

PENINGKATAN HALAJU SUAPAN MAKSIMUM PENGINTERPOLASI CNC
DEDENYUT RUJUKAN MENGGUNAKAN PENGATURCARAAN SELARI

AHMAD FAKHRI BIN AB. NASIR

Tesis diserahkan sebagai memenuhi keperluan
penganugerahan Ijazah
Sarjana Kejuruteraan (Pembuatan)

Fakulti Kejuruteraan Pembuatan & Pengurusan Teknologi
UNIVERSITI MALAYSIA PAHANG

JULAI 2011

ABSTRAK

Halaju suapan maksimum yang dibenarkan untuk penginterpolasi sistem Komputer Kawalan-Berangka (CNC) sistem dedenyut-rujukan adalah tertakluk kepada kelajuan iterasi. Ini membawa maksud bahawa semakin tinggi kelajuan iterasi, semakin tinggi halaju suapan maksimum yang dibenarkan. Untuk menghasilkan penginterpolasi yang mempunyai halaju suapan maksimum yang dibenarkan tinggi, penginterpolasi yang diubahsuai adalah bertujuan memastikan setiap tugas dalam penginterpolasi hendaklah dilaksana secara serentak. Dewasa ini, industri komputer telah banyak berubah terutamanya dalam pembangunan perkakasan. Kini, terdapat komputer yang mempunyai dua atau lebih pemproses dalam satu komputer. Dengan menggunakan persekitaran pelbagai-pemproses, algoritma hendaklah diubah supaya keupayaan pemproses ini dapat digunakan sepenuhnya. Keadaan ini juga diperlukan pada algoritma penginterpolasi. Penginterpolasi yang sedia ada tidak menggunakan pengaturcaraan selari iaitu setiap tugas yang ada tidak dilaksanakan secara serentak dalam satu tempoh masa, maka masa iterasi yang diambil untuk memproses tugas yang mempunyai skala yang besar akan menjadi lebih lama. Tujuan utama kajian ini adalah untuk mengubahsuai penginterpolasi dedenyut-rujukan Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi dedenyut-rujukan Omirou dan Nearchau (2006) melalui kaedah pengaturcaraan selari agar halaju suapan maksimum yang dibenarkan meningkat. Ini dilakukan dengan pengaturcaraan selari iaitu melalui Pemprosesan Pelbagai Terbuka (OpenMP) menggunakan bahasa pengaturcaraan C/C++. Penginterpolasi yang dikemukakan ini dibandingkan dengan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) melalui simulasi komputer dan eksperimen ke atas servomotor. Simulasi komputer dilakukan ke atas pelbagai lengkok parametrik umum. Keputusan simulasi menunjukkan bahawa penginterpolasi yang diubahsuai adalah sekurang-kurangnya 37.04% lebih cekap berbanding penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan sekurang-kurangnya 20.10% lebih cekap berbanding penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006). Akhir sekali, keputusan eksperimen ke atas servomotor membuktikan bahawa halaju suapan maksimum yang dibenarkan bagi penginterpolasi yang dikemukakan adalah lebih tinggi berbanding penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan juga lebih tinggi berbanding penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006). Penginterpolasi yang dikemukakan menunjukkan bahawa ia telah bersedia untuk menempuh era baru pelbagai-pemproses.

ABSTRACT

Maximum allowable feed rate for reference-pulse Computer Numerical-Control (CNC) system is limited by the interpolator iteration speed. In other word, it means higher iteration speed corresponds to higher maximum allowable feed rate. To develop interpolator with higher maximum allowable feed rate, the proposed interpolator is aimed to execute the interpolator tasks in concurrent manner. In the recent years, the computer industry has changed a lot in term of hardware development. Multi-core processors were introduced whereby a single computer has two processors working on it and contain multiple logical processors in a single package. By using multi-cores environment, algorithm has to be changed in order to fully utilise the speed of the processors. This situation is also required in interpolator algorithm. The existing interpolator is not using parallel programming which every task have not been execute simultaneous in concurrent manner although using multi-cores processor computer, thus, the more time is needed for the iteration time especially for a complex and large scale of process. The main research objective is to modify the existing Wan Yusoff reference-pulse CNC interpolator and Omirou reference-pulse CNC interpolator using parallel programming to increase maximum allowable feed rate. The proposed interpolator is developed using parallel programming in C/C++ language through Open Multi-Processing (OpenMP). The proposed interpolator was compared with Wan Yusoff (2003) interpolator and Omirou and Nearchau (2006) interpolator through computer simulation and experiment with servomotor. Computer simulations which were conducted on various parametric curves indicated that the proposed interpolator are at least 37.04% more efficient compared to Wan Yusoff (2003) interpolator and at least 20.10% more efficient compared to Omirou and Nearchau (2006) interpolator. Finally, the experimental results verify that the maximum allowable feed rate for the proposed interpolator are higher than Wan Yusoff (2003) interpolator and higher than Omirou and Nearchau (2006) interpolator. The proposed interpolator is ready for new era of multi-processors.

ISI KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGAKUAN PENYELIA	ii
PENGAKUAN PELAJAR	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
ISI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	xi
SENARAI RAJAH	xv
SENARAI SIMBOL	xix
SENARAI KEPENDEKAN TERMA	xx
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Motivasi Penyelidikan	1
1.2 Tujuan Penyelidikan	2
1.3 Objektif Penyelidikan	5
1.4 Skop Penyelidikan	5
1.5 Kaedah Penyelidikan	6
1.6 Susunan Tesis	8
BAB 2 LATARBELAKANG SISTEM PENGINTERPOLASI DEDENYUT-RUJUKAN DAN PENGATURCARAAN SELARI	
2.1 Pengenalan	9
2.2 Alatan Mesin CNC	10
2.3 Elemen-Elemen Pada Pengawal Alatan Mesin CNC	11
2.4 Penginterpolasi Alatan Mesin CNC	12
2.4.1 Definasi Penginterpolasi	13
2.4.2 Prestasi Penginterpolasi	13
2.4.3 Perwakilan Laluan Alatan	15
2.4.4 Perwakilan Lengkok Parametrik Umum	15

2.5	Sistem CNC	18
2.6	Pengkomputeran Selari	22
2.7	Sejarah Ringkas Pengkomputeran Selari	22
2.8	Konsep Pengkomputeran Selari	24
2.9	Pengaturcaraan Selari	27
2.10	OpenMP	28
	2.10.1 Penyusun	29
	2.10.2 Memulakan OpenMP	30
	2.10.3 Konsep Pengaturcaraan	31
	2.10.4 Pembahagian Kerja	34
	2.10.5 Persekitaran Data	37
	2.10.6 Sinkronisasi Data	42
	2.10.7 Fungsi Larian/Persekitaran Pembolehkan	49
2.11	Penginterpolasi CNC Menggunakan Pengaturcaraan Selari	54
2.12	Ringkasan Latar Belakang Sistem CNC Dedenyut-Rujukan dan Pengaturcaraan Selari	57

BAB 3 PENGUBAHSUAIAN PENGINTERPOLASI SEDIA ADA KEPADA PENGATURCARAAN SELARI

3.1	Pengenalan	58
3.2	Ulasan Terperinci Algoritma Penginterpolasi Sedia Ada	58
	3.2.1 Algoritma Penginterpolasi Wan Yusoff (2003)	59
	3.2.2 Algoritma Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006)	68
3.3	Algoritma Penginterpolasi Yang Dicadangkan	76
	3.3.1 Untuk Bulatan 2D	77
	3.3.2 Untuk Lengkok-Lengkok Parametrik Umum Yang Lain	87
	3.3.3 Perbandingan Penggunaan Ingatan Antara Kedua-dua Cara	89
	3.3.4 Untuk Iterasi Yang Lebih Kecil Atau Lebih Besar	90
3.4	Analisa Antara Algoritma Penginterpolasi Yang Dicadangkan Terhadap Algoritma Penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan Algoritma Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006)	90
3.5	Rumusan Pengubahsuaian Penginterpolasi Sedia Ada Kepada Pengaturcaraan Selari	92

BAB 4 SIMULASI KOMPUTER DAN EKSPERIMEN KE ATAS SERVOMOTOR

4.1	Pengenalan	93
4.2	Objektif Simulasi Komputer Dan Eksperimen Ke Atas Servomotor	94
4.3	Setup Simulasi Komputer	96
4.4	Keputusan Simulasi Komputer	98
4.4.1	Keputusan Terhadap Bulatan 2D	98
4.4.2	Keputusan Terhadap Profil Sesondol 2D	101
4.4.3	Keputusan Terhadap Bulatan 3D	105
4.4.4	Keputusan Terhadap Helix	108
4.5	Setup Eksperimen Ke Atas Servomotor	111
4.5.1	Setup Eksperimen: Komputer Peribadi-Kawalan Berangka	112
4.5.2	Setup Eksperimen: Servomotor Dan Pemacu	115
4.5.3	Setup Eksperimen: Sistem Elektrikal	115
4.6	Keputusan Eksperimen Ke Atas Servomotor	117
4.6.1	Keputusan Terhadap Bulatan 2D	118
4.6.2	Keputusan Terhadap Helix	128
4.7	Perbandingan Keputusan Simulasi	138
4.7.1	Perbandingan Simulasi Komputer Antara Kedua-dua Cara Algoritma Penginterpolasi Yang Dicadangkan	138
4.7.2	Perbandingan Simulasi Komputer Antara Algoritma Penginterpolasi Yang Dicadangkan Dengan Algoritma Penginterpolasi Wan Yusoff (2003)	138
4.7.3	Perbandingan Simulasi Komputer Antara Algoritma Penginterpolasi Yang Dicadangkan Dengan Algoritma Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006)	139
4.8	Perbandingan Keputusan Eksperimen Ke Atas Servomotor	140

BAB 5 KESIMPULAN PENYELIDIKAN

5.1	Pendahuluan	141
5.2	Ringkasan Penyelidikan	142
5.3	Kesimpulan Penyelidikan	144
5.4	Cadangan Kerja Penyelidikan Untuk Masa Hadapan	145

RUJUKAN		146
----------------	--	-----

LAMPIRAN	150
A Kod Aturcara Penginterpolasi Yang Dicapangkan Terhadap Penginterpolasi Wan Yusoff (2003) Untuk Bulatan 2D (Aturcara Utama)	150
B Kod Aturcara Penginterpolasi Yang Dicapangkan Terhadap Penginterpolasi Wan Yusoff (2003) Untuk Bulatan 2D (Aturcara <i>Calculatepulse1</i>)	153
C Kod Aturcara Penginterpolasi Yang Dicapangkan Terhadap Penginterpolasi Wan Yusoff (2003) Untuk Bulatan 2D (Aturcara <i>Sendpulse1</i>)	155
D Kod Aturcara Penginterpolasi Yang Dicapangkan Terhadap Penginterpolasi Wan Yusoff (2003) Untuk Bulatan 2D	156
E Kod Aturcara Penginterpolasi Yang Dicapangkan Terhadap Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) Untuk Bulatan 2D (Aturcara Utama)	159
F Kod Aturcara Penginterpolasi Yang Dicapangkan Terhadap Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) Untuk Bulatan 2D (Aturcara <i>Calculatepulse1</i>)	163
G Kod Aturcara Penginterpolasi Yang Dicapangkan Terhadap Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) Untuk Bulatan 2D (Aturcara <i>Sendpulse1</i>)	166
H Kod Aturcara Penginterpolasi Yang Dicapangkan Terhadap Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) Untuk Bulatan 2D	167

SENARAI JADUAL

No. Jadual	Tajuk	Muka Surat
2.1	Konsep Taxonomy Flynn	24
2.2	Penyusun OpenMP	29
2.3	Rutin persekitaran larian	50
2.4	Kunci mudah	52
2.5	Rutin masa	53
2.6	Beberapa penyelidikan berkaitan penginterpolasi CNC	55
2.7	Beberapa penyelidikan berkaitan pengaturcaraan selari	56
3.1	Pembolehkan-pembolehkan pada algoritma penginterpolasi Wan Yusoff (2003) contoh kepada bulatan 3D	62
3.2	Kedudukan <i>#pragma omp sections</i>	66
3.3	Pembolehkan-pembolehkan pada algoritma penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) contoh kepada bulatan 3D	72-74
3.4	Sempadan lengkok dengan 4 pecahan	77
3.5	Perlaksanaan sempadan lengkok dengan 4 pecahan	78
3.6	Sempadan lengkok dengan 8 pecahan	82
3.7	Perlaksanaan sempadan lengkok dengan 8 pecahan	83
3.8	Sempadan lengkok untuk lengkok parametrik umum yang lain	87
3.9	Sempadan lengkok $0 \leq u \leq 1$ dan $0 \leq u \leq 12$ dengan 8 pecahan	87
3.10	Perbandingan iterasi antara kedua-dua cara algoritma penginterpolasi yang dicadangkan berdasarkan pecahan	89
3.11	Perbandingan teori perlaksanaan antara penginterpolasi yang dicadangkan terhadap penginterpolasi Wan Yusoff (2003)	91

3.12	Perbandingan teori pelaksanaan antara penginterpolasi yang dicadangkan terhadap penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006)	91
4.1	Keputusan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap bulatan 2D	98
4.2	Peratus peningkatan prestasi untuk kedua-dua cara penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Wan Yusoff (2003) terhadap bulatan 2D	98
4.3	Keputusan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap bulatan 2D	100
4.4	Peratus peningkatan prestasi untuk kedua-dua cara penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) terhadap bulatan 2D	100
4.5	Keputusan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap profil sesondul 2D	101
4.6	Peratus peningkatan prestasi untuk kedua-dua cara penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Wan Yusoff (2003) terhadap profil sesondul 2D	102
4.7	Keputusan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap profil sesondul 2D	103
4.8	Peratus peningkatan prestasi untuk kedua-dua cara penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) terhadap profil sesondul 2D	104
4.9	Keputusan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap bulatan 3D	105
4.10	Peratus peningkatan prestasi untuk kedua-dua cara penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Wan Yusoff (2003) terhadap bulatan 3D	105
4.11	Keputusan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap bulatan 3D	107
4.12	Peratus peningkatan prestasi untuk kedua-dua cara penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) terhadap bulatan 3D	107

4.13	Keputusan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap helix	108
4.14	Peratus peningkatan prestasi untuk kedua-dua cara penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Wan Yusoff (2003) terhadap helix	108
4.16	Peratus peningkatan prestasi untuk kedua-dua cara penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) terhadap helix	110
4.17	Spesifikasi servomotor	115
4.18	Spesifikasi pemacu	115
4.19	Statistik asas eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi bulatan 2D	119
4.20	Statistik asas eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi bulatan 2D	121
4.21	Keputusan perbezaan halaju suapan penginterpolasi yang dicadangkan dan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi bulatan 2D	122
4.22	Statistik asas eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi bulatan 2D	124
4.23	Statistik asas eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi bulatan 2D	126
4.24	Keputusan perbezaan halaju suapan penginterpolasi yang dicadangkan dan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi bulatan 2D	127
4.25	Statistik asas eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi helix	129
4.26	Statistik asas eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi helix	131
4.27	Keputusan perbezaan halaju suapan penginterpolasi yang dicadangkan dan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi helix	132

4.28	Statistik asas eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi helix	134
4.29	Statistik asas eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi helix	136
4.30	Keputusan perbezaan halaju suapan penginterpolasi yang dicadangkan dan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi helix	137
4.31	Perbandingan kecekapan penginterpolasi yang dicadangkan dengan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) berdasarkan keputusan simulasi	138
4.32	Perbandingan kecekapan penginterpolasi yang dicadangkan dengan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) berdasarkan keputusan simulasi	139

SENARAI RAJAH

No. Rajah	Tajuk	Muka Surat
1.1	Import dan eksport jentera kerja logam	2
1.2	Carta alir kaedah penyelidikan	7
2.1	Peringkat dalam pengawal CNC	12
2.2	Definasi ralat suapan	14
2.3	Perwakilan lengkok parametrik	16
2.4	Carta alir penginterpolasi dedenyut-rujukan	19
2.5	Menjejak lengkok menggunakan penginterpolasi dedenyut-rujukan	20
2.6	Konsep perkongsian ingatan	25
2.7	Konsep pembahagian ingatan	26
2.8	Konsep penggabungan perkongsian-pembahagian ingatan	27
2.9	Sejarah pembangunan OpenMP	28
2.10	Model banyak-kepada-satu	32
2.11	Model satu-kepada-satu	32
2.12	Contoh model <i>fork-and-join</i>	33
2.13	Contoh penggunaan <i>#pragma omp for</i>	34
2.14	Contoh penggunaan <i>#pragma omp section</i>	35
2.15	Contoh penggunaan <i>#pragma omp single</i>	36
2.16	Contoh penggunaan data <i>private</i> dan <i>shared</i>	38
2.17	Contoh penggunaan <i>firstprivate</i> dan <i>lastprivate</i>	39
2.18	Contoh penggunaan klaus <i>nowait</i>	40

2.19	Contoh penggunaan klaus <i>if</i>	42
2.20	Contoh penggunaan <i>barrier</i>	43
2.21	Contoh operasi <i>flush</i>	45
2.24	Contoh penggunaan <i>ordered</i>	49
2.25	Contoh penggunaan rutin persekitaran larian	51
2.26	Contoh penggunaan kunci mudah	53
2.27	Contoh penggunaan rutin masa	54
3.1	Carta alir algoritma penginterpolasi Wan Yusoff (2003) contoh kepada bulatan 3D	60
3.2	Carta alir pembolehkan algoritma penginterpolasi Wan Yusoff (2003) contoh kepada bulatan 3D	63
3.3	Carta alir algoritma penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dengan memecahkan pengiraan paksi-x, paksi-y dan paksi-z	65
3.4	Contoh algoritma penginterpolasi yang akan dicadangkan	67
3.5	Carta alir algoritma penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) contoh kepada bulatan 3D	69-70
3.6	Carta alir pembolehkan algoritma penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) contoh kepada bulatan 3D	75
3.7	Plot 4 pecahan sempadan lengkok bulatan 2D	78
3.8	Teori pelaksanaan sempadan lengkok dengan 4 pecahan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi bulatan 2D	81
3.9	Plot 8 pecahan sempadan lengkok bulatan 2D	83
3.10	Teori pelaksanaan sempadan lengkok dengan 8 pecahan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan Penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi bulatan 2D	85
4.1	Diagram masa bagi sistem dedenyut-rujukan	95
4.2	Plot simulasi penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap bulatan 2D dengan jejari 20 mm	99

4.3	Plot simulasi penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap profil sesondul 2D dengan Rmin 15 mm	102
4.4	Plot simulasi penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap bulatan 3D dengan jejari 30 mm	106
4.5	Plot simulasi penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan penginterpolasi yang dicadangkan terhadap helix dengan jejari 5 mm dan kecondongan 2 mm	109
4.6	Setup eksperimen ke atas servomotor	111
4.7	Konfigurasi komputer peribadi-kawalan berangka	112
4.8	Setup sistem elektrik	116
4.9	Plot keputusan eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi bulatan 2D	118
4.10	Plot keputusan eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi bulatan 2D	120
4.11	Perbezaan halaju suapan penginterpolasi yang dicadangkan dan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi bulatan 2D	122
4.12	Plot keputusan eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi bulatan 2D	123
4.13	Plot keputusan eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi bulatan 2D	125
4.14	Perbezaan halaju suapan penginterpolasi yang dicadangkan dan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi bulatan 2D	127
4.15	Plot keputusan eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi helix	128
4.16	Plot keputusan eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi helix	130

4.17	Perbezaan halaju suapan penginterpolasi yang dicadangkan dan penginterpolasi Wan Yusoff (2003) bagi helix	132
4.18	Plot keputusan eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi yang dicadangkan kepada penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi helix	133
4.19	Plot keputusan eksperimen ke atas servomotor penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi helix	135
4.20	Perbezaan halaju suapan penginterpolasi yang dicadangkan dan penginterpolasi Omirou dan Nearchau (2006) bagi helix	137

BAB 1

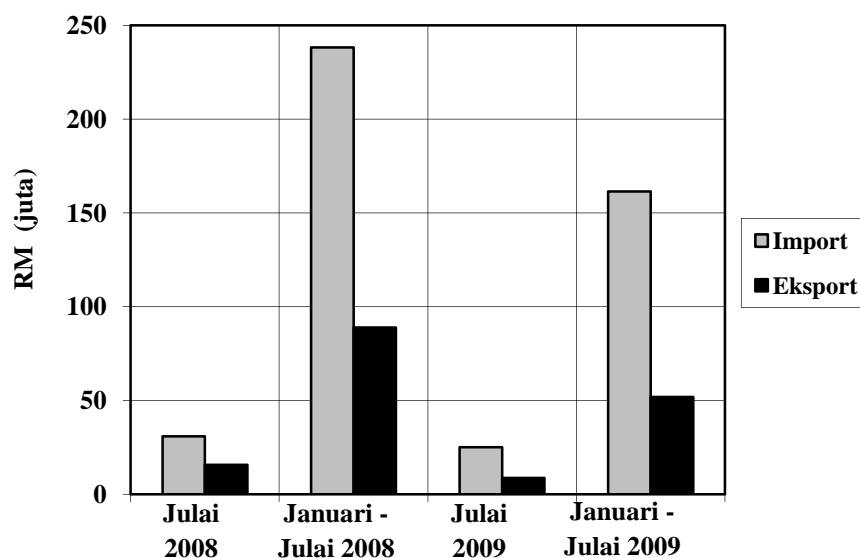
PENGENALAN

1.1 MOTIVASI PENYELIDIKAN

Peralatan mesin Kawalan Berangka-Komputer (CNC) adalah merupakan otak kepada semua industri pembuatan dan sejak tahun 1950 lagi, CNC telah melalui beberapa generasi mengikut teknik atau kaedah platform komputer (Minhat *et al.*, 2009). Sistem CNC yang moden menggunakan pemproses dalaman contohnya komputer, mengandungi daftar ingatan dan berkeupayaan untuk memanipulasi fungsi logik (Smid, 2007). Ini bermakna algoritma kawalan dapat diubah secara bebas mengikut keperluan mahupun untuk meningkatkan prestasi sesebuah mesin dan keadaan ini telah membuatkan peralatan mesin CNC banyak merubah industri pembuatan. Dengan adanya mesin yang dikawal menggunakan komputer, masa pengoperasian dapat dikurangkan, menghapuskan ralat pengendali, mengurangkan tugas pengendali, mengurangkan kos pengeluaran, mengurangkan jumlah pekerja serta meningkatkan jangka hayat peralatan (Pabla dan Adithan, 2005).

Malaysia merupakan sebuah negara yang membangun pesat dalam industri pembuatan. Sebagai penunjuk aras, menurut laporan Statistik Perdagangan Luar Malaysia yang dikemaskini oleh Jabatan Statistik Malaysia pada 11 November 2009, jumlah import jentera kerja logam pada Julai 2008 adalah sebanyak RM 307,619 juta dan untuk eksport pada bulan yang sama hanyalah sekitar RM 159,790 juta manakala bagi Julai 2009 import berjumlah RM 251,201 juta dan eksport berjumlah RM 86,186 juta (Malaysia Statistic Department, 2009). Alatan mesin CNC adalah termasuk dalam kategori jentera kerja logam. Keadaan pengimportan yang lebih tinggi membuktikan bahawa Malaysia masih lagi bergantung kepada pengimportan jentera kerja logam dari

luar negara. Pada masa yang sama, pengeksporan yang rendah menunjukkan Malaysia masih kekurangan dalam teknologi untuk menghasilkan peralatan bermesin. Rajah 1.1 di bawah menunjukkan jumlah import dan eksport jentera kerja logam.



Rajah 1.1: Import dan eksport jentera kerja logam

Sumber: Malaysia Statistic Department (2009)

Berdasarkan kepada faktor inilah penyelidikan berkaitan teknologi jentera mesin amatlah bersesuaian dan bertepatan bagi meningkatkan kepakaran dan seterusnya dapat mengurangkan kebergantungan import dari luar negara.

1.2 TUJUAN PENYELIDIKAN

Berdasarkan Lo (1992) dan Koren (1983), salah satu prestasi sistem CNC adalah halaju suapan maksimum yang dibenarkan. Halaju suapan maksimum yang dibenarkan adalah halaju maksimum kepingan kerja yang dibawa bersentuhan dengan alatan memotong (Krar *et. al.*, 1998). Merujuk kepada istilah ini, jika masa yang diambil untuk kepingan kerja bersentuhan dengan alatan memotong semakin cepat, maka halaju suapan maksimum yang dibenarkan turut meningkat. Semakin cepat masa yang diambil, semakin kurang masa pengoperasian seterusnya mengurangkan kos pengeluaran.

Halaju suapan maksimum yang dibenarkan adalah ditentukan oleh frekuensi maksimum dedenyut-rujukan yang dihasilkan oleh penginterpolasi dedenyut-rujukan kepada kawalan servo (Koren, 1983). Sistem CNC dedenyut-rujukan adalah berasaskan teknik iterasi. Semasa iterasi, algoritma penginterpolasi akan dilaksana dan dedenyut-rujukan yang bersesuaian akan disuapkan kepada kawalan servo. Maka frekuensi dedenyut-rujukan yang dihasilkan adalah bergantung kepada kelajuan iterasi. Semakin tinggi kelajuan iterasi, semakin tinggi frekuensi dedenyut-rujukan.

Terdapat dua kaedah untuk mengurangkan masa iterasi. Pertamanya adalah dengan menggunakan pemproses-mikro yang pantas dan keduanya adalah dengan menggunakan penginterpolasi yang cekap (Kiritisis, 1994). Dengan menggunakan cara pertama iaitu dengan pemproses-mikro yang pantas, masa iterasi dapat dikurangkan tetapi ia hanya bergantung sepenuhnya kepada kelajuan perkakasan semata-mata. Sebagai contoh, dengan menggunakan pemproses-mikro Intel Pentium M, Unit Pemrosesan Pusat (CPU) ialah 1.73 Giga-Hertz berbanding dengan menggunakan pemproses-mikro Intel® Core 2 Duo, CPU ialah 1.86 Giga-Hertz, sudah tentulah pemproses-mikro Intel® Core 2 Duo adalah lebih pantas dan secara tidak langsung mengurangkan masa iterasi.

Untuk penyelidikan ini, kombinasi cara pertama dan cara kedua akan digunakan iaitu dengan menggunakan pemproses-mikro yang pantas dan menggunakan penginterpolasi yang cekap. Masa yang diambil untuk melaksana algoritma akan menjadi semakin cepat dengan menggunakan perkakasan pelbagai-pemproses. Untuk menghasilkan penginterpolasi yang cekap, algoritma yang sama disusun semula dengan ringkas supaya masa iterasi lebih cepat. Ini dilaksanakan dengan menggunakan pengaturcaraan selari. Dalam beberapa tahun terakhir ini, industri komputer telah banyak berubah terutamanya dari segi perkakasan. Prestasi pemproses saban hari semakin laju. Kini, terdapat komputer yang mempunyai dua pemproses dalam satu komputer seperti pemproses AMD Athlon™ 64 X2 Dual-Core dan AMD Turion™ 64 X2 Dual-Core yang dihasilkan oleh syarikat Advanced Micro Devices (AMD) (AMD Inc., 2009) dan pemproses Intel® Core 2 Duo yang dihasilkan oleh syarikat Intel di mana satu pemproses (Intel Corporation, 2009) dapat melakukan dua kerja dalam satu masa. Terbaru, syarikat Intel juga telah memperkenalkan pemproses Intel® Core 2

Quad dan Intel® Core 2 Extreme (Intel Corporation, 2009) yang mempunyai kepantasan sangat tinggi di mana ia mempunyai empat pemproses terbina di dalamnya. Dengan wujudnya perkakasan yang maju ini, algoritma hendaklah ditingkatkan supaya dapat menggunakan sepenuhnya keupayaan perkakasan ini. Penyataan ini memberi inspirasi untuk meningkatkan kelajuan iterasi algoritma penginterpolasi iaitu dengan menggunakan penginterpolasi yang disusun semula agar lebih cekap.

Bagi menyusun semula algoritma supaya dapat menggunakan sepenuhnya keupayaan komputer pelbagai-pemproses, teknik pengaturcaraan selari diperlukan. Terdapat banyak pengaturcaraan selari yang diperkenalkan sejak 40 tahun yang lepas. Bagaimanapun, hanya terdapat dua bahasa pengaturcaraan selari yang paling popular digunakan iaitu Pemprosesan Pelbagai Terbuka (OpenMP) dan Antaramuka Penghantaran Pesanan (MPI). Setiap bahasa pengaturcaraan selari mempunyai kelebihan dan kekurangan yang tersendiri. Ia dipilih selaras dengan kesesuaian dan masalah aturcara yang hendak di ubahsuai. Untuk menyusun semula algoritma penginterpolasi ini, OpenMP dipilih. OpenMP merupakan sebuah Antaramuka Pengaturcaraan Aplikasi (API) yang mengandungi beberapa arahan dan perpustakaan aturcara yang menyokong fungsi-fungsi tertentu. Pada permulaannya ia dibangunkan untuk digunakan pada bahasa pengaturcaraan Fortran dan kemudiannya boleh digunakan pada bahasa pengaturcaraan C/C++ (Copty, 2008 dan OpenMP Architecture Review Board, 2008).

OpenMP merupakan bahasa pengaturcaraan selari yang masih baru lagi memandangkan ia pesat dibangunkan selepas wujudnya pelbagai-pemproses dalam satu komputer. Dengan menggunakan beberapa sumber atau rujukan yang lepas, terdapat beberapa kaedah untuk meningkatkan kelajuan sesebuah algoritma. Namun, kaedah-kaedah ini pada kebanyakannya masih belum diuji secara menyeluruh. Penyelidikan ini akan mengesahkan kaedah-kaedah yang ada dalam OpenMP mampu meningkatkan kelajuan pemprosesan algoritma penginterpolasi.

Penyelidikan ini bertujuan untuk menyusun semula atau mengubahsuai algoritma penginterpolasi sedia ada menggunakan pengaturcaraan selari bagi meningkatkan halaju suapan maksimum yang dibenarkan di samping mengekalkan ketepatan penginterpolasi.

Berdasarkan kepada tujuan penyelidikan, wujud pertanyaan iaitu adakah pengubahsuaian algoritma penginterpolasi sedia ada ke arah pengaturcaraan selari mampu meningkatkan halaju suapan maksimum yang dibenarkan?

1.3 OBJEKTIF PENYELIDIKAN

Objektif penyelidikan adalah seperti berikut:

1. Untuk mengubahsuai penginterpolasi sedia ada menggunakan pengaturcaraan selari.
2. Untuk membuktikan bahawa penginterpolasi yang diubahsuai dapat meningkatkan kelajuan masa iterasi dan seterusnya meningkatkan halaju suapan maksimum yang dibenarkan berbanding dengan penginterpolasi sedia ada melalui simulasi komputer.
3. Untuk mengesahkan halaju suapan maksimum yang dibenarkan penginterpolasi yang diubahsuai adalah lebih tinggi daripada penginterpolasi sedia ada melalui eksperimen ke atas servomotor.

1.4 SKOP PENYELIDIKAN

Bagi mencapai objektif-objektif yang disenaraikan, skop penyelidikan berikut telah ditetapkan:

- Terdapat dua jenis sistem dalam CNC iaitu sistem dedenyut-rujukan dan persampelan data (Yang dan Hong, 2001; Koren, 1983). Memandangkan penginterpolasi sedia ada yang hendak diubahsuai menggunakan sistem CNC dedenyut-rujukan, maka penyelidikan ini hanya berkisar kepada sistem CNC dedenyut-rujukan.

- Merujuk kepada Koren (1983) dan Lo (1992), terdapat tiga faktor untuk mengukur tahap prestasi sistem CNC iaitu halaju suapan maksimum yang dibenarkan, ralat kontur maksimum dan ralat suapan maksimum. Penyelidikan ini hanya melibatkan faktor halaju suapan maksimum yang dibenarkan sahaja.
- Penginterpolasi sedia ada iaitu penginterpolasi yang menggunakan lengkok parametrik umum. Lengkok seperti bukan lengkok parametrik umum tidak akan diambil kira dalam penyelidikan ini.
- Walaupun terdapat banyak pengaturcaraan selari yang diperkenalkan sejak 40 tahun yang lepas, bagaimanapun hanya OpenMP dipilih untuk digunakan pada penginterpolasi yang dicadangkan. Kelebihan serta kekurangan pengaturcaraan selari yang lainnya tidak akan diselidik. Dalam OpenMP, terdapat dua bahasa pengaturcaraan yang menyokong penyusun ini iaitu Fortran dan C/C++. Penyelidikan ini menggunakan bahasa pengaturcaraan C/C++ kerana bahasa ini merupakan bahasa tahap-rendah di mana ia berkeupayaan untuk berkomunikasi dengan kawalan servo. Selain itu juga, penginterpolasi sedia ada juga menggunakan bahasa pengaturcaraan C/C++. Bahasa pengaturcaraan Fortran tidak akan dibincangkan dalam penyelidikan ini.

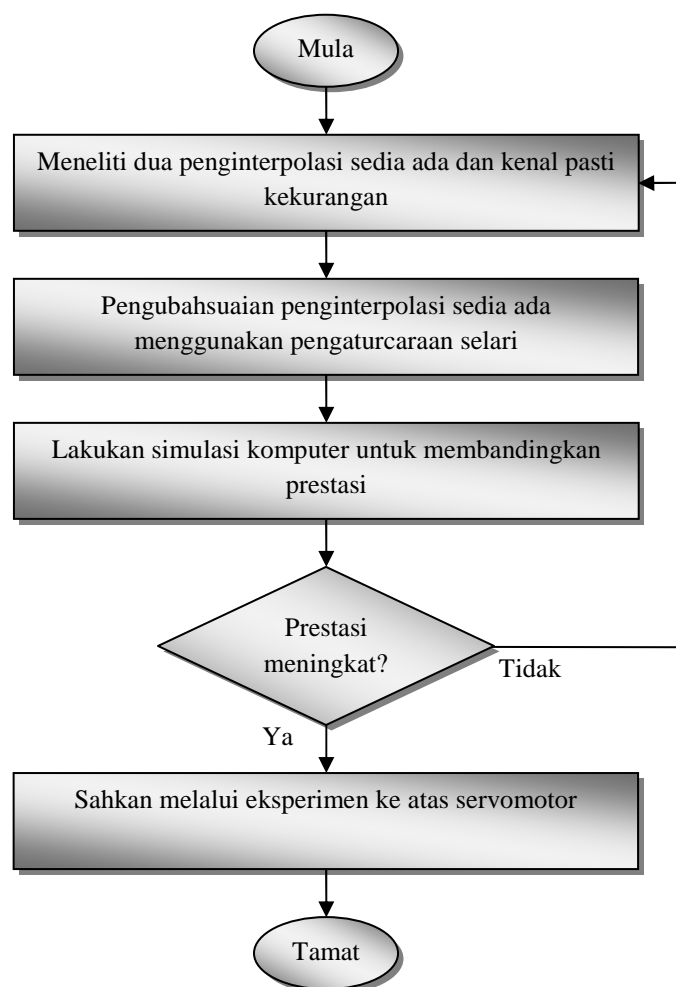
1.5 KAEDAH PENYELIDIKAN

Aktiviti penyelidikan akan disempurnakan melalui tiga langkah utama. Langkah pertama ialah dengan melakukan tinjauan literatur ke atas penginterpolasi sedia ada dan teknik yang ada dalam pengaturcaraan selari. Tujuan tinjauan literatur dilakukan adalah untuk mendapatkan pemahaman seperti kekurangan yang ada pada penginterpolasi sedia ada. Selain itu juga, ia bertujuan untuk mengetahui perkembangan terkini tentang pengaturcaraan selari.

Selepas kekangan daripada penginterpolasi sedia ada dikenalpasti, pengubahsuaian penginterpolasi sedia ada kepada pengaturcaraan selari dibangunkan.

Simulasi komputer dan eksperimen ke atas servomotor dilaksanakan terhadap dua penginterpolasi sedia ada secara siri dan pengaturcaraan selari. Untuk simulasi komputer, perbandingan dibuat dari segi purata masa iterasi. Eksperimen ke atas servomotor pula dijalankan untuk membuktikan bahawa penginterpolasi yang diubahsuai mempunyai halaju suapan maksimum yang dibenarkan lebih tinggi berbanding dengan dua penginterpolasi sedia ada.

Rajah 1.2 menunjukkan carta alir kaedah penyelidikan.



Rajah 1.2: Carta alir kaedah penyelidikan

1.6 SUSUNAN TESIS

Tesis ini mengandung enam bab yang disusun seperti berikut:

Bab 2: Latarbelakang Sistem Penginterpolasi CNC Dedenyut-Rujukan dan Pengaturcaraan Selari – menerangkan tentang sistem penginterpolasi CNC dedenyut-rujukan serta pengaturcaraan selari daripada perspektif pengetahuan latarbelakangnya serta tinjauan literaturnya.

Bab 3: Pengubahsuaian Penginterpolasi Sedia Ada Menggunakan Pengaturcaraan Selari – mengulas dengan lebih terperinci tentang dua penginterpolasi sedia ada. Kemudian diikuti dengan pembentangan teori penginterpolasi yang dicadangkan berdasarkan kaedah-kaedah yang terdapat dalam OpenMP.

Bab 4: Simulasi Komputer Dan Eksperimen Ke Atas Servomotor – bermula dengan penerangan tujuan dan setup simulasi komputer dan eksperimen ke atas servomotor. Seterusnya keputusan simulasi komputer dan eksperimen ke atas servomotor terhadap dua penginterpolasi sedia ada secara siri dan pengaturcaraan selari dilaksanakan. Hasil perbezaan simulasi komputer dan eksperimen ke atas servomotor antara kesemua penginterpolasi kemudiannya diulas.

Bab 5: Kesimpulan Penyelidikan – dinyatakan dengan umum terutamanya kejayaan mencapai objektif penyelidikan. Bab ini juga menyarankan cadangan kerja di masa hadapan.

BAB 2

LATARBELAKANG SISTEM PENGINTERPOLASI CNC DEDENYUT-RUJUKAN DAN PENGATURCARAAN SELARI

2.1 PENGENALAN

Pada bab yang lepas, telah dibincangkan tentang motivasi penyelidikan, tujuan penyelidikan, objektif-objektif penyelidikan, skop penyelidikan serta kaedah untuk menjalankan penyelidikan.

Bab ini menerangkan dengan lebih lanjut tentang sistem penginterpolasi dedenyut-rujukan dan pengaturcaraan selari. Bab ini bermula dengan penerangan ringkas kepada alatan mesin CNC termasuk elemen-elemen yang terkandung dalam pengawal alatan mesin CNC. Seterusnya, perbincangan adalah mengenai penginterpolasi CNC serta cara mengukur prestasinya. Ini diikuti dengan penerangan tentang jenis penginterpolasi. Jenis penginterpolasi menggunakan perwakilan lengkok parametrik umum kemudiannya dibincangkan. Sejurus itu, perbincangan dilanjutkan kepada sistem CNC menekankan kepada sistem penginterpolasi CNC dedenyut-rujukan.

Bab ini juga membincangkan tentang pengkomputeran selari secara mendalam termasuk sejarahnya, konsep serta bahasa yang disokongnya. Kemudian perbincangan diteruskan kepada pengaturcaraan selari OpenMP. Teknik-teknik menggunakan OpenMP dikupas secara mendalam. Bab ini juga membicarakan tentang kejayaan penyelidikan lepas yang telah dijalankan bagi menukarkan algoritma biasa kepada algoritma selari. Skop penyelidikan ini berjaya diterjemahkan selepas membuat ulasan tentang kesemua bahagian di atas.

2.2 ALATAN MESIN CNC

Alatan mesin telah wujud sejak zaman batu lagi dan ketika itu ia diperbuat daripada kayu-kayu, tulang-tulang binatang ataupun batu-batu (Krar *et. al*, 2005). Teknologi alatan mesin yang telah berevolusi sejak dari zaman batu lagi membuatkan alatan mesin semakin lama semakin pantas, mempunyai ketepatan yang tinggi dan semakin mudah untuk dioperasi. Mengikut Parker (2002) definasi alatan mesin adalah:

“Sebuah mesin yang berkedudukan statik di mana ia dapat membentuk, memotong, menebuk, menggali, menggerudi, mengisar atau menggilap bentuk keras terutamanya besi.”

Pada awal tahun 1950, alatan mesin berteknologi Kawalan-Berangka (NC) telah diperkenalkan di mana ia dapat beroperasi secara automatik dan berkebolehan untuk memfabrikasi bahagian-bahagian yang sukar. NC menggunakan arahan berangka untuk mengawal mesin. Aturcara NC merupakan sebuah arahan yang mengandungi nombor-nombor, huruf-huruf dan simbol-simbol khas. Sekitar tahun 1970, kawalan alatan mesin generasi baru telah muncul yang diberi nama CNC. Akibat perubahan ini, CNC sepenuhnya menggunakan kawalan aturcara komputer untuk mengawal alatan mesin (Xu dan Newman, 2006). Berdasarkan kepada Parker (2002) definasi CNC adalah:

“Sistem kawalan dalam nilai berangka berpandukan kepada kawalan kedudukan yang dihasilkan oleh komputer.”

Teknologi alatan mesin telah meningkat secara dramatik sejak 25 tahun yang lalu terutamanya dalam kebolehan pengawal mesin. Wan Yusoff (2003) dan Kiritsis (1994) pernah membentangkan peningkatan prestasi pengawal mesin ini adalah dari segi ketepatan permesinan dan kelajuan permesinan termasuklah peningkatan halaju suapan maksimum yang dibenarkan. Parker (2002) mendefinisikan pengawal alatan mesin sebagai:

“Kawalan komputer oleh alatan mesin untuk melakukan kerja yang spesifik iaitu dengan bahasa pengaturcaraan yang khas.”

Menurut Rao (1997), rekabentuk, pembangunan dan peningkatan elemen-elemen dalam alatan mesin akan meningkatkan ketepatan, kejituan dan produktiviti proses pembuatan melalui penyusutan masa pembuatan dan pengurangan campur tangan manusia. Seksyen berikutnya akan menghuraikan elemen-elemen yang terkandung dalam pengawal alatan mesin CNC.

2.3 ELEMEN-ELEMEN PADA PENGAWAL ALATAN MESIN CNC

Menurut Koren (1997) seperti di Rajah 2.1, pengawal alatan mesin CNC boleh dibahagikan kepada tiga bahagian iaitu;

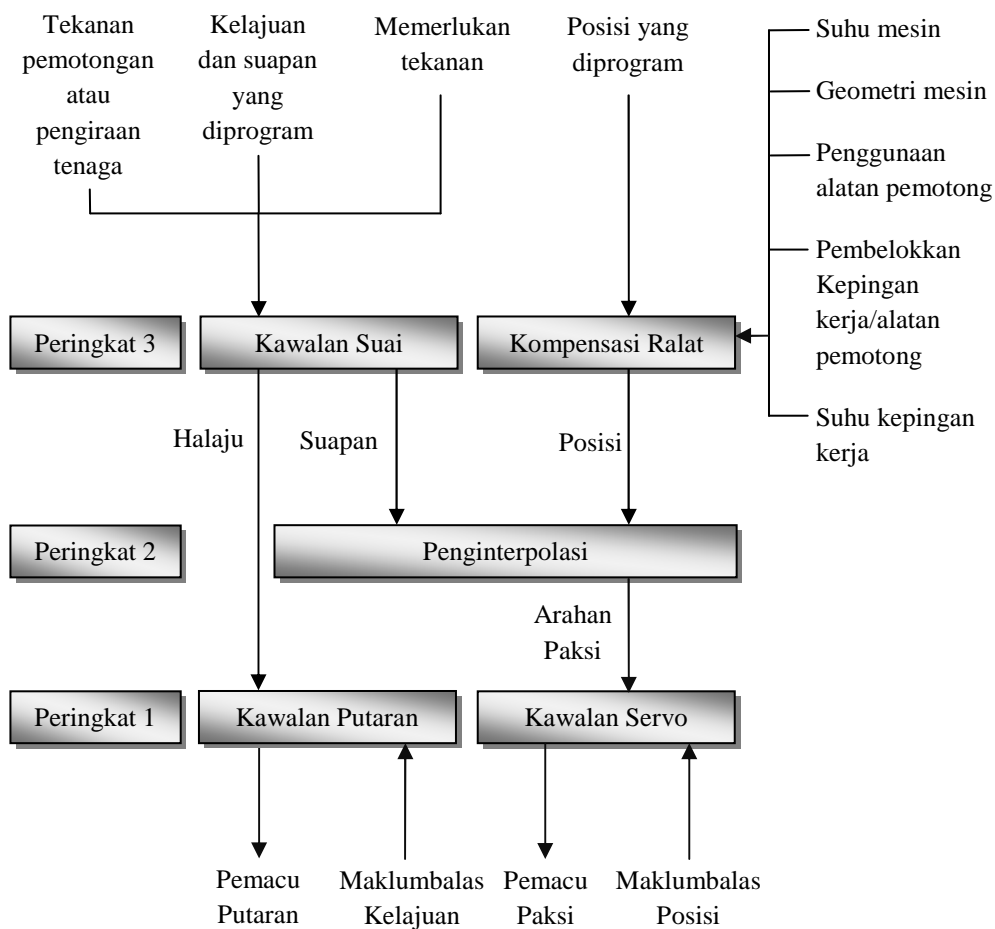
Peringkat 1: Kawalan Servo dan Kawalan Putaran

Kawalan servo melaksanakan pengawalan halaju dan posisi pelbagai paksi untuk memastikan ketepatan pengawal suapan. Dengan mengambil posisi dan halaju rujukan yang diberikan oleh penginterpolasi, kawalan servo menjalankan pergerakan menggunakan skim-skim kawalan. Antara skim-skim kawalan yang menggunakan berkadaran-kamiran-kebezaan (PID) adalah logik kabur, suapan-hadapan dan kawalan kembar-melintang. Ketidaksempurnaan kawalan servo akan menyebabkan ralat paksi, iaitu yang merupakan sebahagian daripada ralat kontur.

Sementara itu pula, kawalan putaran menggunakan skim kawalan yang diberikan oleh fungsi kawalan suai. Antara skim-skim kawalan suai ialah optimisasi kawalan suai (ACO) dan kawalan suai terbatas (ACC) (Koren, 1997).

Peringkat 2: Penginterpolasi

Tugas utama penginterpolasi adalah untuk memberikan posisi paksi dan halaju rujukan supaya kejituan bentuk dapat dihasilkan oleh kawalan servo. Penginterpolasi juga dikenali sebagai penghasilan arahan (Chou dan Yang, 1991).



Rajah 2.1: Peringkat dalam pengawal CNC

Sumber: Koren (1997)

Peringkat 3: Kawalan Suai dan Kompensasi Ralat

Pada peringkat ini, ralat yang disebabkan oleh suhu dan ketidaktepatan geometrik dan lain-lain dapat diatasi menggunakan algoritma kawalan kecerdikan.

2.4 PENGINTERPOLASI ALATAN MESIN CNC

Penyelidikan ini menjurus kepada usaha untuk menambahbaik pengawal CNC pada peringkat 2 iaitu penginterpolasi. Maka, perbincangan seterusnya adalah kepada sistem penginterpolasi CNC sahaja.

2.4.1 Definasi Penginterpolasi

Menurut Lo (1999) dan Koren (1983), penginterpolasi ialah algoritma yang menghasilkan arahan rujukan dan halaju masa sebenar kepada kawalan servo bagi menghasilkan pergerakan pelbagai-paksi secara serentak.

Rekabentuk geometri pada Rekabentuk Terbantu Komputer (CAD) diwakilkan oleh lengkok matematik yang tidak tertakluk kepada masa (Huang, 1992). Dalam permesinan, kadar pembuangan bahan yang berdasarkan kepada parameter-parameter permesinan seperti kadar suapan merupakan proses yang bergantung kepada masa. Keadaan ini menunjukkan bahawa perwakilan lengkok dalam CAD adalah tidak berhubung kait dengan masa. Pertukaran daripada proses yang tidak bergantung kepada masa kepada proses yang bergantung kepada masa adalah tugas penginterpolasi (Yang dan Kong, 1994; Chou dan Yang, 1991).

Dalam literatur, penginterpolasi juga disebut sebagai penghasilan arahan atau penukaran trajektori pergerakan (Chou dan Yang, 1991). Penginterpolasi boleh dikatakan sebagai penukaran masa-sebenar iaitu penukaran daripada arahan tidak bercirikan masa kepada arahan bercirikan masa di mana posisi dan halaju masa sebenar dihantar kepada kawalan servo.

2.4.2 Prestasi Penginterpolasi

Berdasarkan (Koren, 1983), terdapat tiga cara untuk mengukur tahap prestasi penginterpolasi iaitu:

1. Ketepatan penginterpolasi.
2. Arahan halaju suapan maksimum yang dibenarkan.
3. Ralat suapan.

Seksyen berikut menerangkan cara untuk mengukur prestasi penginterpolasi.

Ketepatan penginterpolasi

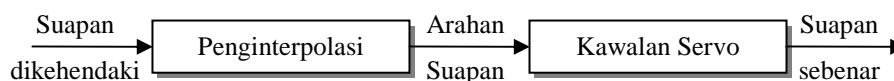
Ketepatan penginterpolasi diukur dari ralat kontur. Terdapat tiga jenis ralat kontur iaitu ralat penginterpolasi, ralat paksi dan ralat garis lurus (Koren, 1997). Istilah ralat penginterpolasi digunakan bagi menunjukkan ketepatan prestasi sesuatu penginterpolasi dalam menentukan kedudukan dedenyut-rujukan kepada kawalan servo.

Arahan halaju suapan maksimum yang dibenarkan

Prestasi penginterpolasi juga diukur dari segi batasan arahan halaju suapan. Arahan halaju suapan maksimum adalah arahan halaju suapan maksimum penginterpolasi kepada kawalan servo (Koren, 1983).

Ralat suapan

Ralat suapan didefinisikan sebagai sisihan maksimum antara suapan yang diarahkan oleh penginterpolasi dan suapan yang dikehendaki untuk pemotongan. Ralat suapan juga bergantung kepada ketidaksempurnaan kawalan servo. Dalam kes ini, ralat suapan adalah diberi oleh kawalan servo dan bukannya oleh penginterpolasi. Ralat suapan oleh kawalan servo ditetapkan sebagai perbezaan antara arahan suapan yang diberikan oleh penginterpolasi dan kadar suapan diukur (sebenarnya) (Huang, 1992; Chou dan Yang, 1991). Penggabungan ralat suapan oleh penginterpolasi dan kawalan servo adalah ralat suapan permesinan CNC, yang didefinisikan sebagai perbezaan antara suapan diukur dan suapan ditentukan. Rajah 2.2 menerangkan pelbagai definisi ralat suapan.



$$\begin{aligned}
 \text{Ralat suapan penginterpolasi} &= \text{Suapan dikehendaki} - \text{Arahan Suapan} \\
 \text{Ralat suapan kawalan servo} &= \text{Arahan Suapan} - \text{Suapan sebenar} \\
 \text{Ralat suapan permesinan} &= \text{Suapan dikehendaki} - \text{Suapan sebenar}
 \end{aligned}$$

Rajah 2.2: Definisi ralat suapan

Penyelidikan ini adalah untuk meningkatkan halaju suapan maksimum yang dibenarkan untuk penginterpolasi. Maka penerangan seterusnya adalah menjurus kepada peningkatan halaju suapan maksimum yang dibenarkan. Penerangan tentang cara pengiraan halaju suapan maksimum yang dibenarkan akan diterangkan dalam subtopik penginterpolasi CNC dedenyut-rujukan.

2.4.3 Perwakilan Laluan Alatan

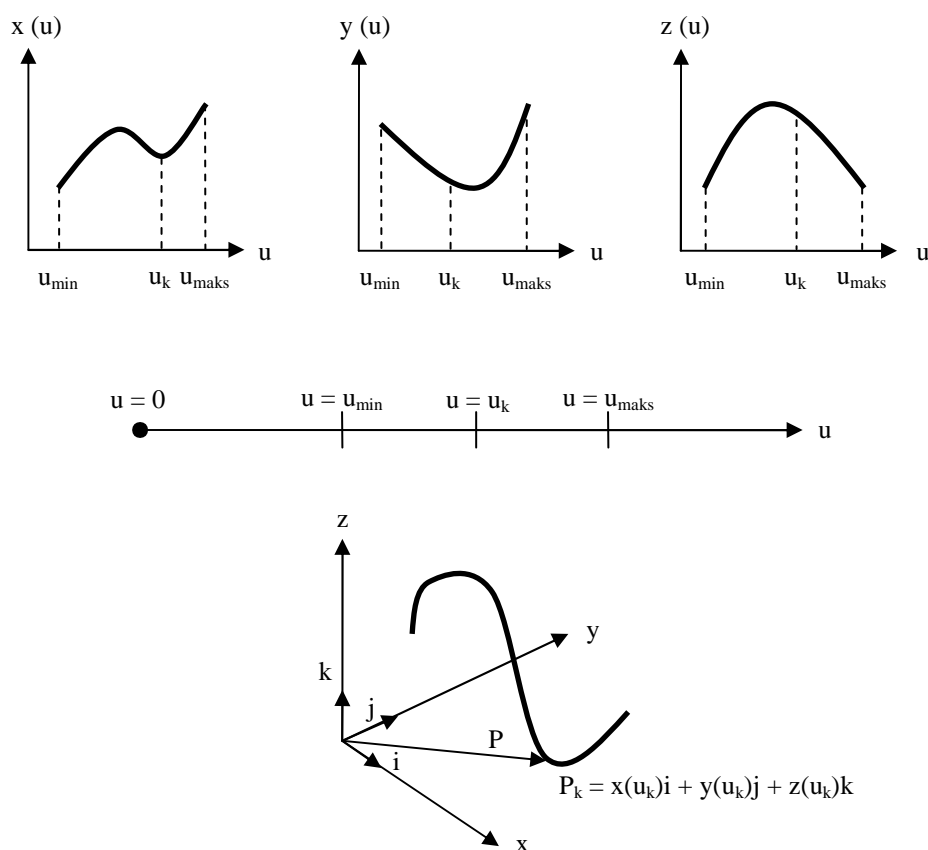
Menurut Zeid (1991), lengkok geometri boleh dibina sama ada secara data *array* berkoordinat atau bersifat persamaan matematik. Data *array* berkoordinat tidak praktikal untuk CAD/CAM kerana gambaran ini memerlukan tempat penyimpanan data yang besar, proses kiraan yang panjang atau besar, bentuk sebenar lengkok tidak dapat dikenalpasti sebagai contohnya persilangan lengkok dan lengkok fizikal seperti panjang dan tiada lengkungan yang bersambung dan susah untuk melakarkan bentuk (Zeid, 1991). Oleh itu, lengkok yang digambarkan secara persamaan matematik adalah bersesuaian digunakan untuk sistem CAD/CAM.

Dalam proses permesinan, laluan alatan diwakili oleh lengkok yang dikemukakan secara matematik. Tambahan pula, ia boleh digunakan sama ada untuk perwakilan lengkok tidak parametrik dan lengkok parametrik (Tsai, 2000; Kiritsis, 1994 dan Zeid, 1991).

Penginterpolasi sedia ada menggunakan perwakilan lengkok parametrik. Maka perwakilan lengkok tidak parametrik tidak akan dibincangkan. Untuk maklumat lanjut mengenai lengkok tidak parametrik ini, sila rujuk kepada Wan Yusoff (2003).

2.4.4 Perwakilan Lengkok Parametrik Umum

Rajah 2.3 menerangkan tentang perwakilan lengkok parametrik. Merujuk kepada Rajah 2.3, lengkok parametrik adalah berdasarkan kepada dua nilai parametrik iaitu u_{\min} dan u_{\max} . Arah lengkok ini adalah mengikut arah peningkatan nilai parametrik. Berikut adalah perwakilan bagi bulatan 2D, bulatan 3D, profil sesondul dan lengkok Helix.



Rajah 2.3: Perwakilan lengkok parametrik

Sumber: Zeid (1991)

Dalam bentuk parametrik, setiap titik pada lengkok merupakan fungsi bagi pembolehubah tambahan yang disebut sebagai pembolehubah parametrik. Ia pada kebiasaannya ditulis dalam simbol u . Dalam bentuk matrik, perwakilan matematik diberi oleh Persamaan 2.1 hingga 2.4 berikut:

$$\mathbf{P}(u) = [x \ y \ z]^T = [x(u) \ y(u) \ z(u)]^T \quad u_{\min} \leq u \leq u_{\max} \quad (2.1)$$

$$x = x(u) \quad (2.2)$$

$$y = y(u) \quad (2.3)$$

$$z = z(u) \quad (2.4)$$

Bulatan 2D

Diberi: Titik Pusat $P_c = (x_c, y_c)$ dan r mewakili jejari bulatan
 Persamaan lengkok: $x(u) = x_c + r \cos(u)$ $y(u) = y_c + r \sin(u)$
 Sempadan lengkok: $0 \leq u \leq 2\pi$

Bulatan 3D

Diberi: Titik Pusat $P_c = (x_c, y_c, z_c)$ dan r mewakili jejari bulatan
 Persamaan lengkok: $x(u) = x_c + r \cos(u)$ $y(u) = y_c + r \sin(u)$
 $z(u) = r \sin(u)$
 Sempadan lengkok: $0 \leq u \leq 2\pi$

Profil Sesondul 2D

Diberi: Titik Mula $P_s = (x_s, y_s)$ dan $r_{\min} = 15 \text{ mm}$

Persamaan lengkok:

$$x(u) = r_{\min} \cos(u) + g(u) \cos(u) \quad y(u) = r_{\min} \sin(u) + g(u) \sin(u)$$

Di mana $g(u)$:

$$g_1(u) = 7.962u - 4.714 \sin(1.689u) \quad 0 \leq u \leq 1.86$$

$$g_2(u) = 15.92(u - 1.86) + 14.81 \quad 1.86 \leq u \leq 2.645$$

$$g_3(u) = 2.690 \sin(5.905(u - 2.645)) + 27.310 \quad 2.645 \leq u \leq 2.911$$

$$g_4(u) = 15.0 \cos(1.74436(u - 2.911)) + 3.05 \cos(3.48872(u - 2.911)) + 11.95$$

$$2.911 \leq u \leq 4.712$$

$$g_5(u) = 0.0 \quad 4.712 \leq u \leq 2\pi$$

Helix

Diberi: Titik Pusat $P_c = (x_c, y_c, z_c)$, Titik Mula $P_s = (x_s, y_s, z_s)$,
 kecondongan p dan r mewakili jejari bulatan

Persamaan lengkok: $x(u) = r \cos(u)$ $y(u) = r \sin(u)$ $z(u) = pu$

Sempadan lengkok: $0 \leq u \leq 12$

Berdasarkan kepada penjelasan tentang perwakilan lengkok parametrik umum, maka dengan ini jelaslah bahawa kesemua titik x , y dan z adalah bergantung kepada nilai parametrik u . Untuk kesemua jenis lengkok parametrik umum, sempadan lengkok juga memainkan peranan penting dan ia berbeza antara satu sama lain.

2.5 SISTEM CNC

Secara umumnya, terdapat dua jenis sistem CNC iaitu sistem CNC persampelan data dan sistem CNC dedenyut-rujukan (Koren, 1983). Penginterpolasi Wan Yusoff (2003) dan Omirou dan Nearchau (2006) menggunakan sistem CNC dedenyut-rujukan. Maka CNC persampelan data tidak akan dibincangkan dan di luar dari skop penyelidikan. Untuk maklumat lanjut mengenai CNC persampelan data, sila rujuk kepada Koren (1983).

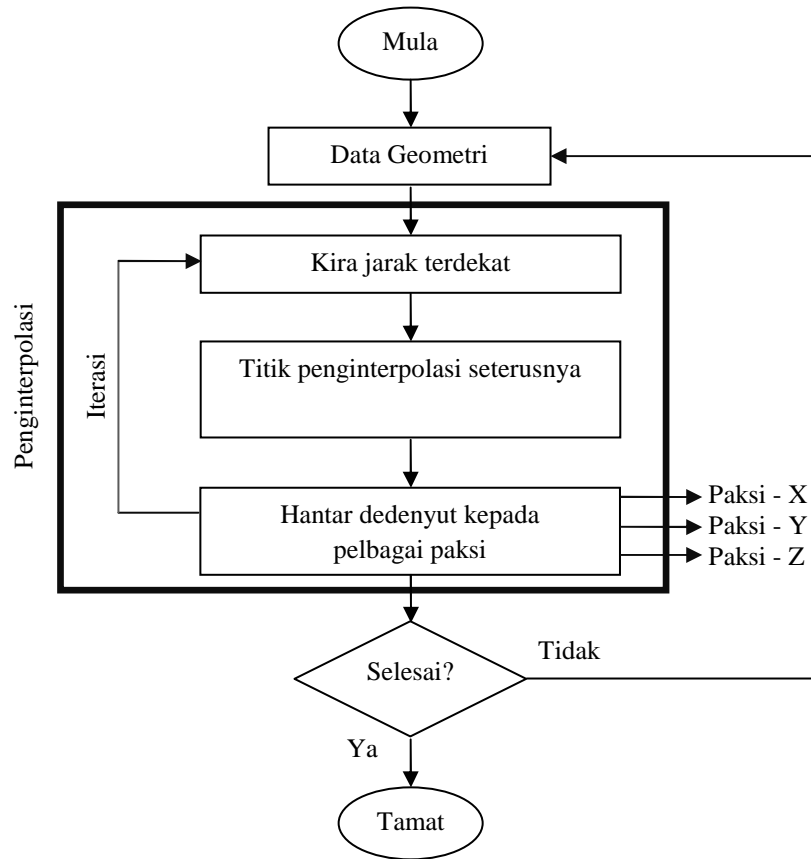
Penginterpolasi untuk sistem CNC dedenyut-rujukan dipanggil sebagai penginterpolasi dedenyut-rujukan (Kiritsis, 1994). Sistem dedenyut-rujukan menggunakan teknik penghasilan lengkok secara peningkatan di mana lokasi rujukan meningkat dalam bentuk saiz unit-panjang-asas (BLU).

Tugas kawalan servo adalah untuk merealisasikan posisi dan halaju paksi berdasarkan kepada posisi dan halaju rujukan yang diberikan oleh penginterpolasi. Dengan menggunakan teknik dedenyut-rujukan, penginterpolasi dan kawalan servo boleh dibahagikan kepada dua unit iaitu perisian untuk penginterpolasi dan perkakasan untuk implementasi kawalan servo.

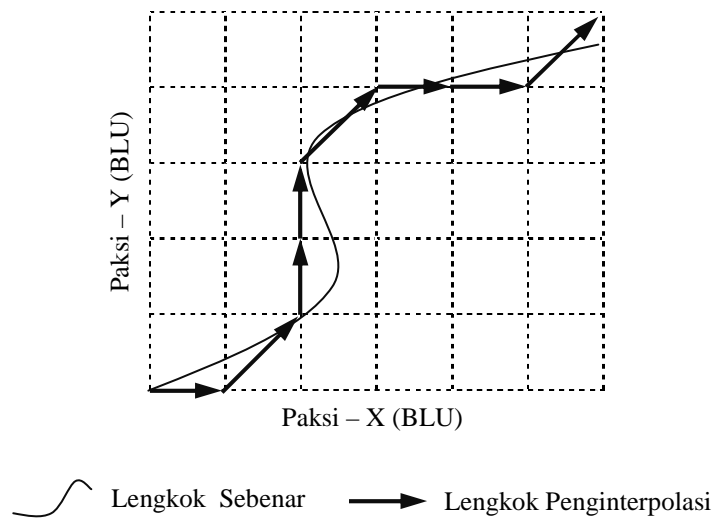
Penginterpolasi Sistem CNC Dedenyut-Rujukan

Rajah 2.4 menunjukkan carta alir penginterpolasi dedenyut-rujukan. Selepas mengambil maklumat lengkok daripada data geometri, penginterpolasi menetapkan nilai-nilai awal seperti titik mula dan titik akhir. Langkah berikut penginterpolasi adalah untuk menentukan lokasi dedenyut berikutnya. Dengan menggunakan sistem CNC dedenyut-rujukan, lengkok akan bergerak mengikut saiz BLU secara menaik seperti

yang ditunjukkan dalam Rajah 2.5. Tugas penginterpolasi juga adalah untuk menentukan ke mana arah posisi berpindah.



Rajah 2.4: Carta alir penginterpolasi dedenyut-rujukan



Rajah 2.5: Menjejak lengkok menggunakan penginterpolasi dedenyut-rujukan

Halaju rujukan untuk sistem dedenyut-rujukan diwakili oleh kadar dedenyut, yang bergantung kepada kelajuan iterasi. Sebagai contoh, ketika satu langkah, teknik dedenyut-rujukan ini akan menghasilkan satu dedenyut. Kadar dedenyut yang dihantar ini dipanggil frekuensi dedenyut. Frekuensi dedenyut ini adalah juga merupakan dedenyut rujukan, V kepada kawalan servo. Masa iterasi (T_{iter}) adalah kombinasi daripada masa melaksana algoritma penginterpolasi (T_{int}), masa menghantar isyarat (T_{out}) dan masa tangguh (T_{del}). Parameter-parameter ini digunakan untuk menentukan halaju suapan (Kiritsis, 1994). Pengiraan halaju suapan adalah menggunakan Persamaan 2.5 hingga 2.9.

$$T_{iter} = T_{int} + T_{out} + T_{del} \quad (2.5)$$

Diberi f adalah frekuensi dedenyut dan BLU adalah unit-panjang-asas mesin, halaju suapan spesifik kepada jumlah masa iterasi (T_{iter}) bagi setiap satu rutin iterasi adalah;

$$V = f \times BLU = \frac{BLU}{T_{iter}} \quad (2.6)$$

Halaju suapan spesifik V diambil daripada program data. Dengan mengetahui nilai V , masa iterasi T_{iter} dikira menggunakan persamaan berikut.

$$T_{iter} = \frac{BLU}{V} = T_{int} + T_{out} + T_{del} \quad (2.7)$$

Masa penginterpolasi adalah bergantung kepada kerumitan lengkok dan kecekapan algoritma. Masa output isyarat adalah bergantung kepada kelajuan perkakasan. Kedua-duanya tidak banyak berubah dari satu iterasi ke satu iterasi. Oleh itu, untuk mengawal halaju suapan, masa tangguh digunakan.

$$T_{del} = T_{int} + T_{out} - \frac{BLU}{V} \quad (2.8)$$

Dengan diberi halaju suapan yang diminta V , masa tangguh T_{del} dapat dikira bagi memperolehi halaju suapan.

Daripada persamaan, didapati V_{maks} diperolehi apabila T_{del} adalah kosong.

$$V_{maks} = \frac{BLU}{T_{int} + T_{out}} \quad (2.9)$$

Berdasarkan kepada penerangan ini, maka dengan ini jelaslah bahawa frekuensi dedenyut-rujukan yang dihasilkan adalah bergantung kepada masa algoritma penginterpolasi (T_{int}). Semakin rendah masa iterasi, semakin tinggi frekuensi dedenyut-rujukan.

Terdapat dua kaedah untuk meningkatkan kelajuan masa iterasi. Pertamanya adalah dengan menggunakan pemproses-mikro yang pantas dan keduanya adalah dengan penginterpolasi yang cekap (Kiritsis, 1994). Bagi meningkatkan halaju suapan untuk penyelidikan ini, kombinasi cara pertama dan cara kedua akan digunakan iaitu dengan menggunakan pemproses-mikro yang pantas dan menggunakan penginterpolasi yang cekap. Topik seterusnya menerangkan tentang pengaturcaraan selari bermula dengan pengkomputeran selari.

2.6 PENGKOMPUTERAN SELARI

Pengkomputeran selari ialah pelaksanaan tugas yang sama secara serentak (memecahkan dan khususnya menyesuaikan) pada banyak pemprosesan untuk memperoleh hasil yang cepat (Graham, 2008). Konsep pengkomputeran selari ialah membahagikan masalah yang besar kepada masalah-masalah yang kecil dan dilaksana secara serentak. Sesebuah komputer selari boleh diklasifikasikan mempunyai dua atau lebih pemprosesan dan/ataupun mempunyai dua atau lebih komputer yang berhubungan antara satu sama lain melalui penghantaran mesej. Pengkomputeran selari merupakan model dominan yang menyokong arkitektur komputer selari (Asanovic *et al.*, 2006). Pengkomputeran selari dapat dilaksanakan dengan membahagi setiap kerja ke setiap pemproses sama ada komputer yang dibina dengan dua pemproses mahupun ke komputer-komputer yang bersambungan antara satu sama lain menerusi jaringan komputer. Pengaturcaraan selari menunjukkan bahawa setiap bahagian dalam aturcara dapat dilaksana pada pemproses yang berbeza secara setempat mahupun secara jauh.

2.7 SEJARAH RINGKAS PENGKOMPUTERAN SELARI

Menurut (Wilson, 1994), sejarah pengkomputeran selari bermula pada tahun 1954. Sejarah ini berdasarkan kepada sejarah pengkomputeran selari yang dibangunkan oleh IBM. Deskripsi sejarah pengkomputeran selari diterangkan secara ringkas dalam perenggan berikut:

Tahun 1954

Keaslian Pelbagai Arahan Pelbagai Data (MIMD) yang menunjukkan keadaan selari berbalik kepada cerita Federico Luigi, Conte Menabrea iaitu "*Sketch of the Analytic Engine Invented by Charles Babbage*". IBM telah memperkenalkan komputer 704 melalui projek di mana Gene Amdahl merupakan salah satu seni binanya. Ia kemudiannya menjadi komputer komersial yang pertama menggunakan arahan titik apungan aritmetik sepenuhnya secara automatik.

Tahun 1958

Penyelidik IBM iaitu John Cocke dan Daniel Slotnick berbincang tentang penggunaan kaedah selari dalam pengiraan angka bua pertama kalinya.

Tahun 1962

Burroughs Corporation telah memperkenalkan D825 iaitu empat pemproses komputer yang dapat mencapai 16 modul ingatan menerusi suis *crossbar*.

Tahun 1964

Slotnick telah mencadangkan pembinaan komputer selari secara besar-besaran untuk Makmal Kebangsaan Lawrence Livermore. Rekaannya dibiayai oleh Tentera Udara Amerika menggunakan pendekatan pengkomputeran selari yang pertama, Satu Arah Pelbagai Data (SIMD) diberi nama ILLIAC IV. Rekaannya mempunyai keselarian yang sangat tinggi mencecah kepada 256 pemproses yang membenarkan mesin dapat bekerja dalam persekitaran susunan data besar dan selepas itu dikenali sebagai pemprosesan vektor. Bagaimanapun, ILLIAC IV diberi jolokan nama “komputer berkuasa paling buruk dan tidak terkenal” kerana projek ini hanya satu per empat dapat disempurnakan tetapi memakan masa pembinaan selama 11 tahun dan menelan belanja empat kali ganda daripada kos jangkaan. Aplikasi yang pertama telah bersedia dilaksana pada tahun 1976 dan ia adalah lebih baik daripada komputer berkuasa komersial yang ada pada zaman itu iaitu Cray-1.

Tahun 1967

Amdahl dan Slotnick telah menerbitkan sebuah perbahasan tentang pemprosesan selari bertempat di *American Federation of Information Processing Societies Conference*. Hujah Amdahl adalah berkisar tentang batasan keadaan selari dinamakan sebagai “Amdahl's Law”.

Tahun 1969 dan ke atas

Syarikat Amerika, Honeywell memperkenalkan sistem Multics yang pertama. Sistem pelbagai-pemproses yang simetri ini membolehkan 8 pemproses dilaksana secara serentak. C.mmp merupakan projek pelbagai pemprosesan pada tahun 1970an dihasilkan di Universiti Carnegie Mellon. Ia merupakan antara pelbagai-pemproses yang pertama dengan melebihi daripada beberapa pemproses. Pemproses *bus-connected* dengan *snooping caches* yang pertama ialah Synapse N+1 pada tahun 1984. Komputer selari SIMD dapat ditelusuri kembali pada tahun 1970. Motivasi di belakang komputer SIMD awal adalah untuk menghapuskan *gate delay* pada unit kawalan pemproses atas beberapa petunjuk.

2.8 KONSEP PENGKOMPUTERAN SELARI

Terdapat beberapa cara untuk mengklasifikasikan komputer selari. Antara klasifikasi yang paling banyak diguna adalah Taxonomy Flynn dan Ingatan. Taxonomy Flynn telah digunakan semenjak tahun 1966 (Wachsmann, 2005). Konsep ini digunakan untuk komputer pelbagai pemproses di mana ia mempunyai dua dimensi bergantung iaitu arahan dan data yang hanya ada dua kemungkinan, satu atau banyak. Jadual 2.1 menggambarkan konsep Taxonomy Flynn. Jadual ini dibuat berdasarkan penerangan daripada Barney (2010).

Jadual 2.1: Konsep Taxonomy Flynn

Jenis	Contoh
SISD (Satu Arahan, Satu Data)	Komputer biasa (komputer bukan selari).
SIMD (Satu Arahan, Pelbagai Data)	Pengkomputeran vektor, pemproses aturan.
MISD (Pelbagai Arahan, Satu Data)	Tidak pernah wujud.
MIMD (Pelbagai Arahan, Pelbagai Data)	Kluster, komputer grid dan kebanyakan komputer selari.

Sumber: Barney (2010)