

PEMBINAAN DAN PELAKSANAAN ALGORITMA SELARI BAGI
KAEDAH KELAS TTHS DAN TTKS DALAM MENYELESAIKAN
PERSAMAAN PARABOLIK PADA SISTEM KOMPUTER
SELARI INGATAN TERAGIH

NORMA BINTI ALIAS

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI TEKNOLOGI DAN SAINS MAKLUMAT
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2004

PENGHARGAAN

Dengan Nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

Alhamdulillah, bersyukur saya ke hadrat Ilahi kerana dengan izinNya tesis ini dapat disempurnakan.

Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih ditujukan buat kedua-dua penyelia Prof. Dr. Mohamed Salleh Sahimi Bin Mohamed dan Prof. Dr. Abdul Rahman Bin Abdullah yang telah banyak membantu dan membimbing saya dari awal hingga ke akhir penulisan tesis ini.

Ribuan terima kasih saya ucapkan kepada pensyarah dan staf Universiti Kebangsaan Malaysia dan Universiti Tenaga National yang telah memberi kerjasama secara langsung atau tidak langsung. Penghargaan tidak terhingga khas kepada Universiti Teknologi Malaysia selaku penaja saya sepanjang tempoh pengajian ini.

Buat Allahyarhamah Bonda Taksiah Binti Sidan (1928-2001), disedekahkan Al Fatimah. Sekalung penghargaan buat seisi keluarga atas doa, dorongan, sokongan moral dan teknikal yang diberikan terutamanya kepada Mokhtar Bin Alias.

Ribuan terima kasih kepada sahabat-sahabat seperjuangan Maznah, Fatan Hamamah, John, Norjidah, Athi, P.M. Dr. Mohamed, P.M. Dr. Rio, Dr. Yuwaldi, Dr. Suyoto, Dr. Farrukh, P.M. Dr. Norashidah, P.M. Dr. Ahmad kamal, Elan, Aishah, Zohreh, Suzana, Helmi, Suhaimi, Rizal, Pian, Azila, Izan, Fari, Khirina, Hasni, Nora, Choy, Festus dan rakan-rakan yang lain yang telah mewujudkan suasana pembelajaran yang memberangsangkan.

Semoga Allah S.W.T memberikan taufik dan hidayahNya serta kurnia kasihNya kepada kalian. Diharapkan segala ilmu yang ditimba sepanjang pengajian menjadi platform kepada perjuangan meningkatkan kualiti harta intelek dan mendapat redo Allah S.W.T.

Insyaaalah

ABSTRAK

Tesis ini mencakupi tuntutan kepada pembinaan teknik algoritma selari yang terkini dalam menyelesaikan model masalah bersaiz besar bagi satu sistem persamaan linear. Analisis pengiraan berangka untuk pelbagai kelas kaedah lalaran merupakan satu motivasi kepada pembinaan algoritma selari menerusi teknik partisi blok. Teknik ini dapat mengurangkan penggunaan ruang lokasi ingatan dan kos komunikasi pada sistem komputer selari multipemproses ingatan teragih. Perumusan beberapa kaedah lalaran terbaru secara berjujukan dan selari dilaksanakan dalam menyelesaikan beberapa persamaan parabolik. Seterusnya, kaedah tersebut diimplementasikan pada sistem komputer selari yang dibangunkan dengan 20 pemproses Intel Pentium IV, berkelajuan 1.6 GHz dengan aplikasi perisian penghantar utusan PVM. Kaedah lalaran tersebut didapati menumpu dengan kestabilan tidak bersyarat dan memiliki peringkat kejituan yang tinggi serta bercirikan domain penyelesaian berangka tak tersirat. Penciptaan kaedah lalaran variasi baru dalam kelas TTHS dan TTKS adalah berasaskan kepada strategi belahan TAS. Ujikaji berangka bagi model masalah multidimensi membuktikan kecekapan kadar penumpuan dan kejituan kaedah lalaran tersebut. Ke arah keberkesanan implementasi algoritma selari, pelbagai strategi selari yang dicadangkan. Perbandingan ukuran prestasi algoritma selari dengan pelbagai strategi selari membuktikan kadar penumpuan dan masa pelaksanaan algoritma berjujukan bagi kelas TTHS adalah dalam turutan SUB, PBB, RH, MULTI, VEKTOR dan MF. Penerbitan rumus TTSHB dan strategi selarinya adalah kaedah alternatif kepada kelas TTHS. Analisis ukuran prestasi algoritma selari mendapati kelas TTKS mengatasi kelas TTHS selari dari segi kecekapan kadar penumpuan berdasarkan kepada faktor kemampuan pemproses melaksanakan tugas saling tak bersandar. Implikasi daripada subdomain bertindih dan keoriginalan kaedah blok tersirat yang ditransformasikan secara terus kepada subdomain tak tersirat. Perbandingan ukuran prestasi algoritma selari ke atas kedua-dua kelas ini juga membuktikan kos komunikasi kelas TTKS adalah kurang daripada kelas TTHS. Implikasinya, kesesuaian implementasi kelas TTKS pada sistem komputer selari ingatan teragih juga dibincangkan. Penemuan ini merupakan satu titik tolak kepada peningkatan kadar penumpuan, masa pelaksanaan, kecekapan, kecekapan, keberkesanan dan prestasi sementara. Kelas TTKS berpotensi dikembangkan kepada aplikasi model masalah multidimensi bagi sistem koordinat kartesian dan koordinat kutub dan seterusnya melahirkan pembinaan TTKS_BRIAN dengan variasi baru sebagai alternatif kepada TTKS_DOUGLAS. Akhirnya kaedah CG diserapkan kepada kelas TTHS bagi model masalah satu dimensi dan kelas TTKS bagi model masalah multidimensi. Analisis prestasi algoritma berjujukan dan selari membuktikan bahawa kelas TTHS_CG dan TTKS_CG adalah alternatif kepada kelas TTHS dan TTKS. Aktiviti komunikasi dan teknik pengagihan data kaedah CG dipertimbangkan dalam mencakupi kekangan-kekangan pada sistem komputer selari ingatan teragih.

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF PARALLEL ALGORITHMS
IN THE IADE AND AGE CLASS OF METHODS TO SOLVE PARABOLIC
EQUATIONS ON A DISTRIBUTED PARALLEL COMPUTER SYSTEMS
PARALLEL COMPUTER SYSTEMS**

ABSTRACT

This thesis encompasses studies on recent advances in the development of parallel algorithmic techniques to solve large-scale problems involving the solution of systems of linear equations. An analysis of the computational aspect of the various classes of methods demonstrates that limited parallelism by using block partitioning can be effective in reducing data storage accesses and cost communication in a distributed memory parallel computer system. In the thesis is described the formulation of new iterative methods and the implementation of their parallel analogues in the numerical solution of parabolic equations on a distributed parallel computer system containing 20 PCs Intel Pentium IV with a speed of 1.6 GHz and employing the PVM (Parallel Virtual Machine) application program interface. These schemes are found to be convergent and possess unconditional stability, higher order accuracy and above all explicitly which is highly favorable for numerical parallel processing. New variants of the IADE (Iterative Alternating Decomposition Explicit) and AGE (Alternating Group Explicit) class of methods are developed based on the ADI fractional splitting strategy. Numerical experiments on multi-dimensional model problems confirm the convergence and accuracies of these schemes. To effect parallel implementation, a number of parallel strategies are suggested. A comparison of the sequential performance of the various methods provides us the following order of increased accuracy and rapid convergence in the IADE class : SUB (Subdomain), SOR (Successive Over-relaxation), RB (Red Black), MULTI (multicoloring), VECTOR and MF (Michell-Fairweather). Between the two classes, however AGE has the edge over IADE in terms of speedup and efficiency because of the ability of the processors to perform independently due to the presence of non-overlapping subdomain and the nature of the implicit block which can be easily be converted to an explicit form. A comparison of the parallel performance measurements of the two classes of methods also indicate that the communication cost when AGE is used is minimum compared to new IADE (IADEN) and IADE with SUB strategy. The compatibility of the parallel implementation of AGE on the distributed parallel computer system is also discussed. We find that there is a marked improvement in terms of convergence, accuracy, time executions, speedup, efficiency, effectiveness and temporal performance when the AGE concept is extended for application to higher dimensions in cartesian, cylindrical and spherical coordinate systems as exhibited by the newly developed AGE_BRIAN variant. Finally, the CG method is adapted into the IADE class on one-space dimension and the AGE class on one-, two- and three-space dimensions. The parallel and sequential performance measurements of IADE.CG and AGE.CG classes as an alternative to AGE and IADE classes are analyzed. In the thesis, we also consider the communication activities and work balance of the CG method in the context of a distributed parallel computer system. In this paper, element stiffness matrix is formed by groups in each processor related by classes as an alternative to AGE and IADE classes are analyzed. In the thesis, we also consider the communication activities and work balance of the CG method in the context of a distributed parallel computer system.

KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI RAJAH	xvi
SENARAI SIMBOL	xxiii
I PENGENALAN KEPADA SISTEM KOMPUTER SELARI MULTIPEMPROSES	
1.1 Konsep Sistem Komputer Selari Multipemproses	1
1.1.1 Pengelasan Quinn	2
1.1.2 Pengelasan Flynn	6
1.1.3 Pengelasan Cheong	10
1.1.4 Ciri-ciri Pengkomputeran Selari Berkelompok	11
1.1.5 Spesifikasi Perkakasan Pengkomputean Selari Berkelompok UKM	14
1.2 Kaedah Merekabentuk Algoritma Selari	17
1.2.1 Penghuraian Data	20
1.2.2 Komunikasi	22
1.2.3 Aglometrik	25
1.2.4 Pemetaan	26
1.3 Sistem komputer Mesin Selari Ingatan Teragih	28
1.3.1 Komponen PVM	30
1.3.2 Arahan Konsol PVM	33
1.3.3 Arahan Kawalan PVM	34
1.3.4 Proses Komunikasi	36
1.4 Analisis Prestasi Algoritma Selari	41
1.4.1 Kecepatan	41
1.4.2 Kecekapan	43
1.4.3 Keberkesanan	43
1.4.4 Prestasi Sementara	44
1.4.5 Masa Pelaksanaan	44
1.4.6 Kos Komunikasi	47
1.5 Permasalahan Kajian	47
1.6 Objektif Penyelidikan	48

1.7	Skop dan Batas Penyelidikan	48
1.7.1	Masalah Nilai Sempadan Satu Dimensi	49
1.7.2	Masalah Nilai Sempadan Dua Dimensi	51
1.7.3	Masalah Nilai Sempadan Tiga Dimensi	51
II PENGHAMPIRAN BEZA TERHINGGA		
2.1	Pengenalan	56
2.1.1	Persamaan Parabolik Model Masalah Satu Dimensi	58
2.1.2	Persamaan Parabolik Model Masalah Dua Dimensi	64
2.1.3	Persamaan Parabolik Model Masalah Tiga Dimensi	66
2.2	Penyelesaian Berangka Persamaan Terbitan Separa Satu Dimensi	69
2.2.1	Pendiskretan Sistem Koordinat Kartesan	70
2.2.2	Pendiskretan Sistem Koordinat Silinder dan Sfera	71
2.3	Penyelesaian Berangka Persamaan Terbitan Separa Dua Dimensi	74
2.4	Penyelesaian Berangka Persamaan Terbitan Separa Tiga Dimensi	77
2.4.1	Pendiskretan Sistem Koordinat Kartesan	78
2.4.2	Pendiskretan Sistem Koordinat Silinder	81
2.5	Kaedah Lelaran Blok	84
2.5.1	Kaedah Lelaran Titik	84
2.5.2	Kaedah Lelaran Blok	85
2.5.3	Perkembangan Kaedah Lelaran Blok	90
2.6	Kaedah Cerun Konjugat	92
2.6.1	Kaedah Minimum	92
2.6.2	Kaedah Konjugat Berarah	95
2.6.3	Kaedah CG	96
2.6.4	Penganggar Ralat	98
2.7	Analisis Prestasi Kaedah Lelaran	100
2.7.1	Analisis Kadar Penumpuan	102
2.7.2	Purata Ralat Kuasa Dua	104
2.7.3	Kadar Penumpuan Algoritma Selari	104
2.7.4	Masa Pelaksanaan Algoritma Berjujukan	105
2.7.5	Kompleksiti Pengiraan	106
III KELAS KAEDAH TAK TERSIRAT PENGHURAIAN BERSELANG-SELI		
3.1	Pengenalan	107
3.2	Kaedah TTHS Berjujukan	110
3.2.1	Kaedah TTHS Berjujukan Sistem Koordinat Kartesan	110
3.2.2	Kaedah TTHS Berjujukan Sistem Koordinat Kutub	111
3.3	Strategi Selari Kaedah TTHS	113
3.3.1	TTHS Subdomain Tak Lengkap	114
3.3.2	TTHS Merah Hitam	118
3.3.3	TTHS Pengenduran Berlebihan Berturut-Turut	122
3.3.4	TTHS Multiwarna	124
3.3.5	TTHS Pelelaran Vektor	126
3.3.6	TTHS Michell-Fairweather Blok	131
3.4	Kaedah TTHSB Berjujukan	134

3.5	Strategi Selari Kaedah TTHSB	139
3.5.1	TTHSB Subdomain Tak Lengkap	140
3.5.2	TTHSB Merah Hitam	140
3.5.3	TTHSB Pengenduran Berlebihan Berturut-Turut	143
3.5.4	TTHSB Multiwarna	143
3.5.5	TTHSB Pelelaran Vektor	147
3.5.6	TTHSB Michell-Fairweather Blok	148
3.6	Kaedah Gauss Seidel Merah Hitam	152
3.7	Kompleksiti Pengiraan Dan Kos Komunikasi	153
3.7.1	Kompleksiti Pengiraan Kaedah TTHS	153
3.7.2	Kompleksiti Pengiraan Kaedah TTHB	153
3.7.3	Kos Komunikasi Kaedah TTHS selari	155
3.7.4	Kos Komunikasi Kaedah TTHSB selari	155
3.8	Keputusan Eksperimen	155
3.8.1	Kaedah TTHS Berjukkan	158
3.8.2	Kaedah TTHS Selari	159
3.8.3	Kaedah TTHSB Berjukkan	163
3.8.4	Kaedah TTHSB Selari	167
3.9	Kesimpulan Dan Cadangan	168
3.9.1	Perbandingan Prestasi Kelas TTHS dan TTKS Selari	168
3.9.2	Penerbitan Kaedah TTHS-g	170
3.9.3	Penerbitan Kelas TTHS Model Masalah 2 Dimensi	171
IV	KELAS TAK TERSIRAT KUMPULAN BERSELANG- SELI SATU DIMENSI	
4.1	Pengenalan	173
4.2	Kaedah TTKS Berjukkan	174
4.2.1	Analisis Penumpuan Kelas TTKS	176
4.3	Kaedah TTKS_DOUGLAS Berjukkan	177
4.3.1	Kaedah TTKS_DOUGLAS Sistem Koordinat Kartesan	178
4.3.2	Kaedah TTKS_DOUGLAS Sistem Koordinat Kutub	181
4.3.3	Kaedah TTKS_DOUGLAS Selari	183
4.4	Kaedah TTKS_BRIAN	185
4.4.1	Kaedah TTKS_BRIAN Berjukkan	186
4.4.2	Kaedah TTKS_BRIAN Selari	188
4.5	Kompleksiti Pengiraan dan Kos Komunikasi	189
4.5.1	Kompleksiti Pengiraan Kelas TTKS Berjukkan	191
4.5.2	Kompleksiti Pengiraan Kelas TTKS Selari	192
4.5.3	Kos Komunikasi Kelas TTKS Selari	192
4.6	Keputusan Eksperimen	192
4.6.1	Kelas TTKS Berjukkan	193
4.6.2	Kelas TTKS Selari	194
4.7	Perbandingan Prestasi Kelas TTKS dan TTHS	195
4.7.1	Ukuran Prestasi Algoritma Berjukkan	198
4.7.2	Ukuran Prestasi Algoritma Selari	199
4.7.3	Masa Pelaksanaan Algoritma Selari	204
4.8	Kesimpulan	205

V	KELAS TAK TERSIRAT KUMPULAN BERSELANG-SELI DUA DIMENSI	
5.1	Pengenalan	207
5.2	Kelas Kaedah Tak Tersirat Kumpulan Berselang-Seli	208
5.3	Kaedah TTKS_DOUGLAS	208
5.3.1	Kaedah TTKS_DOUGLAS Berjukkan	209
5.3.2	Kaedah TTKS_DOUGLAS Selari	210
5.4	Kaedah TTKS_BRIAN	214
5.4.1	Kaedah TTKS_BRIAN Berjukkan	214
5.4.2	Kaedah TTKS_BRIAN Selari	226
5.5	Kaedah GSRH	226
5.5.1	Kaedah GSRH Berjukkan	228
5.5.2	Kaedah GSRH Selari	228
5.6	Kompleksiti Pengiraan dan Kos Komunikasi	229
5.6.1	Kompleksiti Pengiraan Kelas TTKS Berjukkan	229
5.6.2	Kompleksiti Pengiraan Kelas TTKS Selari	231
5.6.3	Kos Komunikasi Kelas TTKS Selari	232
5.7	Keputusan Eksperimen	232
5.7.1	Kelas TTKS Berjukkan	232
5.7.2	Kelas TTKS Selari	234
5.7.3	Masa Pelaksanaan Algoritma Selari	240
5.8	Kesimpulan	242
VI	KELAS TAK TERSIRAT KUMPULAN BERSELANG-SELI TIGA DIMENSI	
6.1	Pengenalan	244
6.2	Kaedah TTKS_DOUGLAS	247
6.2.1	Kaedah TTKS_DOUGLAS Berjukkan	247
6.2.2	Kaedah TTKS_DOUGLAS Sistem Koordinat Kartesan	247
6.2.3	Kaedah TTKS_DOUGLAS Sistem Koordinat Silinder	248
6.2.4	Kaedah TTKS_DOUGLAS Selari	257
6.3	Kaedah TTKS_BRIAN	258
6.3.1	Kaedah TTKS_BRIAN Berjukkan	258
6.3.2	Kaedah TTKS_BRIAN Sistem Koordinat Kartesan	262
6.3.3	Kaedah TTKS_BRIAN Sistem Koordinat Silinder	266
6.3.4	Kaedah TTKS_BRIAN Selari	272
6.4	Kaedah GSRH	272
6.4.1	Kaedah GSRH Berjukkan	272
6.4.2	Kaedah GSRH Sistem Koordinat Kartesan	274
6.4.3	Kaedah GSRH Sistem Koordinat Silinder	274
6.4.4	Kaedah GSRH Selari	275
6.5	Kompleksiti Pengiraan Kelas TTKS	276
6.5.1	Kompleksiti Pengiraan Kelas TTKS Berjukkan	276
6.5.2	Kompleksiti Pengiraan Kelas TTKS Selari	277

6.6	Kos Komunikasi Kelas TTKS Selari	277
6.7	Keputusan Eksperimen	279
6.7.1	Kelas TTKS Berjukkan Sistem Koordinat Kartesan	280
6.7.2	Kelas TTKS Berjukkan Sistem Koordinat Silinder	281
6.7.3	Kelas TTKS Selari Sistem Koordinat Kartesan	282
6.7.4	Kelas TTKS Selari Sistem Koordinat Silinder	288
6.7.5	Masa Pelaksanaan Algoritma Selari	289
6.8	Kesimpulan	295
VII	IMPLEMENTASI KAEDAH CERUN KONJUGAT	
7.1	Pengenalan	297
7.2	Penumpuan Kaedah CG	298
7.3	Algoritma Selari Kaedah CG Model Satu Dimensi	299
7.3.1	Kaedah TTHS.CG	301
7.3.2	Kaedah TTHSB.CG	304
7.3.3	Kaedah TTKS.DOUGLAS.CG	306
7.3.4	Kaedah TTKS.BRIAN.CG	306
7.3.5	Kaedah GSRH.CG	306
7.4	Algoritma Selari Kaedah CG Model Dua Dimensi	308
7.4.1	Kaedah TTKS.DOUGLAS.CG	308
7.4.2	Kaedah TTKS.BRIAN.CG	310
7.4.3	Kaedah GSRH.CG	310
7.5	Algoritma Selari Kaedah CG Model Tiga Dimensi	311
7.5.1	Kaedah TTKS.DOUGLAS.CG	312
7.5.2	Kaedah TTKS.BRIAN.CG	312
7.5.3	Kaedah GSRH.CG	313
7.6	Kompleksiti Pengiraan	313
7.6.1	Kelas TTHS.CG Dan TTKS.CG Model Satu Dimensi	314
7.6.2	Kelas TTKS.CG Model Dua Dimensi	315
7.6.3	Kelas TTKS.CG Model Tiga Dimensi	316
7.7	Kos Komunikasi	317
7.7.1	Kelas TTHS.CG Dan TTKS.CG Model Satu Dimensi	317
7.7.2	Kelas TTKS.CG Model Dua Dimensi	320
7.7.3	Kelas TTKS.CG Model Tiga Dimensi	321
7.8	Keputusan Eksperimen	321
7.8.1	Kelas TTHS.CG Dan TTKS.CG Berjukkan Model Satu Dimensi	321
7.8.2	Analisis Prestasi Kelas TTKS.CG Selari Model Satu Dimensi	324
7.8.3	Kelas TTKS.CG Berjukkan Model Dua Dimensi	331

7.8.4	Analisis Prestasi Kelas TTKS_CG Selari Model Dua Dimensi	332
7.8.5	Kelas TTKS_CG Berjukkan Model Tiga Dimensi	337
7.8.6	Analisis Prestasi Kelas TTKS_CG Selari Model Tiga Dimensi	337
7.9	Perbandingan Kelas TTHS Dan TTKS Dengan TTHS_CG Dan TTKS_CG	342
7.9.1	Kelas TTHS Dan TTKS Dengan TTHS_CG Dan TTKS_CG Model Satu Dimensi	342
7.9.2	Kelas TTKS Dan TTKS_CG Model Dua Dimensi	349
7.9.3	Kelas TTKS Dan TTKS_CG Model Tiga Dimensi	350
7.10	Kesimpulan	350

VIII KESIMPULAN

8.1	Pendahuluan	353
8.2	Ringkasan	354
8.2.1	Kelas TTHS	355
8.2.2	Kelas TTKS	356
8.2.3	Kaedah CG	358
8.3	Cadangan Penyelidikan Pada Masa Akan Datang	359

RUJUKAN	361
----------------	------------

LAMPIRAN

A	Kaedah TTHS Sistem Koordinat Kartesan Satu Dimensi	375
B	Kaedah TTKS Sistem Koordinat Kartesan Satu Dimensi	378
C	Kaedah TTKS Sistem Koordinat Kartesan Dua Dimensi	383
D	Kaedah TTKS Sistem Koordinat Kartesan Tiga Dimensi	386
E	Senarai Hasil Penerbitan	393
F	Senarai Anugerah Yang Diperolehi	396

SENARAI JADUAL

No. Jadual	Halaman
1.1 Sejarah perkembangan senibina komputer selari	2
1.2 Senarai maklumat nama hos dan domain serta alamat pemproses	18
1.3 Masa Pelaksanaan PVMPOV dengan bilangan pemproses yang berbeza	18
1.4 Senarai sistem komputer selari heterogen menggunakan PVM	31
1.5 Senarai perisian yang setara dengan PVM	31
1.6 Senarai pilihan pustaka PVM	36
1.7 Parameter simulasi sinar laser	54
3.1 Kompleksiti pengiraan kaedah TTHS dan strategi selari yang dilaksanakan secara berjujukan	154
3.2 Kompleksiti pengiraan kaedah TTHS selari	154
3.3 Kompleksiti pengiraan kaedah TTHSB dan strategi selari yang dilaksanakan secara berjujukan	156
3.4 Kompleksiti pengiraan kaedah TTHS selari	156
3.5 Kos komunikasi kelas TTKS selari	157
3.6 Kos komunikasi kelas TTKSB selari	157
3.7 Analisis prestasi kaedah TTHS dan strategi selari secara berjujukan	158
3.8 Aturan penumpuan, kejituan, masa pelaksanaan, kompleksiti pengiraan, kos komunikasi kaedah TTHS	159
3.9 Analisis prestasi strategi selari kaedah TTHS	163
3.10 Analisis prestasi strategi selari kaedah TTHSB secara berjujukan	164
3.11 Aturan penumpuan, kejituan, masa pelaksanaan, kompleksiti pengiraan, kos komunikasi kaedah TTHSB	164
3.12 Analisis prestasi strategi selari kaedah TTHSB	167
3.13 Perbandingan prestasi kaedah TTHS dan TTHS-g	171
4.1 Kompleksiti pengiraan kaedah TTKS.BRIAN dan TTKS.DOUGLAS berjujukan bagi model masalah satu dimensi	191
4.2 Kompleksiti pengiraan kaedah TTKS.BRIAN dan TTKS.DOUGLAS selari bagi model masalah satu dimensi	191
4.3 Kos komunikasi kaedah TTKS.BRIAN dan TTKS.DOUGLAS selari bagi model masalah satu dimensi	193

4.4	Analisis prestasi kaedah TTKS_BRIAN dan TTKS_DOUGLAS berjujukan	194
4.5	Kompleksiti pengiraan dan kos komunikasi kelas TTKS selari	194
4.6	Perbandingan analisis prestasi kelas TTHS dan TTKS sistem koordinat kartesan	200
4.7	Perbandingan analisis prestasi kelas TTHS dan TTKS sistem koordinat silinder	200
4.8	Perbandingan analisis prestasi kelas TTHS dan TTKS sistem koordinat sfera	200
4.9	Perbandingan peratus kadar penumpuan kelas TTHS dan TTKS sistem koordinat sfera	200
4.10	Perbandingan kelas TTHS dan TTKS selari dari segi masa pelaksanaan dan peratusnya	201
4.11	Perbandingan kompleksiti pengiraan dan kos komunikasi kelas TTHS dan TTKS selari bagi model masalah satu dimensi	203
4.12	Peratus pencapaian masa pelaksanaan, masa pengiraan dan masa komunikasi kelas TTHS dan TTKS selari bagi model masalah satu dimensi	205
5.1	Kompleksiti pengiraan kelas TTKS yang dilaksanakan secara berjujukan bagi model masalah dua dimensi	229
5.2	Kompleksiti pengiraan kelas TTKS selari untuk setiap bilangan lelaran	230
5.3	Kompleksiti pengiraan kelas TTKS selari untuk saiz matriks $m = 600$ dan 1000	230
5.4	Kos komunikasi kelas TTKS selari untuk setiap bilangan lelaran	233
5.5	Kos komunikasi kelas TTKS selari untuk saiz matriks $m = 600$ dan 1000	233
5.6	Analisis prestasi kaedah TTKS_BRIAN dan TTKS_DOUGLAS berjujukan bagi model masalah dua dimensi	233
5.7	Peratus pencapaian masa pengiraan, masa komunikasi dan masa melahu bagi kelas TTKS model masalah dua dimensi	241
6.1	Kompleksiti pengiraan kelas TTKS yang dilaksanakan secara berjujukan bagi model masalah tiga dimensi	276
6.2	Kompleksiti pengiraan kelas TTKS yang dilaksanakan secara selari bagi model masalah tiga dimensi	278
6.3	Kompleksiti pengiraan kelas TTKS selari untuk saiz matriks $m = 100$ dan 140	278
6.4	Kos komunikasi kelas TTKS selari bagi model masalah tiga dimensi	279
6.5	Kos komunikasi kelas TTKS selari keseluruhan	279

6.6	Analisis prestasi kaedah TTKS.DOUGLAS dan TTKS.BRIAN berjujukan bagi model masalah tiga dimensi	280
6.7	Analisis prestasi kaedah TTKS.DOUGLAS dan TTKS.BRIAN berjujukan bagi sistem koordinat silinder bagi model masalah tiga dimensi	282
6.8	Peratus pencapaian masa pengiraan, masa komunikasi dan masa melahu bagi kelas TTKS model masalah tiga dimensi	294
7.1	Kompleksiti pengiraan kaedah CG bagi model masalah multidimensi	314
7.2	Perbandingan peratus keuntungan kompleksiti pengiraan algoritma selari kaedah TTHS.CG terpilih dan TTHSB.CG bagi model masalah satu dimensi	315
7.3	Kompleksiti pengiraan keseluruhan bagi kelas TTKS.CG yang dilaksanakan secara selari bagi model dua dimensi	316
7.4	Kompleksiti pengiraan keseluruhan bagi kelas TTKS.CG yang dilaksanakan secara selari bagi model tiga dimensi	317
7.5	Kos komunikasi kaedah CG bagi model masalah multidimensi	317
7.6	Perbandingan kompleksiti pengiraan dan kos komunikasi kelas TTHS.CG dan kelas TTKS.CG bagi model satu dimensi	319
7.7	Perbandingan peratus keuntungan kos komunikasi algoritma selari kaedah TTHS.CG terpilih dan TTHSB.CG bagi model masalah satu dimensi	320
7.8	Kos komunikasi kelas TTKS.CG selari keseluruhan bagi model masalah dua dimensi	320
7.9	Kos komunikasi kelas TTKS.CG selari keseluruhan bagi model masalah tiga dimensi	321
7.10	Analisis prestasi strategi selari kaedah TTHSB.CG secara berjujukan bagi model masalah satu dimensi	323
7.11	Analisis prestasi strategi selari kaedah TTHS.CG secara berjujukan bagi model masalah satu dimensi	323
7.12	Analisis prestasi kelas TTKS.CG secara berjujukan bagi model masalah satu dimensi	324
7.13	Peratus pencapaian masa pengiraan, masa komunikasi dan masa melahu bagi kelas TTHS.CG dan kelas TTKS.CG model masalah satu dimensi	330
7.14	Analisis prestasi kaedah TTKS.DOUGLAS.CG dan TTKS.BRIAN.CG bersiri bagi model masalah dua dimensi	332
7.15	Peratus pencapaian masa pengiraan, masa komunikasi dan masa melahu bagi kelas TTKS.CG model masalah dua dimensi	336
7.16	Analisis prestasi kaedah TTKS.DOUGLAS.CG dan TTKS.BRIAN.CG berjujukan bagi model masalah tiga dimensi	338

7.17	Peratus pencapaian masa pengiraan, masa komunikasi dan masa melahu bagi kelas TTKS-CG model masalah tiga dimensi	339
7.18	Peratus keuntungan implementasi kaedah CG ke atas kaedah TTHSB bagi model masalah satu dimensi	344
7.19	Peratus keuntungan implementasi kaedah CG ke atas kaedah TTHS bagi model masalah satu dimensi	344
7.20	Peratus keuntungan implementasi kaedah CG ke atas kaedah TTKS bagi model masalah satu dimensi	344
7.21	Perbandingan peratus keuntungan implementasi kaedah CG dari segi analisis prestasi selari kelas TTHS	347
7.22	Perbandingan peratus keuntungan implementasi kaedah CG dari segi analisis prestasi selari kelas TTHSB	348
7.23	Perbandingan peratus keuntungan implementasi kaedah CG dari segi analisis prestasi selari kelas TTKS bagi model masalah satu dimensi	348
7.24	Peratus keuntungan implementasi kaedah CG ke atas kelas TTKS dari segi penumpuan, kompleksiti pengiraan dan kos komunikasi bagi model masalah dua dimensi	349
7.25	Perbandingan peratus keuntungan implementasi kaedah CG dari segi analisis prestasi selari kelas TTKS bagi model masalah dua dimensi	349
7.26	Peratus keuntungan implementasi kaedah CG ke atas kelas TTKS dari segi penumpuan, kompleksiti pengiraan dan kos komunikasi bagi model masalah tiga dimensi	350
7.27	Perbandingan peratus keuntungan implementasi kaedah CG dari segi analisis prestasi selari kelas TTKS bagi model masalah tiga dimensi	351
7.28	Peratus pengurangan masa komunikasi, pengurangan masa pengiraan dan peningkatan nilai $\frac{t_{kira}}{t_{kom}}$ dengan implementasi kaedah CG untuk model masalah multidimensi	351

SENARAI RAJAH

No. Rajah	Halaman
1.1 Sistem pengkomputeran selari ingatan teragih	3
1.2 Komuniti sistem pengkomputeran teragih dari segi saintifik, perniagaan dan tugas-tugas khas	4
1.3 Carta senibina komputer selari	7
1.4 Senibina komputer selari MIMD	9
1.5 Senibina komputer selari SIMD	9
1.6 Sistem Pengkomputeran selari berkelompok UKM	15
1.7 Empat peringkat rekabentuk pembinaan algoritma selari	19
1.8 Penghuraian fungsi ungkapan y dengan menggunakan 4 pemproses	23
1.9 Kesan penambahan saiz data terhadap kos komunikasi bagi masalah 2 dimensi persamaan beza terhingga stensil lima titik	26
1.10 senibina PVM	28
1.11 Senarai senibina komputer yang disokong oleh PVM	32
1.12 Penghantaran maklumat di antara sistem rangkaian komputer multi-pemproses	33
1.13 Rutin peruntukan ruang ingatan untuk matriks multidimensi	35
1.14 Algoritma penghantaran data-data sempadan kepada pemproses bersebelahan	37
1.15 Komunikasi di antara dua tugas T_1 dan T_2	37
1.16 Proses satu komunikasi lengkap	39
1.17 Garis masa menunggu dengan model penyelia-pekerja	45
1.18 Graf masa komunikasi, t_{kom} terhadap data m secara teori	47
1.19 Sinar laser ke atas silinder kaca	53
1.20 Kedudukan rintangan termal R_{mn} dalam rumus rintangan-kapasitan	54
2.1 Kedudukan grid persamaan parabolik koordinat silinder	68
2.2 Rantau R pada paras masa $k = 0$	75
2.3 Tujuh titik kejiranan terdekat	77
2.4 Selari ikut arah paksi- x	81
2.5 Penghuraian matriks A_{GSAP}^k kepada matriks blok B_i	90

2.6	Fungsi kuadratik bagi kaedah PBB	94
2.7	Algoritma berjujukan kaedah CG	97
3.1	Algoritma berjujukan kaedah TTHS_SIRI	111
3.2	Aktiviti komunikasi bagi proses penghantaran dan penerimaan grid dari pemproses bersebelahan	114
3.3	Algoritma penyelia menguji penumpuan global model masalah satu dimensi	115
3.4	Algoritma pekerja menguji penumpuan setempat kelas TTKS model masalah satu dimensi	115
3.5	Penghuraian domain TTHS.SUB kepada 3 pemproses	117
3.6	Algoritma selari kaedah TTHS.SUB	118
3.7	TTHS.SUB selari bagi pemproses penyelia (kiri) dan pekerja (kanan)	119
3.8	Gambarajah TTHS_RH stensil lima titik dengan aturan grid merah dan hitam	120
3.9	Algoritma selari kaedah TTHS_RH	123
3.10	Algoritma pengagihan data	127
3.11	Proses pengagihan blok Ω^{w_i} kepada pemproses untuk setiap paras masa	127
3.12	Algoritma selari kaedah TTHS_MULTI	128
3.13	Algoritma selari kaedah TTHS_VEKTOR	129
3.14	Algoritma selari kaedah TTHS_VEKTOR dan komunikasi di antara penyelia (kiri) dan pekerja (kanan)	130
3.15	Penghuraian subdomain TTHS_MF kepada 4 pemproses	134
3.16	Algoritma TTHSB_SIRI	139
3.17	Algoritma selari kaedah TTHSB.SUB	131
3.18	Algoritma selari kaedah TTHSB.PBB	144
3.19	Algoritma selari kaedah TTHSB.MULTI	145
3.20	Algoritma selari kaedah TTHSB.MF	151
3.21	Algoritma selari kaedah GSRH	152
3.22	Masa pelaksanaan strategi selari TTHS terhadap bilangan pemproses	160
3.23	Kecepatan strategi selari TTHS terhadap bilangan pemproses	160
3.24	Kecekapan strategi selari TTHS terhadap bilangan pemproses	160
3.25	Keberkesanan strategi selari TTHS terhadap bilangan pemproses	161
3.26	Prestasi strategi selari TTHS sementara terhadap bilangan pemproses	161

3.27	Masa pelaksanaan strategi selari TTHSB terhadap bilangan pemproses	165
3.28	Kecepatan strategi selari TTHSB terhadap bilangan pemproses	165
3.29	Kecekapan strategi selari TTHSB terhadap bilangan pemproses	165
3.30	Keberkesanan strategi selari TTHSB terhadap bilangan pemproses	166
3.31	Prestasi strategi selari TTHSB sementara terhadap bilangan pemproses	166
3.32	Perbandingan Keberkesanan Kaedah TTHSB dan TTHS Terhadap Bilangan Pemproses	168
4.1	Algoritma selari kaedah TTKS.DOUGLAS model masalah satu dimensi	184
4.2	Pengagihan data kepada pemproses	189
4.3	Algoritma selari kaedah TTKS.BRIAN	190
4.4	Masa pelaksanaan strategi selari kelas TTKS terhadap bilangan pemproses	196
4.5	Kecepatan strategi selari kelas TTKS terhadap bilangan pemproses	196
4.6	Kecekapan strategi selari kelas TTKS terhadap bilangan pemproses	196
4.7	Keberkesanan strategi selari kelas TTKS terhadap bilangan pemproses	197
4.8	Prestasi strategi selari kelas TTKS sementara terhadap bilangan pemproses	197
4.9	Perbandingan kecepatan kelas TTHS dan TTKS terhadap bilangan pemproses	202
4.10	Perbandingan kecekapan kelas TTHS dan TTKS terhadap bilangan pemproses	202
4.11	Perbandingan keberkesanan kelas TTHS dan TTKS terhadap bilangan pemproses	202
5.1	Penghantaran dan penerimaan data di antara pemproses	211
5.2	Aktiviti komunikasi bagi proses penghantaran dan penerimaan data untuk model masalah dua dimensi	212
5.3	Pengagihan grid kepada pemproses $p_{i,j}$	213
5.4	Algoritma pekerja menguji penumpuan setempat kelas TTKS model masalah dua dimensi	213
5.5	Algoritma penyelia menguji penumpuan global model masalah dua dimensi	214
5.6	Algoritma selari kaedah TTKS.DOUGLAS model masalah dua dimensi	215
5.7	Algoritma selari kaedah TTKS.BRIAN model masalah dua dimensi	227
5.8	Masa pelaksanaan strategi selari kelas TTKS terhadap bilangan pemproses	235

5.9	Kecepatan strategi selari kelas TTKS terhadap bilangan pemproses	235
5.10	Kecekapan strategi selari kelas TTKS terhadap bilangan pemproses	235
5.11	Keberkesanan strategi selari kelas TTKS terhadap bilangan pemproses	236
5.12	Prestasi strategi selari kelas TTKS sementara terhadap bilangan pemproses	236
5.13	Perbandingan masa pelaksanaan kelas TTKS selari untuk $m = 600$ dan 1000	238
5.14	Perbandingan kecepatan kelas TTKS selari untuk $m = 600$ dan 1000	238
5.15	Perbandingan kecekapan kelas TTKS selari untuk $m = 600$ dan 1000	238
5.16	Perbandingan kecekapan kelas TTKS selari untuk $m = 600$ dan 1000	239
5.17	Perbandingan prestasi sementara kelas TTKS selari untuk $m = 600$ dan 1000	239
6.1	Selari ikut arah paksi-Y	253
6.2	Selari ikut arah paksi-z	255
6.3	Pengagihan data model masalah tiga dimensi kepada 4 pemproses	258
6.4	Aktiviti komunikasi bagi proses penghantaran dan penerimaan data model masalah tiga dimensi	259
6.5	Algoritma pekerja menguji penumpuan setempat kelas TTKS model masalah tiga dimensi	260
6.6	Algoritma penyelia menguji penumpuan global model masalah tiga dimensi	260
6.7	Algoritma selari kaedah TTKS_DOUGLAS model masalah tiga dimensi	261
6.8	Algoritma selari kaedah TTKS_BRIAN model masalah tiga dimensi	273
6.9	Masa pelaksanaan terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan	283
6.10	Kecepatan terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan	283
6.11	Kecekapan terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan	283
6.12	Keberkesanan terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan	284
6.13	Prestasi sementara terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan	284
6.14	Perbandingan masa pelaksanaan kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan untuk $m = 100$ dan 140	285

6.15	Perbandingan kecepatan kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan untuk $m = 100$ dan 140	285
6.16	Perbandingan kecekapan kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan untuk $m = 100$ dan 140	285
6.17	Perbandingan keberkesanan kelas TTKS selari sistem koordinat kartesan untuk $m = 100$ dan 140	286
6.18	Perbandingan prestasi sementara kelas TTKS sistem koordinat kartesan untuk $m = 100$ dan 140	286
6.19	Masa pelaksanaan terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat silinder	290
6.20	Kecepatan terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat silinder	290
6.21	Kecekapan terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat silinder	290
6.22	Keberkesanan terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat silinder	291
6.23	Prestasi sementara terhadap bilangan pemproses kelas TTKS selari sistem koordinat silinder	291
6.24	Perbandingan masa pelaksanaan kelas TTKS selari sistem koordinat silinder untuk $m = 70$ dan 100	292
6.25	Perbandingan kecepatan kelas TTKS selari sistem koordinat silinder untuk $m = 70$ dan 100	292
6.26	kecekapan kelas TTKS selari sistem koordinat silinder untuk $m = 70$ dan 100	292
6.27	Perbandingan keberkesanan kelas TTKS selari sistem koordinat silinder untuk $m = 70$ dan 100	293
6.28	Perbandingan prestasi sementara kelas TTKS selari sistem koordinat silinder untuk $m = 70$ dan 100	293
7.1	Pengagihan data kaedah CG kepada 3 pemproses	299
7.2	Algoritma selari kaedah CG model masalah satu dimensi	300
7.3	Algoritma TTHS_SIRI.CG	301
7.4	Algoritma selari kaedah TTHS_SUB.CG	302
7.5	Algoritma selari kaedah TTHS_RH.CG	303
7.6	Algoritma selari kaedah TTHS_MULTLI.CG	303
7.7	Algoritma selari kaedah TTHS_VEKTOR.CG	304
7.8	Algoritma berjujukan kaedah TTHSB_SIRI	305

7.9	Algoritma selari kaedah TTKS.DOUGLAS model satu dimensi	306
7.10	Algoritma selari kaedah TTKS.BRIAN model masalah satu dimensi	307
7.11	Algoritma selari kaedah GSRH.CG model masalah satu dimensi	308
7.12	Algoritma selari kaedah CG model masalah dua dimensi	309
7.13	Algoritma selari kaedah TTKS.DOUGLAS.CG model masalah dua dimensi	309
7.14	Algoritma selari kaedah TTKS.BRIAN model masalah dua dimensi	310
7.15	Algoritma selari kaedah CG model tiga dimensi	311
7.16	Algoritma selari kaedah TTKS.DOUGLAS.CG model masalah tiga dimensi	312
7.17	Algoritma selari kaedah TTKS.BRIAN.CG model masalah tiga dimensi	313
7.18	Masa pelaksanaan kelas TTHS.CG dan TTKS.CG selari terhadap bilangan pemproses model masalah satu dimensi	325
7.19	Kecepatan kelas TTHS.CG dan TTKS.CG selari terhadap bilangan pemproses model masalah satu dimensi	325
7.20	Kecekapan kelas TTHS.CG dan TTKS.CG selari terhadap bilangan pemproses model masalah satu dimensi	326
7.21	Keberkesanan kelas TTHS.CG dan TTKS.CG selari terhadap bilangan pemproses model masalah satu dimensi	336
7.22	Prestasi sementara kelas TTHS.CG dan TTKS.CG selari terhadap bilangan pemproses model masalah satu dimensi	326
7.23	Perbandingan masa pelaksanaan kelas TTHSB.CG dan TTKS.CG selari model masalah satu dimensi	328
7.24	Perbandingan kecepatan kelas TTHSB.CG dan TTKS.CG selari model masalah satu dimensi	328
7.25	Perbandingan kecekapan kelas TTHSB.CG dan TTKS.CG selari model masalah satu dimensi	328
7.26	Perbandingan keberkesanan kelas TTHSB.CG dan TTKS.CG selari model masalah satu dimensi	329
7.27	Perbandingan prestasi sementara kelas TTHSB.CG dan TTKS.CG selari model masalah satu dimensi	329
7.28	Perbandingan masa pelaksanaan kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah dua dimensi	334
7.29	Perbandingan kecepatan kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah dua dimensi	334
7.30	Perbandingan kecekapan kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah dua dimensi	334

7.31	Perbandingan keberkesanan kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah dua dimensi	335
7.32	Perbandingan prestasi sementara kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah dua dimensi	335
7.33	Perbandingan masa pelaksanaan kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah tiga dimensi	340
7.34	Perbandingan kecepatan kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah tiga dimensi	340
7.35	Perbandingan kecekapan kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah tiga dimensi	340
7.36	Perbandingan keberkesanan kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah tiga dimensi	341
7.37	Perbandingan prestasi sementara kelas TTKS.CG dan TTKS selari model masalah tiga dimensi	341
7.38	Perbandingan prestasi sementara kaedah TTHSB.CG dan TTHSB	345
7.39	Perbandingan prestasi sementara kaedah TTHS.CG dan TTHS	346
7.40	Perbandingan prestasi sementara kelas TTKS.CG dan TTHS.CG dengan strategi SUB.CG model masalah satu dimensi	346

SENARAI SIMBOL

$O(h^n)$	ralat pangkasan peringkat m
a_{ij}	unsur matriks \mathbf{A} pada baris i dan lajur j
Ω^H	domain penyelesaian pada grid merah
\mathbf{A}^{-1}	songangan matriks \mathbf{A}
$\ \mathbf{A}\ $	norma matriks \mathbf{A}
$e^{(0)}$	vektor ralat awal
$u^{(k)}$	vektor $\mathbf{u} = [u_1, u_2, \dots, u_m]^T$ pada lelaran ke- k
$u^{(p)}$	vektor bagi model 3D pada lelaran ke- p
p_1	pemproses pertama
$\epsilon(p)$	kriterium penumpuan pada pemproses p
ϵ_y	kriterium penumpuan pada paras masa $(k + \frac{1}{2})$
ϵ_z	kriterium penumpuan pada paras masa $(k + 1)$
t_{para}	masa pelaksanaan
t_{kira}	masa pengiraan operasi aritmetik
t_{kom}	masa komunikasi algoritma selari
t_{lahu}	masa melahu
x, y, z	ruang pada sistem koordinat kartesan
r, θ, z	ruang pada sistem koordinat kutub
$J_0(\beta_r)$	fungsi Bessel bentuk pertama
ρ	ketumpatan (kg/m^3)
R_{mn}	termal resistan

BAB I

PENGENALAN KEPADA SISTEM KOMPUTER SELARI

1.1 KONSEP SISTEM KOMPUTER SELARI MULTIPEMPROSES

Komputer ditakrifkan sebagai suatu mesin elektronik digital yang terbahagi kepada senibina berjujukan dan senibina selari. Senibina komputer berjujukan terdiri daripada model ingatan capaian rawak (RAM) yang mengandungi satu unit pemproses dan unit ingatan utama yang dibina dengan senibina von Neumann 1940 (Trew & Wilson 1991). Mesin digital ini membaca, melaksanakan arahan dan operasi pengiraan secara berjujukan dengan menggunakan satu pemproses (Patterson & Hennessy 1997). Senibina komputer selari mengandungi sekurang-kurangnya satu atau dua unit pemproses atau satu set pemproses yang dihubungi oleh satu rangkaian untuk berkomunikasi dan berkongsi data di antara pemproses tersebut. Perkongsian selari model RAM ialah model ingatan capaian rawak selari (PRAM) yang terdiri daripada satu set pemproses segerak yang dihubungi oleh ingatan sepunya untuk melaksanakan aplikasi secara serentak terhadap sel ingatan yang berlainan. Zamoya (1996) meringkaskan penakrifkan sistem komputer selari multipemproses sebagai "*capable of processing a given job at a much faster rate by distributing the work to these processing elements for concurrent execution and process any single flow of control through a set of instructions stored in the computers*".

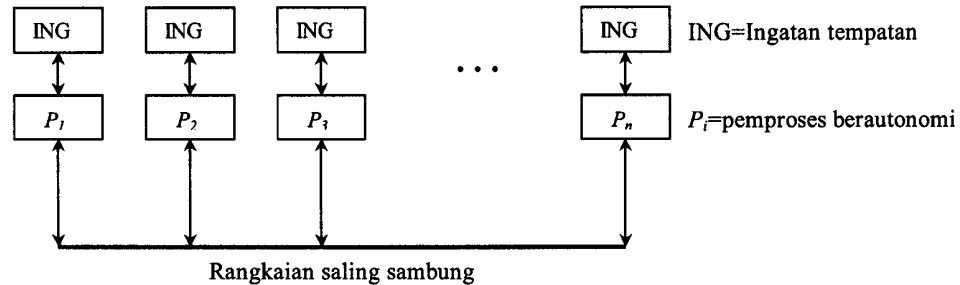
JADUAL 1.1 Sejarah perkembangan senibina komputer selari

tahun	Komputer Selari	Senibina
1976	Cray-1	talian paip yang pertama
1981	BBN Butterfly	256 pemproses Motorola 68000
1982	Cray X/MP	4 pemproses Cray-1 berkongsi ingatan
1986	TMC CM-1	64K pemproses 1-bit rangkaian 12-D hiperkuib
1988	Intel iPSC/2	pemproses Intel 80386 rangkaian 7-D hiperkuib
1989	Fujitsu VP2000	2 pemproses multipemproses multivektor
1991	KSR-1	32 pemproses mesin perkongsian ingatan maya
1992	TMC CM-5	1204 pemproses SPARC dengan topologi pokok
1995	Intel P6	9000 pemproses mesin berpandukan P6

Komputer selari melaksanakan tugas dengan kecepatan yang tinggi dalam mengagihkan tugas kepada multipemproses yang bersedia untuk melaksanakan tugas tersebut. Pelaksanaan tugas-tugas tersebut dilarikan adalah secara serentak. Pengaturcaraan selari ialah pengkodan yang mengandungi suatu aliran kawalan atau satu set arahan terhadap data yang telah diagihkan. Sistem komputer selari boleh dikelaskan mengikut organisasi memori, pemproses, jumlah arahan dan aliran data yang disokong (El-Rewini & Lewis 1998; Quinn 1994; Zamoya 1996). Perkembangan komputer selari semakin pesat sekitar tahun 1976 hingga 1995 dan perkembangan tersebut boleh di ringkaskan oleh Jadual 1.1 (Chalmer & Tidmus 1996). Pengelasan senibina komputer selari boleh dibahagikan dalam beberapa kategori.

1.1.1 Pengelasan Quinn

Dalam pengelasan Quinn 1994, senibina komputer selari dikelaskan mengikut senibina ingatan, organisasi pemproses, jumlah pemproses yang bertindakbalas dan aliran data. Organisasi ingatan dan pemproses boleh di bahagi kepada sistem



RAJAH 1.1 Sistem pengkomputeran selari teragih

komputer selari dan sistem komputer teragih atau pengkomputeran selari berkelompok. Sistem komputer selari terdiri daripada dua atau lebih unit pemproses yang seiras, khusus dan terbatas kepada pengoperasian, organisasi dan senibina sistem tersebut, (Hwang & Douglas 1989). Pemproses yang dibina dalam sistem ini dihubungi oleh satu rangkaian dengan pintasan komunikasi terpentas. Setiap pemproses berkongsi data dan melaksanakan tugas saling bersandar di antara satu pemproses dengan pemproses yang lain.

Pengkomputeran selari teragih terdiri daripada beberapa unit pemproses yang saling tak bersandar dan dihubungkan oleh satu rangkaian bagi melaksanakan proses penghantaran maklumat untuk berkomunikasi di antara pemproses. Setiap pemproses berautonomi dan mempunyai ingatan tempatannya tersendiri. Pelaksanaan tugas adalah saling tak bersandar di antara pemproses seperti yang di jelaskan oleh Rajah 1.1. Mengikut kelas organisasi ingatan, sistem komputer selari boleh dikategorikan kepada sistem komputer multipemproses dan sistem komputer multikomputer.

Sistem komputer multipemproses terdiri daripada beberapa pemproses capaian berkongsi, tak segerak dan ingatan sepunya yang dihubungkan oleh satu rangkaian. Setiap unit pemproses memiliki unit ingatan tempatan tersendiri seba-

Senibina sistem	SAINSTIFIK		
pasangan erat	Vektor Pipeline Vektor Cray	Bitsliced SIMD SIMD MassPar	Ingatan teragih SIMD SIMD Meiko
berpasangan	Systolic array, DSP Rangkaian neural	Ingatan berkongsi MIMD Sequent, SGI, SUN	Ingatan teragih MIMD NCube, Paragon
pasangan longgar	Stesen kerja berkelompok ATM/HiPPI	Stesen kerja berkelompok Ethernet	Pelayan Internet WWW
pangkalan data berkongsi	OLTP TP monitors Encina, Tuxedo	Procedur tersimpan ORACLE Informix	Virtual BASIC PowerBuilder Lotus Notes, Delphi
	kecil	sederhana saiz data	PERNIAGAAN Besar

RAJAH 1.2 Komuniti sistem komputer selari dari segi saintifik dan perniagaan

gai tambahan kepada ingatan sepunya. Dalam sistem ingatan sepunya, rangkaian membenarkan pemproses melakukan capaian secara bebas kepada mana-mana bahagian ingatan. Capaian ingatan secara serentak dilakukan dengan mudah kerana memiliki pintasan komunikasi berkecepatan tinggi (Chalmer & Tidmus 1996).

Sistem komputer multipemproses dikategori berasaskan kepada kaedah komunikasi di antara pemproses (Böckle 1995; El-Rewini 1998; Sarkar 1989). Rajah 1.2 menunjukkan kategori tersebut adalah seperti berikut,

1. Pasangan erat

Sistem komputer multipemproses pasangan erat terdiri daripada satu set pemproses yang di hubungkan kepada satu ingatan sepunya melalui satu rangkaian terbuka dan saling sambung atau satu sistem bas mudah. Rangkaian atau sistem bas ini digunakan secara intensif untuk berkomunikasi di antara pemproses. Contoh, sistem komputer multipemproses pasangan erat ialah Encore Multimax,

Sequent Balance, IBM X Series, dan BBN Butterfly dengan 256 pemproses Motorola 68000.

2. Berpasangan.

Sistem komputer multipemproses berpasangan terdiri daripada stesen kerja atau komputer peribadi yang digunakan untuk melaksanakan operasi grafik capaian tinggi, simulasi rangkaian neural dan pemprosesan isyarat digital dengan pantas. Kategori ini juga merangkumi sistem gandaan arahan, Ingatan berkongsi Sequent, Silicon Graphics, pelayan Sun Microsystems dan sistem gandaan data (MIMD) seperti Intel Paragon dan nCube.

3. Pasangan longgar.

Sistem komputer multipemproses pasangan longgar terdiri daripada pemproses yang memiliki ingatan tempatan. Gabungan pemproses tersebut akan membentuk satu ruang alamat sepunya. Komunikasi di antara pemproses dilakukan oleh satu sistem penghantaran maklumat yang meliputi kawasan rangkaian yang luas (Wide Area Network, WAN) seperti WWW (World Wide Web). Kos komunikasi sistem ini adalah tinggi berbanding sistem komputer multipemproses pasangan erat. Sistem pengkomputeran selari berkelompok dan stesen kerja rangkaian Ethernet adalah juga di bawah kategori ini. Contoh lain ialah Intel iPSC, sistem stesen kerja ingatan teragih homogen atau heterogen, Caltech Cosmic Cube, sistem pengangkutan model T414, T212 dan T800. Sistem komputer selari heterogen ditakrifkan sebagai komputer dalam sistem rangkaian saling sambung yang mempunyai pelbagai senibina yang saling berbeza dari segi format data, kecepatan operasi pengiraan, muatan ruang ingatan pemproses dan muatan rangkaian.

4. Pangkalan data berkongsi.

Sistem komputer multipemproses pangkalan data berkongsi dikenali juga dengan sebagai sistem pelayan/pelanggan. Sistem rangkaian saling berhubung untuk mengakses data, melaksanakan fungsi e-mail dan kegunaan ke arah perkembangan teknologi multimedia. Sistem ini mampu melakukan operasi tersebut untuk saiz data yang cukup besar. Contoh, menyokong perisian yang menjalankan operasi sistem transaksi perbankan atas-talian (on-line transaction processor, OLTP). Menyokong sistem perniagaan pelanggan yang ditulis dalam bahasa Visual BASIC, PowerBuilder, Lotus Notes atau Delphi. Melaksanakan prosedur penyimpanan dalam ORACLE, Informix atau Sybase.

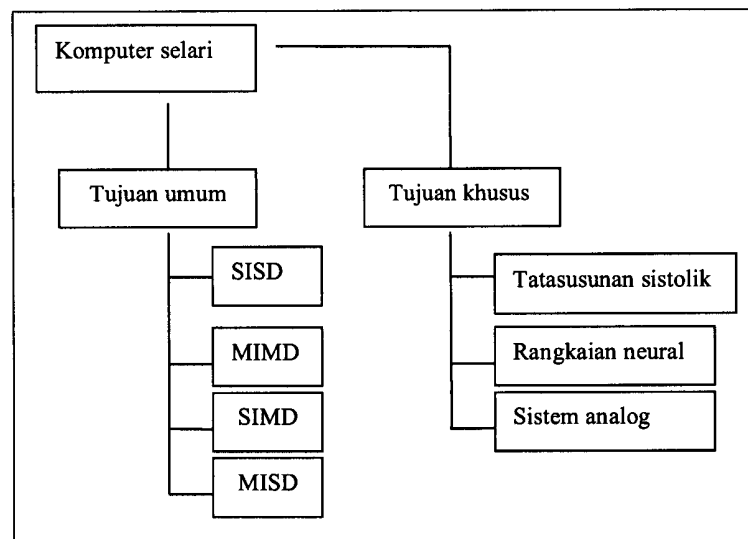
Sistem komputer multipemproses mempunyai beberapa pemproses dengan ingatan teragih. Pemproses di hubungkan oleh satu rangkaian saling sambung untuk melakukan tugas yang saling tidak bersandar antara pemproses memiliki sistem ingatan tersendiri dan tertutup. Komunikasi sistem komputer multikomputer dilaksanakan melalui konsep penghantaran maklumat. Menerusi konsep ini, pemproses menghantar maklumat kepada satu unit atau beberapa unit pemproses yang berbeza.

1.1.2 Taxonomi Flynn

Taxonomi Flynn (1966) telah klasifikasikan senibina komputer selari berdasarkan kepada hubungan di antara data dan arahan seperti yang tunjukkan oleh Rajah 1.3, (Bräunl,1993; Flynn 1972; Zima 1992).

1. Satu alur arahan dan satu alur data (SISD).

Satu pemproses digunakan untuk melarikan pengaturcaraan yang melaksanakan satu alur arahan dan satu alur data. Sistem komputer ini tidak memiliki ciri senibina selari. Contoh, SISD ialah komputer persendirian.



RAJAH 1.3 Carta senibina komputer selari

2. Beberapa alur arahan dan beberapa alur data (MIMD).

Beberapa pemproses digunakan dan setiap pemproses melarikan pengaturcaraan tersendiri dan melarikan beberapa alur arahan yang tidak bersandar di antara satu sama lain. Setiap arahan mengoperasi data yang berbeza di antara setiap pemproses. MIMD berpotensi melaksanakan pengiraan segerak terhadap pengaturcaraan yang berbeza di antara setiap pemproses selari. Senibina MIMD yang lebih terkini menggunakan perisian penghantaran maklumat tak tersirat untuk berkomunikasi di antara pemproses. Contoh senibina jenis ini ialah Cosmic Cube, iPSC, Symmetry, FX-8, FX-2800, TC-2000, CM-5, KSR-1, ingatan sepunya Sequent, Silicon Graphics, Paragon XP/S dan Sun Microsystems. Intel Paragon dan nCUBE2 sesuai untuk saiz data yang besar. Senibina MIMD dilakarkan oleh Rajah 1.4. Terdapat dua struktur pengaturcaraan MIMD,

i. Beberapa pengaturcaraan dan beberapa data (MPMD). Setiap pemproses melaksanakan pengaturcaraan tersendiri dan berbeza di antara satu sama lain.

ii. Satu pengaturcaraan dan beberapa data (SPMD). Setiap pemproses mempunyai pengaturcaraan yang sama yang terdiri daripada tatacara pelayan dan pelanggan. Kedua-dua tatacara ini dipisahkan oleh arahan *if* dan *else*.

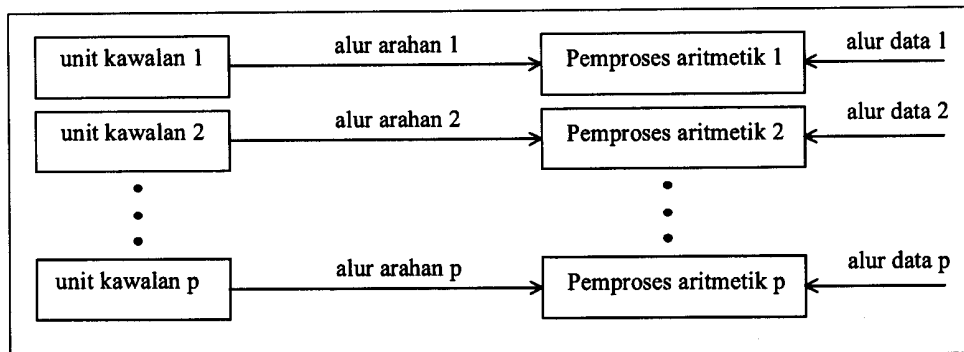
3. Satu alur arahan dan beberapa alur data (SIMD).

Beberapa pemproses melaksanakan operasi satu alur arahan serentak terhadap tatasusunan data dalam satu pusingan arahan. Sistem ini memiliki sistem rangkaian saling sambung dalaman berkelajuan tinggi atau kecepatan ingatan sepunya saling sambung dalaman bus-cached yang berfungsi untuk mengurangkan kos komunikasi. Contoh senibina jenis ini ialah ILLIAC IV, DAP, Cray X-Series, vector Cray, MasPar MP-1, MasPar MP-2, Mesin CM-200, dan SPMD Meiko system. Semua pemproses melaksanakan pengaturcaraan yang sama. Senibina SIMD dilakarkan oleh Rajah 1.5. Setiap pemproses melalui dua fasa secara berulang iaitu mengagihkan dan memproses data secara selari. Pada tahun 1972 Flynn mengkelaskan SIMD kepada,

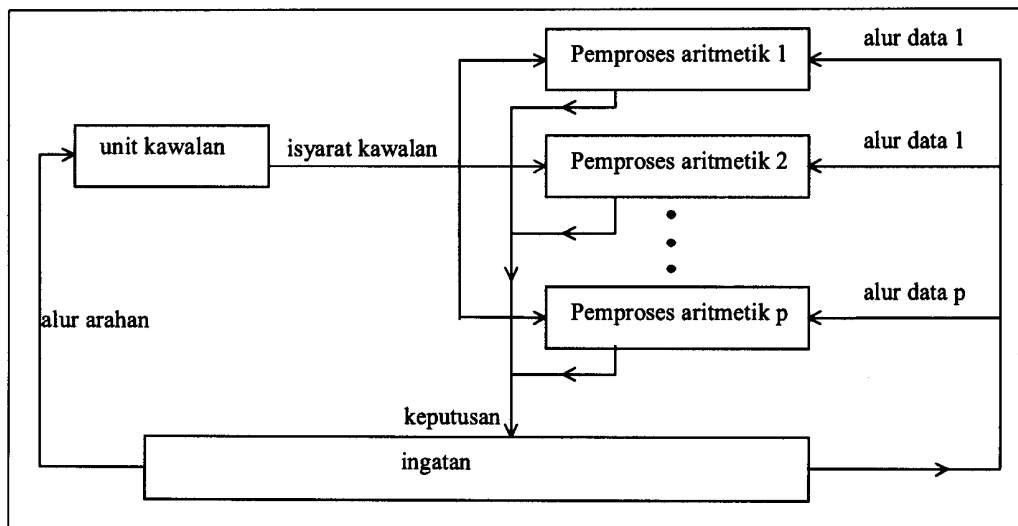
- i. Sistem komputer multipemproses tatasusunan
- ii. Sistem komputer multipemproses talian paip
- iii. Sistem komputer senibina gabungan

4. Beberapa alur arahan dan satu alur data (MISD).

Hanya wujud secara teori dan tiada senibina komputer selari yang berasaskan MISD kecuali satu kelas talian paip yang terdiri daripada pemprosesan vektor pada beberapa siri paras yang melaksanakan fungsi tertentu (Hwang 1993). Contoh, Control Data Corporation telah membina komputer CDC 7600 pada tahun 1969.



RAJAH 1.4 Senibina komputer selari MIMD



RAJAH 1.5 Senibina komputer selari SIMD

1.1.3 Pengelasan Cheong

Sistem komputer selari dikelaskan kepada tiga struktur utama iaitu, (Cheong 1992),

1. Komputer multipemproses tatasusunan.

Komputer multipemproses tatasusunan ialah satu mesin yang terdiri daripada pemproses beroperasi secara tatasusunan terhadap input yang berbeza secara selari. Mempunyai kecekapan dan kecepatan yang amat tinggi. Contoh komputer jenis ini ialah Cray Y/MP

2. Pemprosesan sepadu selari.

Pemprosesan sepadu selari mempunyai set pemproses yang lebih besar daripada set pemproses komputer multipemproses tatasusunan. Klasifikasi senibina sistem pemprosesan sepadu selari adalah sama seperti klasifikasi Taxonomi Flynn.

3. Rangkaian multistesen kerja.

Rangkaian multistesen kerja adalah pendekatan baru dalam senibina sistem komputer selari. Pendekatan tersebut ialah penambahan kuasa pengiraan untuk setiap stesen kerja. Rangkaian pengkomputeran selari berkelompok ialah struktur rangkaian multistesen kerja yang berkembang pesat. Faktor utama perkembangan ini disebabkan oleh kos pembiayaan membina aplikasi selari dengan ruang ingatan yang besar adalah jauh lebih murah daripada sistem komputer selari multipemproses. Malah pencapaian kecepatan rangkaian multistesen kerja mampu menyaingi sistem komputer selari multipemproses (Phyllis & Clement 1996).

Pembinaan rangkaian pengkomputeran selari berkelompok hanya memerlukan beberapa stesen kerja atau beberapa komputer persendirian yang dihubungi