



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI KINERJA PENGELOLAAN ENERGI PADA ARSITEKTUR  
DATA CENTER KOMPUTASI AWAN MENGGUNAKAN  
GREENCLOUD**

**TESIS**

**MOHAMAD FATHURAHMAN**  
NPM. 0906505893

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM PASCASARJANA  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI KINERJA PENGELOLAAN ENERGI PADA  
ARSITEKTUR DATA CENTER KOMPUTASI AWAN  
MENGUNAKAN GREENCLOUD**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister Teknik**

**MOHAMAD FATHURAHMAN**  
NPM. 0906505893

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
KEKHUSUSAN TEKNIK JARINGAN INFORMASI DAN  
MULTIMEDIA  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Mohamad Fathurahman

NPM : 0906505893

Tanda Tangan :



Tanggal : 3 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Mohamad Fathurahman  
NPM : 0906505893  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Tesis : Evaluasi Kinerja Pengelolaan Energi Pada  
Arsitektur Data Center Komputasi Awan  
Menggunakan GreenCloud

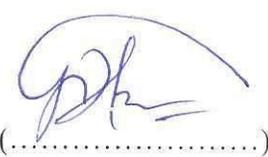
Telah berhasil dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr.-Ing. Ir. Kalamullah Ramli, M.Eng.   
(.....)

Penguji : Muhammad Salman, S.T., MIT.   
(.....)

Penguji : Yan Maraden, M.T., M.Sc.   
(.....)

Penguji : I Gde Dharma Nugraha, S.T., M.T.   
(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

## ABSTRAK

### KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Jalan tol merupakan sarana infrastruktur untuk publik yang membutuhkan modal investasi besar. Namun investasi jalan tol merupakan proyek investasi yang mengandung resiko sangat tinggi karena keterpaparan dan ketergantungan pada faktor luar yang tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran sejauh mana pengaruh resiko dalam pendanaan proyek infrastruktur jalan tol, mengidentifikasi risiko yang berpengaruh serta upaya apa yang dilakukan untuk meminimalkan resiko. Dengan melakukan analisis secara kuantitatif dan kualitatif terhadap investasi jalan tol di Indonesia yang memfokuskan pada struktur pendanaan yang akan digunakan serta teknik yang dianggap menguntungkan. Simulasi adalah sebuah perkembangan metode dalam analisis resiko. *Monte Carlo simulation* merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk menganalisis resiko dalam kegiatan investasi. Program ini kemudian dikembangkan, *Open World Bank Institute* menjadi bagian dari *risk model* untuk keperluan analisis simulasi dan kelayakan. Dalam penelitian ini hasil kelayakan yang diinginkan melalui pendekatan ini adalah berbentuk *probabilistic simulation* dan *multi-period VAK (Value at Risk)* sebagai variabel keputusan utama investasi seperti *NPV, IRR, debt service coverage ratio* dan *social benefit from the project*.

1. Prof. Dr.-Ing. Ir. Kalamullah Ramli, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
2. Politeknik Negeri Jakarta selaku tempat saya bekerja yang telah mendukung perkuliahan saya dari awal hingga akhir;
3. Bapak M.A. Madran dan Ibu (alm) Tien Sutini serta Bapak H. Judy Ali Sjaljudien dan Ibu Hj. Yoyoh Djuhariah selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan moril maupun materiil;
4. Santy Yudiastuti, SKM., MARS., Azka Muhammad Faqih dan Iqlima Nurul Azkiya atas dukungan, doa dan motivasi yang diberikan
5. Rekan-rekan Multimedia 2009, yang selalu memberi dukungan dan doa
6. Berbagai pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala tinggi penyertaan modal dari investor. Dengan demikian pihak *lender* hanya akan menerima konsekuensi terhadap *debt-financed* yang rendah. bagi pengembangan ilmu.

Perlu dicatat bahwa kasus ini tidak dimaksudkan sebagai sebuah analisis yang lengkap mengenai berbagai skenario pendanaan yang seharusnya diselidiki pada sebuah kasus. Depok, 3 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mohamad Fathurahman  
NPM : 0906505893  
Program Studi : Multimedia dan Jaringan Informasi  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi/Tesis/Disertasi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Evaluasi Kinerja Pengelolaan Energi Pada Arsitektur Data Center  
Komputasi Awan Menggunakan GreenCloud**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 3 Juli 2012

Yang menyatakan



(Mohamad Fathurahman)

## ABSTRAK

### ABSTRAK

Nama : Mohamad Fathurahman

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : EVALUASI KINERJA PENGELOLAAN ENERGI PADA ARSITEKTUR DATA CENTER KOMPUTASI AWAN MENGGUNAKAN GREENCLOUD

Keberadaan *data center* pada sistem *cloud computing* sangat besar artinya. *Data center* yang terletak pada lapisan 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*.

Kata kunci:

*cloud computing*, *data center*, DVFS, DNS, GreenCloud dan NS2.

## ABSTRAK

### ABSTRACT

Name : Mohamad Fathurahman  
Department : Teknik Elektro  
Title : 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 HPC High Performance Computing. 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.

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

Berdasarkan analisis hasil simulasi yang dilakukan diketahui bahwa berdasarkan pengaruh resiko yang terjadi terdapat perbedaan perspektif antara *investor* dan *lender* dalam menentukan struktur pendanaan proyek infrastruktur. Perspektif *investor* sangat beragam sejalan dengan meningkatnya resiko, *investor* dituntut untuk dapat memenuhi kebutuhan ekuitas berkisar antara 15%-25%. Sementara itu perspektif *lender* cenderung konstan pada level tertinggi, artinya bahwa setiap level resiko yang terjadi *lender* akan selalu menuntut tinggi penyertaan modal dari *investor*. Dengan demikian pihak *lender* hanya akan menerima konsekuensi terhadap *debt-financed* yang rendah.

Perlu dicatat bahwa kasus ini tidak dimaksudkan sebagai sebuah analisis yang lengkap mengenai berbagai skenario pendanaan yang seharusnya diselidiki pada sebuah kasus. Sebab Simulasi Infrisk yang digunakan dalam penelitian ini sangat terbatas dalam merefleksikan realitas dari berbagai struktur pendanaan dalam penyelenggaraan proyek jalan tol di Indonesia. Dalam menganalisis proyek sesungguhnya, sejumlah skenario pendanaan harus diselidiki dan tidak hanya skenario-skenario yang telah diilustrasikan dalam contoh kasus ini serta dengan penggunaan alat bantu yang tepat dapat memberikan hasil analisis yang lebih baik

# ABSTRAK

## DAFTAR ISI

Jalan tol merupakan sarana infrastruktur untuk publik yang membutuhkan modal investasi besar. Namun investasi jalan tol merupakan proyek investasi yang mengandung resiko sangat tinggi karena ketergantungan pada faktor luar yang tinggi.	
Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sejauh mana pengaruh resiko dalam pendanaan proyek infrastruktur jalan tol yang berpengaruh serta upaya apa yang dapat dilakukan untuk meminimalkan resiko.	
kuantitatif dan kualitatif terhadap investasi jalan tol di Indonesia yang memfokuskan pada struktur pendanaan.	
Simulasi adalah metode dalam analisis resiko. <i>Monte Carlo simulation</i> merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk menganalisis resiko dalam kegiatan investasi.	
menjadi bagian dari penelitian ini. Penelitian ini menggunakan pendekatan <i>probabilistic simulation</i> (yaitu <i>at Risk</i> ) sebagai variabel keputusan utama investasi seperti NPV, IRR, <i>debt service coverage ratio</i> dan <i>social benefit from the project</i> .	
Berdasarkan analisis yang dilakukan diketahui bahwa berdasarkan pengaruh resiko yang terjadi terhadap perbedaan perspektif antara investor dan lender dalam menentukan struktur proyek infrastruktur. Perspektif investor sangat beragam sejalan dengan meningkatnya resiko, investor unitat untuk dapat memenuhi kebutuhan ekuitas berkisar antara level tertinggi, artinya lender cenderung konstan pada level tertinggi, artinya lender akan selalu menuntut tinggi penyertaan menerima konsekuensi yang dapat diartikan sebagai risiko.	
Perlu dicatat bahwa simulasi ini sangat terbatas dalam merefleksikan realitas pendanaan dalam penyelenggaraan proyek jalan tol di Indonesia. Dalam menganalisis proyek sesungguhnya, sejumlah skenario pendanaan harus dalam contoh kasus penggunaan alat bantu yang tepat dapat memberikan hasil analisis yang lebih baik	
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II DATA CENTER DAN EFISIENSI ENERGI</b> .....	5
2.1 Komputasi Awan .....	5
2.2 Data Center .....	7
2.2.1 Prosesor .....	8
2.2.2 Server .....	8
2.2.3 Storage .....	9
2.2.4 Pendinginan(Cooling).....	9
2.3 Arsitektur Data Center .....	9
2.3.1 Arsitektur Data Center Two-tier.....	10
2.3.2 Arsitektur Data Center Three-tier .....	11
2.3.3 Arsitektur Data Center Three-tier High-speed .....	12
2.4 Skema Penghematan Energi Data Center .....	13
2.4.1 <i>Dynamics Voltage and Frequency Scaling</i> (DVFS) .....	16
2.4.2 <i>Dynamics Shutdown</i> (DNS) .....	18
2.5 Network Simulator .....	18
2.5 Network Simulator (NS2) .....	18
2.5.1 Arsitektur Perangkat Lunak .....	18
2.5.2 C++ - Otel Linkage .....	18
2.5.3 Komponen Utama .....	20
2.5.4 GreenCloud .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	24
3.1 Efisiensi Energi .....	24
3.2 Struktur Simulator .....	24

## ABSTRAK

3.3 Evaluasi Kinerja .....	30
----------------------------	----

<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	35
--------------------------------	----

4.1 Pendahuluan .....	35
-----------------------	----

4.2 Konsumsi Energi Tanpa Skema Penghematan .....	38
---------------------------------------------------	----

4.3 Konsumsi Daya Dengan Skema Penghematan Energi DVFS .....	39
--------------------------------------------------------------	----

4.4 Konsumsi Daya dengan Skema Penghematan Energi DNS .....	40
-------------------------------------------------------------	----

4.5 Konsumsi dengan Skema Penghematan Energi DVFS dan DNS .....	41
-----------------------------------------------------------------	----

4.6 Evaluasi Perbandingan Pada Arsitektur Three-tier .....	41
------------------------------------------------------------	----

<b>BAB V KESIMPULAN</b> .....	48
-------------------------------	----

<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	49
-------------------------------	----

Jalan tol merupakan infrastruktur publik yang membutuhkan modal investasi besar. Namun investasi jalan tol merupakan proyek investasi yang mengandung resiko sangat tinggi karena melibatkan pembiayaan yang sangat mahal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui gambaran secara umum mengenai resiko dalam pendanaan proyek infrastruktur jalan tol serta faktor-faktor yang berpengaruh serta upaya apa yang dilakukan untuk memperkecil resiko. Dengan melakukan analisis secara kuantitatif dan kualitatif terhadap investasi jalan tol di Indonesia yang memfokuskan pada struktur pendanaan yang akan digunakan serta bentuk yang dianggap menguntungkan. Simulasi adalah sebuah perkembangan metode dalam analisis resiko. *Monte Carlo simulation* merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk menganalisis resiko dalam kegiatan investasi. Program ini kemudian dikembangkan, oleh *World Bank Institute*, menjadi bagian dari *Infrisk* model untuk keperluan analisis simulasi dan kelayakan. Dalam penelitian ini hasil keluaran yang diinginkan melalui pendekatan ini adalah berbentuk *probabilistic simulation* dan *multi-period VAR (Value at Risk)* sebagai variabel keputusan utama investasi seperti NPV, IRR, *debt service coverage ratio* dan *social benefit from the project*. Berdasarkan analisis hasil simulasi yang dilakukan diketahui bahwa berdasarkan pengaruh resiko yang terjadi terdapat perbedaan perspektif antara *investor* dan *lender* dalam menentukan struktur pendanaan proyek infrastruktur. Perspektif *investor* sangat beragam sejalan dengan meningkatnya resiko, investor dituntut untuk dapat memenuhi kebutuhan ekuitas berkisar antara 15%-25%. Sementara itu perspektif *lender* cenderung konstan pada level tertinggi, artinya bahwa setiap level resiko yang terjadi *lender* akan selalu menuntut tinggi penyertaan modal dari investor. Dengan demikian pihak *lender* hanya akan menerima konsekuensi terhadap *debt-financed* yang rendah. Perlu dicatat bahwa kasus ini tidak dimaksudkan sebagai sebuah analisis yang lengkap mengenai berbagai skenario pendanaan yang seharusnya diselidiki pada sebuah kasus. Sebab Simulasi *Infrisk* yang digunakan dalam penelitian ini sangat terbatas dalam merefleksikan realitas dari berbagai struktur pendanaan dalam penyelenggaraan proyek jalan tol di Indonesia. Dalam menganalisis proyek sesungguhnya, sejumlah skenario pendanaan harus diselidiki dan tidak hanya skenario-skenario yang telah diilustrasikan dalam contoh kasus ini serta dengan penggunaan alat bantu yang tepat dapat memberikan hasil analisis yang lebih baik

## ABSTRAK

### DAFTAR GAMBAR

Jalan tol merupakan infrastruktur yang membutuhkan modal investasi besar. Namun demikian, infrastruktur yang menggunakan teknologi cloud computing sangat tinggi	Gambar 2.1	Arsitektur Komputasi Awan	memerlukan modal investasi	6
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko dalam pendanaan proyek infrastruktur cloud computing	Gambar 2.2	Arsitektur Data Center Two-tier	yang mengandung risiko	10
upaya apa yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko tersebut	Gambar 2.3	Arsitektur Data Center Three-tier	faktor luar yang tinggi	12
kuantitatif dan kualitatif	Gambar 2.4	Arsitektur Data Center Three-tier High-speed	risiko dalam	13
struktur pendanaan	Gambar 2.5	Struktur Pembiayaan Data Center dan Kecenderungannya		14
Simulasi adalah kegiatan investasi yang menjadi bagian dari penelitian ini	Gambar 2.6	Grafik Pertumbuhan Jumlah Server	dilakukan secara	15
utama investasi	Gambar 2.7	Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan server	pada	16
probabilistic simulation	Gambar 2.8	C++ - Otel Linkage	yang dianggap menguntungkan	19
kegiatan investasi	Gambar 2.9	Komponen Utama pada NS	analisis risiko Monte Carlo	20
menjadi bagian dari penelitian ini	Gambar 3.1	Arsitektur Simulator GreenCloud	menganalisis risiko dalam	25
utama investasi	Gambar 3.2	Arsitektur data center Three-tier Simulasi		30
probabilistic simulation	Gambar 3.3	Arsitektur Data Center Three-tier High-speed Simulasi	alam	31
utama investasi	Gambar 3.4	Arsitektur Data Center Two-tier Simulasi	adalah berbentuk	32
probabilistic simulation	Gambar 4.1	Contoh Screenshot Hasil Simulasi	bagai variabel keputusan	36
utama investasi	Gambar 4.2	Kode Pemilihan Jenis Arsitektur Data Center	benefit from the	37
project.	Gambar 4.3	Kode Program Untuk Menentukan Jumlah Switch		37
Berdasarkan analisis risiko yang terjadi	Gambar 4.4	Distribusi Beban Kerja Pada Server Tanpa Skema Penghematan		39
menentukan skema yang paling menguntungkan	Gambar 4.5	Konsumsi Energi DC tanpa skema dan skema DNS beragam		42
sejalan dengan ekuitas berkisar antara 15%-25%. Sementara itu perspektif tender cenderung konstan pada level tertinggi	Gambar 4.6	Konsumsi Energi DC untuk skema DVFS dan skema DVFS+DNS		43
tinggi penyertaan modal dari investor. Dengan demikian pihak tender hanya akan menerima konsekuensi yang minimal	Gambar 4.7	Grafik Beban Data Center terhadap Waktu Simulasi untuk Berbagai Skema Penghematan		43
Perlu dicatat bahwa kasus ini tidak dimaksudkan sebagai sebuah analisis yang lengkap mengenai berbagai permasalahan yang dihadapi	Gambar 4.8	Grafik Sebaran Beban Server terhadap banyaknya server untuk berbagai skema penghematan		44
Sebab Simulasi Infrisk yang digunakan dalam penelitian ini sangat terbatas dalam merefleksikan berbagai skenario pendanaan dan penyelenggaraan	Gambar 4.9	Grafik Task tiap Server untuk Berbagai Skema Penghematan		45
jalan tol di Indonesia. Dalam hal ini, semoga saja, sejumlah skenario pendanaan harus diselidiki dan tidak hanya skenario-skenario yang telah diilustrasikan dalam contoh kasus ini serta dengan penggunaan alat bantu yang tepat dapat memberikan hasil analisis yang lebih baik	Gambar 4.10	Grafik Konsumsi Energi Tiap Server untuk Berbagai Skema Penghematan		46



## ABSTRAK

### BAB I

#### PENDAHULUAN

Jalan tol merupakan sarana infrastruktur untuk meningkatkan modal investasi besar. Namun investasi jalan tol merupakan proyek investasi yang mengandung risiko sangat tinggi karena ketidakpastian dan ketergantungan pada faktor luar yang tinggi.

##### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia internet dalam dekade terakhir di Indonesia tumbuh sangat pesat. Kebutuhan akan informasi yang berasal dari internet bukan hanya upaya apa yang dilakukan untuk memperkecil risiko. Dengan melakukan analisis secara kuantitatif dan kualitatif terhadap investasi jalan tol di Indonesia yang memfokuskan pada berbagai kalangan dengan berbagai jenis informasi yang diperlukan. Penyedia jasa jaringan internet untuk memenuhi kebutuhan tersebut tentu saja harus mampu menyediakan kebutuhan dari usernya.

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. Berdasarkan analisis hasil simulasi yang dilakukan diketahui bahwa berdasarkan pengaruh risiko yang terjadi terhadap perbedaan perspektif antara investor dan lender dalam menentukan struktur pendanaan proyek infrastruktur. Perspektif investor sangat beragam sejalan dengan meningkatnya risiko investor dituntut untuk dapat memenuhi kebutuhan ekuitas berkisar antara 15%-25%. Sementara itu perspektif lender cenderung konstan pada level tertinggi, artinya bahwa setiap level risiko yang terjadi lender akan selalu menuntut tinggi penyertaan modal dari investor. Dengan demikian, pihak lender hanya akan menerima konsekuensi terhadap *debt-financed* yang rendah.

Bagi penyedia layanan komputasi awan, selanjutnya akan dinyatakan sebagai *cloud*, tren seperti ini adalah sebuah peluang bisnis yang sangat menarik[1]. Perlu dicatat bahwa kasus ini tidak dimaksudkan sebagai analisis yang lengkap mengenai berbagai skenario pendanaan yang seharusnya diselidiki pada sebuah kasus. Sebab Simulasi Infrisk yang digunakan dalam penelitian ini sangat terbatas dalam merefleksikan realitas dari berbagai struktur pendanaan dalam penyelenggaraan proyek jalan tol di Indonesia. Dalam menganalisis proyek sesungguhnya sejumlah skenario pendanaan harus diselidiki dan tidak hanya skenario-skenario yang telah diilustrasikan dalam contoh kasus ini serta dengan penggunaan alat bantu yang tepat dapat menghasilkan hasil analisis yang lebih baik.

## ABSTRAK

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.

### 1.2 Perumusan Masalah

Dalam menganalisa kinerja suatu sistem banyak menemui kendala di lapangan. Pengujian kinerja dengan membangun test-bed sering kali tidak efektif atau bahkan tidak layak. Intensitas masalah akan naik dengan drastis ketika pembangunan test-bed semakin mendekati keadaan nyata di lapangan dan perlu dilakukan perubahan-perubahan parameter yang berbeda untuk setiap studi kinerja yang berbeda. Dengan alasan ini maka telah dibangun sebuah model simulasi dari metode efisiensi penggunaan energi listrik pada data center sebagai pengganti dari sistem yang sebenarnya.

Universitas Indonesia

## ABSTRAK

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur efisiensi konsumsi energi pada data center dengan berbagai macam arsitektur dari data center menggunakan Simulator GreenCloud[4] dengan parameter simulasi yang sesungguhnya.

Beberapa hal yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mengukur konsumsi daya listrik pada data center baik pada server maupun switch melalui skenario berikut

1. Membandingkan konsumsi daya listrik data center untuk ketiga macam arsitektur tanpa adanya skema penghematan energi
2. Membandingkan konsumsi daya listrik data center untuk ketiga macam arsitektur menggunakan skema penghematan energi DVFS
3. Membandingkan konsumsi daya listrik data center untuk ketiga macam arsitektur menggunakan skema penghematan energi DNS
4. Membandingkan konsumsi daya listrik data center untuk ketiga macam arsitektur menggunakan skema penghematan energi DVFS digabungkan dengan DNS

### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, pembahasan dibatasi pada:

1. Pengukuran konsumsi daya listrik dilakukan melalui simulasi menggunakan simulator GreenCloud. Jadi seluruh pengukuran dilakukan melalui simulator dan tidak dalam keadaan riil,
2. Arsitektur data center yang digunakan adalah *two tier*, *three tier(fat-tree)*, dan *three tier high-speed*,
3. Struktur dari arsitektur data center terdiri atas *Server (S)*, *Switch* dan *Link*, serta *Workload* dengan tipe *High Performance Computing (HPC)*
4. Metode penghematan menggunakan *Dynamic Voltage/Frequency Scaling (DVFS)* dan *Dynamic Shout-down (DNS)*.

Universitas Indonesia

## ABSTRAK

5. Penjadwalan skema DVFS dan DNS dilakukan secara otomatis oleh simulator.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Pembahasan pada penelitian ini dilakukan dalam empat bab sebagai berikut;

#### Pendahuluan

Bagian ini terdiri atas latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan

#### Data Center dan Efisiensi Energi

Bagian ini berisi tentang tinjauan umum Komputasi Awan, Data Center, Metode Efisiensi Daya pada Data Center, Network Simulator, dan GreenCloud.

#### Metode Penelitian

Bagian ini berisi tentang arsitektur sistem, dan Penentuan parameter Simulasi dan skenario yang akan diujikan.

#### Pembahasan

Bagian ini berisi tentang pengujian berbagai macam arsitektur data center dengan parameter yang diberikan berdasarkan skenario yang telah ditentukan.

#### Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil pengujian.

Perlu dicatat bahwa kasus ini tidak dimaksudkan sebagai sebuah analisis yang lengkap mengenai berbagai skenario pendanaan yang seharusnya diselidiki pada sebuah kasus. Sebab Simulasi Infrisk yang digunakan dalam penelitian ini sangat terbatas dalam merefleksikan realitas dari berbagai struktur pendanaan dalam penyelenggaraan proyek jalan tol di Indonesia. Dalam menganalisis proyek sesungguhnya, sejumlah skenario pendanaan harus diselidiki dan tidak hanya skenario-skenario yang telah diilustrasikan dalam contoh kasus ini serta dengan penggunaan alat bantu yang tepat dapat memberikan hasil analisis yang lebih baik

## **BAB II**

### **DATA CENTER DAN EFISIENSI ENERGI**

#### **2.1 Komputasi Awan**

Perkembangan dunia jaringan komputer saat ini telah berkembang sangat pesat. Seiring dengan tingkat mobilitas pengguna jaringan yang semakin tinggi, maka kebutuhan akan akses data juga meningkat. Banyaknya lembaga atau perusahaan yang sudah terhubung ke internet berkecepatan tinggi membutuhkan banyak layanan berbasis jaringan. Sementara layanan surat elektronik berbasis jaringan sudah lama digunakan, saat ini berkembang layanan penyimpanan (*storage*) dan komputasi berbasis jaringan. Dua jenis layanan ini telah dikenalkan baik untuk keperluan pribadi maupun korporasi. Layanan semacam ini dikenal sebagai layanan komputasi awan (*cloud computing*).

Layanan komputasi awan sangat potensial dalam menghemat biaya untuk penyimpanan dan pengolahan data. Penyimpanan dan pengolahan data dilakukan melalui pihak ketiga sebagai pemberi layanan *cloud*. Pola seperti ini akan jauh lebih menghemat biaya dibandingkan harus memiliki dan mengelola data center sendiri.

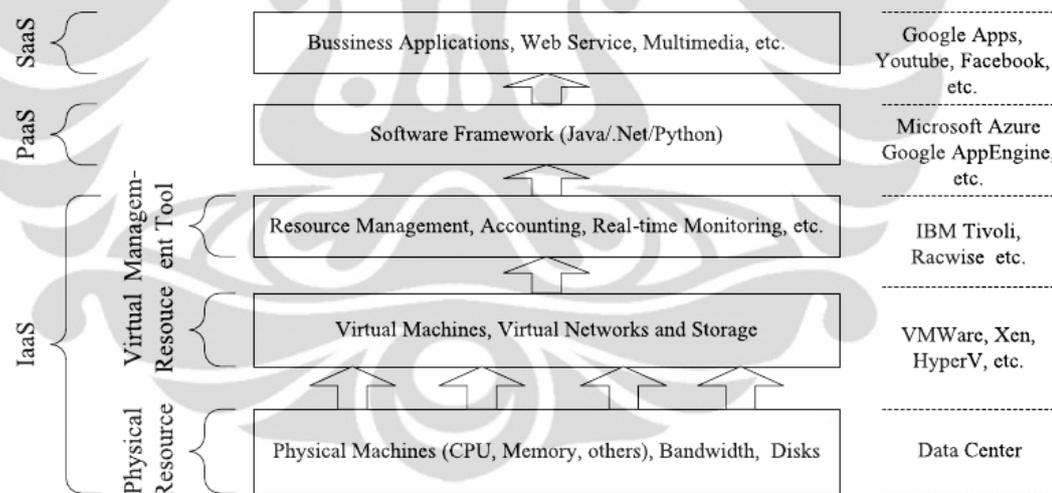
Ada banyak definisi untuk komputasi awan seiring dengan semakin intensifnya diskusi di dunia IT tentang perkembangan layanan cloud dimasa yang akan datang. Dari sekian banyak definisi, berikut adalah definisi yang bisa dikatakan mencakup hampir segala macam aspek pada layanan cloud, yakni *Cloud computing is a model for enabling convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction*[5].

Manfaat secara finansial bagi pengguna dengan adanya layanan *cloud* telah lama dibahas, akan tetapi dengan adanya pergeseran alokasi penggunaan daya dari

komputer desktop pengguna ke layanan *cloud*, ditambah lagi dengan semakin bertambahnya pengguna, layanan *cloud* akan menambah beban trafik dan konsumsi energi jaringan. Oleh karena itu perlu untuk diteliti tentang keseimbangan konsumsi daya antara server, jaringan dan pengguna layanan *cloud*.

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 2.1 berikut,



Gambar 2.1 Arsitektur Komputasi Awan

Sumber : Si-Yuan Jing, Shahzad Ali, Kun She, Yi Zhong, "State-of-the-art research study for green cloud computing", Springer Science+Business Media, LLC 2011, dipublikasikan online 8 Desember 2011

Lapisan IaaS bertanggungjawab terhadap pengelolaan fisik mesin, pembuatan kolam mesin virtual atau sumber daya penyimpanan 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 2.1, lapisan IaaS terdiri atas tiga lapisan yakni, *physical resource*, *virtual resource* dan *management tool*. *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 centernya 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.

## 2.2 Data Center

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[7]. 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.

### **2.2.1 Prosesor**

Prosesor sebagai bagian dari perangkat IT pada data center, akhir-akhir ini sudah mulai dirancang bukan hanya menghasilkan unjuk kerja yang baik namun memiliki kemampuan untuk menghemat konsumsinya. Hal ini menjadi tujuan karena untuk mendapatkan unjuk kerja prosesor yang tinggi tidak hanya memerlukan konsumsi energi yang banyak akan tetapi juga menghasilkan panas yang besar. Hal ini mendorong para insinyur untuk mengeksploitasi dari aspek fisik untuk meningkatkan efisiensi. Saat ini CPU komputer sudah memiliki mekanisme penghematan energi dengan menurunkan laju clock melalui skema yang disebut *Dynamic Voltage Scaling* atau DVS dan juga kemampuan mematikan sebagian dari chip melalui mekanisme yang disebut skema *Dynamic Power Management* atau DPM.

### **2.2.2 Server**

Saat ini, data center memiliki puluhan ribu server untuk melayani jutaan pelanggan di seluruh dunia. Sayangnya tidak semua server beroperasi secara penuh pada saat *peak rate* melainkan hanya sekitar 30 % saja yang bekerja sedangkan sisanya dalam kondisi tidak terbebani namun menghabiskan konsumsi energi yang cukup besar. Terlebih lagi, dengan semakin besarnya konsumsi daya listrik, mengakibatkan data center mengalami masalah *high-power density* yang diakibatkan adanya jenis server yang disebut blade-server dimana server jenis ini membutuhkan ruang/space yang kecil namun memerlukan daya listrik yang lima kali lebih besar daripada jenis server biasa. Mekanisme penghematan energi yang

dipakai untuk saat ini sama dengan pada prosesor yakni menggunakan skema DVFS dan atau DPM.

### **2.2.3 Storage**

Dengan perkembangan Internet dan teknologi informasi akhir-akhir ini, kebutuhan akan media penyimpan (*storage*) pada data center meningkat pesat dan media penyimpan menyumbang porsi yang besar dalam keseluruhan *power budget*. Lebih jauh lagi, semakin besarnya konsumsi daya listrik maka disipasi energi berupa panas juga semakin tinggi sehingga memerlukan alat pendingin yang memiliki kemampuan yang besar pula. Pengaruh kombinasi dari faktor di atas juga akan berimbas kepada terbatasnya kerapatan rak server. Semakin rendah kerapatan sebuah server akan memerlukan ruang yang lebih besar yang sudah pasti akan meningkatkan biaya operasional. Oleh karena itu sangat penting kiranya untuk mencari teknik konversi energi pada media penyimpan.

### **2.2.4 Pendinginan (Cooling)**

Pengelolaan suhu memegang peranan penting dalam data center saat ini, karena *power density* dari data center meningkat dengan pesat, yang sangat mungkin dapat mengakibatkan masalah kegagalan dalam penanganan panas yang timbul yang tentu saja akan mempengaruhi ketersediaan (*availability*) dari sistem. Kemudian, konsumsi daya oleh sistem pendingin merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam pembiayaan operasional dari data center. Meskipun para penyedia layanan cloud sudah mengetahui akan masalah ini, bukan perkara yang mudah untuk menyelesaikannya secara optimal, karena dipengaruhi oleh beberapa unsur termasuk unsur termodinamika dan aerodinamika.

## **2.3 Arsitektur Data Center**

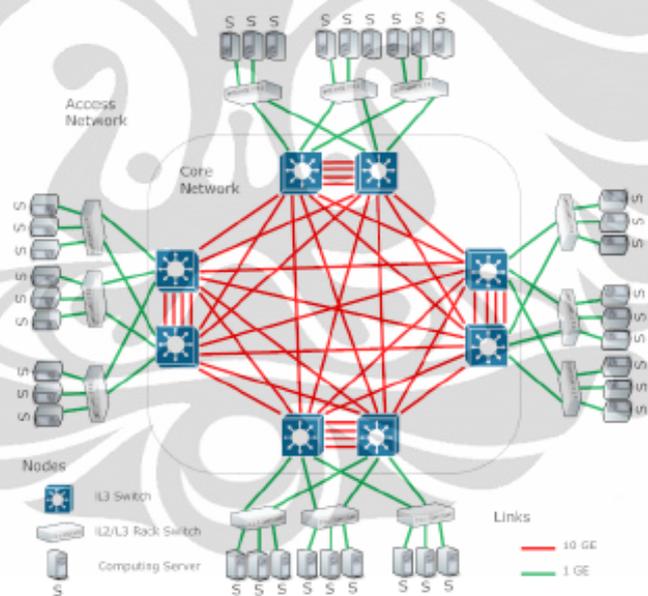
Kolam server pada sebuah data center saat ini mampu menangani sampai dengan 100.000 host dengan sekitar 70 % pelaksanaan komunikasi dilaksanakan secara internal[7]. Hal ini memberikan tantangan dalam merancang arsitektur jaringan

interkoneksi dan protocol komunikasinya.

Pada skala data center, arsitektur konvensional sering kali terjadi bottleneck disebabkan karena factor 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.

### 2.3.1 Arsitektur Data Center Two-tier

Berdasarkan struktur yang diperlihatkan pada Gambar 2.2, 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.



Gambar 2.2 Arsitektur Data Center Two-tier

Sumber : Dzmityr Kliazovich, Pascal Bouvry, Samee Ullah Khan, "GreenCloud : A Packet Level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers", diterbitkan online oleh Springer 09 November 2011.

Ruting *Equal Cost Multi-path* (ECMP) digunakan sebagai teknologi *load balancing* untuk mengoptimalkan aliran data yang melewati jalur jamak.

Universitas Indonesia

Arsitektur two-tier telah bekerja dengan baik pada data center generasi awal dimana jumlah server yang masih terbatas. Tergantung dari jenis *switch* yang dipakai pada jaringan akses (*access network*), arsitektur two-tier dapat mendukung sampai dengan 5500 *node*. Jumlah dari *core switch* dan kapasitas dari *core link* menyatakan *bandwidth* jaringan maksimum yang dialokasikan pada setiap server.

### 2.3.2 Arsitektur Data Center Three-tier

Arsitektur jenis ini adalah yang paling banyak dipakai saat ini. Arsitektur ini terdiri atas lapisan :

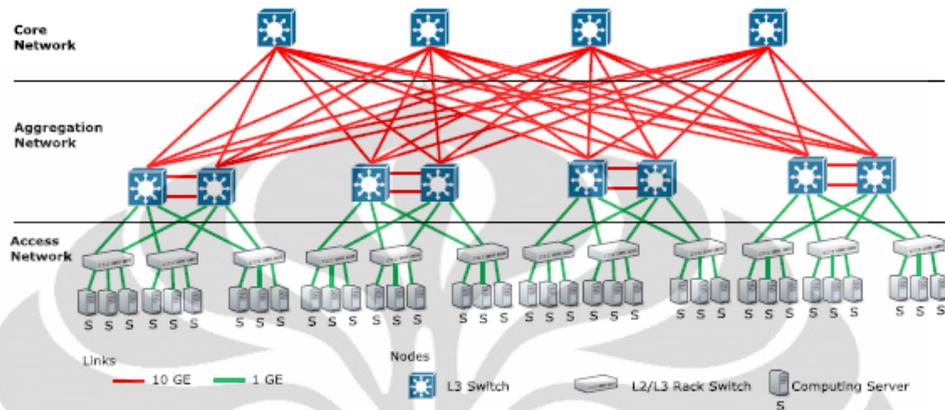
- a. *Access*
- b. *Aggregation*
- c. *Core*

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*.

Karena jumlah maksimum jalur pada ECMP yang diijinkan adalah delapan, maka pada arsitektur *three-tier* terdiri atas delapan *core* (diperlihatkan hanya empat pada Gambar 2.3). Arsitektur ini menerapkan 8 jalur ECMP yang sudah termasuk ke dalamnya 10 GE *Line Aggregation Groups* (LAGs) yang memungkinkan sebuah jaringan *client* mengalami beberapa *link* dan port jaringan dengan alamat MAC tunggal.

Sementara teknologi LAG adalah sebuah metodologi yang sangat baik bagi peningkatan kapasitas dari link, namun kegunaannya memiliki beberapa kekurangan yang akan membatasi fleksibilitas jaringan dan unjuk kerja. LAG mengakibatkan sangat sulit untuk membuat perencanaan kapasitas untuk aliran data yang besar dan membuatnya tak dapat diperkirakan dalam hal hal kegagalan link. Lebih lanjut lagi, beberapa macam pola trafik misalnya ICMP dan *broadcast*

biasanya di-rutekan hanya melalui jalur tunggal. Belum lagi untuk konektivitas *full mesh* pada lapisan *core* pada jaringan memerlukan sejumlah pertimbangan dalam melakukan pengkabelan.



Gambar 2.3 Arsitektur Data Center Three-tier

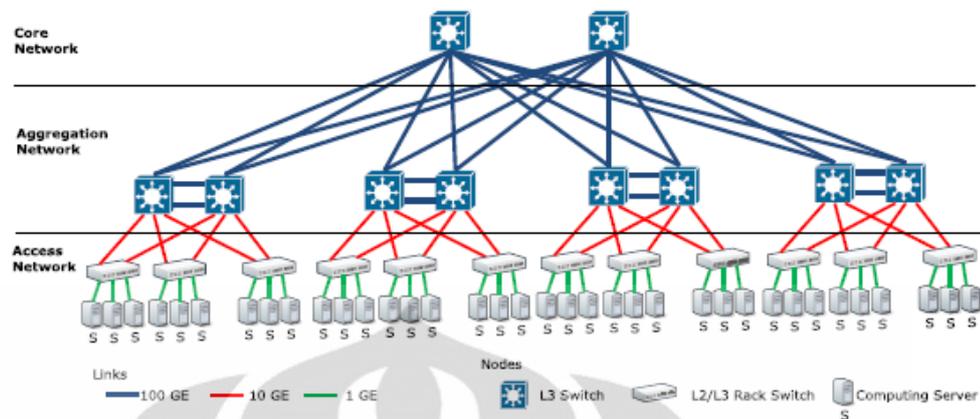
Sumber : Dzmityr Kliazovich, Pascal Bouvry, Samee Ullah Khan, "GreenCloud : A Packet Level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers", diterbitkan online oleh Springer 09 November 2011.

Dengan kekurangan-kekurangan di atas, maka dimasa yang akan datang dalam perencanaan data center perlu mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut,

- a. Meningkatkan kapasitas *core*
- b. Mengakses bagian dari jaringan menggunakan *link* dengan kapasitas di atas 10 GE

### 2.3.3 Arsitektur Data Center Three-tier High-speed

Arsitektur ini dirancang untuk mengoptimalkan jumlah *node*, kapasitas *core* dan jaringan agregasi yang biasa mengalami *bottleneck*[3]. Arsitektur ini hampir mirip dengan three-tier hanya saja link antara core dan aggregation memiliki kapasitas 100 GE seperti tampak pada Gambar 2.4 berikut



Gambar 2.4 Arsitektur Data Center Three-tier High-speed

Sumber : Dzmityr Kliazovich, Pascal Bouvry, Samee Ullah Khan, "GreenCloud : A Packet Level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers", diterbitkan online oleh Springer 09 November 2011.

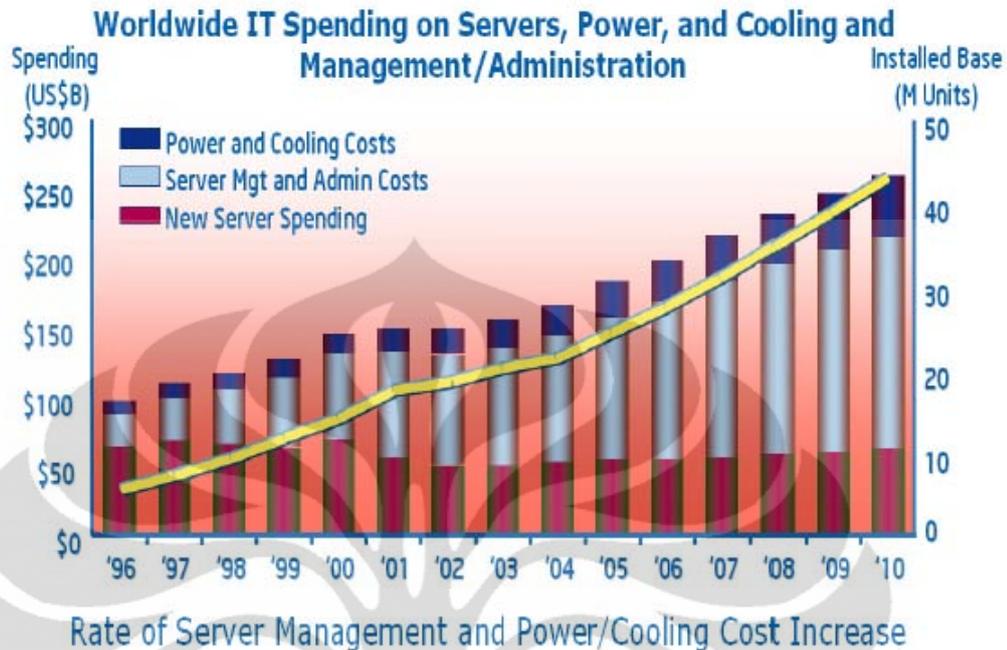
Dengan kapasitas *link* antara *core* dan *aggregation* sebesar 100 GE maka akan mengurangi jumlah *switch* pada *core*, menghindari kekurangan teknologi LAG, mengurangi pengkabelan, dan meningkatkan ukuran maksimum dari data center akibat adanya keterbatasan fisik. Lebih sedikit jalur ECMP akan lebih fleksibel dan meningkatkan unjuk kerja jaringan.

#### 2.4 Skema Penghematan Data Center

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 2.5 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[9].

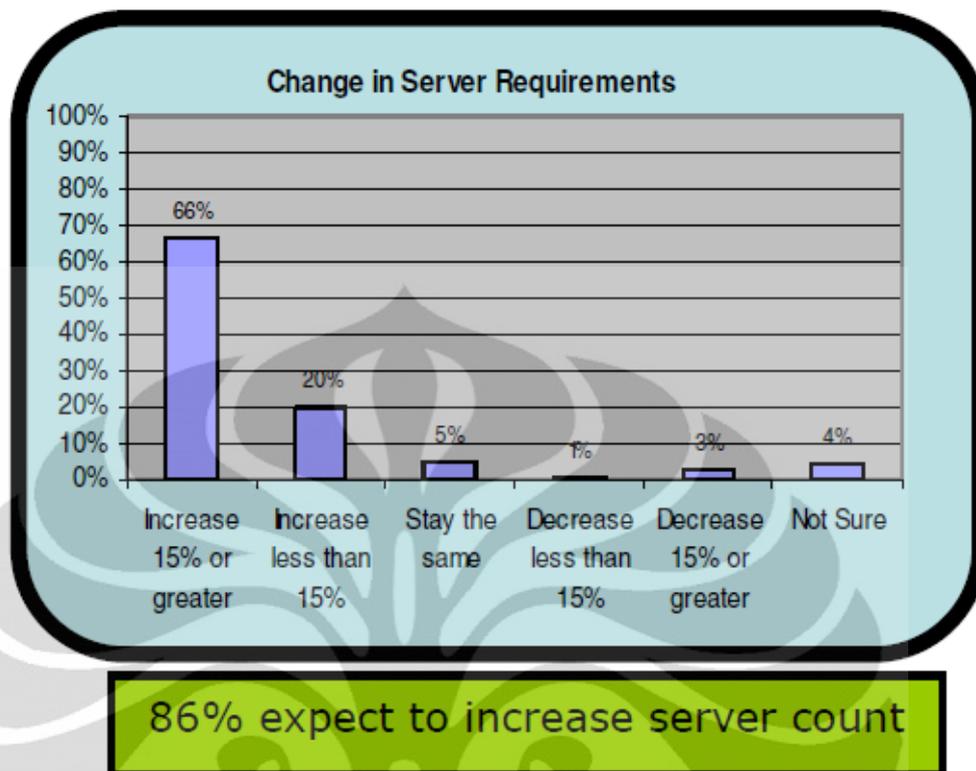


Gambar 2.5 Struktur Pembiayaan Data Center dan Kecenderungannya

Sumber : Filani David-Intel Corp, "Dynamic Data Center Power Management: Trends, Issues, and Solutions", Intel Technology Journal, Volume 12, Issue 1, 2008

Lebih buruk lagi, masih ada kebutuhan untuk menambah server baru untuk mendukung solusi bisnis baru seperti ditunjukkan Gambar 2.6. Oleh karena itu, data center saat ini menghadapi dua masalah besar yakni bagaimana mengembangkan layanan baru tetapi dengan konsekuensi meningkatkan konsumsi daya untuk komputasi dan pendinginan.

Berdasarkan server terakhir pada data center, faktor penghambat terbesar dalam pengembangan data center, senilai 59% adalah berasal dari konsumsi daya dan pendinginan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7[9].

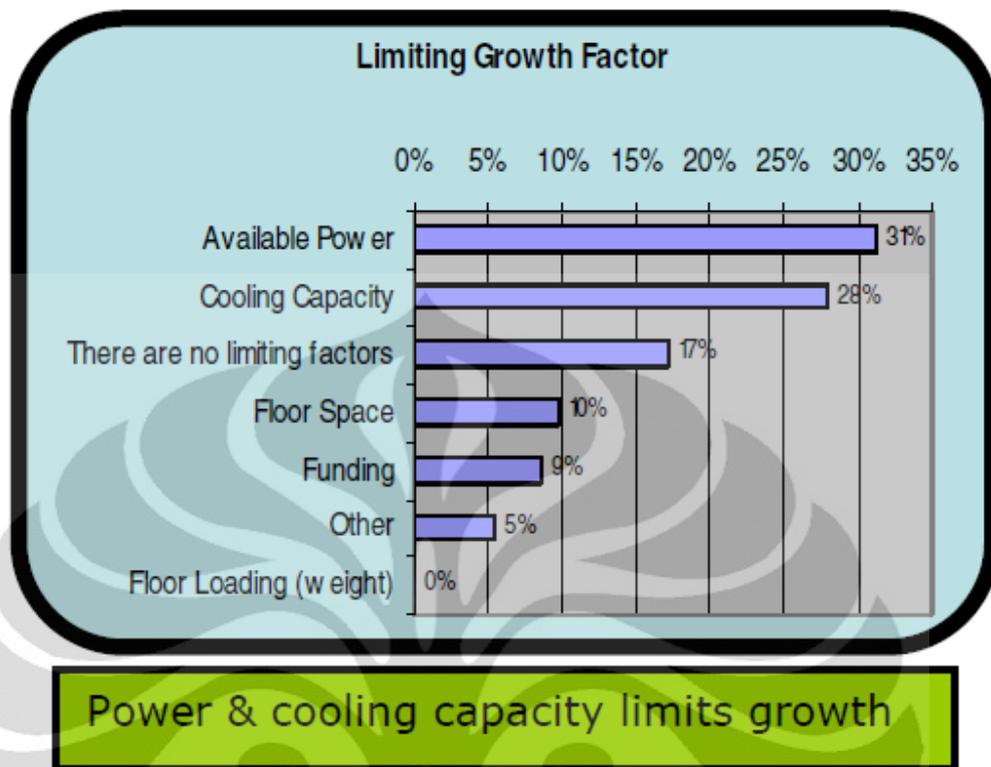


Gambar 2.6 Grafik Pertumbuhan Jumlah Server

Sumber : Filani David-Intel Corp, "Dynamic Data Center Power Management: Trends, Issues, and Solutions", Intel Technology Journal, Volume 12, Issue 1, 2008

Jika kecenderungan ini terus terjadi, kemampuan data center untuk menambah layanan baru akan terhambat. Untuk mengatasi hal ini, pengelola data center memiliki tiga pilihan sebagai berikut[9]

- 1 Menambah kapasitas daya dan pendingin
- 2 Membangun data center baru
- 3 Melakukan Pengelolaan Energi yang memaksimalkan penggunaan kapasitas yang ada



Gambar 2.7 Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan server

Sumber : Filani David-Intel Corp., "Dynamic Data Center Power Management: Trends, Issues, and Solutions", Intel Technology Journal, Volume 12, Issue 1, 2008

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

- *Dynamics Voltage and Frequency Scaling*(DVFS)
- *Dynamics Shutdown* (DNS)

#### **2.4 1 Dynamics Voltage and Frequency Scaling (DVFS)[11]**

*Dynamic Voltage Scaling* adalah pengelolaan daya pada arsitektur computer dimana tegangan yang digunakan oleh komponen dapat diturunkan atau dinaikan sesuai kebutuhan. *Dynamic Voltage Scaling* untuk menaikkan tegangan disebut

**Universitas Indonesia**

*overvolting* sedangkan untuk menurunkannya disebut *undervolting*. *Undervolting* dilakukan untuk konversi energy sedangkan *overvolting* dilakukan untuk meningkat 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 system embedded, laptop, PC sampai dengan sebuah sistem server.

DVFS mampu mengurangi konsumsi daya pada rangkaian terpadu CMOS seperti pada computer modern dengan menurunkan frekuensi operasi melalui persamaan

$$P = CfV^2 + P_{Static} \quad (2.1)$$

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 [11], 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

### 2.4.2 Dynamics Shutdown (DNS)

Dengan pertimbangan bahwa server yang dalam kondisi *idle* tetap mengkonsumsi energi sebesar 66% dari kapasitas penuhnya [11] maka pada mekanisme DNS, skema penghematan dilakukan dengan cara mematikan server yang dalam kondisi *idle* sehingga konsumsi energi bisa ditekan pada kondisi minimal.

## 2.5 Network Simulator (NS2)

Ns2 adalah sebuah simulator berorientasi obyek, *discrete event-driven simulator* yang dikembangkan oleh UC Berkeley ditulis menggunakan C++ dan Otcl. Ns2 sangat berguna dalam mengembangkan dan menyelidiki berbagai protokol jaringan, termasuk protokol untuk jaringan *wireless*.

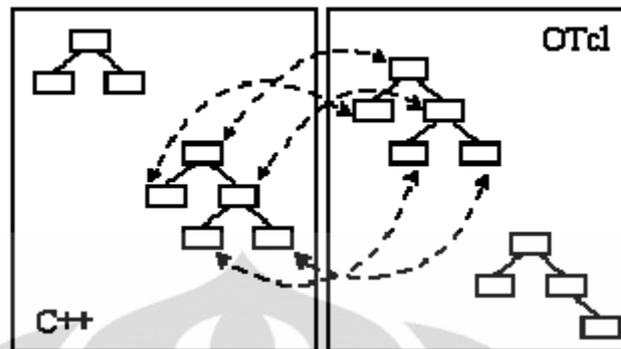
### 2.5.1 Arsitektur Perangkat Lunak

Ns memungkinkan untuk memberikan tambahan/ekstensi bagi penggunaannya. Ns menyediakan infrastruktur yang kaya dalam pembuatan protokol baru. Ns tidak menggunakan bahasa pemrograman tunggal yang menyajikan simulasi monolitik, melainkan menggunakan model split pemrograman dimana pelaksanaan model didistribusikan diantara dua bahasa, tujuannya adalah memberikan keleluasaan tanpa mengurangi kinerja. Secara khusus, pengolahan *event* tingkat rendah sampai simulasi packet forwarding yang memerlukan kinerja tinggi tidak akan sering dimodifikasi begitu dibuat. Oleh karena itu untuk keperluan ini, implementasinya menggunakan bahasa pemrograman C++. Di sisi lain, tugas-tugas seperti konfigurasi dinamis dari sebuah object protokol dan eksplorasi sejumlah skenario berbeda yang sering mengalami perubahan dalam proses simulasi, diimplementasikan dalam bahasa pemrograman Otcl.

### 2.5.2 C++ - Otcl Linkage

Ns2 mendukung kompilasi bertingkat dari class C++ yang mirip dengan interpreter class pada Otcl. Dari sudut pandang pengguna, ada korespondensi satu-satu antara interpreter class bertingkat dengan kompilasi class bertingkat seperti

pada Gambar 2.8 berikut



Gambar 2.8 C++ - Otcl Linkage

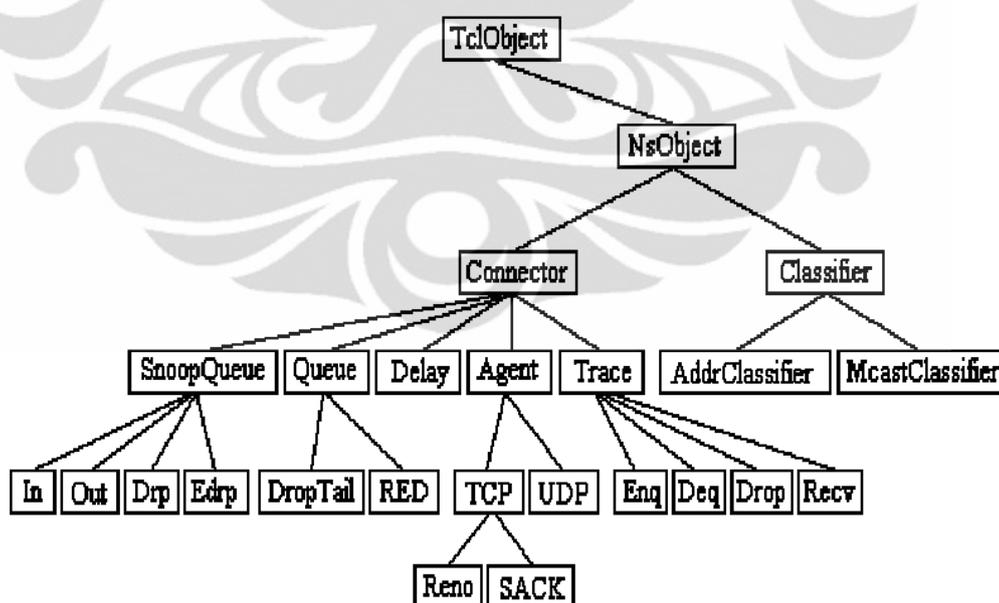
Class berikut bertanggungjawab dalam melakukan linkage antara C++ dengan Otcl :

- Class Tcl : class ini melakukan enkapsulasi terhadap obyek dari interpreter Otcl dan menyediakan method untuk mengakses dan berkomunikasi dengan interpreter. Class ini menyediakan method untuk mendapatkan referensi dari sebuah obyek Tcl, memanggil prosedur OTcl melalui interpreter, mendapatkan atau melewati hasilnya ke interpreter, menyimpan dan mencari obyek Tcl dan sebagainya.
- Class TclObject : adalah sebuah class super untuk hampir semua class pada interpreter dan compiler bertingkat. Setiap obyek pada class TclObject dibuat oleh user dari interpreter dan sebuah obyek bayangan yang sama juga terbentuk pada compiler bertingkat. Class TclClass-lah yang melakukan proses shadowing (pembentukan bayangan).
- Class TclClass : adalah class virtual yang terkompilasi murni. Class yang diturunkan dari class super ini menyediakan dua function : membangun interpreter class bertingkat dan pencerminannya terhadap compiler class bertingkat, dan menyediakan method yang akan menginisiasi obyek baru dari TclObject.
- Class Embedded Tcl : obyek pada class ini bertanggung jawab untuk menyimpan dan mengevaluasi beberapa script NS yang memerlukan inisiasi.

- Class InstVar : Class ini mendefinisikan method dan mekanisme untuk menggabungkan member variable C++ dengan instant variable dari obyek Tcl. Penggabungan ini memungkinkan pengaturan atau pelaksanaan variable dari dan ke interpreter atau kode terkompilasi.

### 2.5.3 Komponen Utama

Pada Gambar 2.9 berikut menunjukkan beberapa komponen utama pada NS bersama dengan tingkatan dari classnya. Root dari tingkatan class adalah TclObject class yang merupakan super class dari semua object pustaka Tcl. NSObject yang ada di bawah TclObject adalah super class untuk semua komponen dari obyek jaringan dasar yang akan menangani paket, yang terdiri dari obyek jaringan seperti node dan link. Komponen dasar jaringan kemudian dibagi dua lagi menjadi subclass yakni Connector dan Classifier, berdasarkan jumlah jalur/path keluaran dari data. Obyek jaringan dasar yang hanya memiliki satu jalur/path keluaran data berada di bawah class Connector, dan obyek switching yang memiliki lebih dari satu jalur/path keluaran data berada di bawah class Classifier.



Gambar 2.9 Komponen Utama pada NS

#### 2.5.4 GreenCloud

GreenCloud[4] adalah *packet level simulator* yang merupakan ekstensi dari Network Simulator Ns2 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 (*Infrastructure as a Service*) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1 di atas.

Jumlah simulator untuk *cloud computing* sebenarnya banyak sekali. Dari sekian banyak simulator, yang paling memuaskan adalah CloudSim. Simulator ini dikembangkan oleh *University of Melbourne* Australia pada tahun 2002. Simulator yang lain adalah MDCSim yang merupakan simulator data center terbaru hasil pengembangan *Pensylvania State University* tahun 2009. Simulator ini juga didukung oleh karakteristik perangkat keras khusus dari komponen data center seperti server, communication links dan switch dari beragam vendor dan mampu memperkirakan konsumsi daya data center. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan dari simulator cloud computing melalui perbandingan karakteristiknya.

*Platform(Bahasa/Script)*; GreenCloud dikembangkan sebagai sebuah ekstensi dari Ns2 dimana dikodekan dalam C++ dengan lapisan Pustaka OTcl diimplementasikan di atasnya. Ini adalah packet level simulator, artinya bahwa setiap kali sebuah data message harus ditransmisikan antara entitas simulator sebuah struktur paket dengan protocol headernya dialokasikan di memori dan seluruh pengolahan protocol yang berkaitan dengannya akan dilakukan. Sebaliknya pada CloudSim dan MDCSim adalah event-based simulator. Keduanya menghindari membangun dan memproses obyek simulasi kecil (seperti paket) secara tersendiri. Malah, pengaruh interaksi obyek akan tertangkap. Metode seperti ini akan mempecepat waktu simulasi, meningkatkan skalabilitas

namun mengurangi keakuratan hasil simulasi.

Tabel 2.1 Perbandingan Simulator Cloud[3]

Parameter	GreenCloud	CloudSim	MDCSim
Platform	Ns2	SimJava	CSIM
Bahasa/Script	C++/OTcl	Java	C++/Java
Ketersediaan	Open Source	Open Source	Komersial
Waktu Simulasi	Menit	Detik	Detik
Dukungan Grafis	Terbatas(nam)	Terbatas(CloudAnalysis)	Tidak ada
Model Aplikasi	Komputasi, Transfer Data, deadline eksekusi	Komputasi, Transfer Data	Komputasi
Model Komunikasi	Penuh	Terbatas	Terbatas
Dukungan TCP/IP	Penuh	Tidak ada	Tidak ada
Model Energy	Teliti (Server+network)	Tidak ada	Kasar(hanya server)
Model Penghematan Daya	DVFS,DNS dan keduanya	Tidak ada	Tidak ada

*Ketersediaan:* GreenCloud dan CloudSim dirilis secara open source sedangkan MDCSim tidak tersedia gratis untuk umum.

*Waktu simulasi:* waktu untuk melakukan simulasi tergantung dari banyak factor seperti scenario dan perangkat keras yang digunakan untuk menjalankan simulasi. Secara umum karena CloudSim dan MDCSim adalah event-base simulator waktu simulasinya lebih cepat dibandingkan dengan GreenCloud.

*Dukungan Grafis:* GreenCloud menyediakan terbatas dukungan grafis melalui Network Animator (NAM), CloudSim memerlukan tambahan tool yang disebut CloudAnalyst. MDCSim tidak disertai dukungan grafis.

*Model Aplikasi:* Ketiga simulator menerapkan user application model sebagai obyek sederhana yang menerangkan kebutuhan komunikasi untuk aplikasi.

*Model Komunikasi/Dukungan TCP/IP:* Salah satu keunggulan dari GreenCloud adalah menawarkan model komunikasi yang lengkap.

*Model Fisik:* GreenCloud detail mendeskripsikan arsitektur dari data center dan mampu menangkap perilaku dari masing-masing komponennya

*Model Energi:* GreenCloud adalah satu-satunya simulator data center yang mampu mengimplementasikan komponen-komponen yang ada pada data center seperti *computing server, switch core* dan rak.

*Model Pengelolaan Energi:* GreenCloud adalah satu-satunya simulator data center yang didukung oleh model penghematan daya yang berbeda, dimana tiga jenis skema penghematan dapat diterapkan yakni DVFS, DNS dan DVFS+DNS.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Efisiensi Energi

Hanya sebagian kecil dari energi yang dikonsumsi oleh data center digunakan oleh aktivitas komputasi pada server. Sebagian besar energi digunakan untuk menjaga saluran interkoneksi dan operasional peralatan jaringan. Sebagian energi lagi digunakan untuk sistem distribusi daya, hilang sebagai energi panas dan digunakan untuk sistem pendingin udara. Berkaitan dengan porsi konsumsi daya di atas, pada simulator *GreenCloud* konsumsi energi data center dibedakan menjadi tiga komponen konsumsi energi, yaitu :

- a) Energi Komputasi (*Computing Energy*),
- b) Energi Komunikasi (*Communicational Energy*)
- c) Komponen energi yang berkaitan dengan infrastruktur fisik dari data center.

Efisiensi dari data center dapat didefinisikan sebagai sebuah unjuk kerja yang diberikan per watt, yang dapat dikalkulasikan ke dalam dua parameter yakni :

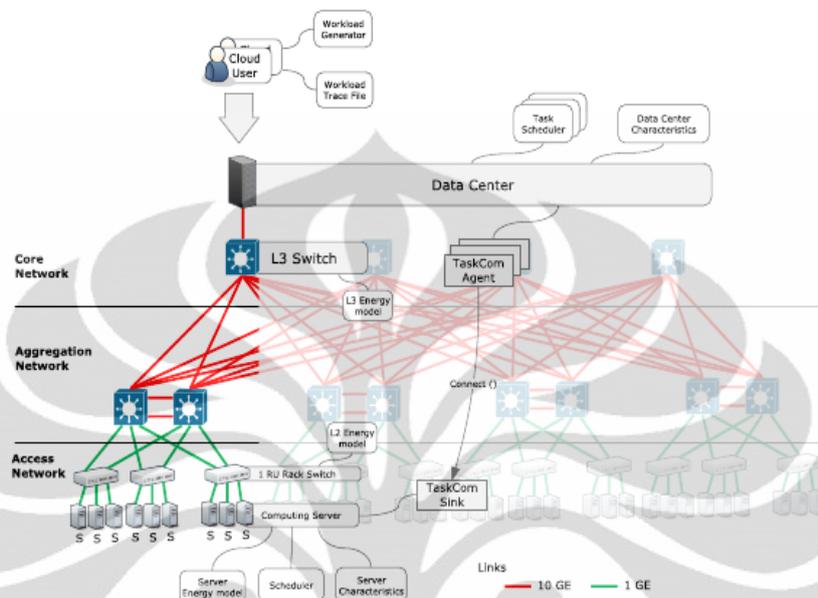
- a) *Power Usage Effectiveness* (PUE)
- b) *Data Center Infrastructure Efficiency* (DCiE)

Kedua parameter di atas akan menghitung seberapa besar porsi daya listrik yang digunakan untuk proses komputasi pada server terhadap seluruh konsumsi daya pada server.

#### 3.2 Struktur Simulator

*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 Gambar 3.1 berikut menunjukkan struktur dari ekstensi GreenCloud yang dipetakan ke dalam arsitektur *three-tier*.



Gambar 3.1 Arsitektur Simulator GreenCloud

Sumber : Dzmityr Kliazovich, Pascal Bouvry, Samee Ullah Khan, "GreenCloud : A Packet Level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers", diterbitkan online oleh Springer 09 November 2011.

**Server (S)** adalah bagian dari data center yang bertanggung jawab terhadap eksekusi dari sebuah tugas. Pada *GreenCloud*, komponen server mengimplementasikan node core tunggal yang memiliki batas daya pengolah (*processing power limit*) yang telah ditetapkan dalam MIPS (*million instructions per second*) atau FLOPS (*Floating Point Operations per Second*), yang berhubungan dengan ukuran dari memori/media penyimpanan dan memiliki mekanisme penjadwalan tugas (*task scheduling*) yang berbeda meliputi *round-robin*, DVFS dan DNS.

Server disusun ke dalam rak dengan sebuah switch *Top-of-Rack* (ToR) menghubungkannya dengan bagian akses dari jaringan. Model daya pada komponen server tergantung kepada keadaan server dan penggunaan CPU. Server yang dalam keadaan *idle* mengkonsumsi daya sebesar 66% dari total konsumsi daya server pada keadaan operasional penuh. Hal ini disebabkan karena dalam

Universitas Indonesia

keadaan *idle* pun server tetap harus mengelola modul memori, *disk*, sumber daya I/O dan perangkat lainnya. Kemudian konsumsi daya akan meningkat secara linier dengan meningkatnya beban dari CPU. Sebagai akibatnya, simulator ini menerapkan metode *power saving*.

Pilihan lain untuk pengelolaan daya adalah *Dynamic Voltage/Frequency Scaling* (DVFS) yang mengenalkan kaitan antara kinerja komputasi dengan konsumsi energi oleh server. Metode DVFS berdasarkan pada kenyataan bahwa konsumsi daya pada switch akan menurun secara proporsional terhadap  $V^2 \cdot f$ , dengan  $V$  adalah tegangan dan  $f$  frekuensi switch. Kemudian, penurunan tegangan memerlukan penurunan frekuensi sehingga ada relasi kubik dari frekuensi pada konsumsi daya CPU. Perhatikan bahwa komponen server meliputi bus, memori dan disk tidak tergantung pada frekuensi CPU. Oleh karena itu, konsumsi daya untuk server dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P = P_{fixed} + P_f \cdot f^3 \quad (3.1)$$

dengan  $P_{fixed}$  adalah bagian konsumsi daya yang tidak dipengaruhi oleh besarnya frekuensi  $f$  yakni konsumsi daya untuk menjaga operasional dari bus, memori dan disk, sedangkan  $P_f$  konsumsi daya yang dipengaruhi oleh frekuensi kerja dari CPU.

**Switch** dan **Link** membentuk interkoneksi yang akan menyalurkan beban kerja (*workload*) ke server untuk dilakukan eksekusi. Interkoneksi antara switch dan server memerlukan metode pengkabelan yang beragam tergantung besarnya *bandwidth* yang akan didukung, karakteristik fisik dan kualitas dari link. Kualitas dari transmisi sinyal yang diberikan oleh kabel menentukan baik tidaknya antara laju transmisi dan jarak dari link, yang merupakan faktor yang akan mempengaruhi dalam penentuan biaya atau *cost* dan konsumsi energi dari *transceiver*.

Kabel tembaga (*twisted pair*) adalah medium transmisi paling umum digunakan untuk jaringan Ethernet menengah yang mampu mendukung laju transmisi dalam Gigabit Ethernet (GE) sampai jarak 100 meter dengan konsumsi daya untuk

transceiver sebesar 0,4 W atau link 10 GE sampai jarak link 30 meter dengan daya yang diperlukan oleh transceiver sebesar 6 W. Kabel tembaga adalah solusi yang murah. Namun, untuk link sebesar 10 GE biasanya menggunakan serat optik multimode. Transmisi serat optik multimode mampu mentransmisikan sinyal sampai sejauh 300 meter dengan konsumsi daya transceiver sebesar 1 W[12]. Di sisi lain, biaya penggunaan serat optik 50 kali lebih besar dibandingkan dengan kabel tembaga sehingga hal ini memotivasi penggunaan link 10 GE hanya untuk jaringan *core* dan agregasi (*aggregation*) yang menurut[Greenberg, 2008] memakan porsi 10-20% dari keseluruhan biaya infrastruktur dari data center.

Jumlah switch yang diinstalasi tergantung kepada pengimplementasian arsitektur dari data center. Namun karena komputasi server biasanya disusun dalam rak, konfigurasi yang paling umum untuk switch pada data center adalah switch *Top-of-Rack*(ToR). Switch ToR biasanya diletakan di posisi paling atas dari unit rak (1RU) untuk mengurangi penggunaan kabel dan panas yang dihasilkan. Switch ToR dapat mendukung kecepatan dalam skala GE maupun 10 GE. Namun, switch dengan skala kecepatan 10 GE akan lebih mahal dan karena kapasitas saat ini untuk jaringan *aggregation* dan *core* masih terbatas, maka skala kecepatan GE yang paling banyak dipakai untuk rak.

Sama halnya dengan server, maka metode penghematan daya yang digunakan berdasarkan pada DVS *link*[15]. Metode DVS mengenalkan tentang pengendalian elemen pada setiap *port* dari switch yang tergantung pada pola *traffic* dimana pada tingkat tertentu dari penggunaan link dapat menurunkan laju transmisi. Akibat adanya kebutuhan akan komabilitas, hanya ada beberapa standar laju transmisi yang diizinkan, misalnya untuk link GE ada beberapa pilihan laju transmisi mulai dari 10 Mb/s, 100 Mb/s sampai 100 Mb/s.

Sebagai mana percobaan yang dilakukan[7], besarnya konsumsi energi oleh switch dan semua transceivernya dihitung berdasarkan persamaan :

$$P_{switch} = P_{chasis} + n_{linecards} + P_{linecard} + \sum_{i=0}^R n_{ports,r} + P_r \quad (3.2)$$

dengan  $P_{chasis}$  adalah konsumsi daya oleh perangkat keras switch,  $P_{linercard}$  daya yang dikonsumsi oleh setiap kartu jaringan yang aktif,  $P_r$  adalah daya yang dikonsumsi oleh port (*transceiver*) yang sedang berjalan dengan laju  $r$ . Menurut[16] hanya komponen terakhir yang dipengaruhi oleh laju dari link sedangkan komponen yang lain seperti  $P_{chasis}$  dan  $P_{linercard}$  besarnya tetap untuk semua durasi kerja dari switch. Oleh karena itu, besarnya  $P_{chasis}$  dan  $P_{linercard}$  dapat diabaikan dengan cara mematikan perangkat keras *switch* atau dibuat dalam *sleeping mode*.

Pada simulator *GreenCloud* diimplementasikan model energi untuk *switch* dan *link* berdasarkan kepada[16] dengan nilai konsumsi daya untuk elemen yang berbeda diambil urutannya berdasarkan[7]. Skema penghematannya meliputi :

1. Hanya DVFS
2. Hanya DNS
3. DVFS dan DNS

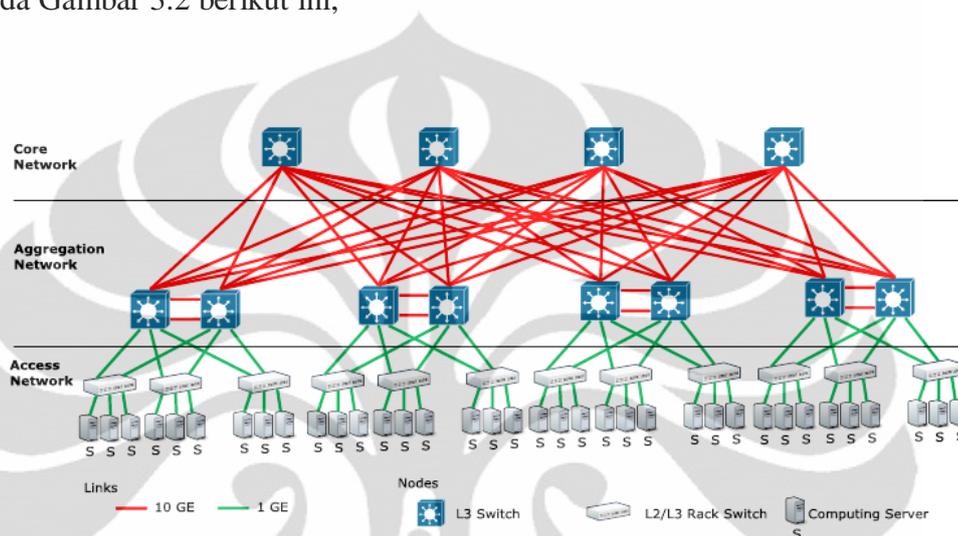
**Workload** (beban kerja) adalah obyek yang dirancang untuk pemodelan universal bagi berbagai macam pengguna layanan cloud, seperti misalnya jejaring sosial, *instant messaging*, dan *content delivery*. Pada *grid computing*, *workload* biasanya dimodelkan sebagai urutan pekerjaan (*job*) yang dibagi-bagi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

Pada komputasi awan, permintaan awal(*incoming request*) biasanya dibangkitkan untuk aplikasi seperti *web browsing*, *instant messeging* atau berbagai macam aplikasi *content delivery*. *Job*-nya cenderung lebih independen,tidak begitu memerlukan komputasi yang intensif, namun harus memenuhi syarat pembatasan waktu yang ketat berdasarkan SLA (*Service Level Agreement*). Untuk agar dapat mencakup semua jenis aplikasi *cloud*, maka didefinisikan tiga jenis job, yaitu[3] :

- a) *Computationally Intensive Workloads* (CIWs) 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 perutean *traffic* yang dihasilkan menggunakan sesedikit mungkin rute. Tidak ada kekhawatiran akan terjadinya kongesti pada jaringan karena transfer data yang terjadi ada pada level minimal, dan mengkondisikan hampir semua switch ke dalam sleep mode sehingga konsumsi daya data center berada pada level terendah.
- b) *Data-Intensive Workloads* (DIWs) adalah model kebalikan dari CIW dimana pada model ini memerlukan transfer data yang besar dan hampir tidak ada pembebanan pada server. DIM adalah model yang digunakan untuk mendekati aplikasi seperti *video sharing* dimana setiap user melakukan *request* terhadap proses *video streaming*. Sebagai akibatnya, pada jaringan interkoneksi sangat mungkin terjadi *bottleneck*. Idealnya harus ada implementasi umpan balik yang berkesinambungan antara elemen jaringan (*switch*) dengan pusat penjadwalan *workload*. Berdasarkan jenis umpan balik tertentu, penjadwal akan menghindari mendistribusikan *workload* kepada jaringan yang mengalami kongesti. Beberapa diantaranya mampu menyeimbangkan traffic pada jaringan data center dan mengurangi waktu rata-rata yang diperlukan untuk sebuah task dialirkan dari *core switch* ke *computing server*.
- c) *Balanced Workloads* (BWs) bertujuan untuk memodelkan aplikasi yang memiliki kemampuan komputasi seperti CIW dan transfer data seperti DIW. BW akan membebani *computing server* dan *communication link* secara proporsional. Dengan jenis *workload* seperti ini, rata-rata beban pada server sama dengan rata-rata beban pada jaringan data center. BW adalah model untuk aplikasi semacam Sistem Informasi Geografis yang memerlukan transfer data yang besar sekaligus pemrosesan data yang besar. Penjadwalan untuk BW akan memperhitungkan beban server dan jaringan interkoneksi.

### 3.3 Evaluasi Kinerja

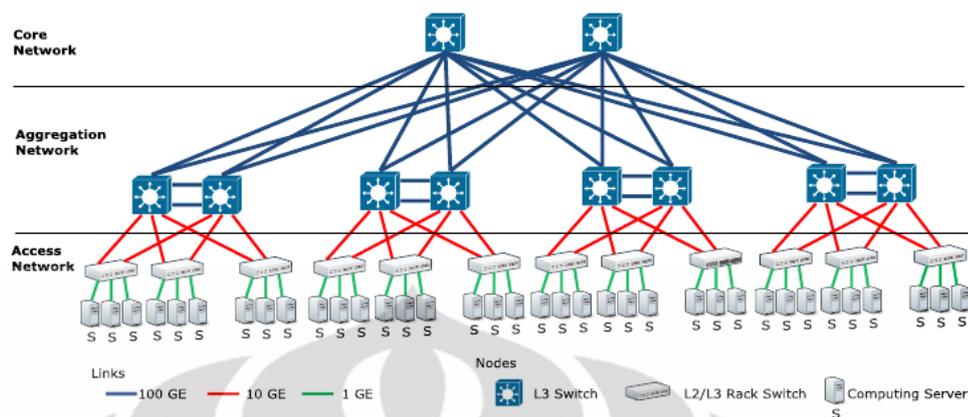
Pada bagian ini akan dilakukan studi kasus perhitungan konsumsi energi pada data center untuk arsitektur two-tier(2T) dan three-tier (3T) yang meliputi *three-tier fat-tree(3Tft)* dan *Three-tier high-speed (3Ths)*. Pada arsitektur *three-tier* ini, data center terdiri atas lapisan *Access*, *Aggregation* dan *core* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut ini,



Gambar 3.2 Arsitektur data center Three-tier Simulasi.

Sumber : Dzmityr Kliazovich, Pascal Bouvry, Samee Ullah Khan, "GreenCloud : A Packet Level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers", diterbitkan online oleh Springer 09 November 2011.

Sedangkan untuk arsitektur 3Ths, hampir sama dengan 3Tft, dirancang untuk mengoptimalkan jumlah node, kapasitas *core*, jaringan *aggregation* yang biasanya menimbulkan *bottleneck*, dengan memaksimalkan jumlah node atau bandwidth per nodenya seperti tampak pada Gambar 3.3.

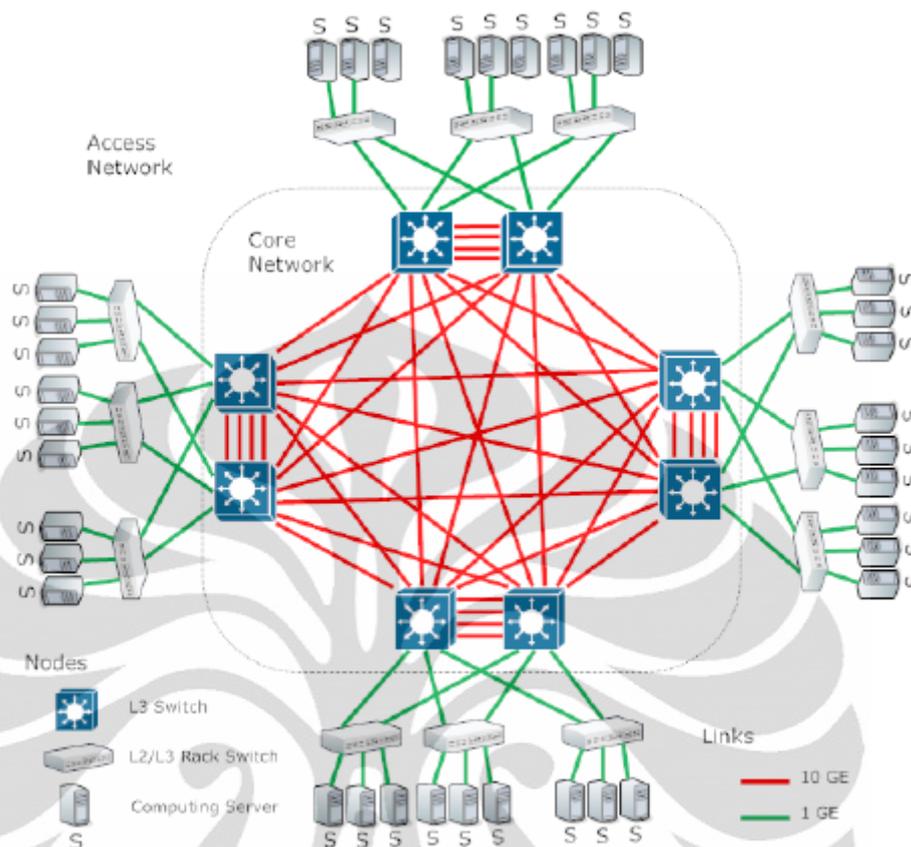


Gambar 3.3 Arsitektur Data Center Three-tier High-speed Simulasi.

Sumber : Dzmityr Kliazovich, Pascal Bouvry, Samee Ullah Khan, “GreenCloud : A Packet Level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers”, diterbitkan online oleh Springer 09 November 2011.

Untuk arsitektur *Two-tier*, bentuknya hampir sama dengan *Three-tier*, namun tidak memiliki lapisan aggregation, jadi dari core langsung dihubungkan dengan access switch seperti terlihat pada Gambar 3.4.

Secara umum, arsitektur dari data center saat ini paling banyak menggunakan Three-tier dengan berbagai macam konfigurasi. Arsitektur 3Tft menggunakan lebih sedikit switch namun dapat menampung jumlah server yang sama dengan bandwidth pada jaringan interkoneksinya merata. Pada arsitektur 3Ths, menyediakan bandwidth yang lebih besar terutama dengan sudah tersedianya link sebesar 100 GE (IEEE 802.3ba) antara lapisan *core* dan *aggregation switch*, mengurangi jumlah core switch, pengkabelan yang lebih hemat dan meningkatkan jumlah maksimum ukuran dari data center.



Gambar 3.4 Arsitektur Data Center Two-tier

Sumber : Dzmitry Kliazovich, Pascal Bouvry, Samee Ullah Khan, "GreenCloud : A Packet Level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers", diterbitkan online oleh Springer 09 November 2011.

Bandwidth antara lapisan *core* dan *aggregation* didistribusikan menggunakan teknologi *Multi-Path Routing* seperti routing ECMP (*Equal Cost Multi-Path*). 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.

Tabel 3.1 Skenario Parameter Simulasi

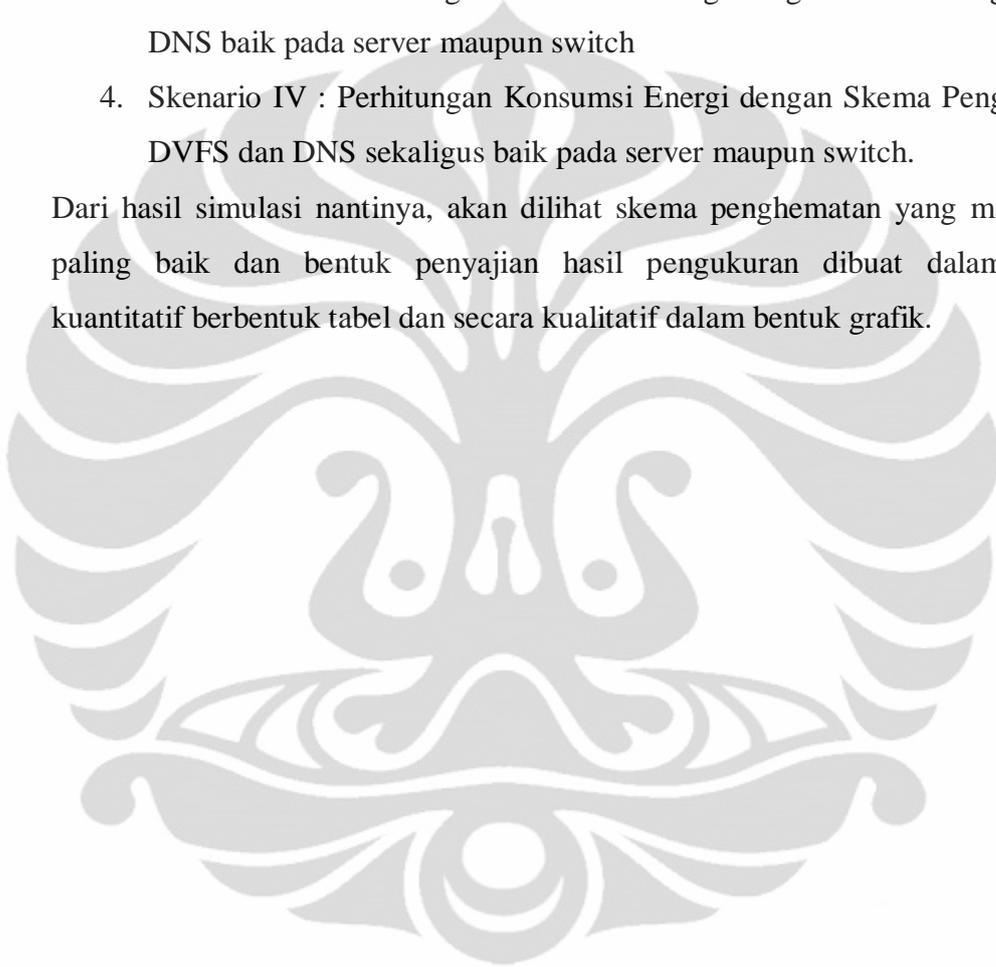
Parameter		Arsitektur Data Center		
		Two-tier	Three-tier fat-tree	Three-tier high-speed
Topologi	Jumlah Core (C1)	16	8	2
	Aggregation node (C2)	-	16	4
	Access Switch (C3)	64	128	512
	Server (S)	3072	3072	3072
	Link (C1-C2)	10 GE	10 GE	100 GE
	Link (C2-C3)	1 GE	1 GE	10 GE
	Link (C3-S)	1 GE	1 GE	1 GE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

Penentuan parameter simulasi mengacu pada [3] dengan perbedaan pada jenis workload. Jika pada [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 3T<sub>fs</sub> merupakan peningkatan dari 3T<sub>ft</sub> 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 3T<sub>fs</sub> sebagaimana mekanisme jumlah jalur pada ruting ECMP dibatasi hanya sebanyak dua (2) buah untuk melayani jumlah switch pada lapisan access yang sama jumlahnya dengan arsitektur 2T dan 3T<sub>ft</sub>.

Selanjutnya simulasi akan dibagi ke dalam 4 buah skenario berdasarkan parameter pada Tabel 3.1 di atas 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 nantinya, 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.



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Pendahuluan

Setelah dilakukan simulasi, maka pada Bab ini akan dianalisa hasil dari simulasi pada Bab sebelumnya. Adapun hasil simulasi yang telah diperoleh adalah berdasarkan skenario parameter simulasi seperti pada Tabel 3.1 untuk masing-masing arsitektur dengan dan tanpa manajemen penghematan energi baik pada server maupun switch. Simulasi dijalankan menggunakan Simulator GreenCloud versi 1.02 yang merupakan ekstensi dari NS-2 versi ns-2.35. Simulator dijalankan pada Sistem Operasi Ubuntu 11.10 Oneiric Ocelot 32-bit dengan spesifikasi komputer : RAM 2 GB, Processor Intel® Core™2 Duo CPU E7500 @ 2.93GHz × 2.

Simulator GreenCloud dapat diunduh pada[4] dan di dalamnya sudah tercakup ns-2.35 dan paket-paket pendukung seperti tcl, otcl, tk dan tclcl. Proses penginstalan secara garis besar dilakukan dengan langkah sebagai berikut,

1. Unduh berkas *Greencloud-v1.02.tar.gz*
2. Ekstrak berkas pada direktori *home*
3. Lakukan instalasi *tcl*, *otcl*, *tk* dan *tclcl* dengan menjalankan perintah *configure*, *make* dan *make install* pada direktori masing-masing paket yang sesuai
4. Kompilasi simulator *GreenCloud* dengan cara memberikan perintah *configure*, *make* dan *make install* pada direktori *../ns2/ns-2.35gc*
5. Kembali ke direktori */home/greencloud-v1.02*
6. Lakukan proses simulasi dengan mengeksekusi file *Simulation\_DC.tcl* dengan cara memberi perintah *run*.

File simulasi yang dijalankan terdiri atas dua file yakni *setup\_params.tcl* yang digunakan untuk mengubah-ubah parameter simulasi terutama untuk pemilihan skema efisiensi energi. Sedangkan file yang kedua adalah *Simulation\_DC.tcl* adalah file yang akan di-*running* untuk melakukan simulasi dan menentukan jenis

dari arsitektur dari data center, yang selanjutnya akan menentukan jumlah dari jaringan *core*, *Aggregation* dan *Access*. Gambar 4.1 berikut menunjukkan *screenshot* dari hasil simulasi pada arsitektur Three-tier(3Tft).

```

*****
BUILDING TOPOLOGY
*****

Data center architecture: three-tier
Creating switches CORE(8) AGGREGATION (16) ACCESS(128)...
num_nodes is set 16
Creating 3072 servers...
Creating 2 CloudUsers...

*****
PARAMETERS FOR THE SIMULATION
*****

DC Computing Capacity: 3072000000 MIPS
Task generation rate: 921.6 tasks-per-second (737.28 Mbits/s)

Progress to      0 %
Progress to     10 %
Progress to     20 %
Progress to     30 %
Progress to     40 %
Progress to     50 %
Progress to     60 %
Progress to     70 %
Progress to     80 %
Progress to     90 %
Progress to    100 %
*****
SIMULATION REPORTS
*****
-
Total tasks submitted: 53395
DC load: 27.8%
-
Energy consumed by servers: 4280.3 W*h
Energy consumed by switches: Core(0.1 W) Aggregation(0.1 W)
Access(0.4 W) - 0.6 W
Average tasks per server: 17.00
Average load per server: 0.27751003102467975

*****
BUILDING GRAPHS
*****

Simulation time: 65 minutes

```

Gambar 4.1 Contoh *Screenshot* Hasil Simulasi

Pada Gambar 4.1, setelah dilakukan eksekusi, pada hasil simulasi ada beberapa parameter yang dihasilkan. Yang pertama adalah pembangunan topologi sesuai dengan setting topologi pada file *simulation\_DC.tcl*.

```
set sim(dc_type) "three-tier"; # dengan pilihan "two-tier",
"three-tier", dan "three-tier high-speed"
```

Gambar 4.2 Kode Pemilihan Jenis Arsitektur Data Center

Pada Gambar 4.2 di atas, jenis arsitektur data center yang dipilih adalah *three-tier*. Pada arsitektur ini, jumlah *switch* pada lapisan *core* adalah 8, pada lapisan *aggregation* jumlah *switch*nya dua kali jumlah *switch* pada *core* sehingga berjumlah 16, dan pada lapisan *access* berjumlah 128 buah *switch*. Dengan jumlah masing-masing *switch* pada lapisan seperti di atas, dan masing-masing *switch* pada lapisan *access* terhubung dengan 3 buah server, maka jumlah total server adalah 3072. Penetapan jumlah *switch* dapat dilakukan pada file *simulation\_DC.tcl* pada bagian yang tampak pada Gambar 4.3 berikut,

```
# SWITCHES
switch $sim(dc_type) {
  "two-tier" {
    set top(NCore) 16;
    set top(NAggr) [expr 2*$top(NCore)];
    set top(NAccess) 64;
    set top(NRackHosts) 3;
  }
  "three-tier high-speed" {
    set top(NCore) 2;
    set top(NAggr) [expr 2*$top(NCore)];
    set top(NAccess) 512;
    set top(NRackHosts) 3;
  }
  "three-tier debug" {
    set top(NCore) 8;
    set top(NAggr) [expr 2*$top(NCore)];
    set top(NAccess) 4;
    set top(NRackHosts) 3;
  }
  "three-tier" {
    set top(NCore) 8;
    set top(NAggr) [expr 2*$top(NCore)];
    set top(NAccess) 128;
    set top(NRackHosts) 3;
  }
}
```

Gambar 4.3 Kode Program Untuk Menentukan Jumlah Switch

Selanjutnya penetapan jumlah `cloud_user` yakni sebanyak 2 dengan jenis *workload* adalah HPC atau CIW, kapasitas komputasi data center (*DC Computing Capacity*) yang diperoleh dari perkalian antara jumlah total server dengan beban masing-masing server dalam MIPS dan pada bagian akhir ditampilkan total konsumsi energi listrik untuk server dan switch pada lapisan *core*, *aggregation* dan *access*.

#### 4.2 Konsumsi Energi Tanpa Skema Penghematan

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 4.1 berikut

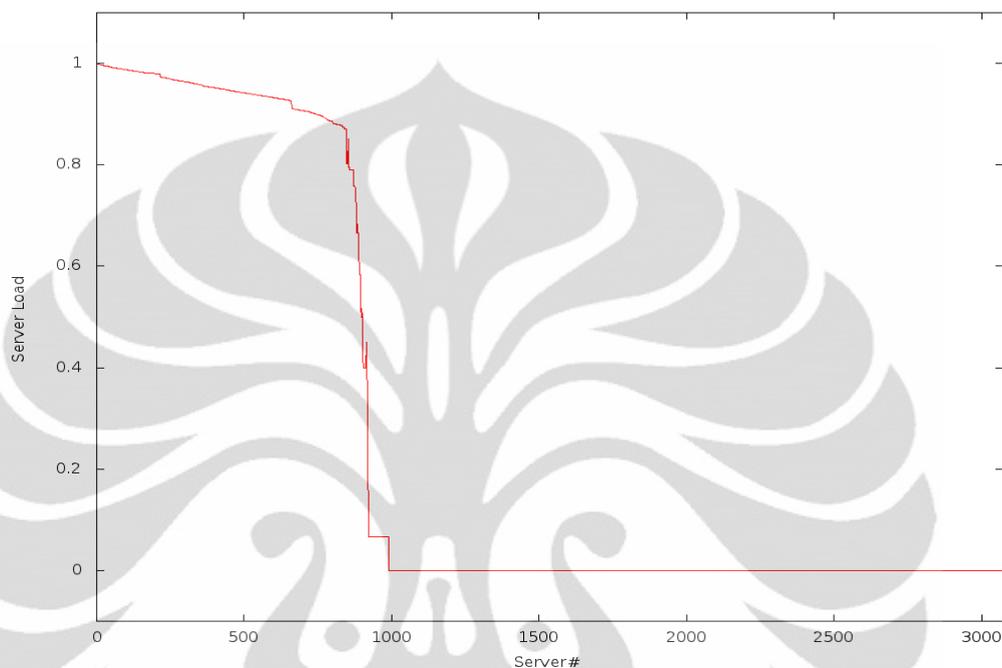
Tabel 4.1 Distribusi Konsumsi Energi DC tanpa Skema Penghematan

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%

Dari Tabel 4.1 di atas, 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 konsumsinya maka pengaruh paling tinggi dialami oleh switch di lapisan access.

Pada Gambar 4.4 lebih jelas lagi terlihat bahwa pada skema tanpa penghematan energi, hanya sekitar 30% atau sepertiga dari seluruh kapasitas server(kurva sebelah kiri grafik) yang berada pada *peak rate*. Sedangkan hampir 2/3 dalam

kondisi *idle* 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.



Gambar 4.4 Distribusi Beban Kerja Pada Server Tanpa Skema Penghematan

### 4.3 Konsumsi Daya Dengan Skema Penghematan Energi DVFS

Skenario kedua seperti ditunjukkan oleh Tabel 4.2 adalah hasil simulasi dari arsitektur data center dengan metode penghematan menggunakan skema DVFS.

Tabel 4.2 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)
Data Center	2865,6015	2865,3733	2865,9687
Server	2861,2199(99,85%)	2861,1909(99,86%)	2861,6929(99,85%)
Switch	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%

Pada skema penghematan menggunakan DVFS seperti hasilnya terlihat pada Tabel 4.2 di atas, tampak bahwa konsumsi daya meningkat pesat pada server sedangkan pada switch besarnya tidak terlalu berbeda jauh dengan tanpa skema penghematan seperti pada Tabel 4.1. 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 ini memerlukan lebih besar daya listrik namun dilaksanakan oleh jumlah server yang lebih sedikit. Ini terlihat pada besarnya DC load yakni dikisaran 18,8% dibandingkan dengan 27,8% yang ada pada skenario pertama.

#### 4.4 Konsumsi Daya dengan Skema Penghematan Energi DNS

Skenario ketiga ini menggunakan skema Penghematan Energi *Dynamic Shut-down* yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut,

Tabel 4.3 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)
Data Center	4281,06	4280,95	4280,95
Server	4280,30(99,98%)	4280,30(99,98%)	4280,30(99,99%)
Switch	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%

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%.

#### 4.5 Konsumsi dengan Skema Penghematan Energi DVFS dan DNS

Skenario ke empat ini menggunakan skema Penghematan Energi DVFS dan DNS yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut,

Tabel 4.4 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)
Data Center	2859026,06	2858996,96	2859499,08
Server	2859025,30(100%)	2858996,30(100%)	285998,30(100%)
Switch	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%

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.

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

#### 4.6 Evaluasi Perbandingan Pada Arsitektur Three-tier

Pada bagian ini akan dilakukan evaluasi perbandingan untuk arsitektur three-tier dengan atau tanpa metode penghematan dengan beberapa parameter yang dihasilkan dari proses simulasi.

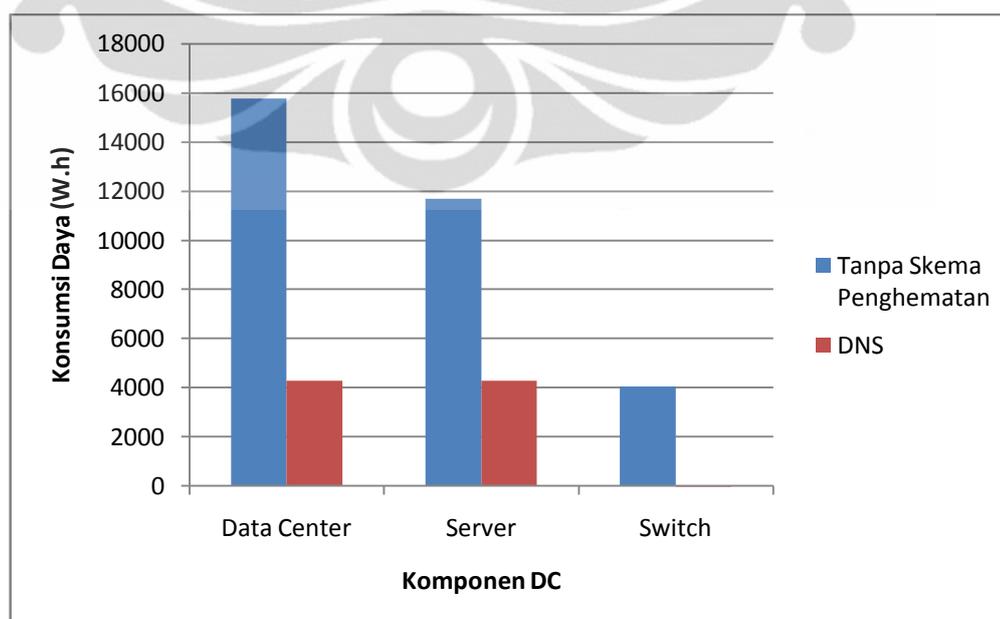
Untuk konsumsi energi pada Data Center untuk arsitektur three-tier, ditampilkan pada Tabel 4.5 berikut, Dari Tabel 4.5, tidak seperti dari hasil[3], mekanisme penghematan DVFS tidak berhasil mengurangi konsumsi daya bahkan meningkat tajam. Hal ini disebabkan karena pada skema DVFS server yang pada kondisi *idle*

tetap mengkonsumsi energy(kurang lebih sebesar 66% daripada saat kapasitas penuh) karena tidak di-*shutdown*. Meskipun berhasil menurunkan beban data center (DC Load) sebesar 18,8% namun dengan jumlah server yang aktif lebih sedikit dan beban kerja yang sama ternyata menghasilkan konsumsi energi yang meningkat. Sedangkan pada skema DNS, server yang dalam kondisi idle dinonaktifkan sehingga pengaruhnya sangat besar dalam pengurangan konsumsi energi, dan karena jenis *workload*nya adalah HPC dimana hampir seluruh proses komputasi dari permintaan user berlangsung di server, skema DNS cukup berhasil untuk menekan konsumsi daya listrik pada data center secara keseluruhan.

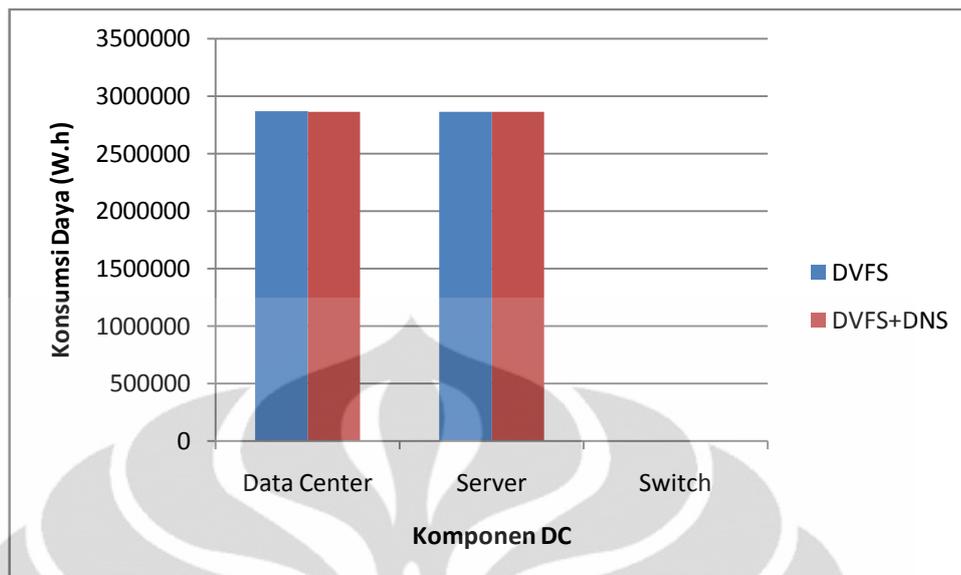
Tabel 4.5 Perbandingan Konsumsi Daya dengan Berbagai Skema

Parameter	Konsumsi Daya (Wh)			
	Tanpa Skema Penghematan	DVFS	DNS	DVFS+DNS
Data Center	15755,6	2865373,3	4280,95	2858996,96
Server	11701,0	2861190,9	4280,30	2858996,30
Switch	4054,6	4182,4	0,65	0,30
DC Load	27,8%	18,8%	27,8%	18,8%

Bila disajikan ke dalam chart, seperti Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 berikut masing-masing untuk tanpa skema dan DNS serta skema DVFS dan DVFS+DNS

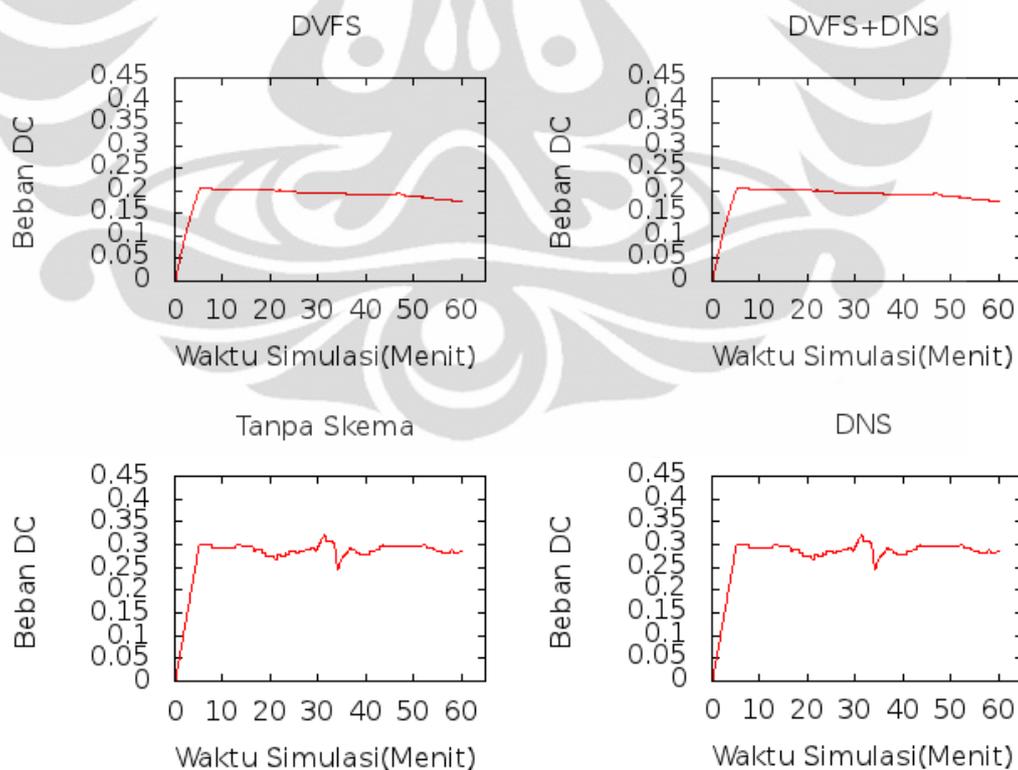


Gambar 4.5 Konsumsi Energi DC tanpa skema dan skema DNS



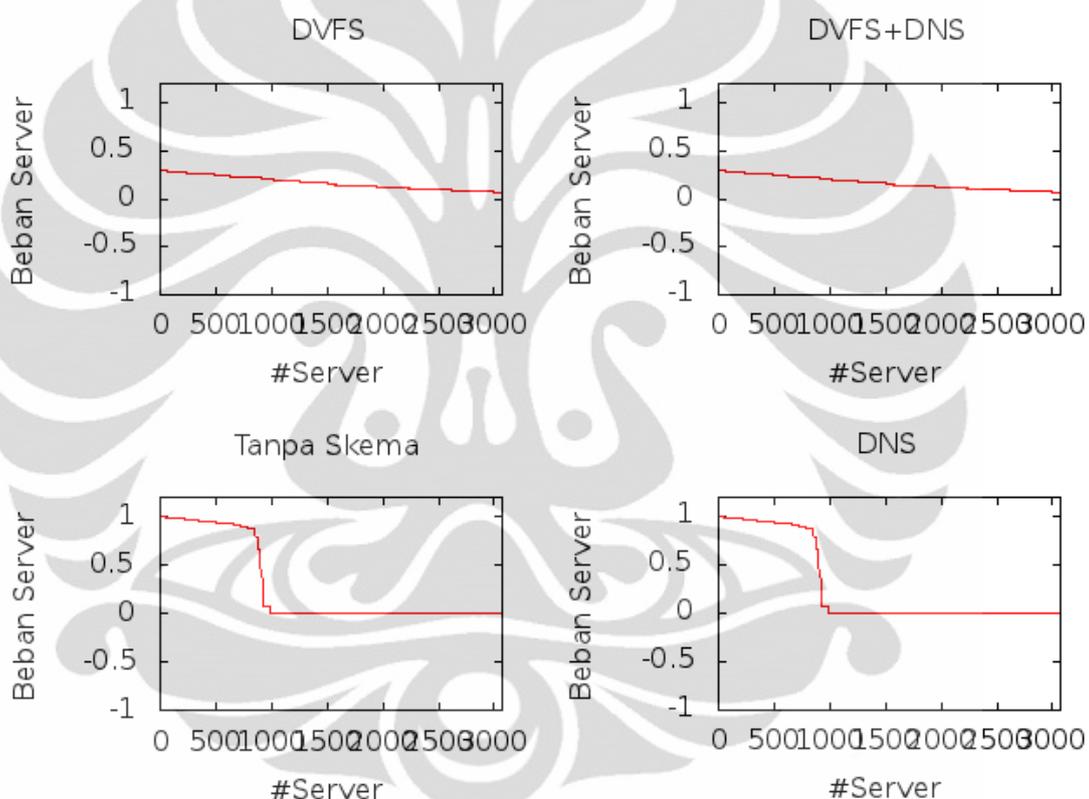
Gambar 4.6 Konsumsi Energi DC untuk skema DVFS dan skema DVFS+DNS

Pada Gambar 4.7 berikut ditunjukkan hasil simulasi untuk beban data center terhadap waktu simulasi untuk berbagai skema.



Gambar 4.7 Grafik Beban Data Center terhadap Waktu Simulasi untuk Berbagai Skema Penghematan

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 4.8 berikut, 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 energy cukup besar karena menurut [10] meskipun dalam keadaan *idle*, server-server tersebut mengkonsumsi energi sebesar 66% dari kondisi terbebani penuh.

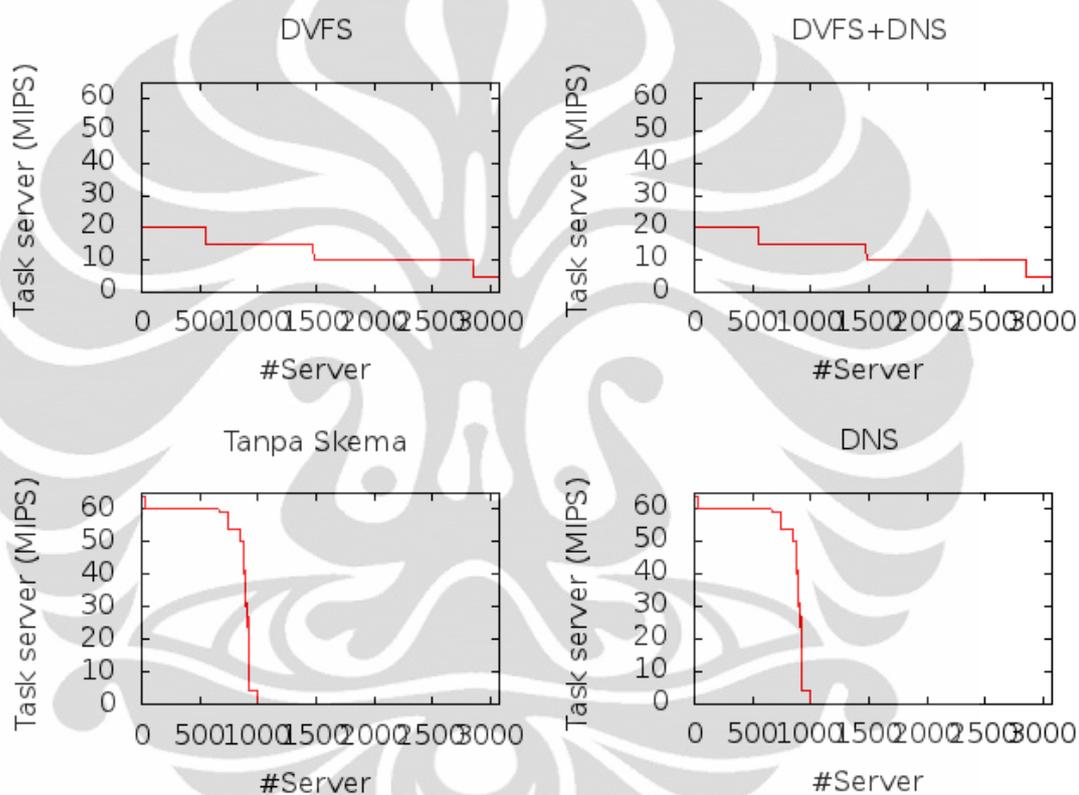


Gambar 4.8 Grafik Sebaran Beban Server terhadap banyaknya server untuk berbagai skema penghematan

Bila dibandingkan dengan skema DNS pada Gambar 4.8 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-shotdown 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.

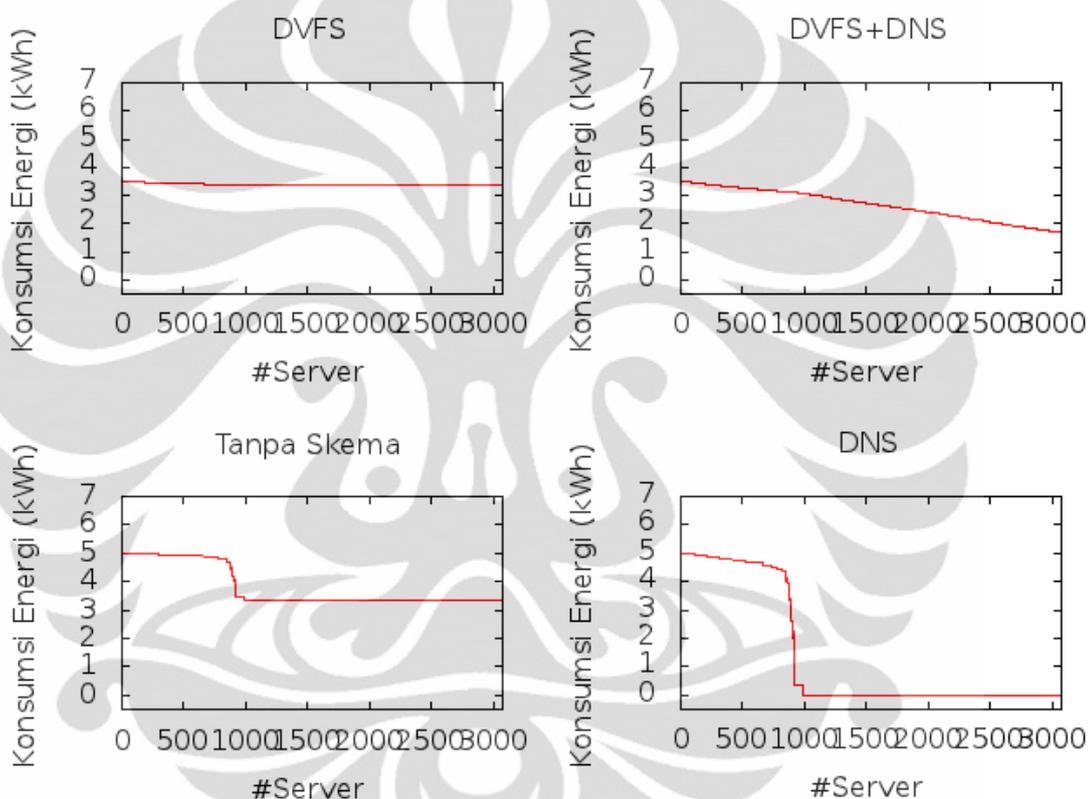
Sebaliknya pada skema DVFS, beban server tersebar hampir merata ke seluruh server sehingga total konsumsi energy dari server data center akan sangat membesar. Dengan tambahan skema DNS, tidak banyak berpengaruh terhadap beban server namun sangat berpengaruh terhadap beban pada switch dimana berhasil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



Gambar 4.9 Grafik Task tiap Server untuk Berbagai Skema Penghematan

Gambar 4.9 diperlihatkan besarnya task yang dikerjakan oleh setiap server. Pada skema tanpa penghematan dengan skema besarnya task yang dikerjakan terkumpul pada sekitar 30% dari keseluruhan server sehingga sisanya sebesar 70% tidak mengerjakan task apapun, namun perbedaannya adalah seperti telah diuraikan di atas, pada skema DNS server yang tidak mengerjakan task benar-benar dalam kondisi shutdown sedangkan untuk tanpa skema tetap mengkonsumsi energy sebesar 66% dari kapasitas penuhnya. Sedangkan sebaran task pada skema DVFS hampir merata ke seluruh server meskipun pada server pertama lonjakan

tasknya sangat tinggi (tidak terlihat pada Gambar 4.9) kemudian menurun tajam pada server kedua lalu penurunan yang landai pada server berikutnya sampai merata ke server ke-3072 (yang terakhir). Hal ini tentu saja mengakibatkan membesarnya konsumsi energy server karena task menyebar ke seluruh server. Penambahan skema DNS tidak banyak berpengaruh pada besarnya task pada server bila dilihat dari grafiknya.

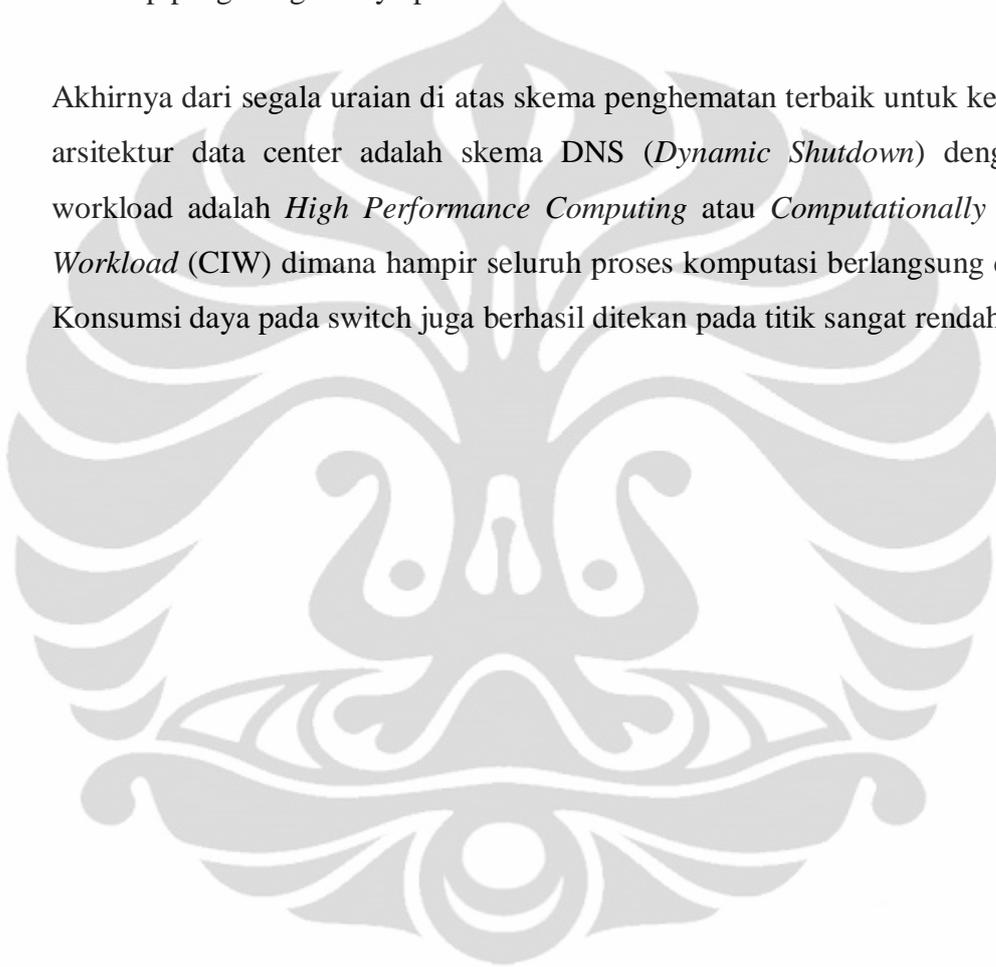


Gambar 4.10 Grafik Konsumsi Energi Tiap Server untuk Berbagai Skema Penghematan.

Yang paling jelas menunjukkan perbedaan adalah pada konsumsi energy tiap server seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10. Pada skema tanpa penghematan terlihat jelas bahwa 70% server yang dalam kondisi idle tetap mengkonsumsi energy dibandingkan dengan misalnya dengan skema DNS dimana tampak pada grafiknya bahwa pada skema ini server yang dalam kondisi idle sama sekali tidak mengkonsumsi energy alias nol sehingga konsumsi energy server secara keseluruhan menurun drastis bila dibandingkan dengan tanpa skema.

Sedangkan pada skema DVFS, konsumsi energy 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.

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.



## ABSTRAK

### BAB V

#### KESIMPULAN

Jalan tol merupakan sarana infrastruktur untuk mendukung modal investasi besar. Namun investasi jalan tol merupakan proyek investasi yang mengandung resiko sangat tinggi karena 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, kuantitatif dan kualitatif terdapat perbedaan yang signifikan pada struktur pendanaan. Simulasi adalah sebuah perkembangan pesat dalam analisis risiko. *Monte Carlo simulation* merupakan kegiatan investasi. Program ini kegunaan utamanya adalah untuk menganalisis risiko. Dalam penelitian ini hasil jumlah server yang mengalami *peak rate* menurun rata-rata sebesar 18,8%,
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.

Berdasarkan analisis struktur pendanaan proyek infrastruktur. Perspektif *investor* sangat beragam sejalan dengan meningkatnya resiko, investor dituntut untuk dapat memenuhi kebutuhan ekuitas berkisar antara 15%-25%. Sementara itu perspektif *lender* cenderung konstan pada level tertinggi, artinya bahwa setiap level resiko yang terjadi *lender* akan selalu menuntut tinggi penyertaan modal dari investor. Dengan demikian pihak *lender* hanya akan menerima konsekuensi terhadap *debt-financed* yang rendah.

Perlu dicatat bahwa kasus ini tidak dimaksudkan sebagai sebuah analisis yang lengkap mengenai berbagai skenario pendanaan yang seharusnya diselidiki pada sebuah kasus. Sebab Simulasi Infrisk yang digunakan dalam penelitian ini sangat terbatas dalam merefleksikan realitas dari berbagai struktur pendanaan dalam penyelenggaraan proyek jalan tol di Indonesia. Dalam menganalisis proyek sesungguhnya, sejumlah skenario pendanaan harus diselidiki dan tidak hanya skenario-skenario yang telah diilustrasikan dalam contoh kasus ini serta dengan penggunaan alat bantu yang tepat dapat memberikan hasil analisis yang lebih baik

## ABSTRAK

## DAFTAR REFERENSI

- Jalan tol merupakan sarana infrastruktur untuk publik yang membutuhkan modal investasi besar. Namun ini [1] <http://www.antaranews.com/berita/300251/bisnis-beralih-pada-investasi-sangat-tinggi-karena-komputasi-awan> diakses tanggal 14 Maret 2012
- Penelitian ini dit[2] <http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109/MIC.2008.107> diakses tanggal 14 Maret 2012
- upaya apa yang [3] Dzmitry Kliazovich, Pascal Bouvry, Samee Ullah Khan, “GreenCloud : A kuantitatif dan kualitas Packet Level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers”, struktur pendanaan diterbitkan online oleh Springer 09 November 2011.
- Simulasi adalah [4] <http://greencloud.gforge.uni.lu/> diakses tanggal 10 Februari 2012
- kegiatan investasi [5] P. Mell and T. Grance, “Draft NIST Working Definition of Cloud Computing ke-14”, *Nat. Inst. Standards Technol., Bar* 2009: [Online]: <http://csrc.nist.gov/groups/SNS/cloud-computing/index.html>. Dalam penelitian ini ha [6] Jayant Baliga, Robert W. A. Ayre, Kerry Hinton, dan Rodney S. Tucker, “Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and utama investasi seperti Transport”, *Proceedings of the IEEE / Vol. 99, No. 1, January 2011*
- Berdasarkan analisis [7] Mahadevan P, Sharma P, Banerjee S, Ranganathan P (2009), “Energy aware network operations”. Pada: *IEEE INFOCOM workshops*, hal. 1–6
- resiko yang ter [8] Si-Yuan Jing, Shahzad Ali, Kun She, Yi Zhong, “State-of-the-art research menentukan struktur study for green cloud computing”, *Springer Science+Business Media, LLC* 2011, dipublikasikan online 8 Desember 2011
- ekuitas berkisar [9] Filani David-Intel Corp, “Dynamic Data Center Power Management: Trends, level tertinggi, artinya Issues, and Solutions”, *Intel Technology Journal, Volume 12, Issue 1, 2008*
- tinggi penyerta [10] Chen G, He W, Liu J, Nath S, Rigas L, Xiao L, Zhao F (2008), “Energy-aware server provisioning and load dispatching for connection-intensive Perlu dicatat bahwa internet services”, pada : *The 5<sup>th</sup> USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, Berkeley, CA, USA*
- Sebab Simulasi [11] Etienne Le Sueur dan Gernot Heiser, “Dynamic Voltage and Frequency merefleksikan realitas Scaling: The Laws of Diminishing Returns” *NICTA and University of New South Wales*
- pendanaan haru [12] Farrington N, Rubow E, Vahdat A(2009) “Data Center Switch Architecture In dalam contoh kasus the Age of Merchant Silicon”, *Proceedings of the 17<sup>th</sup> IEEE Symposium on* hasil analisis yang lebih baik

## ABSTRAK

*High Performance Interconnects (HOTI '09)*. IEEE Computer Society, Washington, hal 93-102.

[13] Greenberg A, Lahiri P, Maltz DA, Patel P, Sengupta S(2008), "Toward a Next Generation data center Architecture : Scalability and Commoditization", *Proceeding of The ACM Workshop on Programmable Router for Extensible Services of Tomorrow, Seattle, WA USA, Agustus 22*

[14] The Network Simulator Ns2 (2010) dapat diunduh di <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

[15] Shang L, Peh L-S, Jha NK (2003), "Dynamic Voltage Scaling with Linkd for Power Optimization of Interconnection Network", *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Symposium on High-Performance Computer Architecture Table and Contents*.

[16] Chen Y, Das A, Qin W, Sivasubramaniam A, Wang Q, Gautam N (2005), "Managing Server Energy and Operational Cost in Hosting Centers", *Proceeding of the ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and modeling of computer systems, ACM, New York, hal 303-314*.

Berdasarkan analisis hasil simulasi yang dilakukan diketahui bahwa berdasarkan pengaruh resiko yang terjadi terdapat perbedaan perspektif antara *investor* dan *lender* dalam menentukan struktur pendanaan proyek infrastruktur. Perspektif *investor* sangat beragam sejalan dengan meningkatnya resiko, investor dituntut untuk dapat memenuhi kebutuhan ekuitas berkisar antara 15%-25%. Sementara itu perspektif *lender* cenderung konstan pada level tertinggi, artinya bahwa setiap level resiko yang terjadi *lender* akan selalu menuntut tinggi penyertaan modal dari investor. Dengan demikian pihak *lender* hanya akan menerima konsekuensi terhadap *debt-financed* yang rendah.

Perlu dicatat bahwa kasus ini tidak dimaksudkan sebagai sebuah analisis yang lengkap mengenai berbagai skenario pendanaan yang seharusnya diselidiki pada sebuah kasus. Sebab Simulasi Infrisk yang digunakan dalam penelitian ini sangat terbatas dalam merefleksikan realitas dari berbagai struktur pendanaan dalam penyelenggaraan proyek jalan tol di Indonesia. Dalam menganalisis proyek sesungguhnya, sejumlah skenario pendanaan harus diselidiki dan tidak hanya skenario-skenario yang telah diilustrasikan dalam contoh kasus ini serta dengan penggunaan alat bantu yang tepat dapat memberikan hasil analisis yang lebih baik