

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Empat persamaan integral digunakan dalam pengujian.

$$M = \int_{-3}^3 \int_{-\sqrt{9-x^2}}^{\sqrt{9-x^2}} \int_{-\sqrt{9-x^2-z^2}}^{\sqrt{9-x^2-z^2}} (x^2+y^2+z^2)^{1.5} dydzdx \quad (\text{Purcell: 717})$$

$$M = \int_{0;0;0}^{3; \sqrt{9-x^2}; 2} \sqrt{x^2+y^2} dzdydx \quad (\text{Purcell: 728})$$

$$M = \int_{0;0;0}^{3; \sqrt{4-x^2}; \sqrt{4-x^2-y^2}} z \sqrt{4-x^2-y^2} dzdydx \quad (\text{Purcell: 729})$$

$$M = \int_{1;3;0}^{2;x; \sqrt{3}y} \frac{y}{y^2+x^2} dzdydx \quad (\text{Purcell: 728})$$

Keempat persamaan tersebut akan digunakan sebagai masukan program komputasi paralel integral definit sebagai argumen ekspresi integran dan batas-batas integrasi.

Ketelitian komputasi paralel integral definit metode Monte Carlo akan dibandingkan dengan metode balok dan penghitungan secara analitis dengan mengubah cacah sampel pengujian. Metode yang lebih teliti memiliki galat yang lebih kecil.

Ketepatan komputasi paralel integral definit metode Monte Carlo diukur dengan menghitung nilai varians dari beberapa pengujian. Ketepatan akan semakin tinggi jika nilai varians semakin kecil.

Waktu proses komputasi paralel integral definit metode Monte Carlo dan metode balok diukur untuk memastikan skalabilitas kompleksitas algoritma dengan variabel cacah sampel yang berubah.

Cacah *proses* digunakan sebagai variabel dalam pengukuran peningkatan kecepatan dan kesangkilan kecepatan komputasi.

Cacah *node* digunakan sebagai variabel dalam pengukuran peningkatan kecepatan, kesangkilan kecepatan komputasi dan penggunaan energi.

## 5.1 Penghitungan Analitis

### 5.1.1 Soal Uji 1

$$M = \int_{-3; -\sqrt{9-x^2}; -\sqrt{9-x^2-z^2}}^{3; \sqrt{9-x^2}; \sqrt{9-x^2-z^2}} (x^2 + y^2 + z^2)^{1.5} dydzdx \quad (5-1)$$

Persamaan 5.1 lebih mudah diselesaikan secara analitis dalam sistem kordinat bola dengan substitusi:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (5-1a)$$

Karena limit integrasi Persamaan 5-1 terdapat dalam volume bola dengan jari-jari  $r=3$ ,

Persamaan 5.1 dapat diubah menjadi dalam sistem kordinat bola.

$$M = \int_v (r^2)^{1.5} dv$$

$$M = \int_{0;0;0}^{2\pi;\pi;3} (r^2)^{1.5} r dr r \sin\theta d\theta d\phi \quad (5-1b)$$

$$M = \int_{0;0;0}^{2\pi;\pi;3} r^5 dr \sin\theta d\theta d\phi \quad (5-1c)$$

$$M = \int_{0;0}^{2\pi;\pi} \left[ \frac{r^6}{6} \right] \sin\theta d\theta d\phi$$

$$M = \int_{0;0}^{2\pi;\pi} (121.5 - 0) \sin\theta d\theta d\phi$$

$$M = \int_0^{2\pi} 121.5 [-\cos\theta]_0^\pi d\phi$$

$$M = \int_0^{2\pi} 243 d\phi$$

$$M = 243 [\phi]_0^{2\pi}$$

$$M = 486\pi = 1526.8140296446... \quad (5-1d)$$

### 5.1.2 Soal Uji 2

$$M = \int_0^3 \int_0^{\sqrt{9-x^2}} \int_0^2 \sqrt{x^2+y^2} dz dy dx \quad (5-2)$$

Persamaan 5-2 dapat disederhanakan dengan pemisalan Persamaan 5-2a

$$r = \sqrt{x^2+y^2} \quad (5-2a)$$

Limit Persamaan 5-2 terdapat dalam silinder dengan alas berbentuk setengah lingkaran dengan  $r=3$ . Persamaan 5-2 diubah dalam sistem koordinat silinder:

$$M = \int_v r dv$$

$$M = \int_0^{2\pi} \int_0^3 \int_0^2 r^2 dr dz d\phi \quad (5-2b)$$

Penyelesaian Persamaan 5-2b secara serentak terhadap semua variabel integrasi menghasilkan:

$$M = \left[ \frac{r^3}{3} \right]_0^2 \left[ z \right]_0^2 \left[ \phi \right]_0^{2\pi}$$

$$M = (9-0)(2-0)\left(\frac{\pi}{2}-0\right)$$

$$M = 9\pi = 28.2743338823... \quad (5-2c)$$

### 5.1.3 Soal Uji 3

$$M = \int_0^2 \int_0^{\sqrt{4-x^2}} \int_0^{\sqrt{4-x^2-y^2}} z \sqrt{4-x^2-y^2} dz dy dx \quad (5-3)$$

Persamaan 5-3 disederhanakan dengan pemisalan Persamaan 5-3a sehingga bentuk persamaan menjadi Persamaan 5-3a:

$$r = \sqrt{x^2+y^2} \quad (5-3a)$$

$$M = \int_v z \sqrt{4-r^2} dv \quad (5-3b)$$

Limit integrasi Persamaan 5-3 adalah setengah bola dalam sistem koordinat silinder sehingga Persamaan 5-3a menjadi Persamaan 5-3c.

$$M = \int_0^\pi \int_0^2 \int_0^{\sqrt{4-r^2}} z \sqrt{4-r^2} dz dr d\theta \quad (5-3c)$$

$$M = \iiint_{0;0}^{\pi;2} \left[ \frac{z^2}{2} \right]_{\sqrt{4-r^2}}^{\sqrt{4-r^2}} \sqrt{4-r^2} dr d\theta$$

$$M = \iint_{0;0}^{\pi;2} \frac{1}{2} (4-r^2)^{3/2} dr d\theta$$

Integrasi variabel  $r$  diselesaikan dengan pemisalan Persamaan 5-3d.

$$dr = \frac{d(4-r^2)}{2r} \quad (5-3d)$$

$$M = \iint_{0;0}^{\pi;2} \frac{1}{2} (4-r^2)^{3/2} \frac{d(4-r^2)}{2r} d\theta$$

$$M = \int_0^{\pi} \frac{1}{2} \frac{2}{5} \left[ \frac{1}{2r} (4-r^2)^{5/2} \right] d\theta$$

$$M = \int_0^{\pi} \frac{1}{5} \left( \frac{1}{4} \right) 4^{5/2} d\theta$$

$$M = \int_0^{\pi} \frac{8}{5} d\theta$$

$$M = \frac{8}{5} [\theta]_0^{\pi}$$

$$M = \frac{8}{5} \pi = 5.0265482457... \quad (5-3e)$$

#### 5.1.4 Soal Uji 4

$$M = \iiint_{1;3;0}^{2;x;\sqrt{3}y} \frac{y}{y^2+x^2} dz dy dx \quad (5-4)$$

$$M = \iint_{1;3;0}^{2;x} \frac{y}{y^2+x^2} [z]_0^{\sqrt{3}y} dy dx$$

$$M = \iint_{1;3}^{2;x} \frac{\sqrt{3}y^2}{y^2+x^2} dy dx \quad (5-4a)$$

Persamaan 5-4a dapat disederhanakan dengan pemisalan Persamaan 5-4b.

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (5-4b)$$

$$M = \iint_{1;3}^{2;x} \frac{\sqrt{3}y^2}{r^2} dy dx \quad (5-4c)$$

Fungsi integran konstan sepanjang  $z$ , maka integran dapat diganti dengan konstanta.

$$M = \int_1^2 \int_3^{2+x} \frac{\pi}{3} dy dx \quad (5-4d)$$

$$M = \int_1^2 \frac{\pi}{3} [y]_3^{2+x} dx$$

$$M = \int_1^2 \frac{\pi}{3} x - \pi dx$$

$$M = \left[ \frac{\pi}{6} x^2 - \pi x \right]$$

$$M = \left( \frac{4\pi}{6} - 2\pi \right) - \left( \frac{\pi}{6} - \pi \right)$$

$$M = \frac{-\pi}{2} = -1.5707963268... \quad (5-4e)$$

## 5.2 Pengujian Pengaruh Cacah Sampel

Komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dibandingkan dengan metode balok yang memiliki kompleksitas algoritma yang sama dengan nilai  $O(n)$ .

Cacah sampel yang digunakan dalam percobaan pengaruh cacah sampel komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo adalah deret logaritmik dengan basis 10: 1e3, 1e4, 1e5, 1e6, 1e7, 1e8, 1e9, 1e10, dan 1e11.

Cacah sampel yang digunakan dalam percobaan pengaruh sampel dalam komputasi paralel integral definit rangkap tiga dengan metode balok adalah pendekatan perkalian cacah proses (24) dan cacah cubicle di mana tiap variabel integrasi dibagi dengan nilai yang sama terhadap cacah sampel pengujian komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo, yaitu: 1536, 8232, 98304, 943296, 9725376, 98304000, 994121664, 9963862464, dan 99972228696.

Ketelitian diukur dengan menghitung galat antara hasil komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo, metode balok dan penghitungan analitis. Galat direpresentasikan relatif dalam persentase terhadap hasil penghitungan analitis.

Ketepatan diukur melalui nilai varians dari hasil komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo yang menggunakan pembangkit bilangan acak, sementara metode balok memiliki nilai ketepatan 100% karena tidak menggunakan bilangan acak.

Waktu proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan metode balok dibandingkan untuk memastikan kompleksitas algoritma dan membandingkan kecepatan kedua algoritma. Waktu proses komputasi diukur dengan ketelitian 1 mikrodetik.

### 5.2.1 Pengujian Pengaruh Cacah Sampel terhadap Ketelitian

Pengujian pengaruh cacah sampel dijalankan di *node* komputasi primer dengan cacah proses 24 dengan menjalankan skrip *shell* `sample.sh` dan `sample-blok.sh` dari *front-end*. Data pengujian pengaruh cacah sampel selengkapnya terlampir di Lampiran 8.

Tabel 5.2.1 memperlihatkan perbandingan hasil penghitungan analitis, komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dengan cacah sampel  $1e11$  dan balok dengan cacah sampel 99972228696.

**Tabel 5.2.1** Perbandingan Hasil Penghitungan Analitis, Komputasi Paralel Integral Definit Rangkap Tiga Metode Monte Carlo (Cacah Sampel= $1e11$ ) dan Balok( Cacah Sampel=99972228696)

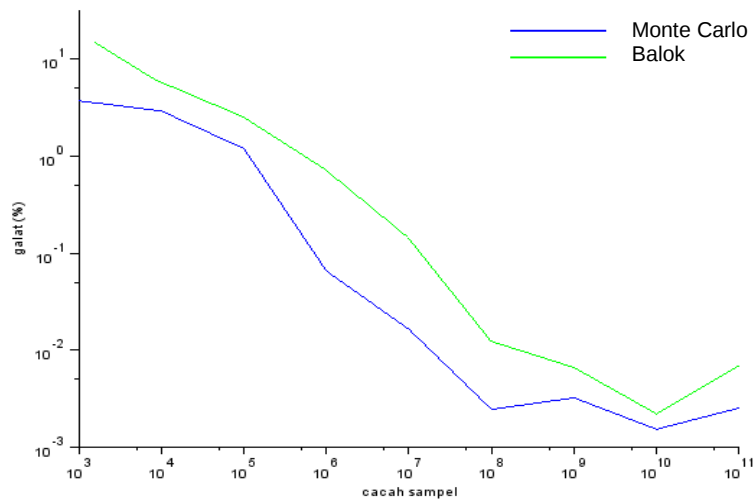
Soal Uji	Penghitungan Analitis	Monte Carlo	Balok
1	1526.8140296446	1526.8527972306	1526.9200669569
2	28.2743338823	28.2745379466	28.2937493147
3	5.0265482457	5.0266942975	5.0292196876
4	-1.5707963268	-1.5707902183	-1.5706824147

Tabel 5.2.2 memperlihatkan nilai galat metode komputasi paralel integral definit rangkap tiga Monte Carlo dan balok terhadap penghitungan analitis pada keempat soal uji dalam pengujian pengaruh cacah sampel.

**Tabel 5.2.2** Tabel Nilai Galat dalam Pengujian Pengaruh Cacah Sampel terhadap Keempat Soal Uji

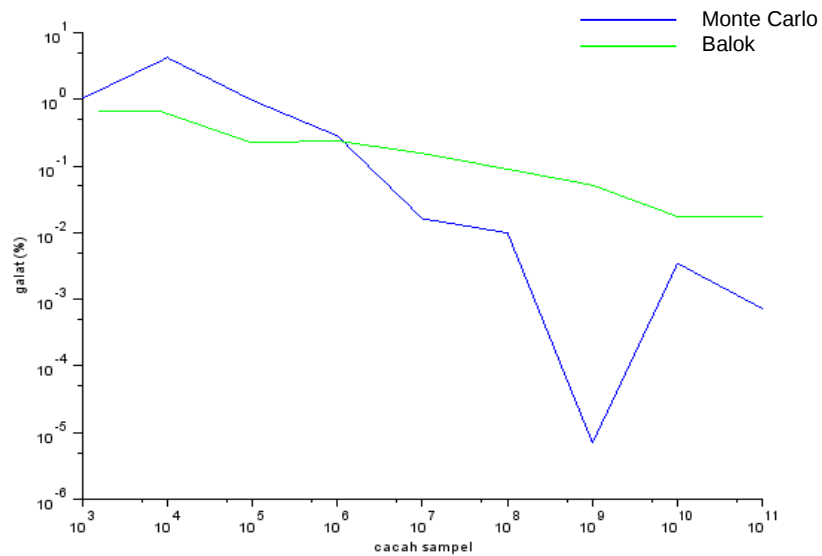
Cacah Sampel	Galat Soal Uji 1 (%)		Galat Soal Uji 2 (%)		Galat Soal Uji 3 (%)		Galat Soal Uji 4 (%)	
	MC	Balok	MC	Balok	MC	Balok	MC	Balok
1.00E+03	3.73052915	0.001020	1.030534	0.675303	6.62796813	5.524587	4.049496	3.722572
1.00E+04	2.919337	6.205184	4.226224	0.66441811	2.9670012	0.019544	3.422936	1.801406
1.00E+05	1.196419	2.535146	0.966622	0.223526	5.621840	3.594966	0.075399	0.894106
1.00E+06	0.065441	0.741298	0.282956	0.240379	1.327177	1.902744	0.303151	0.387554
1.00E+07	0.016432	0.145356	0.016189	0.155525	0.038249	0.970215	0.005121	0.164240
1.00E+08	0.002456	0.012393	0.009931	0.090038	0.041546	0.486478	0.003466	0.074072
1.00E+09	0.003230	0.006645	0.000007	0.051745	0.002896	0.237900	0.008656	0.033951
1.00E+10	0.001531	0.002213	0.003465	0.017433	0.004855	0.113838	0.001273	0.015526
1.00E+11	0.002539	0.006945	0.000722	0.017433	0.002906	0.053147	0.000389	0.007252

Gambar 5.2.1 memperlihatkan grafik pengaruh cacah sampel terhadap nilai galat hasil komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan Balok pada Soal Uji 1.



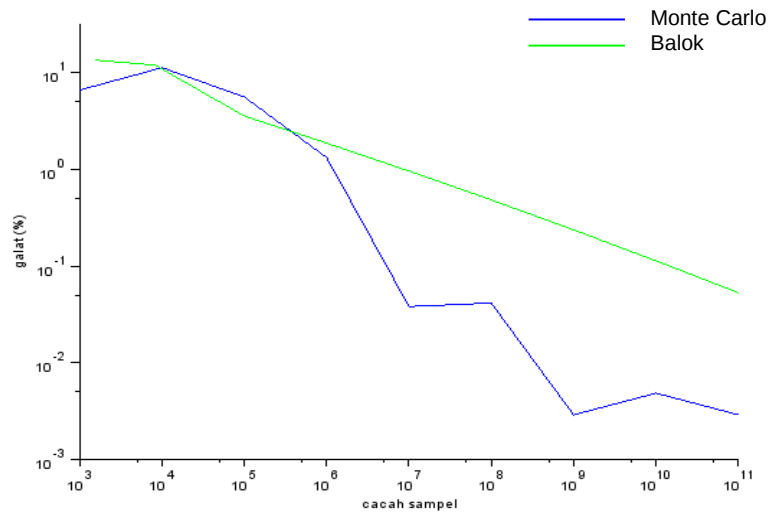
**Gambar 5.2.1** Grafik Nilai Galat terhadap Cacah Sampel Soal Uji 1

Gambar 5.2.2 memperlihatkan grafik pengaruh cacah sampel terhadap nilai galat hasil komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan Balok pada Soal Uji 2.



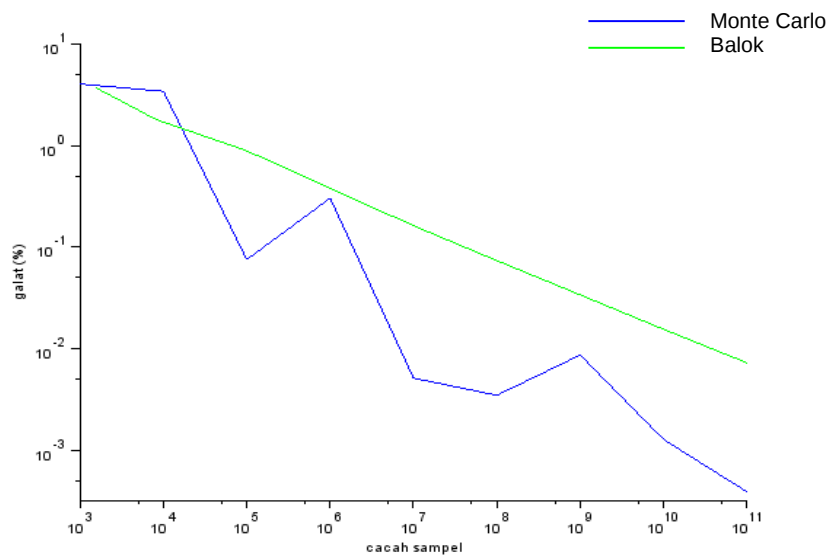
**Gambar 5.2.2** Grafik Nilai Galat terhadap Cacah Sampel Soal Uji 2

Gambar 5.2.3 memperlihatkan grafik pengaruh cacah sampel terhadap nilai galat hasil komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan Balok pada Soal Uji 3.



**Gambar 5.2.3** Grafik Galat terhadap Cacah Sampel Soal Uji 3

Gambar 5.2.2 memperlihatkan grafik pengaruh cacah sampel terhadap nilai galat hasil komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan Balok pada Soal Uji 2.



**Gambar 5.2.4** Grafik Galat terhadap Cacah Sampel Soal Uji 4



Nilai galat cenderung semakin kecil dengan meningkatnya cacah sampel pada keempat soal uji. Hal ini membuktikan bahwa ketelitian komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan balok berbanding lurus dengan cacah sampel.

Metode Monte Carlo memiliki ketelitian yang lebih baik daripada metode balok karena memiliki nilai galat yang lebih kecil.

### 5.2.2 Pengujian Pengaruh Cacah Sampel terhadap Ketepatan

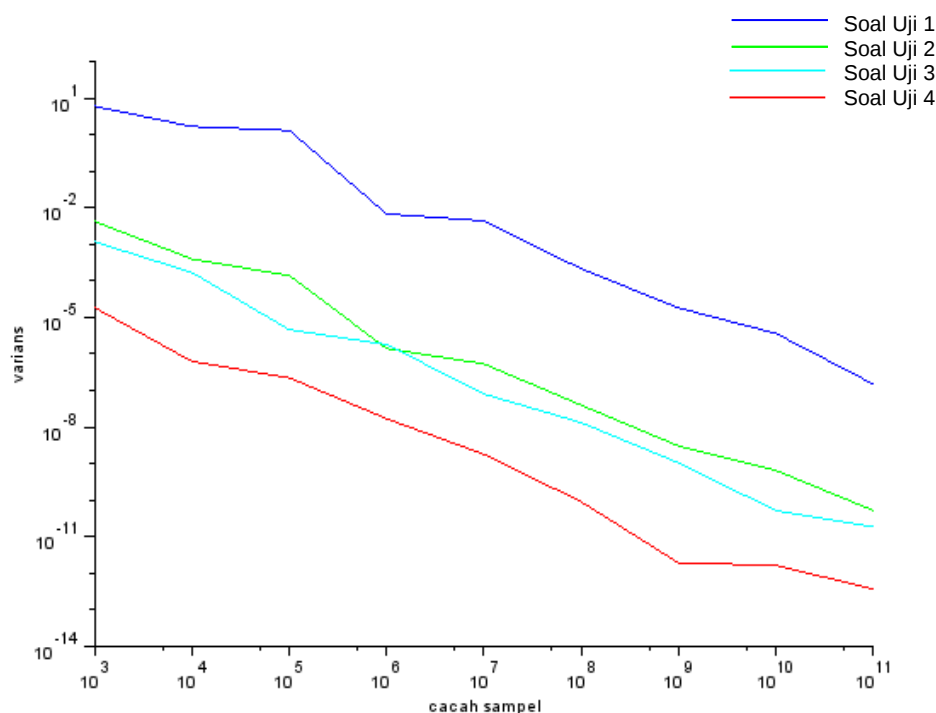
Metode Monte Carlo menggunakan bilangan acak dalam algoritmanya sehingga menyebabkan ketidakpastian hasil komputasi. Ketidakpastian tersebut ditunjukkan dengan nilai varians dari populasi beberapa hasil pengujian. Metode balok tidak memiliki nilai varians karena tidak menggunakan bilangan acak.

Tabel 5.2.3 menjelaskan nilai varians dari beberapa hasil pengujian komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada keempat soal uji.

**Tabel 5.2.3** Tabel Nilai Varians dalam Pengujian Pengaruh Cacah Sampel

Cacah Sampel	Varians Soal Uji 1	Varians Soal Uji 2	Varians Soal Uji 3	Varians Soal Uji 4
1.00E+03	5.930733E+00	4.213639E-03	1.166376E-03	1.838001E-05
1.00E+04	1.660678E+00	3.951657E-04	1.679629E-04	6.240468E-07
1.00E+05	1.301170E+00	1.388629E-04	4.601711E-06	2.221181E-07
1.00E+06	6.766098E-03	1.415147E-06	1.805878E-06	1.696265E-08
1.00E+07	4.357757E-03	5.347023E-07	8.037297E-08	1.802627E-09
1.00E+08	2.122808E-04	3.975350E-08	1.319994E-08	9.034129E-11
1.00E+09	1.819768E-05	3.020010E-09	1.046397E-09	1.930021E-12
1.00E+10	3.645369E-06	6.536494E-10	5.187593E-11	1.655139E-12
1.00E+11	1.502654E-07	5.285867E-11	1.861211E-11	3.692056E-13

Gambar 5.2.5 menjelaskan pengaruh cacah sampel terhadap nilai varians komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada keempat soal uji.



**Gambar 5.2.5** Grafik Nilai Varians terhadap Cacah Sampel

Nilai varians menjelaskan sebaran beberapa populasi hasil terhadap rerata hasil komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo. Nilai varians komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo menurun cenderung linier seiring peningkatan cacah sampel pada semua soal uji. Hal ini membuktikan bahwa ketepatan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo berbanding lurus dengan cacah sampel.

### 5.2.3 Pengujian Pengaruh Cacah Sampel terhadap Waktu Proses Komputasi

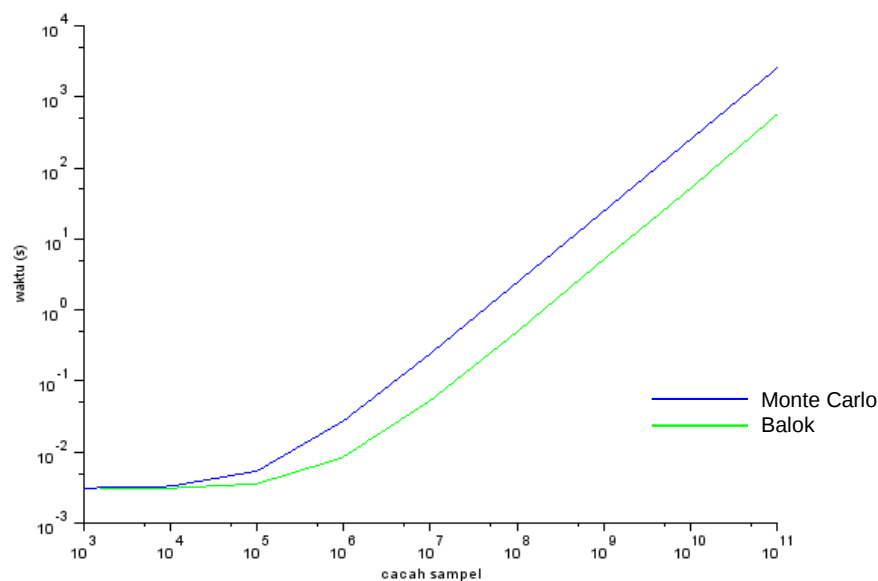
Cacah sampel memengaruhi waktu proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan balok. Semakin besar cacah sampel maka cacah *cubicle* yang ditinjau akan semakin banyak, hal ini menyebabkan proses komputasi semakin lama.

Tabel 5.2.4 menjelaskan pengaruh cacah sampel terhadap waktu proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan balok pada keempat soal uji.

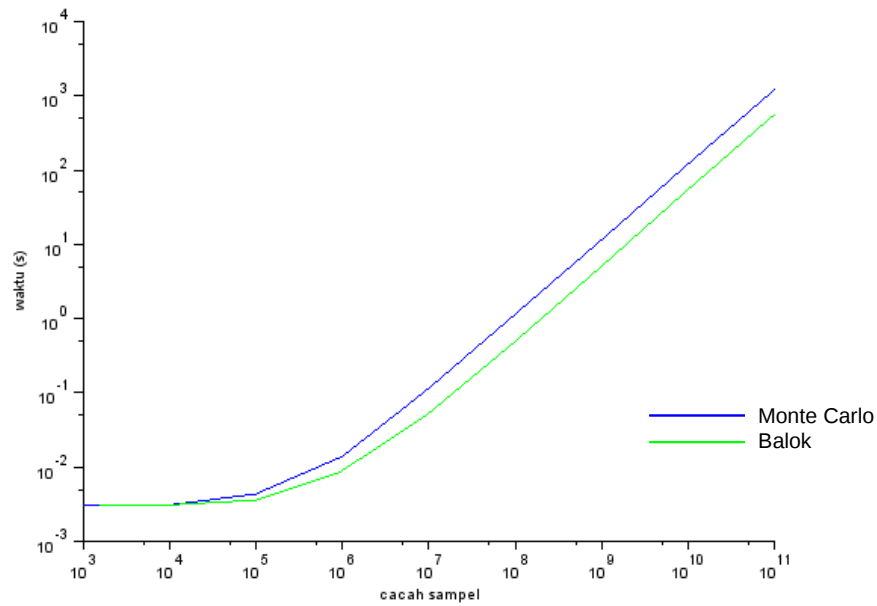
**Tabel 5.2.4** Tabel Waktu Komputasi dalam Pengujian Pengaruh Cacah Sampel

Cacah Sampel	Waktu Soal Uji 1 (s)		Waktu Soal Uji 2 (s)		Waktu Soal Uji 3 (s)		Waktu Soal Uji 4 (s)	
	MC	Balok	MC	Balok	MC	Balok	MC	Balok
1.00E+03	0.003116	0.003037	0.003104	0.003054	0.003187	0.003057	0.003043	0.003753
1.00E+04	0.003300	0.003073	0.003086	0.003054	0.003274	0.003112	0.003060	0.003113
1.00E+05	0.005414	0.003574	0.004351	0.003598	0.004569	0.003536	0.003444	0.003108
1.00E+06	0.027674	0.008251	0.013998	0.008640	0.018692	0.007538	0.007221	0.004068
1.00E+07	0.244152	0.052074	0.115667	0.051950	0.161622	0.054424	0.046350	0.013742
1.00E+08	2.451153	0.485982	1.153759	0.487321	1.631213	0.495731	0.447345	0.114851
1.00E+09	24.606535	5.165225	11.607507	5.085307	16.362804	5.059639	4.405160	1.138111
1.00E+10	253.359452	51.500713	121.654392	55.094950	168.164194	58.689785	39.776494	11.272866
1.00E+11	2566.257140569	1378621218	016121567	0336241705	372441588	489741445	431758117	774938

Gambar 5.2.6 memperlihatkan pengaruh cacah sampel terhadap waktu komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan balok pada Soal Uji 1.

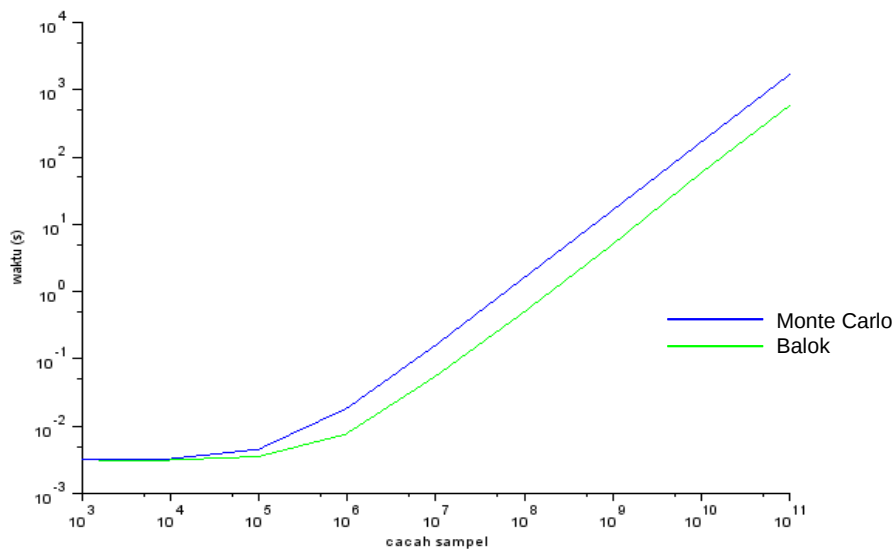
**Gambar 5.2.6** Grafik Waktu Komputasi terhadap Cacah Sampel Soal Uji 1

Gambar 5.2.7 menjelaskan pengaruh cacah sampel terhadap waktu komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan balok pada Soal Uji 2.



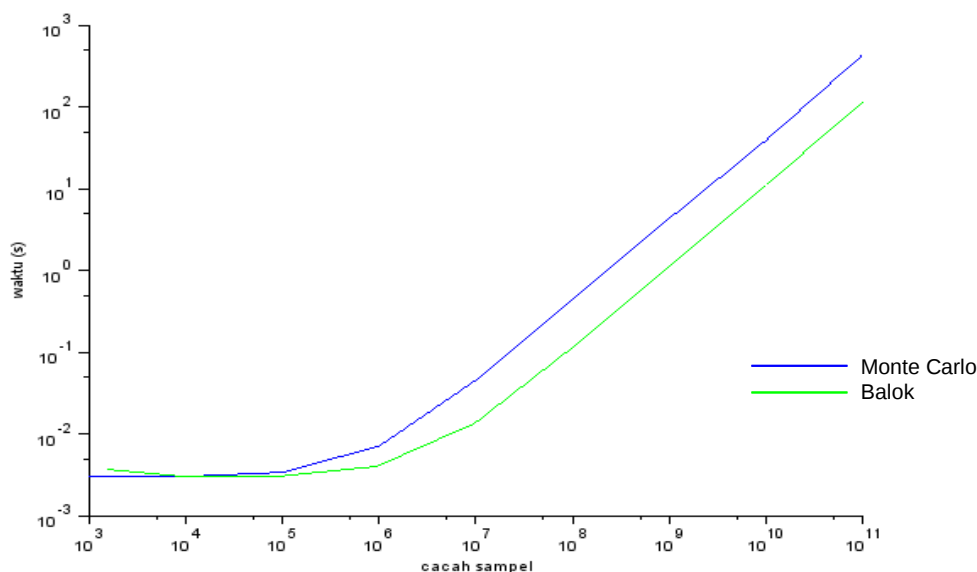
**Gambar 5.2.7** Grafik Waktu Komputasi terhadap Cacah Sampel Soal Uji 2

Gambar 5.2.8 memperlihatkan pengaruh cacah sampel terhadap waktu komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan balok pada Soal Uji 3.



**Gambar 5.2.8** Grafik Waktu Komputasi terhadap Cacah Sampel Soal Uji 3

Gambar 5.2.9 memperlihatkan pengaruh cacah sampel terhadap waktu komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan balok pada Soal Uji 4.



**Gambar 5.2.9** Grafik Waktu Komputasi terhadap Cacah Sampel Soal Uji 4

Dari hasil pengujian, didapatkan waktu *overhead* rutin yang tidak dapat diparalelisasi sekitar 0,002976 s ( $\sim 3$  ms). Waktu *overhead* tersebut meliputi inisialisasi MPI, operasi I/O dan penjadwalan sistem operasi.

Waktu komputasi meningkat secara linier seiring pertambahan cacah sampel setelah setelah waktu komputasi melebihi  $\sim 10$  ms. Hal ini membuktikan bahwa algoritma komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo dan balok memiliki kompleksitas algoritma yang sama dengan nilai  $O(n)$ .

Komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode balok lebih cepat dibanding metode Monte Carlo dengan perbandingan antara 0,8109 hingga 5,0437 kali.

### 5.3 Pengujian Pengaruh Cacah Proses

Cacah sampel yang digunakan dalam percobaan pengaruh cacah proses dalam komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo adalah  $1e9$ .

Parameter yang diukur adalah waktu proses komputasi dengan resolusi 1 ms. Dari waktu komputasi dapat dihitung peningkatan kecepatan  $S$  (*speedup*) yang merupakan perbandingan waktu komputasi dengan waktu komputasi dengan cacah proses tunggal dan kesanggulan komputasi yang merupakan perbandingan  $S$  dan cacah proses.

Pengujian pengaruh cacah *proses* dijalankan di *node* komputasi primer. Pengujian pengaruh cacah sampel dijalankan dengan menjalankan skrip *shell* `numprocs.sh` dari *front-end*. Data pengujian pengaruh cacah *proses* selengkapnya terlampir di Lampiran 9.

Tabel 5.3.1 menjelaskan pengaruh cacah *proses* terhadap waktu komputasi, peningkatan kecepatan dan kesangkilan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 1.

**Tabel 5.3.1** Tabel Hasil Pengujian Pengaruh Cacah *Proses* Soal Uji 1

Cacah Proses	Waktu (s)	S	Kesangkilan
1	448.686909	1.0000	1.0000
2	224.631800	1.9974	0.9987
4	112.377289	3.9927	0.9982
6	74.813013	5.9974	0.9996
8	56.387213	7.9572	0.9947
10	45.330313	9.8982	0.9898
12	37.488120	11.9688	0.9974
14	42.044764	10.6716	0.7623
16	36.838723	12.1798	0.7612
18	32.801802	13.6787	0.7599
20	29.644979	15.1353	0.7568
22	27.134336	16.5358	0.7516
24	26.329468	17.0412	0.7101
26	31.649840	14.1766	0.5453
28	29.107338	15.4149	0.5505
30	27.406303	16.3717	0.5457
32	29.636452	15.1397	0.4731

Tabel 5.3.2 menjelaskan pengaruh cacah *proses* terhadap waktu komputasi, peningkatan kecepatan dan kesangkilan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 2.

**Tabel 5.3.2** Hasil Pengujian Pengaruh Cacah Proses Soal Uji 2

Cacah Proses	Waktu (s)	S	Kesangkilan
1	205.317259	1.0000	1.0000
2	102.286473	2.0073	1.0036
4	51.149756	4.0140	1.0035
6	34.214166	6.0009	1.0002
8	25.696059	7.9902	0.9988
10	20.559882	9.9863	0.9986
12	17.084250	12.0179	1.0015
14	19.805485	10.3667	0.7405
16	17.257617	11.8972	0.7436
18	15.395517	13.3362	0.7409
20	14.292298	14.3656	0.7183
22	12.972453	15.8272	0.7194
24	12.071044	17.0091	0.7087
26	14.358888	14.2990	0.5500
28	13.996833	14.6688	0.5239
30	13.371299	15.3551	0.5118
32	14.474895	14.1844	0.4433

Tabel 5.3.3 menjelaskan pengaruh cacah proses terhadap waktu komputasi, peningkatan kecepatan dan kesangkilan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 3.

**Tabel 5.3.3** Hasil Pengujian Cacah Proses Soal Uji 3

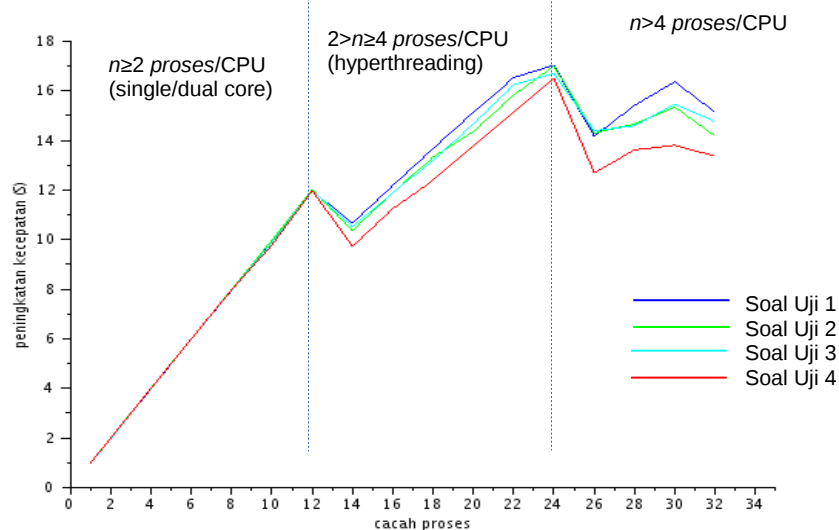
Cacah Proses	Waktu (s)	S	Kesangkilan
1	291.665851	1.0000	1.0000
2	146.945534	1.9849	0.9924
4	72.814667	4.0056	1.0014
6	48.629280	5.9977	0.9996
8	36.601384	7.9687	0.9961
10	29.490986	9.8900	0.9890
12	24.341391	11.9823	0.9985
14	27.712374	10.5248	0.7518
16	24.525705	11.8923	0.7433
18	22.090481	13.2032	0.7335
20	19.881115	14.6705	0.7335
22	17.956514	16.2429	0.7383
24	17.457443	16.7072	0.6961
26	20.260225	14.3960	0.5537
28	19.983613	14.5953	0.5213
30	18.851471	15.4718	0.5157
32	19.757497	14.7623	0.4613

Tabel 5.3.4 menjelaskan pengaruh cacah proses terhadap waktu komputasi, peningkatan kecepatan dan kesangkilan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 4.

**Tabel 5.3.4** Hasil Pengujian Pengaruh Cacah Proses Soal Uji 4

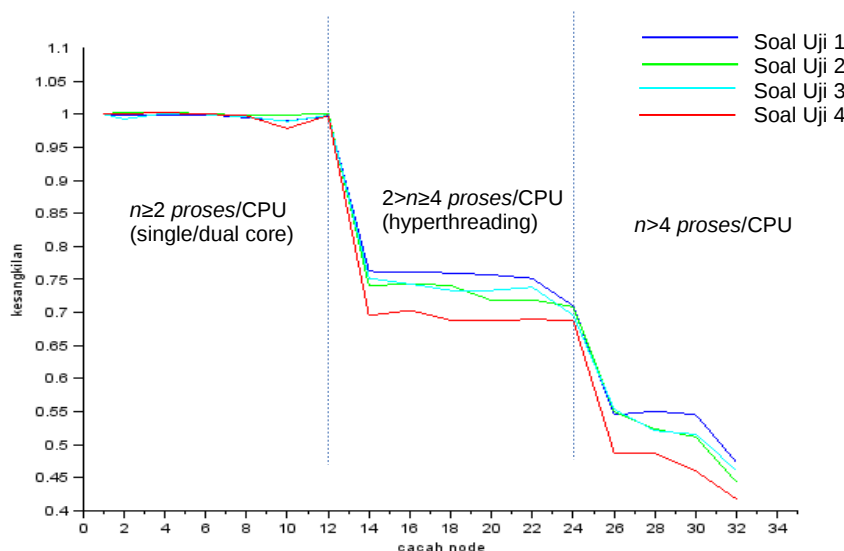
Cacah Proses	Waktu (s)	S	Kesangkilan
1	73.480427	1.0000	1.0000
2	36.710499	2.0016	1.0008
4	18.326462	4.0095	1.0024
6	12.243286	6.0017	1.0003
8	9.205931	7.9819	0.9977
10	7.510417	9.7838	0.9784
12	6.134340	11.9785	0.9982
14	7.548675	9.7342	0.6953
16	6.529652	11.2533	0.7033
18	5.929079	12.3932	0.6885
20	5.340801	13.7583	0.6879
22	4.843482	15.1710	0.6896
24	4.449535	16.5142	0.6881
26	5.788070	12.6952	0.4883
28	5.393735	13.6233	0.4865
30	5.321707	13.8077	0.4603
32	5.496045	13.3697	0.4178

Gambar 5.3.1 memperlihatkan pengaruh cacah proses terhadap peningkatan kecepatan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada keempat soal uji dengan  $n$  adalah cacah proses yang dijalankan pada prosesor jamak.

**Gambar 5.3.1** Grafik Peningkatan Kecepatan terhadap Cacah Proses



Gambar 5.3.2 memperlihatkan pengaruh cacah proses terhadap kesangkilan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada keempat soal uji dengan  $n$  adalah cacah proses yang dijalankan pada prosesor jamak.



**Gambar 5.3.2** Grafik Kesangkilan terhadap Cacah Proses

Peningkatan kecepatan ( $S$ ) meningkat secara ideal dengan cacah proses antara 1 dan 12 di mana tiap unit prosesor dalam 6 unit *node* komputasi primer beroperasi secara *single core* atau *dual core*.

Terdapat penurunan nilai  $S$  saat prosesor mengaktifkan *hyperthreading* (cacah proses 14), namun meningkat dengan gradien yang lebih kecil hingga cacah proses 24. Terjadi penurunan nilai  $S$  saat cacah proses melebihi cacah core (24) dalam *node* komputasi primer.

Nilai peningkatan kecepatan ( $S$ ) maksimal  $\sim 16-17$  kali dengan cacah proses 24 yang sesuai dengan cacah core dalam *node* komputasi primer. Hal ini masih jauh dari nilai peningkatan kecepatan secara teoritis ( $\sim 24$ ).

Kesangkilan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo ideal saat cacah proses  $\leq 12$ , menurun secara berundak setelah cacah proses 12 dan 24 yang merupakan kelipatan cacah core *node* komputasi primer.

#### 5.4 Pengujian Pengaruh Cacah *Node*

Pengujian pengaruh cacah *node* dijalankan di *node* komputasi primer dan sekunder dengan menjalankan skrip *shell nodes.sh* dari *front-end* dengan cacah proses sejumlah cacah *core* yang dilibatkan dalam proses komputasi paralel dan cacah sampel 1e9. Tabel 5.4.1 menjelaskan cacah *core* tiap cacah *node* komputasi.

**Tabel 5.4.1** Cacah *Core* tiap Cacah *Node* Komputasi

Cacah Node	Cacah Core
1	4
2	8
3	12
4	16
5	20
6	24
7	26
8	28
9	30
10	32
11	34
12	36
13	38
14	40
15	42
16	44

Peningkatan kecepatan dihitung dengan perbandingan waktu proses komputasi dengan cacah *node* majemuk terhadap waktu pengujian dengan cacah *node* tunggal. Kesangkalan komputasional adalah perbandingan peningkatan kecepatan ( $S$ ) pada pengujian dengan cacah *node* majemuk terhadap cacah *node*.

Konsumsi energi dihitung dengan perkalian waktu komputasi dan daya tipikal tiap *node* komputasi. Kesangkalan penggunaan energi adalah perbandingan penggunaan energi dengan cacah *node* majemuk terhadap penggunaan energi pada pengujian dengan cacah *node* tunggal.

Hasil pengujian pengaruh cacah *node* selengkapnya terlampir di Lampiran 10.

### 5.4.1 Pengaruh Komputasional Cacah *Node*

Tabel 5.4.2 menjelaskan pengaruh cacah *node* terhadap waktu, peningkatan kecepatan, dan kesanggihan komputasional komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 1.

**Tabel 5.4.2** Hasil Pengujian Pengaruh Komputasional Cacah *Node* Soal Uji 1

Cacah Node	Waktu (s)	S	Kesanggihan
1	148.041177	1.0000	1.0000
2	74.579971	1.9850	0.9925
3	49.575317	2.9862	0.9954
4	37.210011	3.9785	0.9946
5	29.547807	5.0102	1.0020
6	24.838340	5.9602	0.9934
7	23.045623	6.4238	0.9177
8	21.601921	6.8531	0.8566
9	20.159170	7.3436	0.8160
10	19.363217	7.6455	0.7645
11	18.161301	8.1515	0.7410
12	17.128103	8.6432	0.7203
13	15.887691	9.3180	0.7168
14	15.112290	9.7961	0.6997
15	14.252809	10.3868	0.6925
16	13.567870	10.9112	0.6819

Tabel 5.4.3 menjelaskan pengaruh cacah *node* terhadap waktu, peningkatan kecepatan, dan kesanggihan komputasional komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 2.

**Tabel 5.4.3** Hasil Pengujian Pengaruh Komputasional Cacah *Node* Soal Uji 2

Cacah Node	Waktu (s)	S	Kesanggihan
1	71.257946	1.0000	1.0000
2	35.460631	2.0095	1.0047
3	23.604351	3.0188	1.0063
4	17.456844	4.0819	1.0205
5	13.888433	5.1307	1.0261
6	11.653065	6.1150	1.0192
7	11.148113	6.3919	0.9131
8	10.821786	6.5847	0.8231
9	9.708429	7.3398	0.8155
10	9.299070	7.6629	0.7663
11	8.605041	8.2810	0.7528
12	8.172863	8.7188	0.7266
13	7.778202	9.1612	0.7047
14	7.077610	10.0681	0.7191
15	7.052442	10.1040	0.6736

Tabel 5.4.4 menjelaskan pengaruh cacah *node* terhadap waktu, peningkatan kecepatan, dan kesangkilan komputasional komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 3.

**Tabel 5.4.4** Hasil Pengujian Pengaruh Komputasional Cacah *Node* Soal Uji 3

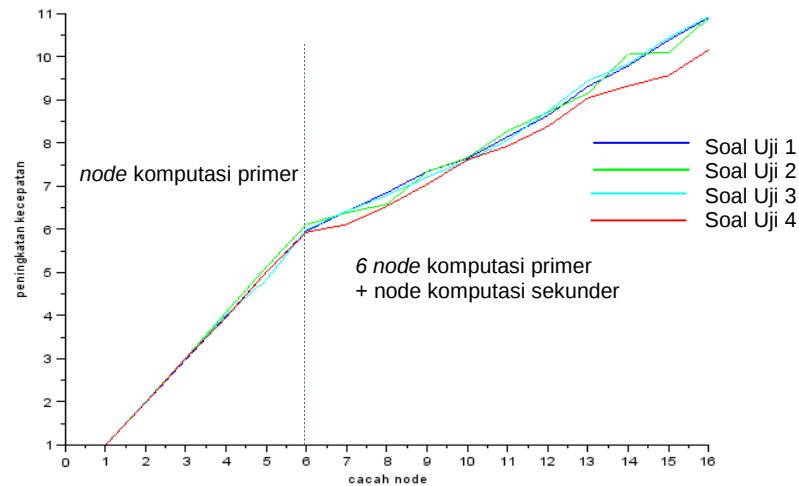
Cacah Node	Waktu (s)	S	Kesangkilan
1	98.599943	1.0000	1.0000
2	49.221218	2.0032	1.0016
3	32.833092	3.0031	1.0010
4	24.481232	4.0276	1.0069
5	20.419020	4.8288	0.9658
6	16.435578	5.9992	0.9999
7	15.350543	6.4232	0.9176
8	14.511839	6.7944	0.8493
9	13.660064	7.2181	0.8020
10	12.983573	7.5942	0.7594
11	12.215863	8.0715	0.7338
12	11.278278	8.7425	0.7285
13	10.435733	9.4483	0.7268
14	10.021320	9.8390	0.7028
15	9.438839	10.4462	0.6964
16	9.019406	10.9320	0.6832

Tabel 5.4.5 menjelaskan pengaruh cacah *node* terhadap waktu, peningkatan kecepatan, dan kesangkilan komputasional komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 4.

**Tabel 5.4.5** Hasil Pengujian Pengaruh Komputasional Cacah *Node* Soal Uji 4

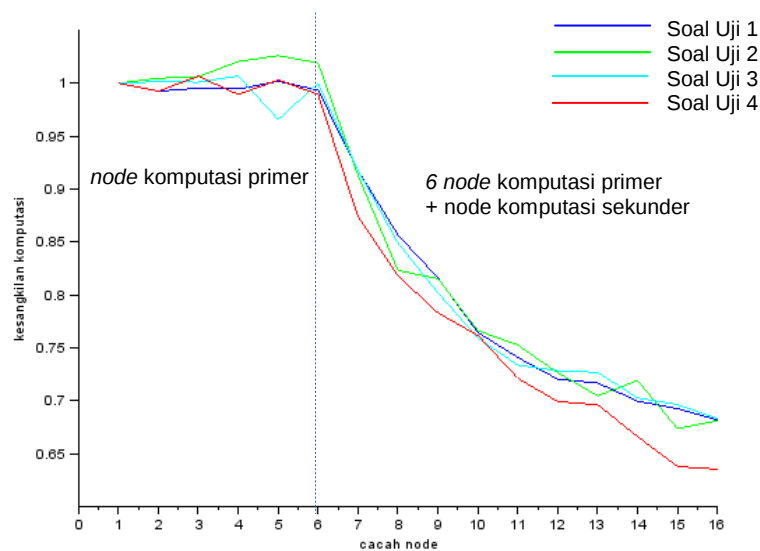
Cacah Node	Waktu (s)	S	Kesangkilan
1	26.673782	1.0000	1.0000
2	13.437108	1.9851	0.9925
3	8.832153	3.0201	1.0067
4	6.740169	3.9574	0.9894
5	5.318324	5.0154	1.0031
6	4.492980	5.9368	0.9895
7	4.360564	6.1170	0.8739
8	4.075949	6.5442	0.8180
9	3.784061	7.0490	0.7832
10	3.501570	7.6177	0.7618
11	3.361458	7.9352	0.7214
12	3.178948	8.3908	0.6992
13	2.946831	9.0517	0.6963
14	2.860013	9.3265	0.6662
15	2.787778	9.5681	0.6379
16	2.623771	10.1662	0.6354

Gambar 5.4.1 memperlihatkan pengaruh cacah *node* terhadap peningkatan kecepatan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada keempat soal uji.



**Gambar 5.4.1** Grafik Peningkatan Kecepatan terhadap Cacah *Node*

Gambar 5.4.2 memperlihatkan pengaruh cacah *node* terhadap kesanggulan komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada keempat soal uji.



**Gambar 5.4.2** Grafik Kesanggulan Komputasi terhadap Cacah *Node*

Peningkatan kecepatan ( $S$ ) komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo meningkat secara linier saat *node* pengujian menggunakan *node* komputasi primer (cacah  $node \leq 6$ ), kemudian meningkat secara linier dengan gradien yang lebih kecil saat *node* pengujian menurutsertakan *node* komputasi sekunder (cacah  $node > 6$ ).

Kesangkalan komputasional komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo cenderung konstan saat pengujian menggunakan *node* komputasi primer kemudian menurun cenderung secara logaritmik saat menurutsertakan *node* komputasi sekunder.

#### 5.4.2 Pengaruh Cacah *Node* terhadap Penggunaan Energi

Tabel 5.4.6 menjelaskan pengaruh cacah *node* terhadap penggunaan energi dan kesangkalan energi proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 1.

**Tabel 5.4.6** Hasil Pengujian Pengaruh Cacah *Node* terhadap Penggunaan Energi Soal Uji 1

Cacah Node	Energi (J)	Kesangkalan
1	11961.73	1.0000
2	12052.12	0.9925
3	12017.06	0.9954
4	12026.28	0.9946
5	11937.31	1.0020
6	12041.63	0.9934
7	12781.10	0.9359
8	13488.24	0.8868
9	13994.50	0.8547
10	14793.50	0.8086
11	15142.89	0.7899
12	15476.95	0.7729
13	15465.08	0.7735
14	15765.14	0.7587
15	15863.38	0.7540
16	16048.08	0.7454

Tabel 5.4.7 menjelaskan pengaruh cacah *node* terhadap penggunaan energi dan kesangkalan energi proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 2.

**Tabel 5.4.7** Hasil Pengujian Pengaruh Cacah *Node* terhadap Penggunaan Energi Soal Uji 2

<b>Cacah Node</b>	<b>Energi (J)</b>	<b>Kesangkalan</b>
1	5586.62	1.0000
2	5560.23	1.0047
3	5551.74	1.0063
4	5474.47	1.0205
5	5444.27	1.0261
6	5481.60	1.0192
7	6022.21	0.9277
8	6601.29	0.8463
9	6599.79	0.8465
10	6970.58	0.8015
11	7050.97	0.7923
12	7267.31	0.7687
13	7459.30	0.7489
14	7281.45	0.7672
15	7747.81	0.7211
16	7639.43	0.7313

Tabel 5.4.8 menjelaskan pengaruh cacah *node* terhadap penggunaan energi dan kesangkalan energi proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 3.

**Tabel 5.4.8** Hasil Pengujian Pengaruh Cacah *Node* terhadap Penggunaan Energi Soal Uji 3

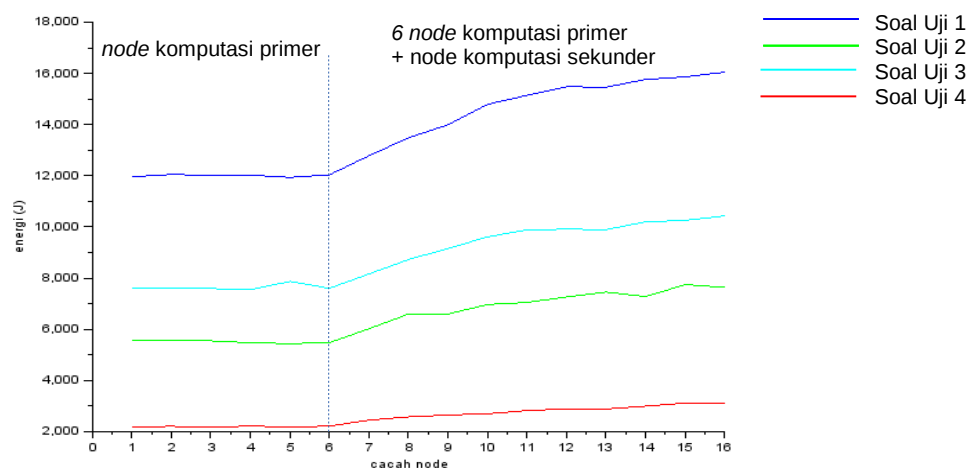
<b>Cacah Node</b>	<b>Energi (J)</b>	<b>Kesangkalan</b>
1	11961.73	1.0000
2	12052.12	0.9925
3	12017.06	0.9954
4	12026.28	0.9946
5	11937.31	1.0020
6	12041.63	0.9934
7	12781.10	0.9359
8	13488.24	0.8868
9	13994.50	0.8547
10	14793.50	0.8086
11	15142.89	0.7899
12	15476.95	0.7729
13	15465.08	0.7735
14	15765.14	0.7587
15	15863.38	0.7540
16	16048.08	0.7454

Tabel 5.4.9 menjelaskan pengaruh cacah *node* terhadap penggunaan energi dan kesangkalan energi proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada Soal Uji 4.

**Tabel 5.4.9** Hasil Pengujian Pengaruh Cacah *Node* terhadap Penggunaan Energi Soal Uji 4

Cacah Node	Energi (J)	Kesangkalan
1	11961.73	1.0000
2	12052.12	0.9925
3	12017.06	0.9954
4	12026.28	0.9946
5	11937.31	1.0020
6	12041.63	0.9934
7	12781.10	0.9359
8	13488.24	0.8868
9	13994.50	0.8547
10	14793.50	0.8086
11	15142.89	0.7899
12	15476.95	0.7729
13	15465.08	0.7735
14	15765.14	0.7587
15	15863.38	0.7540
16	16048.08	0.7454

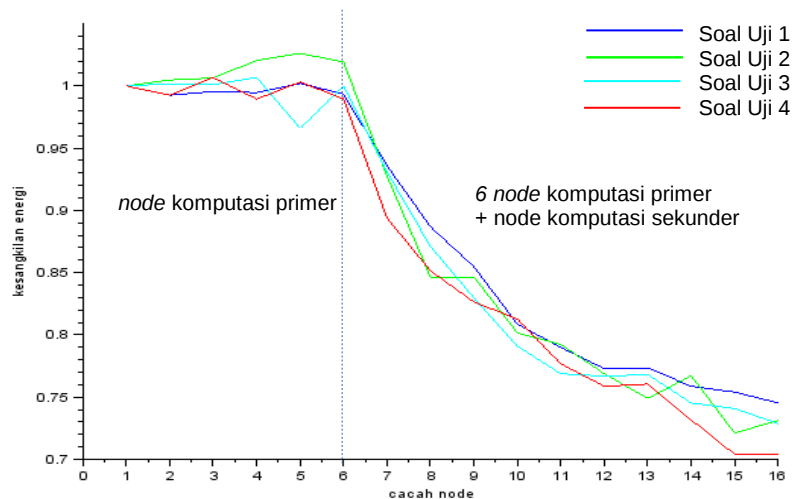
Gambar 5.4.3 memperlihatkan pengaruh cacah *node* terhadap penggunaan energi proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada keempat soal uji.



**Gambar 5.4.3** Grafik Penggunaan Energi terhadap Cacah *Node*



Gambar 5.4.4 memperlihatkan pengaruh cacah *node* terhadap kesangkilan penggunaan energi proses komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo pada keempat soal uji.



**Gambar 5.4.4** Grafik Kesangkilan Penggunaan Energi terhadap Cacah *Node*

Penggunaan energi komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo cenderung konstan saat pengujian menggunakan *node* komputasi primer (cacah *node* > 6) kemudian meningkat cenderung linier saat pengujian menurutsertakan *node* komputasi sekunder. Hal ini disebabkan karena spesifikasi dan performa *node* komputasi sekunder yang inferior dibandingkan *node* komputasi primer.

Kesangkilan penggunaan energi komputasi paralel integral definit rangkap tiga metode Monte Carlo cenderung konstan saat pengujian menggunakan *node* komputasi primer kemudian turun cenderung logaritmik saat menurutsertakan *node* komputasi sekunder.