

PENGUKURAN KECEPATAN KOMPUTER CLUSTER PUSTEKBANG DENGAN MENGGUNAKAN *HIGH PERFORMANCE LINPACK*

Nugroho Agung Prasetyo
Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN
Pos El: agung@lapan.go.id

Abstrak

Komputer cluster Pustekbang telah berjalan selama tiga tahun untuk melayani komputasi simulasi teknologi penerbangan. Pengukuran komputer cluster Pustekbang diperlukan untuk melihat seberapa besar efisiensi yang didapatkan dengan menggunakan arsitektur yang ada pada saat ini. Kecepatan pengukuran tergantung pada komponen-komponen pembentuk komputer cluster, yaitu prosesor, besar memory dan jenis jaringan penghubung antar node. Aplikasi pengukur kecepatan yang digunakan adalah High Performance Linpack (HPL) yang merupakan salah satu standar yang digunakan oleh superkomputer didalam list Top500 dan Green500. Pemilihan parameter-parameter untuk dimasukkan kedalam konfigurasi aplikasi HPL yang dapat membuat sistem parallel dapat bekerja maksimal akan menghasilkan angka pengukuran yang optimal. Hasil pengukuran yang didapatkan sesuai dengan yang diharapkan sesuai dengan arsitektur jaringan yang digunakan saat ini (gigabit ethernet).

Kata Kunci : Komputer Cluster, High Performance Linpack, Pengukuran Kecepatan

Abstract

Pustekbang cluster computer has been running for three years to serve the computational simulation of aeronautic technology. Performance measurement of Pustekbang cluster computer is needed to see how much efficiency is obtained by using the existing architecture. Performance measurements depends on the components of a computer clusters, processors, memory size and the type network connected between nodes. Measurement applications for cluster performance used is High Performance Linpack (HPL) which is one of the standard used by TOP500 and Green500 supercomputer list. Selecting parameters to be entered into the configuration of HPL applications that can make the parallel system to work optimally will produce the optimal measurement results. The measurement results obtained in measurement meet the expected results according to a network architecture that is used today (gigabit ethernet).

Keywords: Computer Cluster, High Performance Linpack, Performance Measurement

2. PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN telah berhasil mengembangkan komputer cluster untuk perhitungan cepat berbasis *High Parallel Computing* (HPC) [1]. Diperlukan sebuah metode untuk mengukur kecepatan dan kestabilan komputer cluster tersebut. Faktor penting untuk mendapatkan stabilitas dan kecepatan proses bergantung pada beberapa komponen, yaitu prosesor, jaringan dan besar memory. Semakin kompleksnya simulasi komputer, maka para peneliti/perekayasa yang menggunakan PC mulai mengalihkan pekerjaannya yang besar pada HPC untuk meningkatkan performansi dan agar dapat menyesuaikan dengan jadwal pengembangan produk yang ketat sehingga dapat mendapatkan hasil yang lebih cepat.

Untuk mendapatkan hasil simulasi CFD yang lebih akurat agar dapat membuat keputusan yang lebih cepat, sebuah simulasi CFD harus dibuat dengan perancangan dan mesh yang detail sehingga menjadikannya sebuah kasus yang besar dan membutuhkan spesifikasi memory yang sangat besar. Kebutuhan akan memory terus meningkat seiring dengan kebutuhan sebuah *project* yang mempunyai semakin banyak detail simulasi.

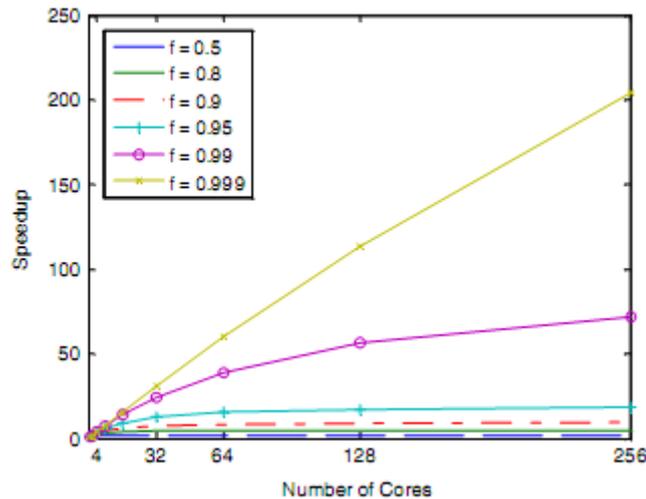
Ide pertama dalam percepatan dengan menggunakan multi prosesor dinyatakan oleh Amdahl [1] yang menyatakan bahwa jika sebagian dari sebuah komputasi, f , dapat di percepat dengan sebuah faktor m , dan bagian yang lain tidak dapat di percepat, maka bagian yang tidak dapat dipercepat akan secara cepat akan mendominasi performa dari percepatan tersebut dan penambahan prosesor lebih lanjut akan mempunyai efek yang kecil. Hukum Amdahl [2] :

$$SpeedUp = \frac{1}{(1-f) + \frac{f}{m}} \quad (1)$$

Dimana :

SpeedUp : Percepatan potensial untuk mengeksekusi seluruh tugas

- f : Persentasi dari waktu eksekusi dari seluruh tugas
- m : Percepatan dalam mengeksekusi bagian yang diparalelisasi

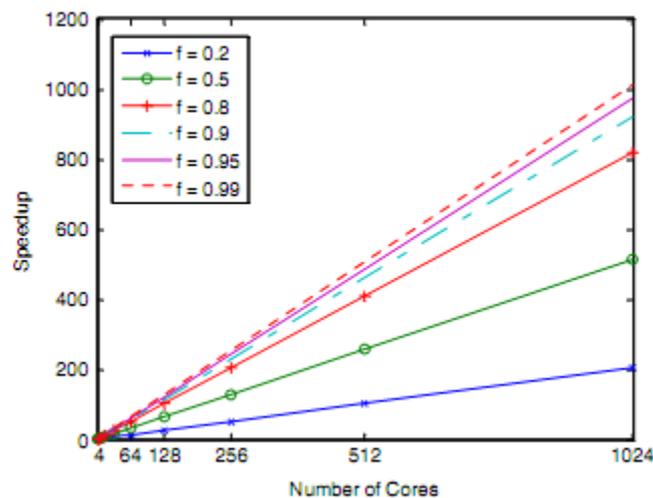


Gambar 1-1 Grafik percepatan hukum Amdahl [4]

Pada tahun 1988 Gustafson[3] memperkenalkan konsep scalable computing dan fixed-time speedup model dimana komputer-komputer yang didesain untuk tugas perhitungan yang besar seharusnya mempunyai kemampuan komputasi yang lebih tinggi. Dimana banyak aplikasi didalam pengerjaannya dibatasi oleh waktu eksekusi dan didefinisikan sebagai hukum Gustafson [3] :

$$SpeedUp = (1 - f) + mf \tag{2}$$

Gustafson menyatakan bahwa fixed-time speedup adalah fungsi linear dari m jika sistem kerja di perbesar untuk menjaga waktu pengerjaan yang tetap. Oleh karena itu hukum Gustafson menyarankan bahwa perlunya untuk membuat sebuah sistem parallel yang besar sehingga percepatan sebuah tugas komputasi dapat tumbuh secara linear.

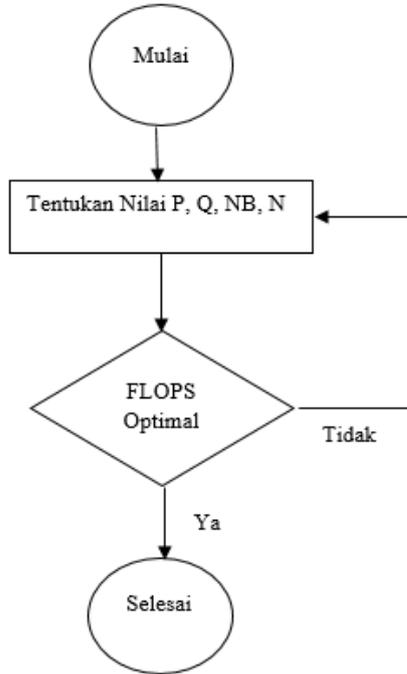


Grafik 1-2 Grafik Hukum Gustafson [4]

HPL [5] adalah salah satu aplikasi perhitungan paling populer untuk mengetahui karakteristik dari performa sebuah sistem parallel. Aplikasi ini juga digunakan sebagai standar pelaporan performa untuk daftar super komputer di Top500 dan Green500 [6].

3. METODOLOGI

Untuk mengukur kecepatan komputer cluster Pustekbang digunakan aplikasi High Performance Linpack (HPL) dengan metode sebagai berikut :



Gambar 2-1 Flowchart pengukuran dengan High Performance Linpack

P dan Q adalah ukuran dari grid matrik yang akan dihitung dan ukurannya sama dengan jumlah core prosesor yang dimiliki oleh cluster. Pada 80 node yang dimiliki oleh cluster Pustekbang memiliki 320 core sehingga nilai dari grid $P \times Q$ adalah 320. Saat memilih kedua angka untuk nilai P dan Q diusahakan untuk membuat nilai P adalah seperempat dari nilai Q. Tabel dibawah adalah kombinasi yang mungkin untuk P dan Q untuk 320 core yang ada pada cluster :

Tabel 2-1 Perhitungan Nilai P dan Q

P	*	Q
1	*	320
4	*	80
8	*	40
16	*	20

Parameter penting lainnya adalah N yang merupakan besaran dari permasalahan, dan biasanya tujuannya adalah mencari ukuran permasalahan terbesar yang dapat ditampung oleh sistem parallel cluster. Pemilihan nilai N adalah dengan mendekati nilai dari jumlah total memory tetapi jangan sampai mencapai 100% dari jumlah memory karena sejumlah memory akan dipakai oleh sistem operasi, jadi dapat dipilih mendekati 90% dari total jumlah memory. Jika memilih nilai yang kecil untuk N, hal ini akan menyebabkan beban kerja pada prosesor tidak penuh dan akan memberikan nilai FLOPS yang kecil. Jika memilih nilai N melebihi dari kemampuan dari sistem parallel maka sistem swap akan berjalan dan kecepatan akan menurun atau akan terjadi kelumpuhan perhitungan.

Parameter NB adalah ukuran blok pada matrik. Untuk nilainya secara umum dipakai nilai sebagai berikut : 96, 112, 128, 144, 160, 176, 192, 208, 224, 240, 256.

Pengukuran dilakukan setelah mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan didalam pengukuran kecepatan. Beberapa nilai parameter dapat digunakan untuk melihat apakah hasil yang

didapatkan sudah optimal. Jika dirasakan belum optimal dapat mengubah nilai parameter yang ada pada file konfigurasi

```

HPLinpack benchmark input file
Innovative Computing Laboratory, University of Tennessee
HPL.out  output file name (if any)
6        device out (6=stdout,7=stderr,file)
4        # of problems sizes (N)
29 30 34 35  Ns
4        # of NBs
1 2 3 4   NBs
0        PMAP process mapping (0=Row-,1=Column-major)
3        # of process grids (P x Q)
2 1 4     Ps
2 4 1     Qs
16.0     threshold
3        # of panel fact
0 1 2     PFACTs (0=left, 1=Crout, 2=Right)
2        # of recursive stopping criterium
2 4      NBMINs (>= 1)
1        # of panels in recursion
2        NDIVs
3        # of recursive panel fact.
0 1 2     RFACTs (0=left, 1=Crout, 2=Right)
1        # of broadcast
0        BCASTs (0=1rg,1=1rM,2=2rg,3=2rM,4=Lng,5=LnM)
1        # of lookahead depth
0        DEPTHs (>=0)
2        SWAP (0=bin-exch,1=long,2=mix)
64       swapping threshold
0        LI in (0=transposed,1=no-transposed) form
0        U in (0=transposed,1=no-transposed) form
1        Equilibration (0=no,1=yes)
8        memory alignment in double (> 0)
    
```

Gambar 2-2 File konfigurasi High Performance Linpack

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi Komputer Cluster Pustekbang

Komputer cluster Pustekbang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3-1 Spesifikasi Komputer Cluster Pustekbang

No	Nama	Komponen
1	80 Cluster Node	Prosesor 3.3GHz 4 Core i7-2600 Memory 16GB PC1600 Hardisk 500GB SATA3 Gigabit Ethernet VGA 512MB DDR2
2	Switch	Gigabit Switch 16 Port
3	Kabel Jaringan	UTP Cat 6
4	Sistem Operasi	Linux Fedora [7]

Dengan datasheet yang didapatkan tentang prosesor Intel Core I7-2600 didapatkan data [8]:

Clock Speed : 3,3 Ghz

Core : 4
Flops per Cycle : 4

Kecepatan ideal yang dapat dicapai oleh komputer dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan :

$$Peak = NP \times NC \times FC \times CS \quad (3)[9]$$

Dimana :

Peak : Kecepatan komputer dengan satuan GFLOPS
NP : Jumlah Prosesor
NC : Jumlah Core
FC : Flops per Cycle
CS : Clock Speed (GHz)

Sehingga kecepatan teoritis pada komputer cluster pustekbang adalah :

$$\begin{aligned} Peak &= 80 \times 4 \times 4 \times 3.44 \\ &= 4403,2 \text{ GFLOPS} \end{aligned}$$

3.2 Pengukuran dengan High Performance Linpack (HPL)

Aplikasi High Performance Linpack (HPL) berbasis pada Linpack [10] yang merupakan koleksi dari subrutin Fortran yang menganalisa dan menyelesaikan persamaan linear. Oleh karena itu dibutuhkan beberapa aplikasi pendukung agar dapat menggunakan aplikasi ini. Diantaranya adalah gcc-gfortran-dan libgfortran. Sedangkan untuk arsitekturnya adalah Linux_PII_CBLAS.

Untuk mendapatkan nilai N yang wajar dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$N = \left\lfloor \frac{\sqrt{Mem(GB) \times NP \times 1024^3}}{PM} \right\rfloor \times PM \quad (4)$$

Dimana :

N : Besar permasalahan
Mem : Besar memory sistem parallel dalam GB
NP : Jumlah prosesor
PM : Persentasi dari memory total

Presentasi dari memory total yang akan dicoba didalam pengukuran adalah 80 persen dari memori total yang tersedia dan akan dicobakan bertahap dengan beberapa jumlah node. Tabel 3-2 menunjukkan hasil perhitungan untuk parameter masukan konfigurasi HPL yang akan menjadi acuan pengukuran kecepatan komputer cluster Pustekbang. Pengukuran pada komputer cluster Pustekbang dilakukan dengan menggunakan sistem remote dengan menggunakan protokol SSH seperti yang terlihat pada gambar 3-1.

Tabel 3-2 Parameter Masukan Untuk Konfigurasi HPL

Jumlah Node	N	NB	P	Q
1	20608	224	4	1
20	92288	224	10	2
40	130816	224	10	4
60	160384	224	15	4
80	184576	224	20	4

```

root@unicluster01:/opt/hpl-2.0/bin/Linux_PII_CBLAS
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)= 0.0047194 ..... PASSED
-----
T/V      N      NB      P      Q      Time      GFlops
-----
WR01L2R4 15000  128     4     6     34.60     6.504e+01
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)= 0.0034054 ..... PASSED
-----
T/V      N      NB      P      Q      Time      GFlops
-----
WR01L2R4 15000  192     4     6     33.82     6.654e+01
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)= 0.0032528 ..... PASSED
-----
T/V      N      NB      P      Q      Time      GFlops
-----
WR01L2R4 15000  256     4     6     34.05     6.609e+01
||Ax-b||_oo/(eps*(||A||_oo*||x||_oo+||b||_oo)*N)= 0.0033162 ..... PASSED
-----
T/V      N      NB      P      Q      Time      GFlops
-----
WR01L2R4 15000  320     4     6     33.93     6.631e+01
    
```

Gambar 3-1 Output dari perhitungan HPL

Hasil perhitungan kecepatan dapat dilihat pada tabel 3-3 dimana terlihat antara perhitungan secara teoritis dan hasil yang didapatkan dengan hasil HPL semakin meningkat setiap penambahan node, akan tetapi jika dilihat dari efisiensi penambahan node maka setiap penambahan node akan terjadi penurunan efisiensi dari pemanfaatan node dari cluster Pustekbang. Gambar 3-2 menunjukkan bahwa kecepatan aktual tidak bisa menyamai kecepatan ideal, dimana perbedaan kecepatan semakin besar setiap penambahan node. Hal ini dapat dimaklumi karena adanya hambatan yang terjadi pada sistem cluster itu sendiri, dimana kondisi jaringan dan banyaknya node akan menjadikan delay transfer data dan perhitungan menjadi lebih besar. Sistem jaringan didalam cluster Pustekbang menggunakan sistem gigabit ethernet dengan kabel UTP, hal ini dibandingkan dengan sistem cluster yang lain dengan sistem yang sama mempunyai kesamaan yaitu efisiensi di kisaran 50%. Sehingga hasil efisiensi 45.4% merupakan hasil yang sudah cukup baik.

Tabel 3-3 Hasil Perhitungan Kecepatan

Jumlah Node	Teoritis	Hasil HPL (GFLOPS)	Efisiensi
1	54	52	96,30%
20	1088	725	66,64%
40	2176	1271	58,41%
60	3264	1720	52,70%
80	4352	1976	45,40%



Gambar 3-2 Hasil pengukuran dengan HPL

5. KESIMPULAN

Pengukuran kecepatan komputer cluster Pustekbang dengan menggunakan HPL telah selesai dilakukan. Parameter pengukuran telah didapatkan dengan melihat spesifikasi dan konfigurasi cluster yang akan diukur kecepatannya. Kecepatan yang didapatkan untuk 80 node adalah 1976 GFLOPS atau sekitar ~ 2 TFLOPS. Kecepatan akan terus meningkat seiring dengan banyaknya node yang digunakan tetapi efisiensi akan menurun dikarenakan adanya delay dari sistem cluster itu sendiri, seperti sistem jaringan yang menggunakan kabel UTP, banyaknya node dan faktor lainnya yang membuat delay didalam sistem itu sendiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Bapak Agus Aribowo selaku Kepala Bidang Teknologi Aerodinamika dan Bapak Gunawan S. Prabowo selaku Kepala Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN yang telah mendukung kegiatan ini dan teman-teman bidang Teknologi Aerodinamika sehingga percobaan pada penelitian ini dapat dilakukan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Nugroho Agung Prasetyo, *Rancang Bangun Antarmuka Komputasi Paralel Untuk Komputasi Fluida Berbasis Open Source Dengan Openfoam*, sipetekgan XIV. 2010
- 2) Amdahl, Gene M. "Validity of the single processor approach to achieving large scale computing capabilities". Proceeding AFIPS '67 (Spring) Proceedings of the April 18–20, 1967, spring joint computer conference. 1967. Pp. 483–485.
- 3) Gustafson, John L. "Reevaluating Amdahl's law". Communications of the ACM 31 (5). 1988. Pp. 532–533
- 4) Xian He Sun, Yong Chen. "Reevaluating Amdahl's Law in The Multicore Era". Journal of Parallel and Distributed Computing 70. 2010. Pp. 183-188
- 5) Jack J Dongarra, Piotr Luszczyk, Antoine Petit. "HPL - A Portable Implementation of the High-Performance Linpack Benchmark for Distributed-Memory Computers". Dapat diakses pada <http://www.netlib.org/benchmark/hpl/>.
- 6) Jack J Dongarra, Piotr Luszczyk, Antoine Petit. "The LINPACK Benchmark : Past, Present and Future", John Wiley and Sons. America. 2002.
- 7) <https://fedoraproject.org> diakses pada 7 Juli 2015.
- 8) Intel. 2nd generation core desktop vol 1 datasheet. Dapat diakses pada : <http://www.intel.co.id/content/dam/www/public/us/en/documents/datasheets/2nd-gen-core-desktop-vol-1-datasheet.pdf>
- 9) Ana Lucia Varbanescu, "Introduction to HPC", ASCI A24 Presentation Nov-Dec 2012. TU Delft. 2012. Dapat diakses pada http://www.st.ewi.tudelft.nl/~varbanescu/ASCI_A24.2k12/ASCI_A24_Day1_Part4_Performance.pdf.
- 10) LINPACK. Dapat diakses pada <http://www.netlib.org/linpack/>.