

## Efisiensi Kinerja Pengelolaan Energi pada Arsitektur Data Center Komputasi Awan Menggunakan Greencloud

Mohamad Fathurahman<sup>1\*</sup> dan Kalamullah Ramli<sup>2</sup>

1. Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425, Indonesia
2. Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16425, Indonesia

\*E-mail: mohamad.fathurahman91@ui.ac.id

---

### Abstrak

Keberadaan *data center* pada sistem *cloud computing* sangat besar artinya. *Data center* yang terletak pada lapisan *infrastructure as a services* (IaaS) pada sistem *cloud* berisi komponen fisik yang meliputi komponen komputasi seperti *server* dan *switch* dan komponen non komputasi seperti sistem pendingin dan pengaturan suhu. Seiring dengan meningkatnya jumlah pengguna *data center*, maka konsumsi daya listrik pada *data center* akan meningkat. Telah diusulkan skema penghematan energi pada *data center* yakni skema DVFS dan DNS. Pada penelitian ini telah disimulasikan menggunakan *Greencloud*, yang merupakan ekstensi dari NS2, kepada tiga macam arsitektur *data center* yakni *two-tier*, *three-tier* dan *three-tier high-speed* dengan jenis *workload* adalah *high performance computing* (HPC). Penerapan skema penghematan meliputi skema DVFS dan DNS saja serta DVFS dan DNS sekaligus. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penerapan skema DNS menunjukkan hasil terbaik karena berhasil melakukan penghematan rata-rata sebesar 63,42% pada *server* dan hampir 100% pada *switch*.

### Abstract

**Performance Comparison between Energy-Aware Cloud Computing Data Center Architectures Using GreenCloud.** The existence of a data center in the cloud computing system was huge. Data center is located on the IaaS layer cloud systems containing physical component includes computing components such as servers and switches and non-computing components such as cooling systems and temperature regulation. Along with the increasing number of users of data center, then the electric power consumption in the data center will increase. Energy conservation schemes have been proposed in the data center is DNS and DVFS. In this study has been simulated using GreenCloud, which is an extension of NS2, the three kinds of data center architecture these are two-tier, three-tier and three-tier high-speed with the type of data center workloads is high performance computing (HPC). The applications of the savings schemes include schemes DVFS only, DNS only and both DVFS and DNS. From the results obtained indicate that the application of the DNS control scheme is the best because it managed to save an average of 63.42% on the server and almost 100% on the switch for all data center architecture.

*Keywords: cloud computing, data center, DVFS, DNS, GreenCloud and NS2*

---

### 1. Pendahuluan

Perkembangan dunia internet dalam dekade terakhir di Indonesia tumbuh sangat pesat. Kebutuhan akan informasi yang berasal dari internet bukan hanya diperlukan oleh beberapa kalangan tertentu dengan bidang tertentu tapi juga berbagai kalangan dengan berbagai jenis informasi yang diperlukan. Penyedia jasa jaringan internet untuk memenuhi kebutuhan tersebut tentu saja harus mampu menyediakan kebutuhan dari *user*nya.

Untuk kebutuhan layanan data dan informasi, seperti di perkantoran dan lingkungan pendidikan, telah banyak digunakan fasilitas berupa komputasi awan (*cloud computing*). Pada beberapa tahun terakhir layanan komputasi awan mengalami peningkatan yang cukup signifikan karena melibatkan *data center* dan paradigma komputasi paralel. Sebagian besar perusahaan IT dunia, seperti Microsoft, Google, Amazone dan IBM merupakan pelopor layanan komputasi awan. Dengan adanya layanan komputasi awan, sebuah lembaga atau perusahaan tidak perlu lagi memiliki *data center* sendiri

untuk penyimpanan data/arsip yang dimilikinya. Kebutuhan akan *data center* dipenuhi melalui layanan komputasi awan ini sehingga akan banyak menghemat biaya karena lembaga atau perusahaan tidak perlu membangun dan mengoperasikan *data center*nya sendiri.

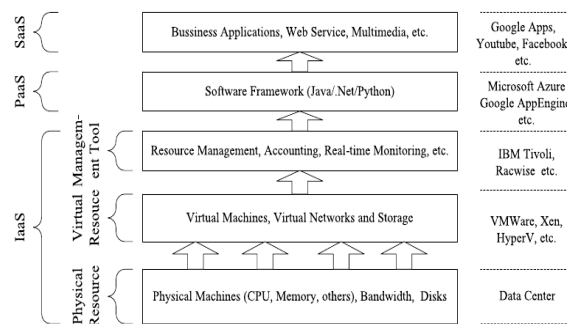
Bagi penyedia layanan komputasi awan, selanjutnya akan dinyatakan sebagai *cloud*, tren seperti ini adalah sebuah peluang bisnis yang sangat menarik [1]. Layanan *cloud* sendiri sebetulnya adalah layanan penyediaan *data center* baik untuk keperluan pribadi maupun bisnis. Dengan semakin banyaknya pengguna layanan ini, penyedia layanan *cloud* harus banyak mengoperasikan *data center*. Dari definisi sederhana sendiri, *cloud computing* didefinisikan sebagai sebuah “kolam” yang terdiri atas sekumpulan sumber daya teknologi informasi yang terorganisir untuk menyediakan sebuah fungsi komputasi sebagai sebuah utilitas. *Cloud computing* adalah suatu paradigma di mana informasi secara permanen tersimpan di server di internet dan tersimpan secara sementara di komputer pengguna (*client*) termasuk di dalamnya adalah desktop, komputer tablet, notebook, komputer tembok, handheld, sensor-sensor, monitor, dan lain-lain [2].

Biasanya pemberi layanan *cloud* kelas dunia memiliki berbagai macam *data center* yang terdistribusi secara geografis. Pengoperasian *data center* yang terdistribusi secara geografis memerlukan penggunaan sumber daya listrik yang besar pula. Apabila penyedia layanan *cloud* tidak mampu melakukan efisiensi penggunaan daya listrik, maka akan berpengaruh terhadap kualitas layanan *cloud*.

Berdasarkan hal tersebut di atas, dari sudut pandang efisiensi energi, komputasi awan adalah kolam sumber daya komputasi dan komunikasi yang dikelola sedemikian hingga mampu mengubah energi daya yang diterima menjadi kegiatan komputasi atau transfer data yang diinginkan pengguna [3]. Dengan pertimbangan efisiensi energi pada *cloud*, perlu dilakukan studi untuk mengetahui seberapa besar penggunaan energi listrik pada *data center* dan metode efisiensi apa saja yang dapat dilakukan. Selanjutnya akan dibahas *data center* dan efisiensi energi, skenario dan hasil pembahasan.

**Data Center dan Efisiensi Energi.** Sebuah sistem *cloud* terdiri atas infrastruktur, platform dan perangkat lunak yang menjadi satu kesatuan dalam melayani pelanggan *cloud* yang terdaftar berdasarkan layanan yang diinginkan. Di dunia industri, layanan ini masing-masing meliputi *Infrastructure as a Service* (IaaS), *Platform as a Service* (PaaS), dan *Software as a Service* (SaaS).

Secara umum sebuah sistem komputasi awan dapat dibagi ke dalam tiga lapisan berdasarkan ketiga konsep IaaS, PaaS dan SaaS seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1 Arsitektur Komputasi Awan [4]

Lapisan IaaS bertanggungjawab terhadap pengelolaan fisik mesin, pembuatan kolam mesin virtual atau sumber daya penyimpan melalui mekanisme virtualisasi untuk menyediakan layanan elastis bagi lapisan di atasnya. Lapisan PaaS berada di atas lapisan IaaS dimana platformnya terdiri atas sistem operasi dan *framework* aplikasi. Lapisan teratas ditempati oleh SaaS yang di dalamnya terdapat aplikasi *cloud* yang sebenarnya. Dalam pembahasan tentang efisiensi energi pada *data center*, pembahasan akan difokuskan pada lapisan IaaS.

Berdasarkan arsitektur *cloud* pada Gambar 1, lapisan IaaS terdiri atas tiga lapisan yakni, *physical resource*, *virtual resource* dan *management tool* [4]. *Physical resource* terdiri atas *data center* dengan komponen-komponennya seperti server, *switch* dan komponen non IT seperti sistem pendingin dan pencahayaan.

Masalah utama dari infrastruktur *cloud* bukan hanya dari segi biaya yang mahal akan tetapi juga kurang ramah lingkungan. Biaya pemakaian energi yang tinggi kemudian emisi karbon yang dihasilkan akibat akan tingginya kebutuhan akan energi listrik baik untuk tujuan yang berhubungan dengan komputasi ataupun untuk tujuan pendukung operasional dari *data center*. Para penyedia layanan infrastruktur *cloud* perlu untuk mengukur agar margin keuntungan layanan *cloud* tidak tereduksi oleh tingginya biaya pemakaian energi listrik. Banyak diantara penyedia layanan *cloud* membangun *data center*nya di dekat sumber air agar pasokan energi dapat diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Belum lagi ada tekanan dari pemerhati lingkungan agar mengurangi emisi karbon untuk mengurangi pengaruh dari perubahan iklim.

*Data center* sangat populer dalam *provisioning* sumber daya komputasi. Biaya operasional *data center* telah meningkat seiring dengan meningkatnya kapasitas komputasi. Konsumsi energi dari *data center* telah menjadi masalah yang berkembang di kalangan pengelola *data center*. Hal ini menjadi salah satu pintu masuk utama dalam tagihan utama operasional *data center* (OPEX).

Kolam server pada teknologi *data center* saat ini dapat menangani 100.000 host dengan sekitar 70% komunikasi dilakukan secara internal [5]. Hal ini menjadi tantangan dalam merancang arsitektur jaringan yang saling berhubungan dan protokol komunikasi yang digunakan.

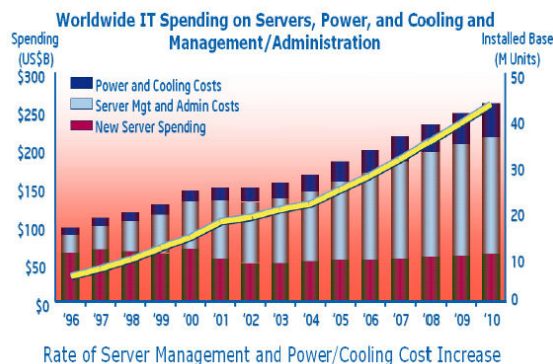
Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa hampir 90% konsumsi energi listrik dari *data center* dihabiskan oleh perangkat IT seperti server dan *switch* dan perangkat pendingin serta sisanya terbuang sebagai panas dan perangkat non IT lainnya [3].

Pada beberapa tahun terakhir, layanan komputasi awan meningkat pesat karena adanya keterlibatan *data center* dan paradigma komputasi paralel. Pengoperasian *data center* yang tersebar di wilayah yang luas memerlukan pertimbangan seberapa besar konsumsi energi terhadap total biaya pengoperasian dari *data center*.

Salah satu tantangan terbesar dari pengelola *data center* adalah meningkatnya biaya konsumsi untuk daya dan pendinginan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut, pada dekade terakhir biaya untuk daya dan pendingin *data center* telah meningkat sebesar 400% dan kecenderungannya akan terus meningkat. Pada beberapa kasus, konsumsi daya listrik memakan porsi 40-50% dari keseluruhan biaya operasional dari *data center* [6].

Berdasarkan survei terakhir pada *data center*, faktor penghambat terbesar dalam pengembangan *data center*, senilai 59% adalah berasal dari konsumsi daya dan pendinginan [7].

Jika kecenderungan ini terus terjadi, kemampuan *data center* untuk menambah layanan baru akan terhambat. Untuk mengatasi hal ini, pengelola *data center* memiliki tiga pilihan [6], sebagai berikut 1) menambah kapasitas daya dan pendingin, 2) membangun *data center* baru, 3) melakukan pengelolaan energi yang memaksimalkan penggunaan kapasitas yang ada.

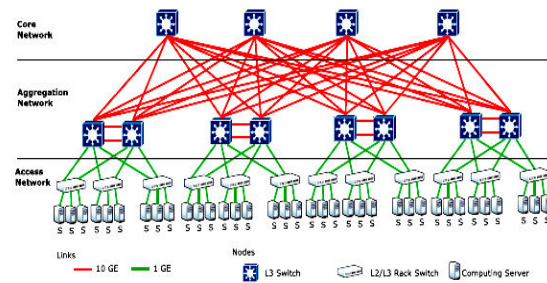


Gambar 2. Struktur Pembiayaan *Data Center* dan Kecenderungannya [6]

Dua pilihan awal akan sangat mahal karena melibatkan belanja modal dan pemasangan instalasi baru. Maka pilihan ketiga adalah yang paling memungkinkan untuk mengatasi dua hal tersebut di atas. Berikut ini akan diuraikan secara singkat dua macam skema pengelolaan energi pada *data center* yang meliputi

**Arsitektur *Data Center*.** Kolam server pada sebuah *data center* saat ini mampu menangani sampai dengan 100.000 *host* dengan sekitar 70% pelaksanaan komunikasi dilaksanakan secara internal [5]. Hal ini memberikan tantangan dalam merancang arsitektur jaringan interkoneksi dan protokol komunikasinya. Pada skala *data center*, arsitektur konvensional sering kali terjadi *bottleneck* disebabkan karena faktor fisik dan batasan biaya dari perangkat jaringan yang dipakai. Secara khusus, ketersediaan komponen 10 Gigabit Ethernet dapat mengatasi keterbatasan karena menawarkan kapasitas yang lebih besar namun masih terlampau mahal.

Arsitektur *data center* sendiri yang banyak digunakan saat ini adalah arsitektur *three-tier* (Gambar 3). Arsitektur ini terdiri atas lapisan a) *access*, b) *aggregation*, c) *core*. Keberadaan lapisan *aggregation* meningkatkan jumlah *node server* (lebih dari 10000 server) dengan tetap menjaga Layer-2 menggunakan *switch* yang tidak terlalu mahal pada jaringan *access* yang menyediakan topologi *loop-free*. *Link* antara *core* dan *aggregation* berkapasitas 10 GE sedangkan *link* antara *aggregation* dan *access* berkapasitas 1 GE. Beberapa *data center* ada yang masih menggunakan arsitektur *two-tier* dimana pada arsitektur *two-tier*, *computing server* (S) disusun ke dalam rak membentuk jaringan *tier-one*. Pada jaringan *tier-two*, *switch* pada Layer-3 (L3) menyediakan konektivitas *mesh* penuh menggunakan *link* 10 GE. Pada perkembangan selanjutnya dengan tersedianya *link* dengan kapasitas 100 GE, maka dikembangkan arsitektur *data center three-tier high-speed* yang pada dasarnya sama dengan arsitektur *three-tier* hanya saja kapasitas *link*nya sepuluh kali lipat daripada arsitektur *three-tier* yakni untuk kapasitas *link* antara *core* dan *aggregation* menjadi 100 GE, antara *aggregation* dan *access* menjadi 10 GE sedangkan antara *access* dengan server tetap 1 GE.



Gambar 3. Arsitektur *Data Center Three-tier* [3]

**Dynamics voltage and frequency scaling (DVFS).**

*Dynamic voltage scaling* adalah pengelolaan daya pada arsitektur komputer dimana tegangan yang digunakan oleh komponen dapat diturunkan atau dinaikan sesuai kebutuhan. *Dynamic voltage scaling* untuk menaikkan tegangan disebut *overvolting* sedangkan untuk menurunkannya disebut *undervolting*. *Undervolting* dilakukan untuk konversi energi sedangkan *overvolting* dilakukan untuk meningkatkan kinerja komputasi. Demikian halnya dengan *dynamic frequency scaling*, dilakukan dengan cara menaikkan frekuensi kerja untuk meningkatkan kinerja dan menurunkannya untuk menghemat energi. DVFS adalah teknik umum yang banyak digunakan dalam mekanisme penghematan penggunaan daya mulai dari sebuah sistem *embedded*, laptop, PC sampai dengan sebuah sistem server. DVFS mampu mengurangi konsumsi daya pada rangkaian terpadu CMOS seperti pada komputer modern dengan menurunkan frekuensi operasi melalui Pers. (1):

$$P = C_f V^2 + P_{static} \quad (1)$$

Dengan C adalah kapasitansi kapasitor gerbang (yang tergantung pada ukuran fitur), f adalah frekuensi kerja dan V adalah suplai tegangan. Tegangan yang diperlukan untuk operasi yang stabil ditentukan oleh frekuensi dimana rangkaian mendapat *clock*. Hal ini dapat mengakibatkan pengurangan yang signifikan dari konsumsi daya karena hubungan  $V^2$ .

Menurut Sueur & Heiser [8], kesimpulan yang didapat dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa 1) DVFS hanya mampu mengubah besarnya konsumsi daya dinamis (*dynamic power*) sementara daya statis (*static power*) meningkat, 2) mode *sleep/idle* lebih efektif diterapkan dari pada penurunan tegangan/frekuensi dalam penurunan konsumsi daya, 3) implementasi DVFS pada prosesor *multi-core* lebih rumit dan keuntungan secara finansialnya kecil

**Dynamics Shutdown (DNS).** Dengan pertimbangan bahwa server yang dalam kondisi idel tetap mengkonsumsi energi sebesar 66% dari kapasitas penuhnya [8] maka pada mekanisme DNS, skema penghematan dilakukan dengan cara mematikan server yang dalam kondisi idel sehingga konsumsi energi bisa ditekan pada kondisi minimal.

**Greencloud** [9] adalah *packet level simulator* yang merupakan ekstensi dari Network Simulator Ns2 [7] yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi dari *data center*. Secara default, arsitektur dari *data center* yang disediakan oleh *greencloud* adalah arsitektur *three-tier*. Jadi *greencloud* adalah simulator untuk konsumsi daya listrik *data center*. *Data center* ini adalah bagian dari arsitektur *cloud computing* yang berada pada lapisan IaaS (Gambar 1).

**2. Metode Penelitian**

*Greencloud* adalah sebuah ekstensi dari Network Simulator NS2 yang dikembangkan untuk mempelajari *environment* dari komputasi awan. *Greencloud* menawarkan kepada pemakainya pemodelan mengenai konsumsi energi oleh elemen-elemen dari *data center* seperti *server*, *switch* dan *link*. Lebih khusus lagi *Greencloud* fokus kepada *packet-level simulations* bagi komunikasi pada *data center* yang tidak ditemui pada simulator lainnya.

Pada simulator *Greencloud* diimplementasikan model energi untuk *switch* dan *link* berdasarkan kepada Chen *et al.* [10] dengan nilai konsumsi daya untuk elemen yang berbeda diambil urutannya berdasarkan Mahadevan *et al.* [5]. Skema penghematannya meliputi 1) hanya DVFS, 2) hanya DNS, dan 3) DVFS dan DNS.

**Workload** (beban kerja) adalah obyek yang dirancang untuk pemodelan universal bagi berbagai macam pengguna layanan *cloud*, seperti misalnya jejaring sosial, *instant messaging*, dan *content delivery*. Pada *grid computing*, *workload* biasanya dimodelkan sebagai urutan pekerjaan (*job*) yang dibagi-bagi ke dalam sekumpulan tugas (*task*). Sebuah *task* dapat berdiri sendiri, atau memerlukan sebuah output dari *task* lain untuk memulai eksekusi. Lebih lanjut lagi, karena ciri dari aplikasi *grid computing* (misalnya pemodelan biologis, keuangan, dan cuaca) jumlah *job* yang ada lebih banyak daripada sumber daya komputasi yang tersedia.

Agar dapat mencakup semua jenis aplikasi *cloud*, maka didefinisikan tiga jenis *job*, yaitu [3]:

**Computationally Intensive Workloads (CIW)** adalah model aplikasi *high performance computing* (HPC) yang bertujuan memecahkan masalah komputasi tingkat lanjut. CIW membebani *computing server* dan hampir tidak ada transfer data pada jaringan interkoneksi dari *data center*. Proses efisiensi energi pada CIW terletak pada konsumsi daya server dimana server mencoba untuk mengelompokkan *workload* pada sekecil mungkin jumlah server dan perute-an *traffic* yang dihasilkan menggunakan seminimal mungkin rute.

**Data-Intensive Workloads (DIW)** adalah model kebalikan dari CIW dimana pada model ini memerlukan transfer data yang besar dan hampir tidak ada pembebanan pada server.

**Balanced Workloads (BW)** bertujuan untuk memodelkan aplikasi yang memiliki kemampuan komputasi seperti CIW dan transfer data seperti DIW. Pada bagian ini akan dilakukan studi kasus perhitungan konsumsi energi pada *data center* untuk arsitektur *two-tier* (2T) dan *three-tier* (3T) yang meliputi *three-tier fat-*

*tree* (3Tft) dan *tree-tier high-speed* (3Ths). *Bandwidth* antara lapisan *core* dan *aggregation* didistribusikan menggunakan teknologi *multi-path routing* seperti *routing equal cost multi-path* (ECMP). Teknik ECMP adalah strategi *routing* dimana pengiriman paket berikutnya pada satu tujuan dapat menempuh berbagai jalur terbaik yang nantinya akan diletakkan pada urutan teratas dari tabel *routing*. Untuk arsitektur *three-tier*, karena menggunakan ECMP, maka jumlah maksimum *switch core* adalah delapan [3].

Dalam melakukan pengukuran kinerja, skenario pengukuran kinerja antara 3Tft dengan 3Ths akan digunakan jumlah server (*computing node*) yang sama yakni sebanyak 3072 server. Untuk skenario simulasi ditunjukkan pada Tabel 1. Penentuan parameter simulasi mengacu pada Kliazovich *et al.* [3] dengan perbedaan pada jenis *workload*. Jika pada Kliazovich *et al.* [3] jenis *workload* yang digunakan adalah *balancing workloads* sedangkan pada penelitian ini jenis *workload* adalah *computationally intensive workloads* (CIW) atau sering disebut dengan *high performance computing* (HPC). Hal ini dilakukan untuk menguji apakah dengan jenis *workload* ini, skema penghematan menghasilkan tingkat efisiensi yang lebih baik. Pada arsitektur 2T, *data center* tidak terdapat *switch aggregation*. *Switch core* langsung dihubungkan dengan jaringan *access* menggunakan *link* 1 GE (*link* C2-C3) dan interkoneksi antar *core switch* menggunakan *link* 10 GE (C1-C2). Arsitektur 3Ths merupakan peningkatan dari 3Tft dengan menyediakan *bandwidth* sepuluh kali lipat antara *link core* dengan *aggregation* (C1-C2) dan antara *aggregation* dengan jaringan *access* masing-masing 100 GE dan 10 GE. Keberadaan *link* 100 GE memungkinkan jumlah *core* pada arsitektur 3Ths sebagaimana mekanisme jumlah jalur pada perutean ECMP dibatasi hanya sebanyak dua (2) buah untuk melayani jumlah *switch* pada lapisan *access* yang sama jumlahnya dengan arsitektur 2T dan 3Tft.

**Tabel 1. Skenario Parameter Simulasi**

Parameter	Arsitektur Data Center		
	Two-tier	Three-tier fat-tree	Three-tier high-speed
Jumlah Core (C1)	16	8	2
Aggregation node (C2)	-	16	4
Access Switch (C3)	64	128	512
Server (S)	3072	3072	3072
Link (C1-C2)	10 GE	10 GE	100 GE
Link (C2-C3)	1 GE	1 GE	10 GE
Link (C3-S)	1 GE	1 GE	1 GE
Link Propagation Delay	10 ns		
Beban rata-rata DC	30 %		
Jenis Beban Kerja User (Workload)	High Performance Computing		
Waktu Simulasi	60 menit		

Selanjutnya simulasi akan dibagi ke dalam 4 buah skenario berdasarkan parameter pada Tabel 1 meliputi: 1) Skenario I: Perhitungan konsumsi energi tanpa skema penghematan. Pada skenario ini, akan diukur konsumsi energi *data center* yang meliputi server dan *switch* pada ketiga macam arsitektur DC (*data center*); 2) Skenario II: Perhitungan konsumsi energi dengan skema penghematan DVFS baik pada server maupun *switch*; 3) Skenario III: Perhitungan Konsumsi Energi dengan Skema Penghematan DNS baik pada server maupun *switch*; 4) Skenario IV: Perhitungan konsumsi energi dengan skema penghematan DVFS dan DNS sekaligus baik pada server maupun *switch*.

Dari hasil simulasi akan dilihat skema penghematan yang mana yang paling baik dan bentuk penyajian hasil pengukuran dibuat dalam bentuk kuantitatif berbentuk tabel dan secara kualitatif dalam bentuk grafik.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian awal ini, akan ditampilkan hasil simulasi untuk ketiga macam arsitektur DC namun tanpa skema penghematan energi baik pada *server* maupun *switch* seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2, konsumsi daya oleh server memakan porsi rata-rata sebesar 70% dari total konsumsi energi dari *data center* sementara *link* komunikasi dan *switch* kurang lebih 30%. Untuk konsumsi daya *switch* sendiri, untuk kasus arsitektur *three-tier* misalnya, dipecah kembali menjadi 11% untuk *core switch* kemudian 23% untuk *aggregation switch* dan 66% untuk *access switch*. Hal ini menunjukkan bahwa setelah server menurunkan konsumsi dayanya maka pengaruh paling tinggi dialami oleh *switch* di lapisan *access*.

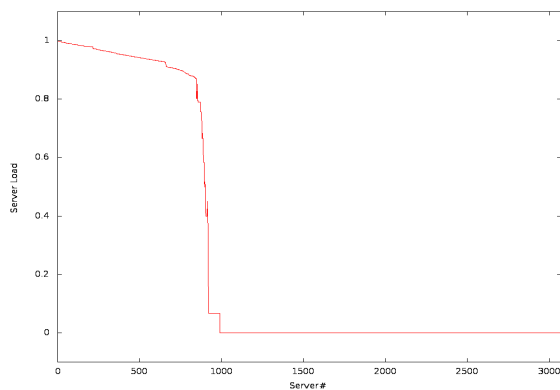
Pada Gambar 4 lebih jelas lagi terlihat bahwa pada skema tanpa penghematan energi, hanya sekitar 30% atau sepertiga dari seluruh kapasitas server (kurva sebelah

**Tabel 2. Distribusi Konsumsi Energi DC tanpa Skema Penghematan**

Parameter	Konsumsi Daya (kWh)		
	Two-tier (2T)	Three-tier Fat-tree (3Tft)	Three-tier high-speed (3Ths)
Data Center	16,0164	15,7556	15,8472
Server	11,7010 (73,06%)	11,7010 (74,27%)	11,7010 (73,84%)
Switch	4,3152 (26,94%)	4,0546 (25,73%)	4,1462 (26,16%)
Core (C1)	1,5848	0,4554	1,0098
Aggregation (C2)	0	0,9108	0,4480
Access (C3)	2,7304	2,6884	2,6884
DC Load	27,8%	27,8%	27,8%

kiri grafik) yang berada pada *peak rate*. Sedangkan hampir 2/3 dalam kondisi idel sehingga skema DNS dapat diterapkan. Sebagian kecil dari server, pada grafik di bagian yang menurun, dimana server sedikit dibawah kondisi *peak rate*, skema DVFS dapat diterapkan.

Skenario kedua seperti ditunjukkan oleh Tabel 3 adalah hasil simulasi dari arsitektur *data center* dengan metode penghematan menggunakan skema DVFS. Pada skema penghematan menggunakan DVFS hasilnya terlihat pada Tabel 3, tampak bahwa konsumsi daya meningkat pesat pada server sedangkan pada *switch* besarnya tidak terlalu berbeda jauh dengan tanpa skema penghematan seperti pada Tabel 2. Hal ini disebabkan karena jenis dari *workload* dari *cloud user* adalah HPC dimana pada *workload* jenis ini hampir semua proses komputasi berlangsung pada server sehingga untuk melakukan proses komputasi memerlukan lebih besar daya listrik namun dilaksanakan oleh jumlah server yang lebih sedikit, terlihat pada besarnya DC load dikisaran 18,8% dibandingkan dengan 27,8% pada skenario pertama.



**Gambar 4. Distribusi Beban Kerja Pada Server Tanpa Skema Penghematan**

**Tabel 3. Distribusi Konsumsi Energi DC untuk Skema Penghematan DVFS**

Parameter	Konsumsi Daya (kWh)		
	Two-tier (2T)	Three-tier Fat-tree (3Tft)	Three-tier high-speed (3Ths)
<i>Data Center</i>	2865,6015	2865,3733	2865,9687
Server	2861,2199 (99,85%)	2861,1909 (99,86%)	2861,6929 (99,85%)
<i>Switch</i>	4,3816 (0,15%)	4,1824 (0,14%)	4,2758 (0,15%)
Core (C1)	1,6092	0,4707	1,0414
Aggregation (C2)	0	0,9393	0,4620
Access (C3)	2,7724	2,7724	2,7724
DC Load	18,8%	18,8%	18,8%

Skenario ketiga ini menggunakan skema penghematan energi *dynamic shut-down* (Tabel 4). Pada skema penghematan menggunakan DNS, terlihat cukup besar penghematan yang dihasilkan. Seperti pada kasus skenario pertama, sebagian besar konsumsi energi (sebesar 99,98%) dialokasikan pada server karena *workload* yang digunakan adalah HPC. Namun konsumsi daya pada server telah mengalami penghematan jika dibandingkan dengan tanpa skema penghematan rata-rata sebesar 63,42%.

Skenario ke empat ini menggunakan skema penghematan energi DVFS dan DNS (Tabel 5). Pada skema penghematan dengan DVFS dan DNS, hasilnya adalah kombinasi dari skema DVFS dan DNS dimana konsumsi daya pada *data center* meningkat sesuai dengan skema DVFS sedangkan pada *switch* menurun sesuai dengan skema DNS.

**Tabel 4. Distribusi Konsumsi Energi DC untuk Skema Penghematan DNS**

Parameter	Konsumsi Daya (Wh)		
	Two-tier (2T)	Three-tier Fat-tree (3Tft)	Three-tier high-speed (3Ths)
<i>Data Center</i>	4281,06	4280,95	4280,95
Server	4280,30 (99,98%)	4280,30 (99,98%)	4280,30 (99,99%)
<i>Switch</i>	0,76 (0,02%)	0,65 (0,02%)	0,65 (0,01%)
Core (C1)	0,22	0,11	0,22
Aggregation (C2)	0,00	0,11	0,11
Access (C3)	0,43	0,43	0,43
DC Load	27,8%	27,8%	27,8%

**Tabel 5. Distribusi Konsumsi Energi DC untuk Skema Penghematan DVFS dan DNS**

Parameter	Konsumsi Daya (Wh)		
	Two-tier (2T)	Three-tier Fat-tree (3Tft)	Three-tier high-speed (3Ths)
<i>Data Center</i>	2859026,06	2858996,96	2859499,08
Server	2859025,30 (100%)	2858996,30 (100%)	285998,30 (100%)
<i>Switch</i>	0,76 (0%)	0,30 (0%)	0,78 (0%)
Core (C1)	0,22	0,11	0,22
Aggregation (C2)	0,00	0,11	0,11
Access (C3)	0,43	0,44	0,45
DC Load	18,8%	18,8%	18,8%

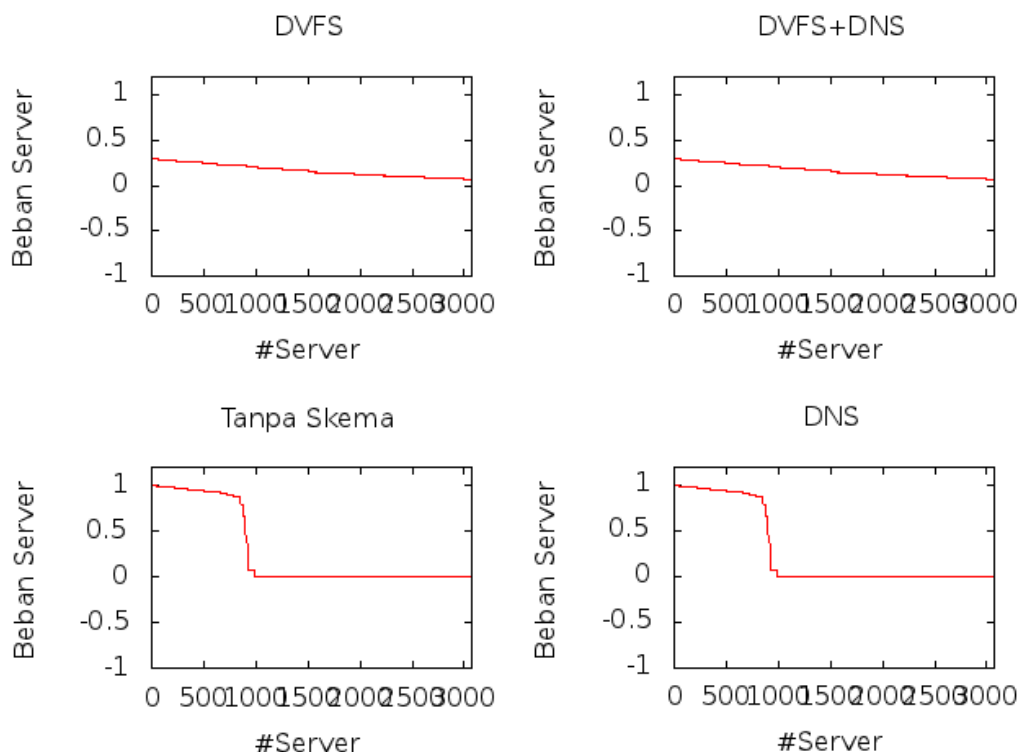
Dari keseluruhan pengujian, tampak bahwa untuk jenis *workload* HPC, penghematan terbesar diperoleh melalui skema DNS.

Skema DVFS berhasil menurunkan beban dari *data center* dari rata-rata 30% pada tanpa skema dan DNS menjadi kurang dari 20% dan selama proses simulasi menurun. Namun bila dilihat dari beban tiap server, seperti terlihat pada Gambar 4, terlihat bahwa pada kondisi tanpa skema, server yang terbebani kurang lebih 30% dari total server sedangkan sisanya (70%) dalam kondisi tidak terbebani namun tetap mengkonsumsi energi cukup besar karena menurut [10] meskipun dalam keadaan *idle*, server-server tersebut mengkonsumsi energi sebesar 66% dari kondisi terbebani penuh.

Bila dibandingkan dengan skema DNS pada Gambar 4 di atas, grafiknya mirip dengan yang tanpa skema. Namun sebetulnya dari segi konsumsi energi skema DNS lebih hemat (63,42%) dibandingkan dengan tanpa skema karena pada skema DNS server yang dalam kondisi *idle* benar-benar di-*shutdown* sehingga konsumsi energinya berada pada kondisi minimal dan konsumsi daya dari *switch* juga berhasil diturunkan karena proses komputasi seluruhnya berlangsung pada server, dan proses komputasi tersebut dilaksanakan oleh kurang lebih 30% dari total server.

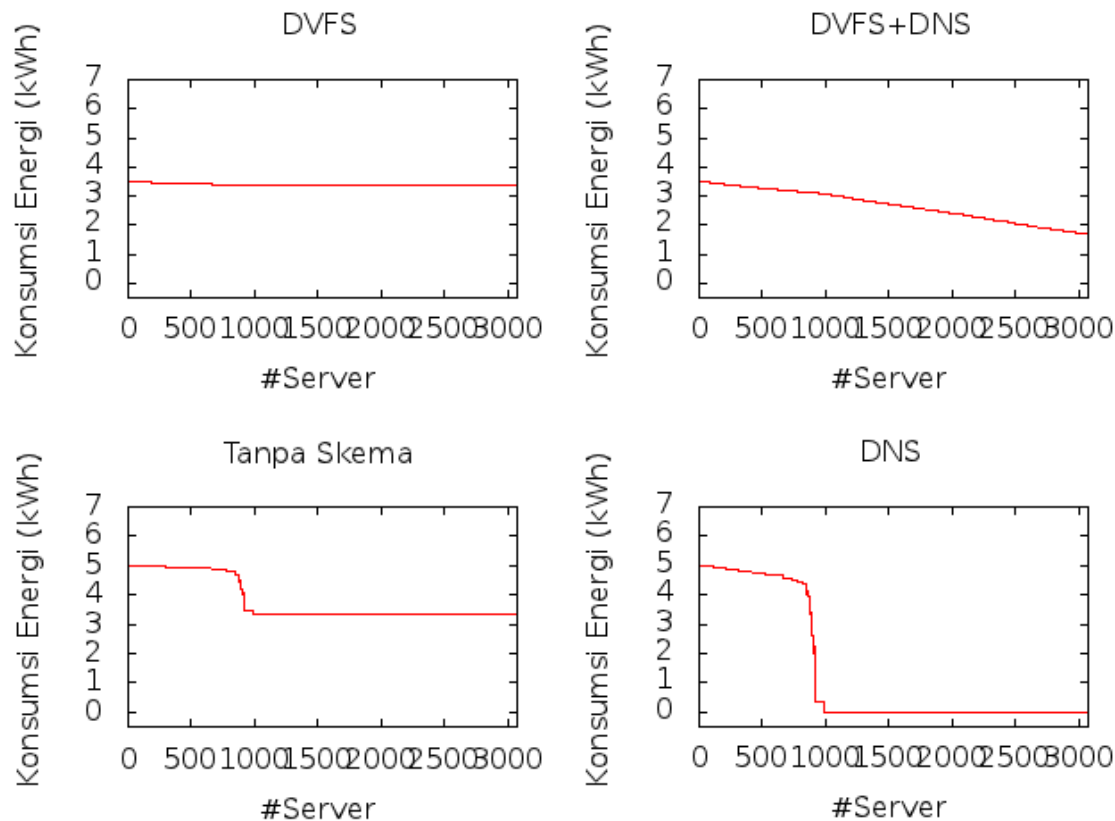
Sebaliknya pada skema DVFS, beban server tersebar hampir merata ke seluruh server sehingga total konsumsi energi dari server *data center* akan sangat membesar. Dengan tambahan skema DNS, tidak banyak berpengaruh terhadap beban server namun sangat berpengaruh terhadap beban pada *switch* dimana berhasil diturunkan sampai mencapai 100%.

Yang paling jelas menunjukkan perbedaan adalah pada konsumsi energi tiap server seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pada skema tanpa penghematan terlihat jelas bahwa 70% server yang dalam kondisi *idle* tetap mengkonsumsi energi bandingkan dengan misalnya dengan skema DNS dimana tampak pada grafiknya bahwa pada skema ini server yang dalam kondisi *idle* sama sekali tidak mengkonsumsi energi alias nol sehingga konsumsi energi server secara keseluruhan menurun drastis bila dibandingkan dengan tanpa skema. Sedangkan pada skema DVFS, konsumsi energi menyebar ke seluruh server dengan lonjakan sangat besar pada server pertama (2850814,41 Wh yang tidak terlihat pada grafik). Penambahan skema DNS tidak banyak berpengaruh terhadap penurunan konsumsi daya dari server namun berpengaruh cukup signifikan terhadap pengurangan daya pada *switch*.



Gambar 4. Grafik Sebaran Beban Server terhadap Banyaknya Server untuk berbagai Skema Penghematan





Gambar 5. Grafik Konsumsi Energi Tiap Server untuk berbagai Skema Penghematan

Akhirnya dari segala uraian di atas skema penghematan terbaik untuk ketiga jenis arsitektur *data center* adalah skema DNS (*dynamic shutdown*) dengan jenis *workload* adalah *high performance computing* atau *computationally intensive workload* (CIW) dimana hampir seluruh proses komputasi berlangsung di server. Konsumsi daya pada *switch* juga berhasil ditekan pada titik sangat rendah.

#### 4. Simpulan

Setelah dilakukan simulasi konsumsi daya pada *data center* untuk arsitektur *two-tier*, *three-tier* dan *three-tier high-speed*, dengan menerapkan skema penghematan energi DVFS dan DNS diperoleh hasil sebagai berikut: (1) Pada skema tanpa penghematan energi, untuk ketiga arsitektur *data center*, konsumsi energi terbesar berada pada server rata-rata sebesar 73,72% sedangkan sisanya sebesar 26,28% dikonsumsi oleh *switch*, sedangkan jumlah server yang mengalami *peak rate* rata-rata sebanyak 27,8%; (2) Pada skema penghematan DVFS, konsumsi terbesar tetap pada server dengan lonjakan cukup drastis rata-rata hampir 100% dengan konsumsi energi pada *switch* relatif sama dengan pada kasus tanpa skema penghematan, namun jumlah server yang

mengalami *peak rate* menurun rata-rata sebesar 18,8%; (3) Skema penghematan DNS merupakan skema penghematan terbaik untuk tipe *workload* HPC karena berhasil menghemat penggunaan energi listrik baik pada server maupun *switch* sebesar masing-masing 63,42% dan hampir 100%; (4) Penerapan skema penghematan DVFS dan sekaligus DNS tidak memberikan hasil yang lebih baik untuk kasus *workload* HPC.

#### Daftar Acuan

- [1] Antara News, Bisnis Beralih pada Investasi Komputasi Awan. <http://www.antaranews.com/berita/300251/bisnis-beralih-pada-investasi-komputasi-awan>, 2012.
- [2] C. Hewitt, IEEE Internet Computing, 12/5 (2008) 96, <http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/MIC.2008.107>, 2012
- [3] D. Kliazovich, P. Bouvry, S.U. Khan, 53rd IEEE Global Communications Conference (Globecom), Miami, FL, USA, 2010.
- [4] S.-Y. Jing, S. Ali, K. She, Y. Zhong, J. Supercomput. (2011) 1-24, <http://www.chinacloud.cn/upload/2011-12/11121414522296.pdf>. DOI 10.1007/s11227-011-0722-1.



- [5] P. Mahadevan, P. Sharma, S. Banerjee, P. Ranganathan, Energy Aware Network Operations, IEEE INFOCOM workshops, 2009, p.1.
- [6] D. Filani, Intel Corp, Intel Technol. J. 12/1 (2008) 1, DOI: 10.1535/itj.1201.06.
- [7] The Network Simulator Ns2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2010.
- [8] E.L. Sueur, G. Heiser, Proceedings of the 2010 Workshop on Power Aware Computing and Systems (HotPower'10), NICTA and University of New South Wales, 2010.
- [9] Greencloud - The Green Cloud Simulator, <http://greencloud.gforge.uni.lu/> diakses tanggal 10 Februari 2012.
- [10] Y. Chen, A. Das, W. Qin, A. Sivasubramaniam, Q. Wang, N. Gautam, Proceeding of the ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, ACM, New York, 2005, p.303.