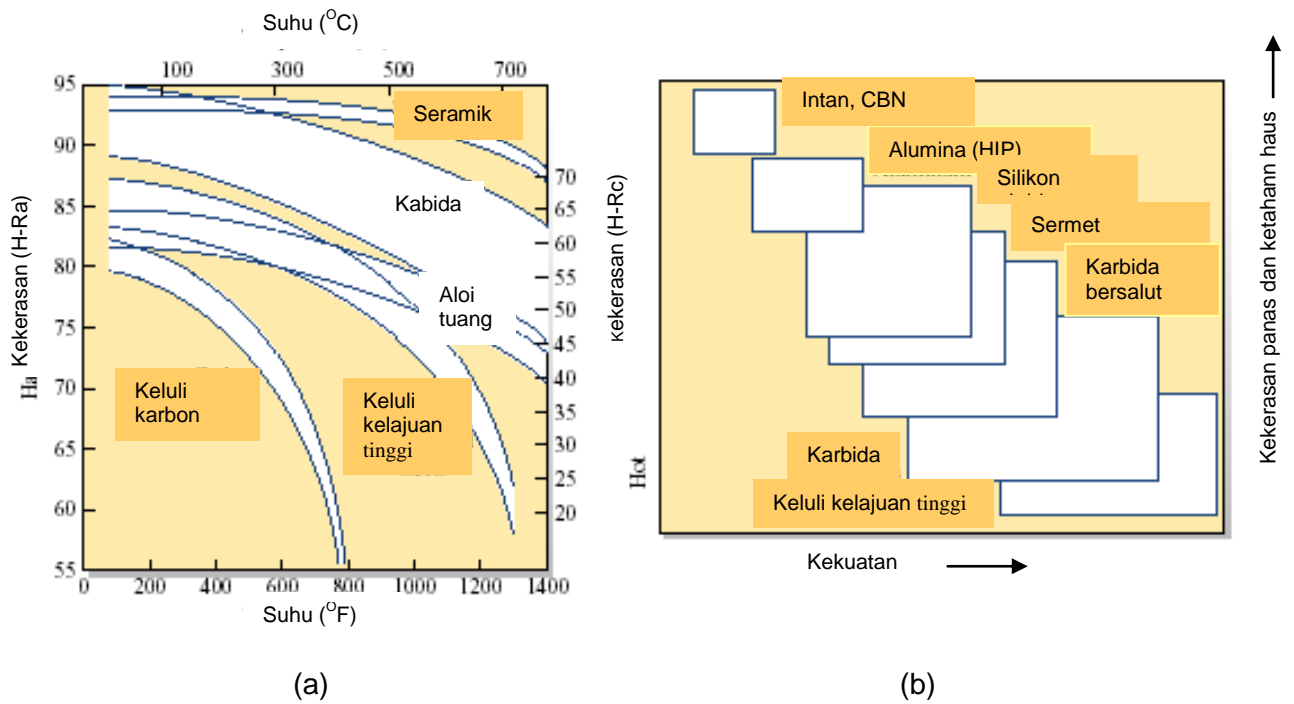
Kemajuan dalam proses tuangan dan tempaan dewasa ini telah mampu menghasilkan bahan kerja menghampiri bentuk yang sempurna. Namun demikian umumnya proses pembentukan akhir masih dilakukan dengan menggunakan kaedah pemesinan. Seiring dengan kemajuan dalam proses tuangan dan tempaan tersebut, mesin perkakas dan mata alat telah berkembang dari masa ke masa demi meningkatkan kejituan hasil pengeluaran. Sebagaimana dinyatakan oleh Kalpakjian (1995) proses pemotongan logam tidak dapat dipisahkan daripada mata alat potong. Mata alat potong tersebut merupakan hal utama yang perlu dipertimbangkan.

Dalam usaha meningkatkan pengeluaran dalam proses pemotongan logam-logam keras, maka faktor kelajuan pemotongan memainkan peranan yang penting dalam proses pemesinan. Kelajuan pemotongan yang tinggi akan menghasilkan serpihan bahan kerja yang lebih banyak. Berdasarkan kajian yang telah dijalankan oleh Elizabeth dan rakan-rakan (1998) peningkatan yang ketara dalam produktiviti pembuatan dapat dicapai melalui peningkatan purata serpihan yang terbuang. Semakin besar jumlah serpihan yang dihasilkan maka masa pemesinan akan semakin singkat.

Penggunaan mesin perkakas CNC (computer numerically control) dapat meningkatkan pengeluaran. Pengerjaan produk dalam jumlah yang banyak untuk menghasilkan bentuk yang seragam dapat dilakukan, kelajuan pemotongan yang tinggi memberi kesan pengurangan masa pemesinan dan peningkatan serpihan yang terhasil. Namun kelajuan pemotongan yang tinggi juga menghasilkan geseran antara

mata alat, serpihan dan bahan kerja. Geseran ini menjana haba yang melemahkan sifat-sifat bahan mata alat pemotong tersebut. Kesannya ialah mata alat semakin lama akan mengalami kehausan dan akhirnya mengalami kegagalan. Proses pemesinan CNC memerlukan jenis mata alat yang mampu melakukan pemotongan secara berterusan. Oleh itu, mata alat harus memiliki ketahanan haus yang tinggi, tahan geseran, dan memiliki ketahanan terhadap suhu yang tinggi.

Dengan berkembangnya teknologi dan aplikasi aeronautik dan industri aeroangkasa, bahan kejuruteraan juga mengalami perkembangan, iaitu bahan-bahan seperti aloi titanium dan super aloi sangat-sangat diperlukan. Keadaan ini memerlukan bahan mata alat dengan prestasi yang tinggi (Chuanzhen,1996). Bahan mata alat potong harus memiliki kekerasan dan kekakuan yang tinggi, terutamanya untuk menahan ubahbentuk akibat daya pemotongan tinggi yang diwujudkan dalam operasi pemesinan. Mata alat juga harus mampu mempunyai ketahanan haus untuk memastikan bentuk daripada mata alat dan menghasilkan kejitian pemesinan yang lebih tinggi. Hayat mata alat yang panjang juga memerlukan kekuatan regangan yang tinggi di samping kekuatan mampatan, ketahanan lelas, kekuatan suhu tinggi, lengai terhadap bahan kimia, ketahanan pecah, ketahanan hentaman dan ketahanan kejutan haba yang tinggi (Amateau, et.al., 1995). Pertalian antara kekerasan dengan suhu, serta kekuatan dan keliatan dengan kekerasan panas bagi pelbagai mata alat potong ditunjukkan dalam Rajah 1.1



Rajah 1.1: Pergantungan sifat beberapa jenis mata alat potong

(a) Kekerasan mata alat sebagai fungsi suhu (b) Kekerasan panas dan ketahanan haus melawan kekuatan (Schneider, 2004)

Daripada Rajah 1.1 (a) diatas diketahui bahawa peningkatan suhu memberi kesan ke atas penurunan kekerasan bahan mata alat. Sedangkan pada Rajah 1.1.(b) diatas menunjukkan kekerasan dan kekuatan bahan mata alat mengalami perkembangan dimana pada suhu yang lebih tinggi, kekerasan bahan mata alat seramik lebih baik berbanding jenis bahan mata alat lainnya.

Dengan berkembangnya teknologi pemotongan logam, mata alat yang memiliki kekuatan, kekerasan, ketahanan haus dan suhu pemotongan yang lebih tinggi telah dibangunkan sehingga didapat melakukan pemotongan pada logam keras dan pada kelajuan yang tinggi. Perkembangan mata alat potong dari masa ke masa dapat dilihat di dalam Jadual 1.1.

Jadual 1.1: Perkembangan mata alat potong. (Vidosic, 1964).

Bahan	Mula muncul (tahun)	Kelajuan maksimum (sfpm)*	Suhu potong maksimum (°C)	Kandungan utama
Keluli karbon	1800	25	204	0.7-12 % Karbon
Keluli kelajuan Tinggi	1850	35	260	Tungsten dan Mangan
Keluli kelajuan tinggi	1890	75	537	Tungsten and Chromium
Aloi tuang	1915	100	815	Stellites
Keluli kelajuan tinggi super	1928	150	871	Cobalt
Karbida	1930	300	1093	Tungsten, Tantalum dan Titanium
Seramik	1955	1600	1204	Alumina

*sfpm = surface feet per minute

Berdasarkan Jadual 1.1 dapat diperhatikan bahawa dari tahun ke tahun prestasi kelajuan pemotongan mata alat semakin meningkat. Hal ini berhubungkait dengan kemajuan yang dicapai dengan bahan-bahan kejuruteraan yang digunakan untuk menghasilkan mata alat. Dari peringkat awal hingga tahun 1928 mata alat logam banyak digunakan dalam pemotongan logam. Bermula dari tahun 1930 sehingga selama lebih kurang 25 tahun mata alat karbida digunakan. Namun kajian yang dijalankan oleh Pugsley (2004) mendapati bahawa mata alat karbida mengalami kelesuan kakisan, sehingga hal ini membawa kesan buruk keatas hayat mata alat tersebut. Berbanding dengan bahan mata alat seramik, ianya memiliki ketahanan terhadap kakisan yang tinggi sehingga hayat mata alat yang lebih lama berbanding mata alat karbida.

Kebanyakan industri menggunakan cecair penyejuk semasa pemesinan dan ini sebenarnya tidak perlu digunakan. Penyejuk dan pelincir yang digunakan dalam pemesinan memerlukan kos sebesar 16 – 20% daripada kos pembuatan. Kini pemesinan tanpa menggunakan sebarang cecair penyejuk menjadi semakin meningkat dan popular disebabkan dapat menghindar terjadinya pencemaran alam sekitar dan tidak memudaratkan kesihatan (Sreejith, 2000). Penggunaan bahan mata alat seramik dapat mengurangkan kos pembuatan tersebut kerana mata alat seramik boleh

digunakan dalam proses pemotongan tanpa menggunakan cecair penyejuk. Ini berpunca daripada sifatnya yang keras, kuat dan tahan terhadap suhu yang tinggi dan memiliki ketahanan haus yang tinggi.

Rao dan rakan-rakan (1997) telah menjalankan kajian tentang penggunaan mata alat seramik dalam industri pemotongan logam di Malaysia. Sebanyak 67 buah kilang telah dihubungi dan daripada jumlah itu hanya 13 buah kilang yang memberikan jawapan. Hanya 6 kilang daripada 13 tadi yang menggunakan mata alat seramik sebagai mata alat potong. Ini menunjukkan bahawa penggunaan mata alat seramik dalam proses pemotongan logam di Malaysia masih pada tahap yang rendah. Kemungkinan besar ini disebabkan oleh salah tanggapan berhubung penggunaan mata alat seramik. Rata-rata kebanyakan kilang menyatakan pemesinan menggunakan mata alat seramik tidak ekonomik dan memerlukan kos yang tinggi.

Pengguna perkakas mesin sering memperolehi pengalaman yang negatif terhadap mata alat seramik termaju. Prestasi yang rendah dihasilkan dan masalah utama adalah kebolehpercayaan. Kegagalan awal berlaku secara berperingkat, dan ini menyebabkan pengguna kehilangan idea untuk kembali cuba menggunakan mata alat seramik kembali. Namun, mata alat seramik dapat menjadi lebih efektif bila mana digunakan dengan sesuai dan untuk pengeluaran yang banyak. Tuntutan terhadap penggunaan mata alat ini akan meningkat, khususnya dalam pemesinan kelajuan tinggi.

Beberapa faktor yang dilaporkan memberi sumbangan terhadap pembangunan mata alat potong secara berterusan adalah (Xing, 1994):

1. Peningkatan berterusan yang ingin dicapai dalam pengeluaran
2. Perkembangan baru struktur aloi logam, yang menyebabkan kemampuan dalam pemesinan bahan tersebut semakin sukar.

3. Peningkatan penggunaan mesin perkakas automatik dan pengawalan dengan sistem komputer memerlukan tahap kebolehpercayaan dan kebolehkawalan daripada prestasi mata alat yang lebih tinggi.

Berdasarkan usaha meningkatkan produktiviti dan kemunculan aloi logam keras termaju serta tinjauan yang telah dijalankan dalam industri pemesisan Malaysia, maka kajian ini di jalankan untuk cuba menghasilkan mata alat potong seramik.

1.1 Objektif Dan Skop Penyelidikan

Objektif Penyelidikan

Penggunaan seramik sebagai bahan mata alat merupakan suatu alternatif untuk dapat melakukan proses pemotongan logam, khasnya untuk logam yang memiliki kekerasan yang tinggi. Seramik memiliki kekerasan dan ketahanan suhu yang jauh lebih tinggi.

Dalam kajian ini objektif penyelidikan yang hendak diperolehi adalah:

1. Menghasilkan mata alat potong seramik berdasarkan bahan alumina dan komposit alumina yang boleh digunakan untuk pemotongan logam keras keluli aloi AISI D2
2. Mengkaji ciri-ciri fizikal dan mekanikal mata alat seramik yang dihasilkan
3. Mengkaji prestasi pemotongan mata alat seramik yang dihasilkan sendiri berbanding mata alat komersil.

Skop Penyelidikan

Skop penyelidikan ini adalah melakukan kajian keatas penggunaan bahan seramik berdasarkan alumina untuk mata alat potong jenis sisip. Mata alat potong jenis

tunggal ini digunakan untuk memotong bahan logam keras seperti keluli aloi AISI D2.

Ujikaji pemotongan logam dijalankan dengan menggunakan mesin larik

Untuk menepati objektif tersebut langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Pencirian bahan seramik
2. Proses pembuatan mata alat
 - a. Pencampuran bahan
 - b. Pengadukan bahan
 - c. Pembuatan acuan
 - d. Pemampatan serbuk
 - e. Pembakaran/pensinteran bahan
3. Pengujian sifat-sifat bahan tersinter
 - a. Ujian ketumpatan
 - b. Ujian peratus keliangan bahan
 - c. Ujian pengecutan bahan
 - d. Ujian kekerasan bahan
4. Pengujian prestasi mata alat
 - a. Kehausan mata alat
 - b. Hayat mata alat
 - d. Kekasaran permukaan bahan kerja termesin

1.2 Kaedah Penyelidikan

Kaedah penyelidikan yang telah digunakan meliputi beberapa peringkat. Peringkat peringkat tersebut adalah :

1. Kajian Ilmiah
 - Peringkat ini adalah peringkat pembacaan, kajian, analisis dan perolehan data daripada penulisan dan hasil kajian yang telah dijalankan terdahulu berhubung proses pembuatan bahan mata alat

seramik, sifat-sifat mata alat potong seramik, ujian sifat-sifat fizik dan mekanik mata alat potong, ujian prestasi mata alat potong. Ini juga meliputi sejarah dan perkembangan mata alat seramik tersebut dalam industri pemesinan logam.

2. Kerja-kerja makmal

Pada peringkat ini kerja-kerja makmal yang dijalankan termasuklah:

- Melakukan ujian pencirian bahan mula. Ujian ini dijalankan bertujuan untuk mengenal pasti jenis serbuk seramik yang bakal digunakan.
- Pencampuran bahan seramik komposit dengan komposisi 70 % alumina dan 30 % titanium karbida.
- Pengadukan bahan komposit seramik tersebut. Pengadukan ini bertujuan untuk mencampur bahan serbuk asal tersebut.
- Proses pemampatan. Serbuk dimasukkan kedalam acuan dan selanjutnya diberikan penekanan untuk memampatkan serbuk tersebut.
- Proses pensinteran. Serbuk yang telah dimampatkan kemudian disinter untuk meningkatkan kekerasannya.
- Bahan yang telah tersinter kemudian dilakukan ujian yang meliputi ujian sifat-sifat bahan dan prestasi mata alat.

Ujian sifat-sifat bahan meliputi :

1. Ujian ketumpatan
2. Ujian keliangan
3. Ujian pengecutan
4. Ujian kekerasan

Ujian prestasi pemotongan mata alat terdiri daripada:

1. Ujian kehausan mata alat
2. Ujian hayat mata alat
3. Ujian kekasaran permukaan bahan kerja

3. Analisa Data

Peringkat ini adalah merupakan proses analisis ke atas semua keputusan ujian yang dijalankan untuk tujuan persembahan dalam tesis. Pada peringkat ini objektif penyelidikan adalah paling penting dan perlu diberi keutamaan.

1.3 Faedah Penyelidikan

Adalah diharapkan di akhir kajian, diperolehi mata alat potong seramik yang dapat melakukan proses pemesinan logam dengan hasil pengeluaran yang baik. Mata alat seramik ini dapat membantu dunia industri pemotongan logam dalam melakukan pemesinan komponen-komponen automotif mahupun aeroangkasa. Mata alat seramik ini dapat dibuat dan dikembangkan di Malaysia.

BAB 2 KAJIAN ILMIAH

2.0 Pengenalan

Bab ini akan menyampaikan dua gagasan utama dalam tesis ini iaitu pertama tentang bahan mata alat potong dan kedua mekanik pemotongan logam.

Dalam usaha untuk meningkatkan pengeluaran yang lebih ekonomik dalam proses pemotongan logam, suatu pendekatan sistem pemotongan logam perlu diambil kira dan ini termasuklah mesin perkakas, mata alat potong dan bahan mata alat. Bahan mata alat yang merupakan suatu unsur dalam sistem perkakas memberi pengaruh yang penting terhadap pengeluaran. Purata kehausan bahan mata alat pada kelajuan yang dikenakan akan mempengaruhi kos pemesinan. Kos penggantian mata alat per komponen dan ramalan tabiat bahan mata alat akan menentukan hayat mata alat tersebut. Dalam proses pemotongan logam, bahan mata alat harus cukup kuat untuk menahani daya yang terjana ketika pemotongan kerana hayat mata alat bergantung kepada proses penghausan. Oleh kerana itu suatu bahan mata alat yang unggul boleh dinyatakan seperti berikut, iaitu ianya harus memiliki kekerasan seperti intan, kekuatan seperti keluli kelajuan tinggi dan kurang bertindakbalas secara kimia seperti seramik. Mata alat potong dapat diklasifikasikan sebagai mata alat potong tunggal (yang mempunyai suatu aktiviti pemotongan rusuk) dan mata alat multitik (yang mempunyai banyak rusuk pemotong yang aktif). Mata alat potong tunggal digunakan untuk pelarikan dan penggerudian, manakala mata alat multitik digunakan untuk penggerudian dan pengisaran (Stephen, 1997).

Klasifikasi mata alat boleh diperincikan lagi berasaskan kaedah pemotongan, geometri dan pemegang mata alat. Pilihan terbaik daripada bahan mata alat dan geometri dalam pengoperasian bergantung kepada isipadu komponen yang dimesin, bahan kerja, kejituan yang diperlukan dan kemampuan mesin perkakas yang sedia ada.

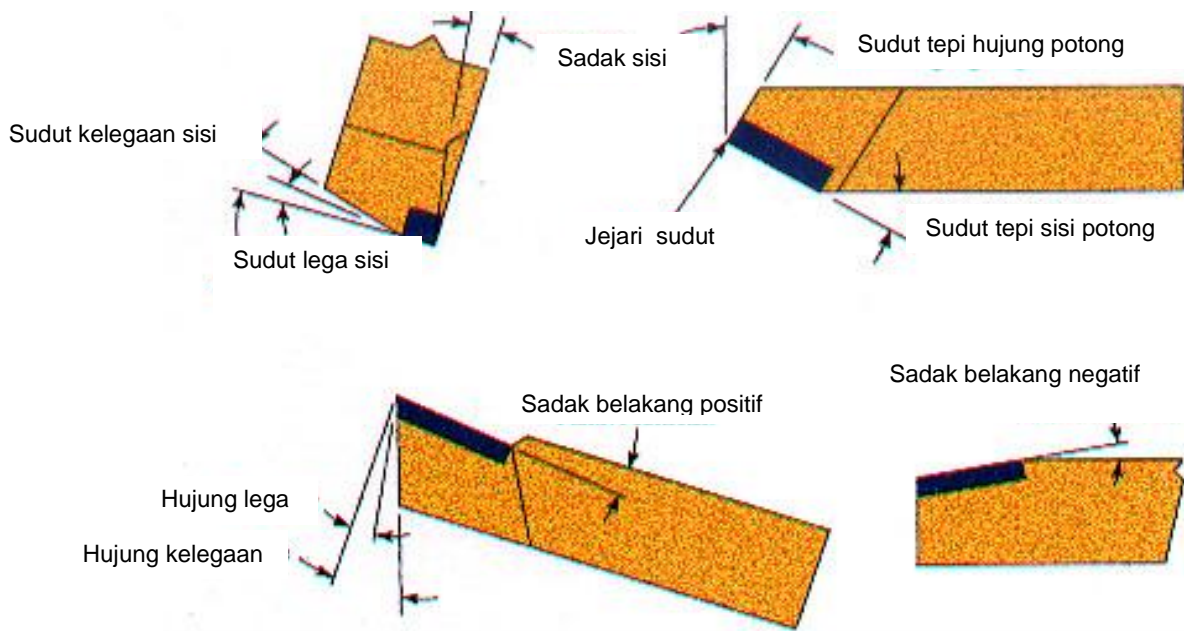
2.1. Bahan-Bahan Mata Alat Potong

Mata alat potong mampu menerima suhu pemotongan atau kelajuan pemotongan yang lebih tinggi, bergantung pada sifat-sifat bahan. Oleh itu, mata alat potong harus dibuat dari bahan yang mampu menahan tekanan dan suhu yang tinggi semasa menghasilkan bentuk serpihan. Menurut Nagpal (1995) sesebuah mata alat harus menepati syarat berikut:

- a. Mata alat potong harus cukup kuat untuk menahan kekuatan yang digunakan dalam pemotongan, penekanan berliku, ricih dan lain-lain.
- b. Mata alat potong harus kuat (tahan terhadap beban hentaman).
- c. Mata alat potong harus lebih keras (tahan haus, goresan dan lekukan) daripada bahan yang dipotong.
- d. Mata alat potong harus tahan terhadap suhu tinggi.
- e. Mata alat potong harus mampu menahan kesan pendinginan yang mendadak dari penggunaan pendingin semasa proses pemotongan.
- f. Pekali geseran di antara serpihan dan mata alat harus rendah.
- g. Mata alat potong harus mudah direkabentuk untuk memperoleh pemotongan yang diinginkan.

Rekabentuk mata alat potong mempengaruhi kekuatan untuk menangani kemampuan permesinan. Mata alat direkabentuk sesuai dengan komponen yang

dihasilkan untuk memperolehi mutu yang sesuai, hayat yang panjang dan penggunaan yang dapat diramalkan. Geometri mata alat yang tidak sesuai menyebabkan kehausan berlaku begitu cepat atau tidak dapat diramalkan, pengeluaran yang berkurang, kos bertambah dan komponen bahan kerja yang dihasilkan memiliki mutu yang tidak baik. Secara umum geometri mata alat potong terdiri daripada pelbagai sudut. Geometri sudut-sudut mata alat yang umum ditunjukkan dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1: Sudut-sudut mata alat potong (Schneider, 2004)

Umumnya kini, bahan mata alat yang digunakan meliputi keluli kelajuan tinggi (HSS); unsur kobalt memperkaya keluli kelajuan tinggi (HSS-Co), tungsten karbida yang disinter (WC), sermet, seramik, boron nitrida kiub (CBN), intan kiub (CD) dan intan asli hablur tunggal.

Keluli Kelajuan Tinggi (HSS)

Keluli kelajuan tinggi terhasil melalui proses pengerasan sendiri keluli bercampur dengan unsur-unsur W, Mo, Co, V dan Cr. Keluli kelajuan tinggi adalah lebih murah berbanding bahan mata alat lainnya, mudah dibentuk dan mempunyai kecemerlangan dari segi kekuatan patah, kelesuan dan tahan gegaran. Bagaimanapun hayat keluli kelajuan tinggi berkurang pada suhu melebihi 540 hingga 600°C dan memiliki ketahanan haus yang terhad. Kestabilan terhadap bahan kimia juga terhad dan cenderung wujud serpihan pinggir pada rusuk mata alat.

Tungsten Karbida yang Disinter (WC)

Tungsten karbida yang disinter berasaskan logam keras adalah bahan mata alat yang paling umum digunakan dalam proses pelarikan, pengisaran, pelurahan dan pelobangan. Sisipan tungsten karbida tersimen dihasilkan melalui proses pencampuran, pemampatan dan proses sinter serbuk tungsten karbida (WC) bercampur unsur kobalt (Co). Kobalt bertindak sebagai suatu pengikat untuk zarah WC yang keras.

Ciri-ciri tungsten karbida meliputi kekuatan pecah garis melintang yang tinggi, kekuatan mampat serta kelesuan tinggi dan kekerasan panas tinggi. Aliran panas antaramuka serpihan dan mata alat terjadi dengan baik. Melalui kandungan kobalt, keseimbangan relatif daripada kekerasan dan kekuatan dapat di tukar. Kelemahannya adalah karbida memiliki kestabilan haba dan kimia yang rendah pada suhu yang tinggi, sehingga ianya tidak sesuai untuk pemesinan keluli pada kelajuan pemotongan yang tinggi.

Kekerasan, kekuatan pecah dan ketahanan panas mata alat potong jenis karbida bergantung kepada kandungan bahan tambah Co, TiC dan TaC dan saiz partikel karbida. Peningkatan kandungan Co mengurangkan kekerasan panas dan kehausan rusuk mata alat, kehausan kawah dan ketahanan terhadap ubah bentuk, tetapi meningkatkan kekuatan pecah. Kekuatan mampat adalah kesan yang ketara daripada kandungan Co dan peningkatan peratus Co boleh mencapai 12 %. Ketahanan kehausan geseran daripada karbida meningkat dengan bertambahnya kandungan TiC dan berkurang dengan meningkatnya kandungan TaC.

Sermet

Seperti mata alat karbida tersimen yang disinter, ianya mengandungi zarah seramik yang keras dicampur bersama melalui ikatan logam. Sifat-sifat fizik dan penggunaan sermet biasanya seperti sifat-sifat antara karbida dan seramik sederhana. Sermet lebih sedikit sensitif terhadap kehausan resapan berbanding karbida dan memiliki ciri-ciri ketahanan geseran yang lebih baik. Walau bagaimanapun, ketahanan patahnya lebih rendah dan pekali pengembangan haba lebih tinggi berbanding karbida. Sermet memiliki kekuatan dan ketahanan retak yang lebih tinggi berbanding seramik, ketahanan terhadap gegaran berkenaan dengan panas lebih tinggi berbanding oksida seramik tetapi kekerasannya lebih rendah berbanding semua seramik.

Seramik

Bahan-bahan mata alat seramik yang umumnya boleh digunakan untuk proses pelarikan pada kelajuan tinggi adalah seramik yang berasaskan alumina (Al_2O_3), silikon nitrida (Si_3N_4) dan SiAlON. Dalam industri pemesinan, mata alat seramik yang dikenal

pasti ialah jenis alumina (Al_2O_3) tulen ataupun ditambah titanium karbida (TiC) 30 %. Penambahan bahan titanium karbida bertujuan untuk meningkatkan ketahanan kejutan haba alumina (Jack, 1985).

Selain TiC bahan lain yang ditambahkan kepada alumina adalah zirkonia (ZrO_2). Menurut Rochim (1993) penambahan zirkonia pada alumina bertujuan untuk meningkatkan jumlah retak mikro yang tidak terorientasi guna mencegah timbulnya retak yang lebih besar, atau dalam kata lain meningkatkan kemuluran.

Seramik pada asasnya memiliki ciri-ciri suhu lebur yang tinggi, kekerasan yang tinggi dan kelengaian terhadap bahan kimia, sehingga komponen rintangan haus dan suhunya tinggi (Deng, et. al., 2005). Faedah daripada mata alat potong seramik termaju lebih baik berbanding mata alat tradisional tungsten karbida. Hayat mata alat seramik lebih lama pada kelajuan pemotongan yang tinggi kerana kestabilan kimianya yang tinggi, kekerasan lebih tinggi pada suhu tinggi dan kejutan haba lebih baik.

Kemajuan dalam teknologi proses seramik telah menghasilkan suatu generasi baru mata alat potong seramik yang berprestasi tinggi serta menunjukkan penambahbaikan sifat-sifatnya. Penambahbaikan yang telah dilakukan di dalam sifat-sifat mata alat adalah segi kekuatan pecah, ketahanan, rintangan kejutan haba, rintangan haus dan kekerasannya. Pembangunan ini membolehkan mata alat seramik digunakan dalam pemesinan untuk berbagai bahan kerja seperti pelbagai jenis keluli, besi tuang, logam bukan ferus dan aloi berdasarkan nikel tahan panas yang dimesin pada kelajuan tinggi (Kumar, et.al., 2003).

Mata alat seramik telah digunakan di dalam industri pemotongan logam sejak tahun 1950. Pada tahun 1970 pula mata alat seramik mengalami penambahbaikan. Hal ini dilakukan dengan cara:

- a. Penambahbaikan mikrostruktur dalam penghalusan zarah melalui pengawalan dan penambahbaikan pada proses pembuatan
- b. Pembangunan mekanisme kekuatan dan pada masa yang sama mengurangkan pengaruh kejutan haba
- c. Pembangunan komposit seramik yang sesuai untuk penggunaan mata alat khususnya dalam pemesinan logam pada kelajuan tinggi.

Seramik selalu digunakan tanpa bahan cecair penyejuk untuk menghindari kejutan haba. Mata alat potong komposit seramik alumina-zirkonia ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$) merupakan gabungan yang telah dikembangkan untuk tujuan tahan terhadap kejutan haba dan pecah berbanding mata alat seramik konvensional Al_2O_3 monolitik.

Boron nitrida kiub (cBN)

Boron nitrida kiub diketahui sebagai bahan kedua paling keras selepas intan. Walaupun mempunyai kekerasan yang sangat tinggi, ketahanan pecahnya berada antara karbida dan seramik. cBN memiliki pengaliran haba yang tinggi dan pekali pengembangan haba yang rendah, yang membuatkan ianya lebih sensitif terhadap gegaran yang berkaitan dengan panas berbanding seramik. Ia stabil pada suhu hingga 1400°C . Kehausan mata alat cBN terjadi secara resapan. cBN sungguh sesuai untuk pemesinan bahan yang mengandungi besi (besi tuang keras dan lembut), keluli yang dikeraskan, keluli kelajuan tinggi dan aloi logam berasaskan nikel yang memiliki kekerasan 45 hingga 65 HRc pada kelajuan tinggi. Untuk prestasi maksimum, besi tuang lembut dipotong pada

kelajuan pemotongan melebihi 600 m/min. Pada kelajuan pemotongan melebihi 1000 m/min, hayat mata cBN mula menurun.

Intan kiub (cD)

Intan kiub merupakan bahan yang paling keras antara semua bahan mata alat dan dengan sifat ketahanan haus yang cemerlang. Ia menghasilkan geseran yang kecil sewaktu pemotongan, memiliki kekuatan retak tinggi dan mempunyai hantaran haba yang baik. Sifat-sifat ini memberi sumbangan yang besar kepada hayat mata alat cD dalam pemesinan yang konvensional dan kelajuan tinggi untuk pemesinan bahan kerja bukan besi (aluminium, magnesium, gangsa, dll), bahan termaju dan komposit matrik logam, campuran logam kuat dan bahan bukan logam.

2.2 Sifat-Sifat Mata Alat Potong

Perkembangan teknik pemotongan logam dan industri mesin pemotong bergantung pada tingginya mutu bahan mata alat. Sejarah perkembangan mesin pemotong menunjukkan adanya penambahbaikan dalam permesinan dan rekabentuk mesin pemotong yang telah dicapai terutama melalui penemuan bahan mata alat yang baru yang dapat mempengaruhi proses pemotongan yang cekap (Bhattacharrya, 1998). Secara ideal, bahan mata alat harus memiliki sifat-sifat berikut:

1. Kekerasan penekanan yang tinggi pada suhu tinggi untuk menahan kehausan lelasan.
2. Ketahanan ubahbentuk yang tinggi untuk mencegah terjadinya pecah pada rusuk mata alat akibat tekanan yang dihasilkan melalui serpihan.

3. Kekuatan pecah yang tinggi untuk menahan serpihan rusuk dan kerosakan, terutamanya dalam pemotongan sampukan.
4. Tiada bertindakbalas dengan bahan kimia.
5. Penghantaran haba yang tinggi untuk mengurangkan suhu pemotongan yang berdekatan dengan rusuk mata alat
6. Ketahanan kelesuan yang tinggi, terutama untuk perkakas yang digunakan pada pemotongan sampukan.
7. Ketahanan gegaran yang tinggi untuk mencegah kerosakan mata alat dalam pemotongan sampukan
8. Kekakuan tinggi untuk kejituan penyenggaraan
9. Pelinciran mencukupi (geseran rendah) dengan bahan kerja untuk mencegah terjadinya rusuk terbina terutamanya bila melakukan pemotongan bahan yang mulur.

Secara umum sifat-sifat mata alat potong dapat dilihat dalam Jadual 2.1

2.3. Bahan Seramik

Seramik berasal dari perkataan Greek, iaitu keramos, yang bermaksud lempung yang dibakar pada suhu tinggi (lebih 1500°C). Ini jelas menunjukkan bahawa penggunaannya agak terhad kerana pengertian demikian hanya meliputi hasil-hasil tembikar sahaja. Oleh kerana itu pada masa kini, suatu pengertian yang lebih luas diperlukan memandangkan perkembangan tembikar dalam pelbagai kaedah pengeluaran dan juga penggunaan bahan seramik lain yang memiliki sifat yang unik dan canggih.

Industri seramik telah bermula dalam tahun 4500 sebelum Masihi yang diusahakan oleh penduduk perkampungan neolitik dalam kawasan Shanxi China. Industri seramik pada masa itu hanya bertujuan untuk penghasilan tembikar. Tembikar tertua dijumpai di

England dan dikesan kembali pada abad pertama tahun Masihi. Antara masa itu sehingga 1500 tahun Masihi, perkembangan seramik yang paling penting adalah penemuan porselin yang membiaskan cahaya. Pada abad ke – 16 aktiviti seramik di England bermula dengan tembikar Eistercian (Hartomo^[1], 1994).

Jadual 2.1: Sifat-sifat mata alat potong (Kalpakjian, 1995)

Sifat-sifat	Keluli kelajuan tinggi	Aloi tuang	Karbida		Seramik	Boron nitrida Kiub	Hablur intan – tunggal
			WC	TiC			
Kekerasan	83-86 HRA	1500 – 2300	82-84 HRA 46-62 HRC	90-95 HRA 1800 - 2400 HK	91-93 HRA 1800 - 3200 HK	4000-5000 HK	7000-8000 HK
Kekuatan pemampatan MPa Psi x 10 ³	4100-4500 600-650	1500-2300 220-335	4100-5850 600-850	3100-3850 450-560	2750-4500 400-650	6900 1000	6900 1000
Kekuatan hentaman J In.lb	1.35-8 12-70	0.34-1.25 3-11	0.34-1.35 3-12	0.79-1.24 7-11	0.1 1	0.5 5	0.2 2
Ketumpatan Kg/m ³ Lb/in ³ .	8600 0.31	8000-8700 0.23-0.31	10000-15000 0.36-0.54	5500-5800 0.2-0.22	4000-4500 0.14-0.16	3500 0.13	3500 0.13
Isi pada fasa keras, %	7-15	10-20	70-90	-	100	95	95
Suhu penguraian atau lebur °C °F	1300 2370	- -	1400 2550	1400 2550	2000 3600	1300 2400	700 1300
Keterhubungan haba, W/m k	30-50	-	42-125	17	29	13	500-2000
Pekali pengembangan haba, x 10 ⁶ /°C	12	-	4-6.5	7.5-9	6-8.5	4.8	1.5-4.8
Kekuatan pecah Mpa Psi x 10 ³	2400-4800 350-700	1380-2050 220-335	1050-2600 150-375	1380-1900 200-275	345-950 50-135	700 105	1350 200
Modulus keanjalaan Gpa Psi x 10 ⁶	200 30	- -	520-690 75-100	310-450 45-65	310-410 45-60	850 125	820-1050 120-150

Pada abad ketujuh belas industri seramik Inggeris mula terlihat melalui Toffst bersaudara yang membuat tembikar slip di Staffordhire. Selepas perang dunia ke - II, industri seramik berupaya untuk menghasilkan bahan seramik yang boleh memberikan ciri-ciri yang istimewa serta canggih. Ia dihasilkan daripada bahan mentah semula jadi atau sintetik atau campuran yang melibatkan kaedah teknologi moden. Seramik jenis ini digolongkan kepada seramik termaju (advanced ceramic).

Umumnya seramik sangat lambat bertindakbalas secara kimia terhadap bahan kerja logam. Mata alat potong alumina (Al_2O_3) putih terutamanya dibuat daripada zarah alumina yang berskala mikron dipadatkan bersama dalam proses pembakaran pada suhu yang tinggi (pensinteran). Pencampuran Al_2O_3 dengan zat penambah dimampatkan secara isostatik, diikuti proses pensinteran pada suhu yang tinggi atau serbuk disinter pada suhu yang tinggi dengan penekanan secara serentak (HIP).

Seramik dibuat daripada serbuk halus yang dikisar daripada bahan permulaan yang kasar. Setelah seramik dibentuk, seramik akan dikeringkan sebelum dibakar untuk mendapatkan kekuatan yang dikehendaki. Proses pengeringan merupakan peringkat yang kritikal kerana komponen boleh retak atau meleding kerana terdapatnya perbezaan kandungan kelembapan dan ketebalan yang tak sekata pada komponen tersebut ataupun bentuknya yang kompleks. Dengan itu kawalan ke atas kelembapan dan suhu adalah penting. Kelembapan yang terlalu tinggi boleh menyebabkan komponen mengecut, mungkin hingga antara 15 % - 20 % daripada saiz asal yang lembap (Zainal, 1991).

Penggunaan seramik sebagai bahan mata alat merupakan suatu alternatif untuk dapat melakukan proses pemotongan logam, khususnya untuk logam yang memiliki kekerasan yang tinggi. Keramik tahan terhadap suhu yang tinggi dan memiliki kekerasan yang tinggi. Keramik tidak bertindakbalas secara kimia dengan bahan logam (Xing, 1997), sehingga meskipun terjadi geseran yang tinggi dan menimbulkan panas pada permukaan bahan kerja dan mata alat, serpihan yang terhasil tidak melekat pada permukaan mata alat.

Perbezaan yang ketara adalah hayat mata alat seramik yang lebih tinggi berbanding bahan lainnya dan ketidak homogennya dengan bahan logam merupakan kelebihan yang boleh dicapai.

Bahan Mentah

Pembentukan seramik bergantung keatas ketulenan bahan dan saiz serbuk. Acuan yang dibentuk untuk proses ini memerlukan rekabentuk yang teliti dan harus disesuaikan dengan ciri-ciri pengecutan bahan seramik tersebut. Zarah halus dihancurkan dan dimasukkan kedalam acuan dengan rapat untuk membentuk suatu pemampatan yang padu. Dalam banyak kes memerlukan proses penekanan isostatik panas untuk menghasilkan kekuatan maksimum dan mendekati ukuran yang diinginkan.

Bahan mentah seramik terbahagi kepada dua iaitu: bahan mentah berasaskan tanah liat dan bahan mentah yang tidak berasaskan tanah liat.

Bahan Mentah Tanah Liatt

Terdapat tiga jenis tanah liat utama yang dibezakan oleh warna, saiz partikel, kemuluran dan komposisi kimianya. Tanah liat kaolin berwarna putih, mengandungi komposisi besi yang kurang daripada 1 %.

Tanah liat bebola (ball clay) berwarna hitam atau kelabu, keplastikan yang tinggi dan kandungan besi oksida antara 0 – 2 %.

Tanah liat api (fireclay) berwarna kemerahan, komposisi besi oksida tinggi. Ketiga-tiga tanah liat ini kebanyakannya digunakan dalam industri seramik konvensional seperti industri pembuatan piring, peralatan bilik mandi dan dinding, untuk perhiasan seperti pasu bunga porselin, peralatan elektrik untuk voltan rendah dan tinggi.

Bahan Mentah Bukan Tanah Liat.

Bahan mentah ini termasuk bahan mentah yang digunakan dalam pembuatan barang seramik konvensional seperti feldspar, silika dan kalsium karbonat. Selain daripada bahan tersebut, bahan mentah kimia seperti alumina, zirkonia, silikon karbida, silikon nitrida dan barium titanat adalah merupakan sebahagian barangan seramik berteknologi tinggi. Bahan mentah ini mempunyai ketulenan yang tinggi, mahal dan kegunaannya tertumpu kepada industri kejuruteraan, mekanik, biologi dan elektronik. Bahan-bahan ini mempunyai potensi dan reputasi masa hadapan yang tinggi bagi menggantikan bahan-bahan yang telah ada seperti besi dan keluli. Hasil penggunaan bahan mentah ini dapat membentuk komponen atau produk yang mempunyai sifat-sifat kekuatan dan kekerasan yang sangat tinggi, tidak bertindak balas dengan bahan kimia,

kadar kehausan yang rendah, mempunyai unsur ketahanan panas dan suhu lebur yang tinggi.

Struktur hablur bahan seramik merupakan antara yang paling kompleks berbanding bahan lainnya. Seramik mengandungi beberapa unsur yang berlainan saiz. Ikatan antara atom-atom bagi struktur seramik adalah jenis kovalen yang melibatkan perkongsian elektron dan ionik iaitu ikatan asas di antara ion-ion yang berlawanan. Kedua-dua ikatan ini jauh lebih kuat berbanding ikatan logam. Oleh kerana itu ada beberapa sifat seramik yang lebih baik berbanding logam, terutamanya kekerasan dan sifat tahan panas.

Perbezaan dan kelebihan di antara bahan seramik, logam dan polimer antara lain adalah:

Seramik : bahan bukan organik dan bukan logam, keras, tidak bertindak balas dengan bahan kimia dan memiliki takat lebur yang tinggi.

Logam : kekerasan dan kekuatan berbeza-beza, tidak stabil terhadap bahan kimia, takat lebur berbeza-beza.

Polimer : Bahan organik, lembut dan lemah, tidak stabil terhadap bahan kimia, suhu lebur rendah.

2.3.1 Sifat-Sifat Fizik Seramik

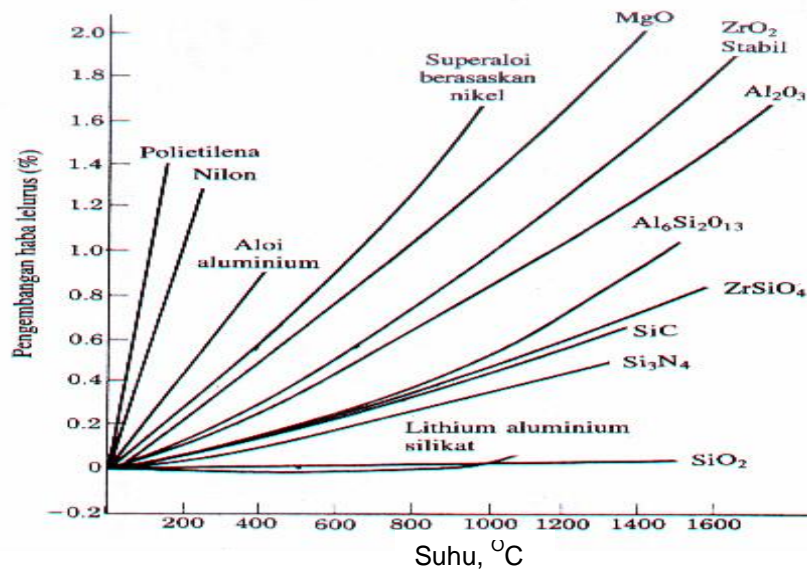
Individu yang tidak mengetahui sifat-sifat seramik akan bertanya “Apakah seramik?” atau “Apa perbezaan seramik dengan logam?” Orang mengetahui bahawa seramik adalah sesuatu yang rapuh, yang memiliki takat lebur yang tinggi, penebat haba dan elektrik. Sifat-sifat dari suatu bahan dikawal dengan besar oleh jenis pengikat antara atom, yang di dalam putarannya dikawal oleh konfigurasi atom-atom. Walaupun dengan

penggunaan tegasan mekanik, tabiat bahan seramik berlainan daripada logam, oleh kerana itu bahan seramik banyak digunakan dalam struktur kejuruteraan. Sifat-sifat yang dimiliki struktur bahan seramik seperti ketumpatan pukal, kekuatan tarik, kekuatan tekan, modulus keanjalan dan ketahanan pecah disampaikan oleh De Garmo (1997) seperti pada Jadual 2.2.

Jadual 2.2: Sifat-sifat fizik beberapa seramik (De Garmo, 1997)

Bahan	Ketumpatan pukal (g/cm ³)	Kekuatan regang (Ksi)	Kekuatan tekan (Ksi)	Modulus keanjalan (10 ⁶ psi)	Ketahanan pecah (Ksi ^{1/2} /in)
Al ₂ O ₃	3.98	30	400	56	5
SiAlON	3.25	60	500	45	9
SiC	3.10	25	560	60	4
ZrO ₂ separa stabil	5.8	65	270	30	10
ZrO ₂ diperkuat penjelmaan	5.8	50	250	29	11
Si ₃ N ₄	3.2	80	500	45	5

Kebanyakan seramik memiliki graviti spesifik yang agak rendah, kurang lebih 3 hingga 5.8 untuk seramik oksida, berbanding 7.86 untuk besi. Seramik memiliki suhu lebur yang tinggi. Kekonduksian haba seramik berubah-ubah bergantung kepada komposisinya. Sifat pengembangan panas bagi seramik ditunjukkan seperti dalam Rajah 2.2.



Rajah 2.2: Sifat-sifat pengembangan seramik berbanding logam dan polimer (Zainal, 1999).