



Tesis - TF185471

# **IMPLEMENTASI TEKNOLOGI VIRTUALISASI PADA SCADA & CONTROL SYSTEM UNTUK EFISIENSI ENERGI & BIAYA**

INDIN HASAN A.  
NRP. 02311650022019

DOSEN PEMBIMBING I:  
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  
NIP. 19660116 198903 2001

DOSEN PEMBIMBING II:  
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D  
NIP. 19780902 200312 1002

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI  
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister  
Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh.

**Indin Hasan A.**


NRP. 02311650022019

Tanggal Sidang Tesis : Januari 2019


Periode Wisuda. Maret 2019

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  
NIP. 19660116 198903 2001

 (Pembimbing I)


2. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D  
NIP. 19780902 200312 1002

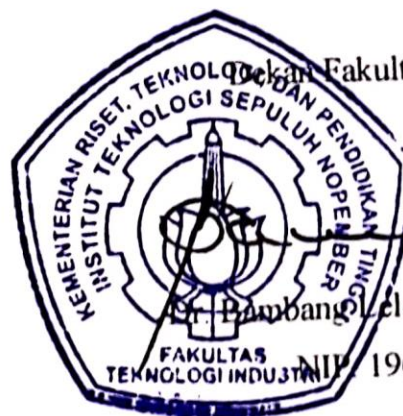
 (Pembimbing II)

1. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT  
NIP. 19660116 198903 2001


 (Penguji)

2. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19710702 199802 1001

 (Penguji)



Fakultas Teknologi Industri,

  
Sr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

NIP. 19690507 199512 1 001



# IMPLEMENTASI TEKNOLOGI VIRTUALISASI PADA SCADA & KONTROL SISTEM UNTUK EFISIENSI ENERGI & BIAYA

Nama Mahasiswa : Indin Hasan A.  
NRP : 02311650022019  
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  
2. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D

## ABSTRAK

Infrastruktur SCADA sebagai sarana pendukung sistem otomasi dan kontrol *power generation* di PT Vale Indonesia saat ini keadaannya sudah mulai usang. Kondisi ini membuat keseluruhan operasi pembangkit listrik dalam risiko berhenti beroperasi. SCADA infrastruktur yang usang antara lain perangkat keras dan operating sistem (OS). Perangkat keras seperti server SCADA saat ini tidak lagi memiliki suku cadang yang tersedia di pasar, hal ini dapat menyebabkan sebagian operasi pembangkit listrik dalam risiko berhenti beroperasi kapan saja disebabkan oleh SCADA dan sistem kendali yang mati karena ketiadaan suku cadang perangkat keras. OS dari SCADA yang usang juga tidak lagi menerima *security update* yang dapat menyebabkan masuknya virus dan jebolnya sistem keamanan jaringan SCADA oleh peretas. Virus dan jebolnya keamanan jaringan tidak hanya menyebabkan operasi power generation berhenti tetapi juga dapat menimbulkan masalah keselamatan karyawan dan masyarakat sekitar dam apabila sistem SCADA yang mengendalikan dam dan bendungan di bajak oleh peretas. Dikarenakan masalah tersebut, pembaharuan infrastruktur SCADA harus segera dilakukan. Masalah lain dari SCADA infrastruktur saat ini adalah tingginya biaya pengoperasian, hal ini disebabkan oleh besarnya jumlah SCADA server dan komputer yang terpasang untuk melayani sistem otomatisasi dan kontrol *hydropower station*. Sebagian besar server dan komputer ini mengkonsumsi sejumlah besar daya listrik dan juga energi untuk sistem pendinginan, sementara itu rasio pemanfaatan peralatan tersebut sangat rendah, yaitu 8.8% saja. Peralatan ini - terutama server - membutuhkan biaya pemeliharaan tahunan yang cukup besar. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan penelitian kemungkinan diterapkannya teknologi virtualisasi pada infrastuktur SCADA sebagai pilihan selain melakukan pembaharuan secara konvensional. Desain server virtualisasi di lakukan berdasarkan perhitungan *server sizing* infrastruktur SCADA saat ini ditambah 30% kapasitas komputasi untuk keperluan penambahan jangka pendek. Hasilnya teknologi virtualisasi mampu untuk menekan konsumsi energi sebesar 48%, menghasilkan panas 47.9% lebih rendah, dan mengurangi biaya proyek pembaharuan 60% lebih murah, selain itu juga mampu untuk menekan anggaran tahunan perawatan sistem SCADA hingga 92.5% dibanding SCADA dengan sistem konvensional.

**Kata kunci:** SCADA dan kontrol sistem, teknologi virtualisasi, *energy efficiency*, pembangkitan listrik, konservasi energi.



# ***Implementation of Virtualization Technology on SCADA and Control System for Energy and Cost Efficiency***

Student's Name : Indin Hasan A.  
Student's Number : 02311650022019  
Advisor : 1. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  
2. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D

## **ABSTRACT**

*Current SCADA infrastructure that supported power generation automation and control system at PT Vale Indonesia is obsolete. That condition puts the overall operation of power generation in a risk due to obsolete hardware and operating system (OS) infrastructure. The server hardware has no spare part available in the market and it can lead some power generation shutdown due to SCADA and control system break down at any time. The obsolete OS has no longer receive security update that can lead virus and security breach onto the automation network by hackers. Virus and security breach will not only put a risk to shut down the power generation but also a safety of the employee and surrounding community over the dam reservoir as the SCADA control system is hijacked and controlled by the hacker. Given above SCADA infrastructure upgrade is mandatory to be done. Other problems of current automation infrastructure are operating cost, it is due to numerous servers and PCs (personal computers) that installed to serve the automation and control system. Most of these servers and PCs consume a significant amount of electrical power and also the energy of a cooling system, while the utilization ratio of those type of equipment is very low, around 8.8% only. They also - mainly a server - require significant yearly maintenance cost. To overcome above problems, virtualization technology is studied as an option to conventional server for SCADA infrastructure upgrade. Virtual server sizing and design are performed according current capacity with 30% extra computation resources for near future additional server. As a result, virtualization technology was able to reduce energy consumption by 48%, generate 48% lower heat, and reduce upgrade project costs by 60%, while also being able to reduce the annual budget for SCADA system maintenance by 92.5% compared to conventional SCADA upgrade.*

**Keywords:** *SCADA and control system, virtualization technology, Energy efficiency, power generation, conservation energy.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga dalam menyelesaikan penelitian dan laporan tesis dengan judul “Implementasi Teknologi Virtualisasi Pada SCADA & Kontrol Sistem Untuk Efisiensi Energi & Biaya”.

Penelitian ini merupakan salah satu penelitian yang mengangkat tema mengenai penerapan teknologi terbaru virtualisasi. Fokus utamanya adalah pada bagaimana teknologi ini dapat membantu untuk mengurangi penggunaan energi dan biaya pengoperasian dari SCADA *power generation* di PT Vale Indonesia.

Penelitian dan laporan tesis ini tidak dapat diselesaikan oleh penulis tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang memberikan bantuan secara moral maupun materi, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc. selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi dan saran dalam menyelesaikan penelitian ini,
2. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.T., PhD selaku dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi dan saran dalam menyelesaikan penelitian ini,
3. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah. MT; Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran yang sangat bermanfaat,
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat,
5. Ibu Martha Hardiyah, S.Pd selaku admin Pasca Sarjana Teknik Fisika yang telah membantu semua urusan administrasi dalam penyelesaian tesis ini,
6. Keluarga terutama istri yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis,
7. Teman-teman admin mahasiswa S2 kelas PT. Vale Indonesia: Leo, Erwin dan Musryanto yang ikut dalam membantu, memberi informasi dan mengkoordinasi semua kegiatan administrasi dan proses tesis ini,

8. Teman-teman mahasiswa S2 kelas PT. Vale Indonesia (Anang, Pak Andi, Andrie, Anom, Ardian, Asgar, Asrul, Bagus, Baso, Farhan, Febrin, Bli Dewa, Pak Kasman, Leo, Muammar, Asril, Nurkholis, Rajab, Haji Pamrih, Ricky, Rustam Saleh, Teguh, Wafir, Erwin, Zai) yang senantiasa ada untuk memberikan bantuan dan motivasi.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan laporan tesis ini.

Apabila terdapat kekurangan dalam penelitian dan laporan tesis ini, penulis memohon kritik dan saran demi penelitian yang lebih baik. Semoga laporan tesis ini dapat memberikan manfaat dan ilmu bagi banyak orang.

Sorowako, 17 Oktober 2018

Indin Hasan A.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	4
1.3. TUJUAN PENELITIAN	4
1.4. LINGKUP KAJIAN	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 SEJARAH VIRTUALISASI	7
2.2 TEKNOLOGI VIRTUALISASI	9
2.3 TINJAUAN VIRTUALISASI X86	11
2.4 KEUNTUNGAN TEKNOLOGI VIRTUALISASI	29
2.5 TOPOLOGI FISIK INFRASTRUKTUR VIRTUALISASI	34
2.6 SCADA	37
2.7 ANALISIS BIAYA PROYEK	40
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	43
3.1 PROSEDUR PENELITIAN	43
3.2 TEMPAT PENELITIAN	44

3.3 PENGAMBILAN DATA LAPANGAN	45
3.4 KONFIGURASI SCADA POWER GENERATION	45
3.5 DESAIN SCADA - KONVENSIONAL	52
3.6 DESAIN - SCADA VIRTUALISASI	56
3.7 KONSUMSI ENERGI	62
3.8 PENYUSUNAN BIAYA PROYEK DAN BUDGET PERAWATAN	65
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	67
4.1 REVIEW <i>EXISTING</i> SISTEM SCADA	67
4.2 DESAIN SCADA – KONVENSIONAL	68
4.3 DESAIN SCADA – VIRTUALISASI	69
4.4 EVALUASI KEBUTUHAN ENERGI	73
4.5 ANALISA SENSITIVITAS	74
4.6 EVALUASI BIAYA PROYEK DAN PERAWATAN	76
BAB 5 PENUTUP	79
5.1 KESIMPULAN	79
5.2 SARAN	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	85

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sejarah perkembangan virtualisasi teknologi (Hatta, 2011) .....	8
Gambar 2.2 Perbandingan Tradisional komputer biasa dan Virtualisasi (Rockwell, 2013) .....	10
Gambar 2.3 Lapisan Virtualisasi X86 (VMware, 2007).....	11
Gambar 2.4 Tipe 1 hypervisor atau di sebut “bare metal hypervisor” (Rockwell, 2015) .....	12
Gambar 2.5 Tipe 2 hypervisor (Rockwell, 2015) .....	13
Gambar 2.6 Hypervisor mengelola VMM untuk mesin virtual (VMware, 2007)	14
Gambar 2.7 x86 privilege level architecture without virtualization (VMware, 2007) .....	15
Gambar 2.8 Full Virtualisasi, emulasi perangkat keras (VMware, 2007) (Golden, 2007) .....	17
Gambar 2.9 Gambar pendekatan dan paravirtualisasi (VMware, 2007) (Golden, 2007) .....	19
Gambar 2.10 Pendekatan virtualisasi x86 hardware assist (VMware, 2007) .....	21
Gambar 2.11 Virtualisasi memori (VMware, 2007).....	23
Gambar 2.12 <i>Storage array server</i> .....	24
Gambar 2.13 Virtualisasi I/O (VMware, 2007) .....	26
Gambar 2.14 Virtualisasi Jaringan (Rockwell, 2013).....	27
Gambar 2.15 Virtualisasi Desktop (Rockwell, 2015).....	28
Gambar 2.16 Topologi Infrastruktur Virtualisasi (Rockwell, 2013) .....	34
Gambar 2.17 Contoh arsitektur jaringan industri dan komersial (Kero, 2016) ...	38
Gambar 2.18 PLC Control Logix AB (Rockwell, 2018).....	39
Gambar 2.19 SCADA – Automation Overview (Rockwell, 2018) .....	40
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	43
Gambar 3.2 Thermal <i>Control room</i> dan Soroako SCADA <i>server room</i> . .....	45
Gambar 3.3 Blok diagram SCADA <i>power generation</i> .....	46
Gambar 3.4 Detail blok diagram dan komponen SCADA Balambano .....	47
Gambar 3.5 Operator workstation SCADA <i>power generation</i> .....	49
Gambar 3.6 OWS screen generator kontrol unit 1 Karebe .....	50

Gambar 3.7 Balambano intake dan spillway gate SCADA OWS screen.....	51
Gambar 3.8 RAID level 1,0 dan 10 untuk konfigurasi SCADA server .....	54
Gambar 3.9 Perbedaan RAID 5 dan RAID 6 (Kero, 2016).....	55
Gambar 3.10 Konfigurasi RAID 60 (Adaptec, 2005) .....	59
Gambar 4.1 ProLiant DL380 Gen10 server.....	71
Gambar 4.2 Pengetesan <i>Thin Client</i> Operator Workstation-OWS .....	71
Gambar 4.3 Skematik diagram server host virtualisasi SCADA.....	72
Gambar 4.4 Perbandingan kebutuhan listrik dan heat output pada sistem konvensional dan virtualisasi.....	74
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara % load dan kebutuhan listrik pada sistem konvensional dan virtualisasi.....	75
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara % load dan heat ouput pada sistem konvensional dan virtualisasi.....	76
Gambar 4.7 Kondisi komputer klien SCADA di proses plant Sorowako .....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan teknik virtualisasi (VMware, 2007) .....	22
Tabel 3.1 Kebutuhan minimum perangkat keras SCADA konvensional (Rockwell, 2018) .....	53
Tabel 3.2 Standard perangkat keras department IT PT. Vale Indonesia.....	53
Tabel 3.3 Rasio kebutuhan virtualisasi resource SCADA (Rockwell, 2018) .....	57
Tabel 3.4 Perhitungan <i>sizing</i> server virtualisasi SCADA Balambano.....	57
Tabel 3.5 Perbandingan konfigurasi penyimpanan data (Adaptec, 2005).....	59
Tabel 3.6 Kebutuhan Kartu Jaringan Virtual server .....	60
Tabel 3.7 Perhitungan konsumsi energi SCADA server dan klien untuk sistem konvensional. ....	64
Tabel 3.8 Contoh perhitungan biaya proyek upgrade konvensional.....	65
Tabel 3.9 Daftar pekerjaan perawatan pada SCADA sistem konvensional.....	66
Tabel 4.1 Daftar total unit perangkat keras dan utilisasi CPU.....	67
Tabel 4.2 Daftar komponen server konvensional .....	68
Tabel 4.3 Hasil perhitungan server sizing.....	69
Tabel 4.4 Daftar komponen server host virtualisasi .....	70
Tabel 4.5 Kebutuhan energi sistem SCADA konvensional dan virtualisasi .....	73
Tabel 4.6 Perbandingan biaya proyek dan perawatan tahunan antara sistem konvensional dan virtualisasi SCADA. ....	77

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI

BOM	:	<i>Bill of Material</i>
BTU	:	<i>British thermal unit</i>
CPU	:	<i>Central Processing Unit</i>
DCS	:	<i>Distributed Control System</i>
DMZ	:	<i>Demilitarized zone</i>
DR	:	<i>Disaster Recovery</i>
EWS	:	<i>Engineering Workstation</i>
FO	:	<i>Fiber Optik</i>
FT	:	<i>Fault Tolerant</i>
FTD	:	<i>FactoryTalk Network Directory</i>
GUI	:	<i>Graphic User Interface</i>
GUI	:	<i>Graphic User Interface</i>
HA	:	<i>High Availability</i>
HMI	:	<i>Human Machine Interface</i>
I/O	:	<i>Input and Output</i>
IED	:	<i>Intelligent Electronic Device</i>
iSCSI	:	<i>Internet Small Computer Systems Interface</i>
MMI	:	<i>Man Machine Interface</i>
NAS	:	<i>Network Attached Storage</i>
NIC	:	<i>Network Interface Card</i>
OPC	:	<i>OLE for Process Control</i>
OPGW	:	<i>Overhead Power Ground Wire</i>
OS	:	<i>Operating Sistem</i>
OWS	:	<i>Operator workstation</i>
PLC	:	<i>Programmable Logic Control</i>
PTE	:	<i>Page Table Entries</i>
RAID	:	<i>Redundant array of independent disks</i>
RAM	:	<i>Random Access Memory</i>
RDP	:	<i>Remote Desktop Protocol</i>
RTU	:	<i>Remote Terminal Unit</i>
RVI	:	<i>Rapid Virtualization Indexing</i>
SAN	:	<i>Storage Area Network</i>
SCADA	:	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
STG	:	<i>Steam turbine generator</i>
TI	:	<i>Teknologi Informasi</i>
TLB	:	<i>Translation Lookaside Buffer</i>
UPS	:	<i>Uninterrupt power supply</i>
VDI	:	<i>Virtual desktop infrastruktur</i>
VLAN	:	<i>Virtual Local Area Network</i>

VM : *Virtual Machine*  
VMM : *Virtual Machine Monitor*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. LATAR BELAKANG**

PT. Vale Indonesia Tbk. berdiri pada tahun 1968, yang pada waktu itu bernama PT. International Nickel Indonesia (INCO). PT Vale Indonesia merupakan perusahaan pertambangan yang mengoperasikan tambang nikel pit terbuka (open pit) dan pabrik pengolahan dan pemurnian di Sorowako, Sulawesi Selatan. PT Vale Indonesia merupakan produsen nikel terbesar di Indonesia dan menyumbang 5% pasokan nikel dunia.

Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik untuk proses produksi, PT Vale Indonesia mengandalkan dari sumber energi terbarukan yakni *hydropower station* yang beroperasi secara *cascade* atau berderet terdiri dari 3 unit Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang memanfaatkan potensi alam di kabupaten Luwu Timur yang memiliki 3 buah danau, yaitu danau Matano, Towuti, dan Mahalona, ditambah dengan fasilitas generator di thermal area yaitu STG - *steam turbine generator* dan diesel generator dengan total produksi listrik rata-rata sebesar 405 MW.

Seluruh aktivitas hidro dan thermal generator tersebut dikontrol dan dimonitor aktivitasnya secara jarak jauh semua status dan process variabelnya secara terintegrasi dalam satu sistem, yaitu oleh SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Pengontrolan secara terintegrasi ini bertujuan terutama untuk:

1. Melakukan supervisi operasi, *controlling/monitoring*, optimasi power generator dan sistem transmisinya.
2. Melakukan koordinasi operasi dan pembagian beban antara satu generator dan generator lainnya.
3. Melakukan proses pengumpulan dan penyimpanan seluruh data proses *hydro power station* untuk proses monitoring dan fungsi trending.
4. Melakukan proses pengumpulan seluruh data alarm proses *hydro power station* dan di simpan untuk proses perawatan dan *troubleshooting*.

Dikarena fungsi SCADA sangat vital dan kritis untuk *hydro power station* ini beroperasi maka perlu untuk memastikan bahwa fungsi SCADA sistem ini selalu beroperasi dalam kondisi prima secara terus menerus (Kaur, Kathpal, & Munjal, 2015).

Permasalahan yang dihadapi oleh SCADA saat ini adalah infrastruktur server dan komputer yang telah terpasang sejak lebih dari 13 tahun lalu, belum pernah dilakukan proses upgrade dan sudah mulai usang. Pada umumnya server dan komputer harus sudah mulai diganti atau dilakukan upgrade setelah berumur lebih dari 5 tahun. Hal ini terutama dikarenakan perkembangan teknologi server dan komputer sangatlah pesat. Saat ini kondisi semua server dan sebagian komputer SCADA sudah usang dan harus segera diganti dengan alasan sbb:

1. Perangkat keras server tidak lagi disupport oleh pabrikan yang berarti tidak tersedianya suku cadang server dan komputer di pasaran. Apabila sewaktu waktu server mengalami kegagalan maka SCADA tidak akan berfungsi sepenuhnya. Situasi seperti ini memberikan resiko berhentinya operasi pembangkit listrik hidro dan thermal.
2. *Operating system* yang dipakai saat ini oleh server SCADA adalah Windows server 2003 dan untuk komputer klien adalah Windows 7, Windows XP, bahkan Windows 2000. Sistem operasi tersebut sudah sangat tua dan tidak lagi mendapat *support* dan *update* sekuriti dari pabrikan Microsoft. Sedangkan untuk Windows 7 support utama telah berakhir pada 13 January 2015. Hal ini berarti infrastruktur SCADA dan jaringan datanya akan sangat rentan terhadap masuknya virus dan peretas yang sangat beresiko terhadap keselamatan karyawan dan masyarakat di sekitar dam termasuk keberlangsungan operasi pembangkitan.

Problem lainnya adalah jumlah peralatan SCADA server dan komputer yang dipasang untuk melakukan fungsi pengontrolan sangat banyak jumlahnya. Hal ini ditambah dengan kebutuhan akan server dan komputer cadangan yang di bangun untuk memenuhi kebutuhan operasi yang harus berjalan secara terus menerus. Server cadangan ini untuk memastikan bila satu server SCADA mengalami masalah maka server cadangan otomatis mengambil alih fungsi kontrol untuk bisa

melayani kebutuhan operasional yang ada. Sejalan dengan kebutuhan tersebut konsumsi daya listrik untuk kebutuhan komputer dan server meningkat drastis baik untuk kebutuhan daya listrik peralatan itu sendiri maupun untuk sistem pendinginnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya, utilisasi rasio dari server tersebut sangatlah rendah rendah, hanya berkisar 5% sampai 10% saja (Uddin, Shaha, Abubakara, & Adelekeb, 2014).

Di Amerika usaha konservasi energi dan peningkatan efisiensi telah memainkan peran besar dalam mengendalikan laju pertumbuhan konsumsi energi industry server pusat data. Tanpa perbaikan ini, yang berada pada tingkat efisiensi tahun 2010, pusat data akan menghabiskan hampir 40 miliar kWh lebih banyak daripada yang mereka lakukan pada tahun 2014 untuk melakukan jumlah pekerjaan yang sama, menurut penelitian yang dilakukan oleh Departemen Energi AS dalam kolaborasi dengan peneliti dari Stanford University, Northwestern University, dan Carnegie Mellon University. Perbaikan efisiensi energi akan menghemat 620 miliar kWh antara tahun 2010 dan 2020, perkiraan studi. Para periset memperkirakan total konsumsi energi pusat data AS tumbuh sebesar 4 persen antara sekarang dan 2020 - mereka memprediksi tingkat pertumbuhan yang sama dalam lima tahun ke depan seperti pada lima tahun terakhir - mencapai sekitar 73 miliar kWh pada tahun 2020 (Shehabi, Smith, Sartor, Brown, & Herrlin, 2016).

Sejalan dengan visi dan komitmen PT. Vale Indonesia terhadap kelestarian bumi dan upaya konservasi energi di tengah permintaan energi listrik yang besar untuk memproses produksi nikel PT. Vale Indonesia terus meningkat, maka melakukan efisiensi energi di berbagai sektor termasuk usaha usaha efisiensi pada server dan komputer SCADA & kontrol sistem patut dilakukan.

Pada tesis ini diteliti penerapan teknologi terbaru yang disebut virtualisasi pada sistem SCADA untuk mencapai energi, biaya proyek dan perawatan yang efisien dengan memberikan solusi yang disebut konsolidasi server. Pada beberapa penelitian, teknik konsolidasi server dan komputer yaitu melakukan virtualisasi fisik server dan computer pada satu virtualisasi server akan meningkatkan rasio pemanfaatan berbagai server dan komputer, menghemat jumlah yang energi yang diperlukan sampai 65% (Rao, Kiran, & L.S.S.Reddy, 2010) (Gul, Khan, & Ahmed,

2016). Penerapan teknologi ini juga memungkinkan menurunkan biaya perawatan maupun operasi dari peralatan (Patel & Makwana, 2016), termasuk menurunkan biaya proyek peralatan itu sendiri.

## **1.2. RUMUSAN MASALAH**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Infrastruktur komputer dan server yang mendukung sistem SCADA saat ini telah usang sehingga perlu segera dilakukan proyek pembaharuan atau upgrade infrastruktur dengan mencari opsi system infrastruktur SCADA yang berbiaya rendah.
- b. Fasilitas komputer dan server sistem SCADA konvensional saat ini mengkonsumsi energi daya listrik dan pendingin yang cukup besar dibandingkan dengan utilisasi peralatan yang sangat rendah.
- c. Biaya operasional dan perawatan dari fasilitas komputer dan server sistem SCADA cukup besar yang berbanding lurus dengan banyaknya peralatan terpasang.

## **1.3. TUJUAN PENELITIAN**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisa pengaruh penerapan teknologi virtualisasi terhadap kebutuhan energi komputer dan server sistem SCADA termasuk energi sistem pendinginya.
- b. Menganalisa pengaruh penerapan teknologi virtualisasi terhadap efisiensi biaya operasional dan perawatan dari sistem SCADA.
- c. Menganalisa pengaruh penerapan teknologi virtualisasi terhadap biaya proyek penggantian komputer dan server sistem SCADA.

#### **1.4. LINGKUP KAJIAN**

Lingkup kajian ini meliputi sebagai berikut:

- a. Software virtualisasi dan SCADA yang akan digunakan mengacu kepada standar software PT Vale yaitu VMware dan PlantPax.
- b. Pengambilan data komputer dan server SCADA meliputi data jumlah Server / komputer, data tipe server & komputer, serta data utilisasi Server & komputer.
- c. Pengambilan data komputer dan server akan dilakukan di department Utilities PT. Vale Indonesia.
- d. Penggantian material komputer dan server akan mengacu kepada standar PT. Vale.
- e. Penelitian tidak membandingkan umur dari server dan komputer sistem virtualisasi dengan sistem konvensional.
- a. Penelitian tidak melakukan proses upgrade jaringan data SCADA karena saat ini masih dalam keadaan baik dan cukup *up to date*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

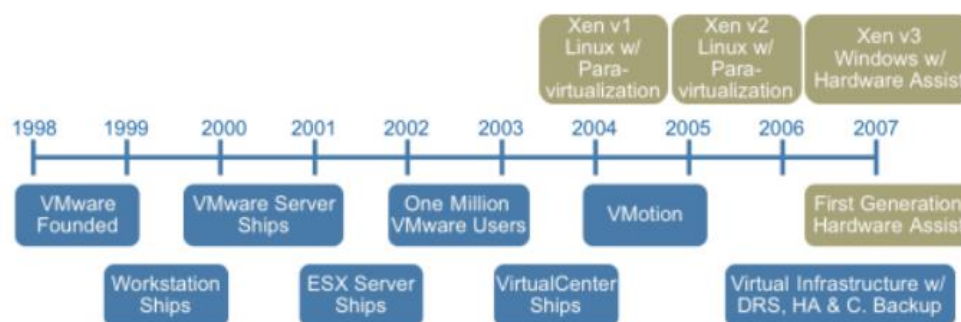
#### **2.1 SEJARAH VIRTUALISASI**

Virtualisasi adalah istilah umum yang mengacu kepada abstraksi dari sumber daya komputer. Definisi lainnya adalah "sebuah teknik untuk menyembunyikan karakteristik fisik dari sumber daya komputer dari bagaimana cara sistem lain, aplikasi atau pengguna berinteraksi dengan sumber daya tersebut. Virtualisasi dalam hal ini termasuk membuat sebuah sumber daya tunggal (seperti server, sebuah sistem operasi, sebuah aplikasi, atau peralatan penyimpanan terlihat berfungsi sebagai beberapa sumber daya logical; atau dapat juga termasuk definisi untuk membuat beberapa sumber daya fisik (seperti beberapa peralatan penyimpanan atau server) terlihat menggunakan satu sumber daya logikal.

Konsep virtualisasi pertama kali muncul pada awal tahun 1960, ketika IBM mengenalkan penggunaan *Time Sharing*. Saat ini, istilah tersebut diasosiasikan dengan komputer mainframe dan *On Demand Computing* mesin x86. Pada tahun 1964, Gene Amdahl merancang IBM Sistem/360 yang menyediakan kemampuan virtualisasi secara terbatas. Seperti terlihat pada gambar 2.1 yang menjelaskan virtualisasi timeline, pada tahun 1998 VMware didirikan oleh Diane Greene dan Dr. Mendel Rosenblum, dibantu 2 mahasiswa Stanford University. Pada bulan Oktober 1998, diusahakan paten untuk metode virtualisasi berdasarkan penelitian yang dilakukan. Paten tersebut kemudian disahkan pada 28 Mei 2002. Pada tahun 1999, VMware mengenalkan produk VMware Virtual Platform. Produk yang dianggap sebagai platform virtualisasi x86 pertama kali ini, kemudian dikembangkan menjadi produk yang sekarang dikenal sebagai VMware Workstation.

Pada akhir tahun 2000, VMware mengeluarkan produk virtualisasi server VMware GSX Server 1.0. Produk ini masih diinstall di atas sistem operasi Linux atau Windows dan ditujukan untuk server kelas workgroup. Tidak lama kemudian, VMware mengeluarkan platform virtualisasi server kelas mainframe, yaitu VMware ESX Server 1.0. ESX Server memiliki keunggulan dibandingkan dengan

ESX Server, yaitu lebih stabil, dan overhead yang lebih sedikit. Hal ini disebabkan ESX Server diinstal secara langsung pada mesin server, bertindak sebagai hypervisor, atau yang dikenal sebagai Virtual Machine Monitor (VMM) pada virtualisasi Xen. Selain VMware dan Microsoft, juga muncul teknologi virtualisasi server yang disebut dengan Xen. Xen awalnya dikembangkan oleh Research Group di laboratorium komputer Universitas Cambridge. Pada tahun 2006, Xen Source merilis Xen Enterprise 3.0 untuk berkompetisi dengan VMware ESX Server. Kemudian pada tahun 2007 Xen Source merilis Xen Enterprise v4 yang lebih stabil dan lebih kaya fitur, mendekati VMware ESX Server (Hatta, 2011).



Gambar 2.1 Sejarah perkembangan virtualisasi teknologi (Hatta, 2011)

## Virtualisasi dan Cloud Computing di abad 21

Dua faktor tambahan yang secara signifikan membedakan teknologi baru ini dari pendahulunya dan sangat mengubah dinamikanya dalam beberapa tahun terakhir adalah kecepatan, kedinamisan dan "jangkauan jauh" dari Internet, yang memungkinkan untuk mengangkut dan mengirimkan sumber daya komputasi dengan kecepatan tinggi, melintasi jarak yang jauh, dengan biaya yang lebih murah. Kedua, banyak kecenderungan dimana perlu memiliki komputer pribadi yang mempunyai sumber daya komputasi tinggi tetapi dipakai hanya "rata-rata" dari kebutuhan daya komputasi, sehingga membuat banyak cadangan daya komputasi tidak terpakai (Davies, 2004).

Saat ini, virtualisasi dan *cloud computing* secara bertahap menjadi pilihan yang tepat untuk mendukung pertumbuhan bisnis dan organisasi. Sistem tersebut telah banyak menarik minat selama dekade terakhir karena keunggulannya. Alasan pertumbuhan bisnis yang cepat ini bukan tanpa alasan. *Cloud computing* membuat

kebutuhan akan komputasi menjadi sangat efisien dan fleksibel, tugas untuk memenuhi berbagai tingkat layanan bisnis dan kebutuhan bisnis yang sangat dinamis; shared infrastructure dan service yang tersedia membuat cloud computing menjadi pilihan bisnis yang tepat bila dibandingkan dengan pendekatan tradisional untuk menghosting masing-masing infrastruktur dan layanan ini secara lokal.

Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa 90% organisasi telah mulai menerapkan Virtualisasi Server dalam beberapa bentuk sebagai bagian dari Infrastruktur TI mereka. Ini membuka pikiran terhadap kenyataan bahwa *cloud computing* mungkin benar-benar memegang kunci pertumbuhan bisnis dan organisasi masa depan; dan alasannya adalah karena cloud computing meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi yang terkait dengan skala berbagai layanan bisnis untuk memenuhi kebutuhan bisnis yang sangat dinamis. Saat ini, virtualisasi dan *cloud computing* digunakan dalam banyak hal, seperti simulasi dan pengujian bisnis model, desain bisnis model yang dibantu komputer, dan migrasi bisnis proses, peningkatan fault tolerance and backups.

Survei yang dilakukan oleh Forrester Consulting pada Oktober 2014 atas nama Infosys diungkapkan oleh 81% perusahaan yang disurvei bahwa *cloud computing* tidak lagi didorong oleh penghematan biaya, tetapi lebih kepada kemudahan, kesederhanaan dan pandangan terpadu tentang TI. Hasil ini diharapkan akan meningkat secara eksponensial dalam beberapa tahun mendatang karena semakin banyak organisasi dan perusahaan yang diharapkan untuk beralih ke *computing cloud* karena alasan ini (Oludele, Ogu, Kuyoro, & Umezuruike, 2014).

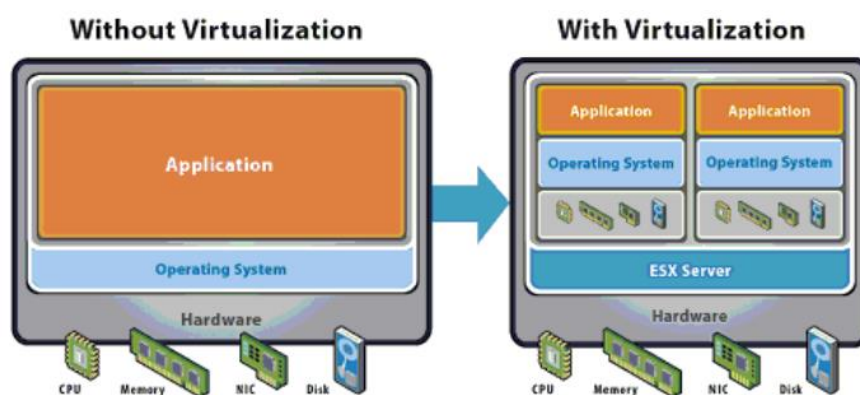
## **2.2 TEKNOLOGI VIRTUALISASI**

Teknik virtualisasi dianggap sebagai cara paling tepat untuk optimalisasi aset komputer dan server pada data center, yang dapat membantu mencapai menaikkan utilisasi sistem menjadi lebih besar, menurunkan total biaya dan juga kemudahan untuk pengoperasian dan pemeliharaan. Para ahli sepakat bahwa sistem informasi data center perusahaan saat ini dikonfigurasi dengan menggunakan sumber daya khusus dan biaya pengoperasian yang tinggi (Kulkarni, Bagul, Gawali, & Swamy, 2012).

Virtualisasi adalah teknologi perangkat lunak yang memisahkan perangkat keras fisik komputer dari sistem operasi (OS) dan aplikasi perangkat lunaknya, menciptakan perangkat lunak murni dari komputer fisik sebelumnya - yang biasa disebut sebagai Mesin Virtual (VM). VM berperilaku persis seperti komputer fisik, berisi CPU dan "RAM" virtual, hard disk dan kartu jaringan sendiri, juga berjalan sebagai instalasi OS tamu yang terisolasi. Istilah "*host*" dan "*guest*" digunakan untuk membantu membedakan perangkat lunak yang berjalan pada mesin (*host*) sebenarnya dari perangkat lunak yang berjalan pada mesin virtual (*tamu*) (Rockwell, 2013).

Seperti terlihat pada gambar 2.2, secara tradisional personal komputer atau server terdiri dari *Operating Sistem* - OS dan aplikasinya digabungkan menjadi satu dalam perangkat keras. Virtualisasi memecah hubungan antara sistem operasi dan perangkat keras fisik. Hal ini memungkinkan kemampuan untuk mengubah perangkat keras tanpa mengganti OS atau aplikasi.

Teknologi virtualisasi digunakan oleh semakin banyak organisasi untuk mengurangi konsumsi daya listrik, kebutuhan udara pendingin (*cooling system*) dan memangkas kebutuhan ruangan atau bangunan yang selalu dikaitkan dengan pertumbuhan kebutuhan server. Virtualisasi juga mampu menyediakan kebutuhan akan fasilitas "*high availability*" tinggi untuk aplikasi kritis seperti pada aplikasi aplikasi SCADA sistem yang dibutuhkan untuk selalu terus menerus beroperasi untuk mendukung operasi *power generation*.

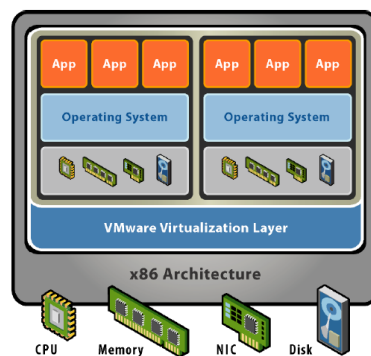


Gambar 2.2 Perbandingan Tradisional komputer biasa dan Virtualisasi (Rockwell, 2013)

Virtualisasi dapat menyederhanakan aplikasi SCADA sistem dan memungkinkan tim *maintenance* merespon lebih cepat terhadap tuntutan operasi *power generation*. Akibat sosio-politik pemanasan global yang mewajibkan perusahaan yang baik untuk memenuhi target pengurangan gas rumah kaca, menciptakan insentif tambahan untuk implementasi teknologi virtualisasi.

### 2.3 TINJAUAN VIRTUALISASI X86

Istilah virtualisasi secara luas menggambarkan pemisahan permintaan layanan dari pengiriman fisik yang mendasari layanan itu. Dengan virtualisasi komputer berbasis x86, lapisan virtualisasi ditambahkan antara perangkat keras dan sistem operasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.3. Lapisan virtualisasi ini memungkinkan beberapa sistem operasi dan mesin virtual dijalankan secara bersamaan pada satu komputer, secara dinamis VM tersebut terpisah dan berbagi sumber daya fisik yang tersedia seperti CPU, penyimpanan, memori dan perangkat I/O.



Gambar 2.3 Lapisan Virtualisasi X86 (VMware, 2007)

Sebagaimana kapasitas pemrosesan desktop dan server secara konsisten meningkat dari tahun ke tahun, virtualisasi telah terbukti sebagai teknologi yang sangat ampuh untuk menyederhanakan pengembangan perangkat lunak dan pengujiannya, untuk mengaktifkan konsolidasi server, dan untuk meningkatkan kelincahan (*agility*) pusat data untuk mendukung kelangsungan bisnis. Pada kenyataannya, sistem operasi *full* virtualisasi dan aplikasi dari perangkat keras dan proses enkapsulasi mereka ke dalam mesin virtual telah mengaktifkan fitur virtual infrastruktur yang tidak mungkin hanya dengan dukungan perangkat keras saja.

Sebagai contoh, saat ini server dapat berjalan dengan konfigurasi *fault tolerance* pada infrastruktur virtual secara terus menerus 24x7x365, tanpa diperlukan *downtime* untuk backup ataupun untuk pemeliharaan perangkat keras. Beberapa *user* mempunyai server produksi yang sudah berjalan pada infrastruktur virtual tanpa *downtime* selama lebih dari tiga tahun. Untuk sistem x86 standar industri, pendekatan virtualisasi menggunakan hypervisor tipe 1 atau hosted arsitektur / hypervisor tipe 2.

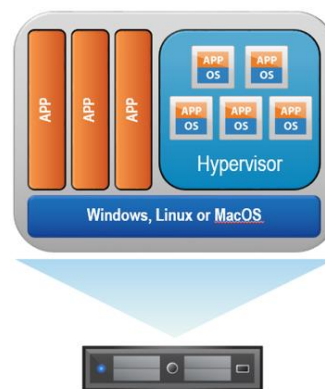
Tipe 1 hypervisor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, berada langsung di perangkat keras sebagai jembatan antara perangkat keras dan mesin virtual, hypervisor tipe ini juga berkomunikasi langsung antara perangkat keras dan mesin virtual. Sistem operasi *host* tidak diperlukan di Tipe 1 karena hypervisor berjalan langsung pada mesin fisik. Karena alasan ini hypervisor tipe 1 disebut “*bare metal hypervisor*”.



Gambar 2.4 Tipe 1 hypervisor atau di sebut “bare metal hypervisor”  
(Rockwell, 2015)

Hypervisor tipe ini yang ada di pasaran adalah VMware vSphere / ESXi, Microsoft Windows Server 2012 Hyper-V, Citrix XenServer, Red Hat *Enterprise Virtualization* (RHEV) dan virtualisasi berbasis *open source machine* (KVM). Tipe 2 hypervisor seperti terlihat pada gambar Gambar 2.5 dipasang di atas OS – operating software untuk mengelola mesin virtual. Pengelolaan perangkat keras oleh hypervisor dibantu oleh konfigurasi sistem operasi dari host server/komputer. Lapisan ekstra antara perangkat keras dan mesin virtual dalam tipe 2 hypervisor menyebabkan ketidakefisienan dibandingkan dengan hypervisor tipe 1. VirtualBox

dan VMware Workstation berada dalam kategori ini. Sebutan “*Host* atau *Guest machine*” digunakan dalam hypervisor tipe ini untuk menggambarkan peran yang berbeda. *Host machine* (domain) berisi hypervisor untuk mengelola mesin virtual, dan *Guest machine* (domain) berarti setiap mesin virtual yang ada di mesin yang di-host di lingkungan yang terisolasi dari mesin virtual lainnya. Dengan peran terpisah ini, hypervisor dapat melakukan batasan sumber daya untuk beberapa mesin virtual pada mesin fisik yang sama. Dengan kata lain, hypervisor adalah lapisan perangkat lunak yang menciptakan lingkungan virtual dengan memvirtualisasi perangkat CPU, memori, I/O, penyimpanan dan jaringan dengan mengabstraksi perangkat keras yang ada dibawahnya. Mesin virtual (VM) biasanya mengacu pada entitas yang dienkapsulasi atau dibungkus termasuk sistem operasi dan aplikasi yang sedang berjalan di dalamnya juga (Lee, 2014).

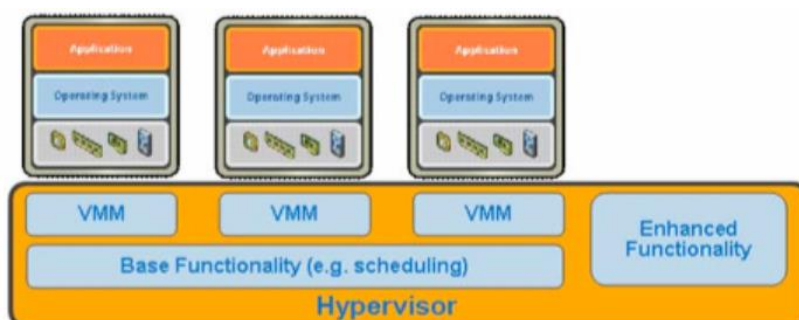


Gambar 2.5 Tipe 2 hypervisor (Rockwell, 2015)

Hypervisor tipe 1 lebih efisien daripada hypervisor tipe 2 karena memberikan skalabilitas yang lebih besar, ketangguhan dan kinerja. VMware Player, ACE, VMware workstation dan VMware Server menggunakan arsitektur hypervisor tipe 2 untuk fleksibilitas, sementara ESX Server menggunakan arsitektur hypervisor tipe 1 pada perangkat keras bersertifikat server untuk kinerja sekelas data center.

Untuk lebih memahami teknik yang digunakan virtualisasi x86, latar belakang singkat pada bagian dan komponen sangat berguna. Lapisan virtualisasi adalah perangkat lunak yang bertanggung jawab untuk hosting dan mengelola semua mesin virtual pada virtual mesin monitor (VMM). Seperti yang digambarkan

pada Gambar 2.6, lapisan virtualisasi adalah hypervisor yang beroperasi langsung pada perangkat keras. Fungsi hypervisor sangat bervariasi berdasarkan arsitektur dan implementasinya. Setiap VMM berjalan pada hypervisor mengimplementasikan virtualisasi perangkat keras pada mesin virtual dan bertanggung jawab untuk menjalankan OS tamu. Setiap VMM harus mempartisi dan membagikan CPU, memori dan perangkat I/O untuk memastikan proses virtualisasi berjalan dengan sempurna. (VMware, 2007)

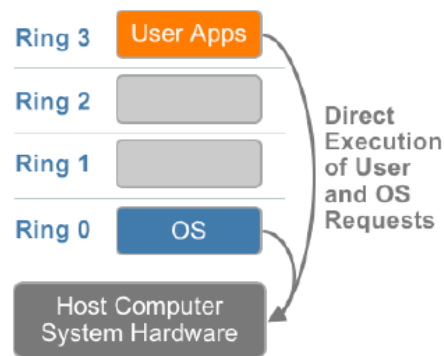


Gambar 2.6 Hypervisor mengelola VMM untuk mesin virtual (VMware, 2007)

### 2.3.1 VIRTUALISASI CPU

Sistem operasi X86 dirancang untuk dijalankan secara langsung pada perangkat keras *bare-metal*, sehingga mereka secara alami beranggapan ‘memiliki’ perangkat keras komputer sepenuhnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, arsitektur x86 menawarkan empat level privilege yang dikenal sebagai Ring 0, 1, 2 dan 3 untuk sistem operasi dan aplikasi untuk mengelola akses ke perangkat keras komputer. Level aplikasi pengguna biasanya dijalankan pada Ring 3, sementara sistem operasi harus memiliki akses langsung ke memori dan perangkat keras, selain itu sistem operasi harus menjalankan *privileged instructions* dalam Ring 0. Virtualisasi arsitektur x86 membutuhkan penempatan lapisan virtualisasi di bawah sistem operasi (yang mengharapkan berada ring paling istimewa yaitu Ring 0) untuk bisa membuat dan mengatur mesin virtual yang memberikan *shared resources*.





Gambar 2.7 x86 privilege level architecture without virtualization (VMware, 2007)

Lebih lanjut masalah menjadi rumit ketika beberapa instruksi sensitif tidak dapat secara efektif divirtualisasikan karena mereka memiliki semantik yang berbeda ketika tidak dieksekusi di ring 0. Kesulitan dalam menangkap dan menerjemahkan permintaan sensitif dan *privileged instruction* saat runtime adalah tantangan yang awalnya membuat virtualisasi arsitektur x86 terlihat mustahil. Pada tahun 1998 VMware menyelesaikan tantangan tersebut dan mengembangkan teknik terjemahan biner yang memungkinkan VMM dijalankan di Ring 0 untuk tujuan isolasi dan performa, sementara sistem operasi dipindahkan ke ring level tingkat *user* dengan hak istimewa yang lebih besar daripada aplikasi di Ring 3 tetapi mempunyai *privilege* lebih kecil dibanding virtual mesin monitor di Ring 0. Pendekatan *full* virtualisasi menggunakan terjemahan biner saat ini menjadi standar *de facto* yang dipasang oleh lebih dari 20.000 pengguna. Dunia industri secara umum belum menyetujui standar terbuka untuk mendefinisikan dan mengelola virtualisasi. Setiap perusahaan yang mengembangkan solusi virtualisasi bebas untuk menginterpretasikan tantangan teknis dan mengembangkan solusi dengan berbagai kekuatan dan kelemahannya.

Ada tiga teknik alternatif saat ini untuk menangani issue sensitif dan *privileged instruction* untuk virtualisasi CPU pada arsitektur x86:

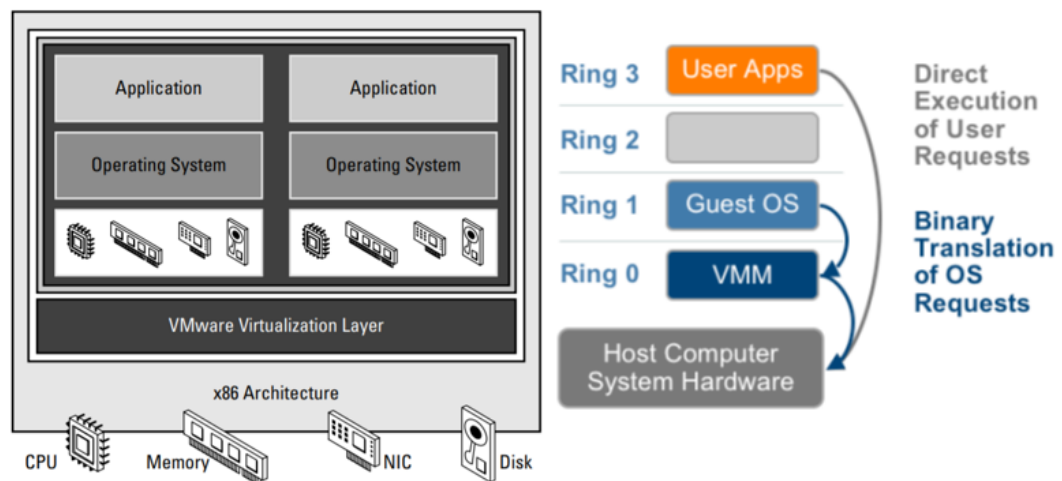
- Full virtualisasi menggunakan terjemahan biner
- Paravirtualisasi atau *OS assisted virtualization*
- *Hardware assisted virtualization* (generasi 1)

## **Full Virtualisasi**

*Full* virtualisasi melakukan emulasi perangkat keras, perangkat lunak virtualisasi (hypervisor) menciptakan mesin virtual dengan meniru keseluruhan perangkat keras. Hypervisor menyediakan virtualisasi tanpa memodifikasi *guest OS*. Lingkungan perangkat keras yang ditiru ini disebut sebagai virtual mesin monitor (VMM). *Guest OS* dipasang dalam mesin virtual (VM) akan berinteraksi dengan VMM bukan dengan perangkat keras fisik yang digunakan perangkat lunak virtualisasi. Dengan kata lain, *guest OS* tidak diinstal pada fisik mesin, tetapi diinstall pada mesin virtual yang mengemulasi perangkat keras. VMM mengoordinasikan akses antara VM tamu dan perangkat keras yang sebenarnya. Karena *guest OS* dan VM keduanya disimpan dalam bentuk file yang bersama-sama membentuk file *system image* yang lengkap, file image ini dapat bermigrasi dari satu hypervisor ke hypervisors yang lain meskipun berada pada mesin fisik yang berbeda. Portabilitas mesin virtual ini menawarkan fleksibilitas yang tinggi untuk memudahkan instalasi dalam jumlah yang besar dan membentuk dasar untuk sebagian besar aplikasi virtualisasi lanjutan.

Full virtualisasi dapat dilakukan pada sistem operasi x86 menggunakan teknik kombinasi terjemahan biner dan eksekusi langsung. Pendekatan ini, yang digambarkan pada Gambar 2.8, menerjemahkan kode kernel untuk menggantikan instruksi *nonvirtualizable* dengan urutan instruksi baru yang akan memiliki efek yang diinginkan pada perangkat keras virtual. Sementara itu, kode level pengguna secara langsung dieksekusi pada prosesor untuk virtualisasi mendapatkan performa tinggi. Setiap virtual mesin monitor melayani setiap mesin virtual untuk keperluan yang berhubungan dengan sistem perangkat keras, termasuk virtual BIOS, perangkat virtual dan manajemen memori virtual. Kombinasi terjemahan biner dan eksekusi langsung tersebut menyediakan *Full Virtualization* sebagaimana OS tamu sepenuhnya diabstraksikan (dipisahkan) dari perangkat keras dengan dasar lapisan virtualisasi. OS tamu tidak memerlukan modifikasi pada virtualisasi tipe ini. Virtualisasi penuh adalah satu-satunya pilihan yang tidak memerlukan bantuan perangkat keras atau sistem operasi untuk membantu memvirtualisasikan instruksi yang sensitif dan *privileged instruction*. Hypervisor menerjemahkan semua

instruksi sistem operasi dengan cepat dan menyimpan sementara (*cache*) hasilnya untuk digunakan lagi bila diperlukan, sementara instruksi pada tingkat user tidak dilakukan modifikasi dan berjalan pada kecepatan aslinya. *Full* virtualisasi memberikan isolasi dan keamanan terbaik untuk mesin virtual, dan menyederhanakan migrasi dan portabilitas sebagaimana OS tamu yang sama dapat berjalan pada mode perangkat keras virtual maupun konvensional.



Gambar 2.8 Full Virtualisasi, emulasi perangkat keras (VMware, 2007) (Golden, 2007)

Pada dasarnya, ketika OS tamu di-*install*, perangkat lunak virtualisasi dengan cerdas menata ulang perangkat lunak OS tamu secara internal sehingga panggilan yang awalnya yang berusaha untuk mengakses sumber daya perangkat keras fisik sekarang diarahkan ke sumber daya didalam VMM. Akibatnya, cukup mudah menggunakan emulasi perangkat keras, karena menginstal OS tamu yang tidak dimodifikasi, dan emulasi hardware secara transparan mengatur modifikasi berbagai bit untuk memastikan seluruh proses virtualisasi berfungsi dengan baik. Pendekatan virtualisasi ini bukan hanya mendukung beberapa OS berjalan bersamaan dalam server host, tapi juga mendukung OS yang berbeda baik berbeda dalam versi dan tingkat patch ataupun OS yang benar-benar berbeda seperti Windows dan Linux dapat dijalankan secara bersamaan dalam perangkat lunak virtualisasi emulasi perangkat keras.

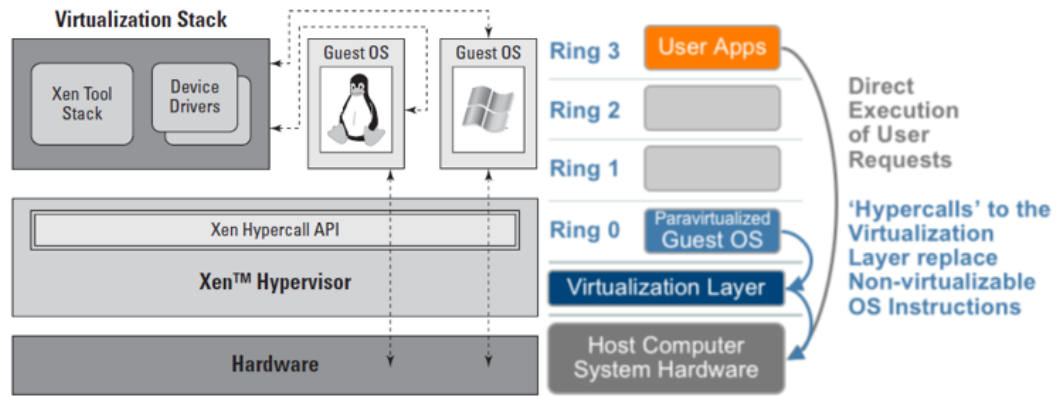
Aplikasi umum untuk emulasi perangkat keras ini adalah pengembangan perangkat lunak dan jaminan kualitas karena mereka memungkinkan sejumlah OS yang berbeda untuk dijalankan secara bersamaan, sehingga memfasilitasi pengembangan secara paralel dan pengujian perangkat lunak di sejumlah lingkungan sistem operasi yang berbeda. Perangkat keras emulasi juga digunakan dalam konsolidasi server, di mana sejumlah sistem operasi dan aplikasi dipindahkan dari mesin fisiknya dan dipindahkan ke satu server yang menjalankan perangkat lunak virtualisasi. Microsoft Virtual Server dan VMware ESXi menggunakan teknik ini.

### Para-virtualisasi

"Para" adalah imbuhan yang berasal dari Yunani yang berarti "di samping" atau "berdampingan". Mengingat artinya adalah "bersama virtualisasi" paravirtualisasi mengacu pada komunikasi antara OS tamu dan hypervisor untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi dari proses virtualisasi. Paravirtualisasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, melibatkan modifikasi kernel OS untuk menggantikan instruksi *nonvirtualizable* dengan *hypercalls* yang berkomunikasi langsung dengan lapisan virtualisasi hypervisor. Hypervisor juga menyediakan *hypercall interface* untuk operasi kernel penting lainnya seperti misalnya manajemen memori, penanganan interupsi dan monitor waktu. Software para virtualisasi melakukan proses multipleksing dan mengkoordinasi keperluan akses ke perangkat keras oleh sistem operasi tamu ke sumber daya fisik di bawahnya, dengan kata lain, paravirtualisasi tidak membuat mesin virtual secara keseluruhan untuk mengakomodasi OS tamu, tetapi memungkinkan OS tamu untuk berinteraksi langsung dengan hypervisor seperti terlihat pada Gambar 2.9.

Pendekatan ini memiliki dua keuntungan: Pertama, sistem ini memerlukan lebih sedikit overhead untuk proses virtualisasi karena menggunakan kode program yang sangat sedikit, tetapi keunggulan kinerja paravirtualization dibandingkan *full* virtualisasi dapat sangat bervariasi tergantung pada beban kerja. *Full-virtualization* menyisipkan seluruh lapisan emulasi perangkat keras antara sistem operasi tamu dan perangkat fisik. Sebaliknya, perangkat lunak ringan para-virtualisasi bertindak lebih seperti polisi lalu lintas, memungkinkan satu OS tamu mengakses ke sumber

daya fisik dari perangkat keras sementara menghentikan OS tamu yang lain mengakses sumber daya yang sama pada saat yang bersamaan.



Gambar 2.9 Gambar pendekatan dan paravirtualisasi (VMware, 2007) (Golden, 2007)

Keuntungan kedua dari pendekatan paravirtualisasi bila dibandingkan dengan full-virtualization adalah bahwa paravirtualization tidak membatasi OS tamu ke perangkat driver yang terdapat dalam perangkat lunak virtualisasi. Bahkan, paravirtualization tidak menyertakan driver perangkat apa pun sama sekali. Sebaliknya, ia menggunakan driver perangkat yang ada di salah satu sistem operasi tamu yang dimaksud sebagai *privileged guest* (Microsoft menggunakan istilah partisi root untuk merujuk pada hal yang sama). Hal ini mengatakan bahwa ini adalah keuntungan karena memungkinkan organisasi memanfaatkan semua kemampuan perangkat keras di server. Paravirtualisasi menggunakan kapabilitas sistem operasi yang disebut *shared memory* untuk mencapai kinerja yang lebih tinggi. *shared memory* adalah memori yang dapat diakses oleh dua program berbeda. Paravirtualisasi menggunakan memori bersama untuk mengirim data bolak-balik antara OS tamu dan hypervisor, sehingga dapat mencapai tingkat kinerja yang lebih tinggi.

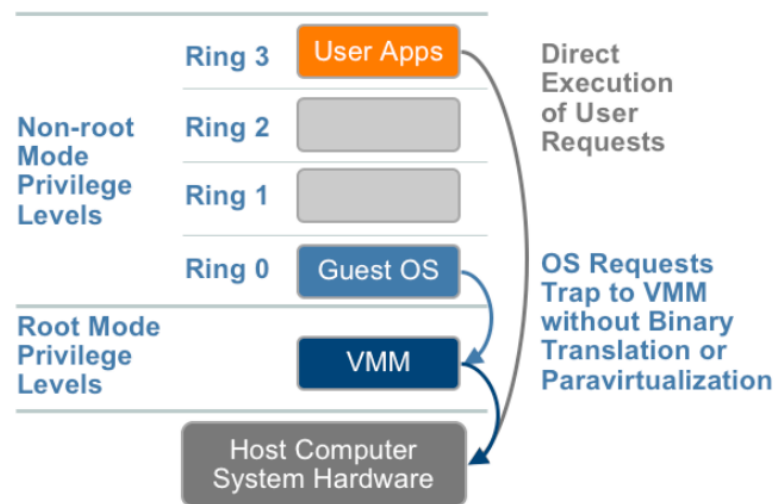
Ada satu kelemahan signifikan dalam pendekatan paravirtualisasi, karena hypervisor programnya sangat ringan namun masih harus melakukan akses multipleksing ke perangkat keras di bawahnya, maka paravirtualisasi membutuhkan bantuan untuk pekerjaan yang berat lainnya. Dengan kata lain, teknik

ini membutuhkan modifikasi sistem operasi tamu sebelum dijalankan untuk bisa berinteraksi dengan *paravirtualization interface*. Hal ini hanya dapat dicapai dengan memiliki akses ke kode sumber dari OS tamu. Akses ini dimungkinkan untuk sistem operasi open source seperti Linux atau salah satu dari BSD (*Berkeley Software Distribution*) tetapi hal itu tidak mungkin dilakukan untuk produk produk OS berlisensi seperti Microsoft. Ketidakmampuan untuk memvirtualisasikan OS Microsoft adalah kelemahan yang signifikan bagi banyak pengguna. Produk yang paling terkenal dengan pendekatan paravirtualisasi ini adalah open source yang disebut Xen, yang disponsori oleh iklan perusahaan bernama XenSource. Xen termasuk dalam distribusi Linux Red Hat dan Novell, serta tersedia secara luas di komunitas Linux seperti Debian dan Ubuntu. Virtualisasi Microsoft Server juga didasarkan pada pendekatan paravirtualisasi (Golden, 2007).

#### *Hardware Assisted Virtualization*

Vendor perangkat keras seperti Intel dan AMD dengan cepat melihat peluang teknologi virtualisasi dan mengembangkan fitur baru untuk menyederhanakan teknik virtualisasi. Peningkatan generasi pertama termasuk Intel Teknologi Virtualisasi (VT-x) dan AMD-V dimana keduanya menasar *privileged instructions* dengan fitur baru mode eksekusi CPU yang memungkinkan VMM dapat dijalankan dalam mode root baru di bawah Ring 0. Sebagaimana digambarkan dalam Gambar 2.10, panggilan istimewa dan sensitif diatur untuk secara otomatis diarahkan ke hypervisor, hal ini menghilangkan kebutuhan untuk translasi biner ataupun paravirtualisasi. Status tamu disimpan di *Virtual Machine Control Structures* (VT-x) atau *Virtual Machine Control Blocks* (AMD-V). Chip baru ini memungkinkan operasi paravirtualisasi tidak perlu melakukan modifikasi OS, khususnya Microsoft Windows, untuk di install di host paravirtualisasi hypervisor. Kelemahan paravirtualisasi ini berkurang sebagaimana CPU tipe baru mengambil alih fungsi tersebut. CPU atau chip baru dari Intel dan AMD biasanya mempunyai fasilitas yang disebut *virtualization-enabled*, menunjukkan bahwa mereka memiliki kemampuan tambahan yang memungkinkan beberapa fungsi yang sebelumnya disediakan oleh hypervisor diambil alih fungsinya oleh chip. Karena proses pada chip atau level hardware biasanya jauh lebih cepat daripada perangkat

lunak, maka chip *virtualization-enabled* menawarkan kinerja virtualisasi yang lebih baik. Prosesor dengan Intel VT dan AMD-V mulai tersedia di pasaran pada tahun 2006, jadi hanya sistem yang lebih baru yang mempunyai fitur bantuan perangkat keras ini. Karena transisi hypervisor ke OS tamu mempunyai overhead yang tinggi dan model pemrograman yang kaku, pendekatan VMware pada translasi biner saat ini tetap mengungguli virtualisasi tipe *hardware assisted* pada generasi pertama.



Gambar 2.10 Pendekatan virtualisasi x86 hardware assist (VMware, 2007)

### Ringkasan Teknik Virtualisasi

Tabel 2.1 dibawah ini adalah matrix ringkasan perbandingan kelebihan dan kekurangan dari semua teknik virtualisasi yang sudah dijelaskan secara mendetail pada bab diatas.

Tabel 2.1 Perbandingan teknik virtualisasi (VMware, 2007)

	Full Virtualization with Binary Translation	Hardware Assisted Virtualization	OS Assisted Virtualization / Paravirtualization
Technique	Binary Translation and Direct Execution	Exit to Root Mode on Privileged Instructions	Hypercalls
Guest Modification / Compatibility	Unmodified Guest OS Excellent compatibility	Unmodified Guest OS Excellent compatibility	Guest OS codified to issue Hypercalls so it can't run on Native Hardware or other Hypervisors  Poor compatibility; Not available on Windows OSes
Performance	Good	Fair Current performance lags Binary Translation virtualization on various workloads but will improve over time	Better in certain cases
Used By	VMware, Microsoft, Parallels	VMware, Microsoft, Parallels, Xen	VMware, Xen
Guest OS Hypervisor Independent?	Yes	Yes	XenLinux runs only on Xen Hypervisor  VMI-Linux is Hypervisor agnostic

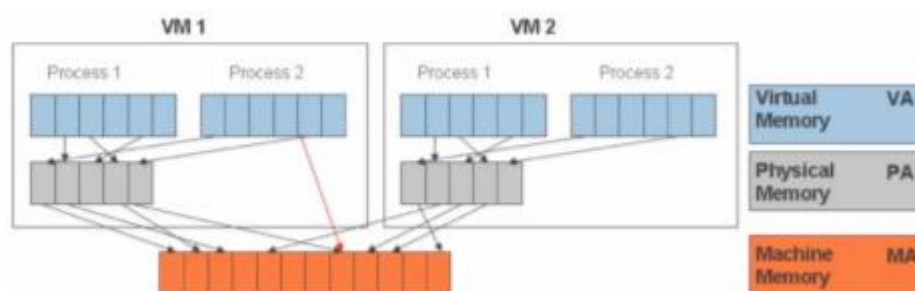
### 2.3.2 VIRTUALISASI MEMORI

Disamping virtualisasi CPU, komponen penting berikutnya adalah virtualisasi memori. Ini melibatkan pembagian antara memori sistem fisik dan mengalokasikannya secara dinamis ke mesin virtual. Virtualisasi memori dari VM sangat mirip dengan dukungan memori virtual yang disediakan oleh sistem operasi modern. Aplikasi mencari ruang alamat yang berdekatan (hal ini tidak perlu terkait dengan memori fisik dalam sistem). Sistem operasi terus membuat peta pada nomor halaman virtual ke nomor halaman fisik yang disimpan dalam tabel halaman. Semua CPU x86 modern termasuk manajemen memori unit (MMU) dan *Translation Lookaside Buffer* (TLB) bersama sama mengoptimalkan performa dari virtual memory.

Server fisik memerlukan virtualisasi memori beberapa tingkat untuk menjalankan beberapa mesin virtual. Dengan kata lain, kita harus melakukan virtualisasi MMU untuk mendukung OS tamu yang secara berkelanjutan



mengontrol pemetaan alamat virtual ke alamat fisik dari memori tamu, tetapi OS tamu tidak dapat memiliki akses langsung ke memori mesin yang sebenarnya. VMM bertanggung jawab untuk memetakan memori fisik tamu ke memori mesin yang sebenarnya. VMM menggunakan *shadow page tables* untuk mempercepat pemetaan. Seperti yang digambarkan oleh garis merah pada Gambar 2.11, VMM menggunakan perangkat keras TLB untuk memetakan memori virtual secara langsung ke memori mesin untuk menghindari dua tingkat terjemahan pada setiap akses. Ketika OS tamu mengubah memori virtual ke pemetaan memori fisik, VMM memperbarui *shadow page tables* untuk mengaktifkan *direct lookup*. Virtualisasi MMU menciptakan beberapa overhead untuk semua pendekatan virtualisasi, tetapi ini adalah area dimana *hardware assisted virtualization* generasi kedua yang akan menangani (VMware, 2007).



Gambar 2.11 Virtualisasi memori (VMware, 2007)

### 2.3.3 VIRTUALISASI STORAGE

Jumlah data yang dibuat dan disimpan oleh pengguna tumbuh dengan pesat. Pertumbuhan yang luar biasa dalam kebutuhan akan *data storage* telah membuat virtualisasi penyimpanan semakin penting. Virtualisasi penyimpanan adalah proses abstraksi *logical storage* dari *physical storage*. Sumber daya *physical storage* seperti disk drive, dikumpulkan ke dalam *storage pools*, dimana *logical storage* dibuat dan disajikan kepada software aplikasi. Virtualisasi *storage* dapat diimplementasikan dalam *storage array server* atau *storage network* di tingkat jaringan dimana beberapa *disk array* dari *storage network* dapat berasal dari vendor yang berbeda dan tersebar di jaringan dan dapat digabung menjadi satu perangkat penyimpanan tunggal. Ini memungkinkan beberapa array untuk dikelola secara

seragam seolah-olah mereka adalah satu kesatuan. Virtualisasi *storage array* menawarkan lebih banyak fleksibilitas, menyederhanakan manajemen, kinerja yang lebih baik dan pemanfaatan kapasitas storage yang maximum dibandingkan dengan *array disk* tradisional.

Terdapat dua jenis utama sistem *storage network* yang biasa dipakai dalam virtualisasi penyimpanan yaitu; Sistem NAS dan SAN. Sistem penyimpanan bersama atau *shared storage* (SAN atau NAS) diperlukan dan mempunyai kemampuan canggih untuk mendukung kemampuan virtualisasi server, seperti *live migration* mesin virtual, *high availability*, *fault tolerance*, dan *disaster recovery*.



Gambar 2.12 *Storage array server*

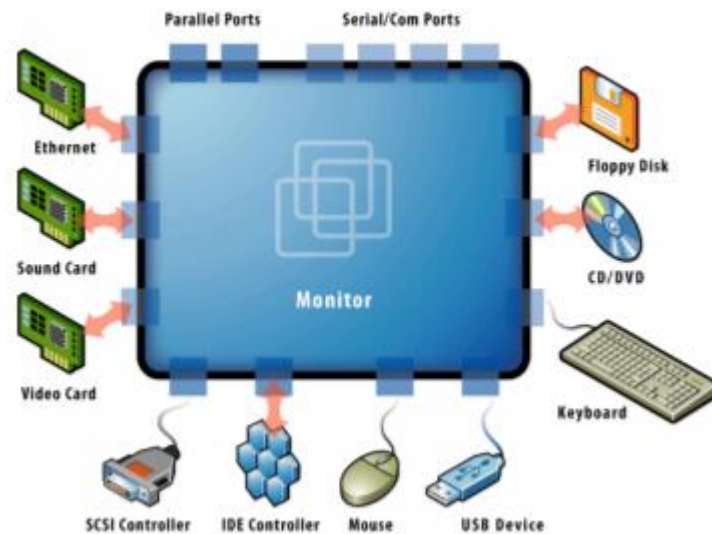
*Storage area network* (SAN) adalah perangkat penyimpanan (seperti disk array) yang dapat diakses oleh server sehingga perangkat tersebut muncul seolah-olah sebagai *local storage* pada sistem operasi. SAN seperti pada Gambar 2.12 biasanya memiliki jaringan perangkat penyimpanan sendiri yang umumnya tidak dapat diakses melalui jaringan reguler. Perangkat SAN sendiri tidak menyediakan proses abstraksi “file” seperti NAS, hanya operasi di tingkat blok. SAN mempunyai jaringan khusus diperuntukkan khusus perangkat penyimpanan, semua bekerja sama untuk menyediakan penyimpanan tingkat blok dengan sangat baik. Sementara NAS adalah perangkat / server / alat komputasi tunggal yang berbagi penyimpanannya sendiri melalui jaringan.

Sebagian besar SAN menggunakan konektivitas Fibre Channel, teknologi jaringan dirancang khusus untuk menangani komunikasi penyimpanan, atau iSCSI,

yang merupakan standar jaringan berbasis IP untuk menghubungkan perangkat penyimpanan. Banyak perusahaan pindah ke penyimpanan SAN untuk memusatkan manajemen data perusahaan. Penggunaan umum dari SAN termasuk penyediaan data yang dapat diakses secara transaksional yang membutuhkan akses tingkat blok berkecepatan tinggi ke hard drive penyimpanan, contohnya server e-mail, data base, dan file server dengan penggunaan yang tinggi. (Golden, 2007)

#### **2.3.4 VIRTUALISASI I/O**

Komponen lain yang diperlukan adalah perangkat dan I/O virtualisasi. Ini melibatkan pengaturan rute permintaan I/O antara perangkat virtual dan berbagi perangkat fisik. Perangkat lunak berbasis I/O virtualisasi dan manajemen memiliki banyak kelebihan dan manajemen yang sederhana, hal ini berbeda dengan *direct pass-through* ke perangkat keras. Dengan network misalnya, virtual NIC dan switch membuat virtual jaringan antar mesin virtual tanpa lalu lintas jaringan yang memakan bandwidth pada jaringan fisik, NIC teaming memungkinkan beberapa NIC fisik untuk tampil sebagai backup dan failover secara transparan untuk mesin virtual, dan mesin virtual dapat dipindahkan secara mulus ke sistem yang berbeda menggunakan VMotion sambil mempertahankan MAC addressnya. Kunci untuk virtualisasi I/O yang efektif adalah menjaga manfaat virtualisasi ini sekaligus menjaga pemanfaatan CPU seminimal mungkin. Hypervisor memvirtualisasi perangkat keras fisik dan menyajikan setiap mesin virtual dengan perangkat virtual yang terstandarisasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.13. Perangkat virtual ini secara efektif meng-emulasikan perangkat keras yang terkenal, umum dan menerjemahkan permintaan mesin virtual ke perangkat keras sistem. Standarisasi pada device driver yang konsisten membantu standarisasi mesin virtual dan portabilitas di seluruh platform karena semua mesin virtual dikonfigurasi untuk dijalankan pada perangkat keras virtual yang sama terlepas dari perangkat fisik yang sebenarnya di dalam sistem (VMware, 2007).

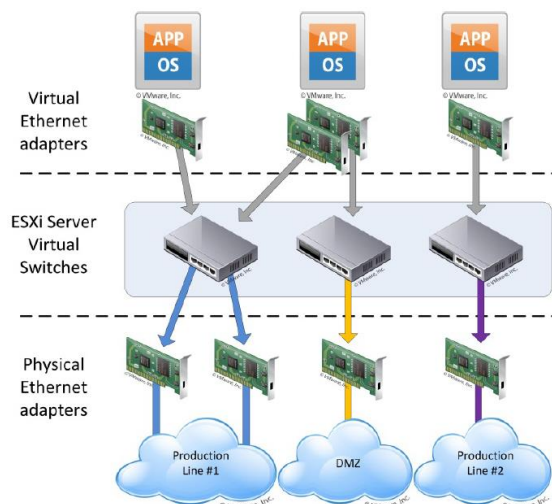


Gambar 2.13 Virtualisasi I/O (VMware, 2007)

### 2.3.5 VIRTUALISASI JARINGAN

Virtualisasi jaringan menyediakan logical devices dalam perangkat lunak di atas jaringan fisik. Perangkat virtual mendukung I/O sharing di beberapa VM dengan akses secara serial. Sebagai bagian dari virtualisasi I/O, jaringan dalam sistem virtualisasi membutuhkan isolasi antara mesin virtual dan mesin fisik. Tidak seperti perangkat penyimpanan virtualisasi yang berbasis blok, virtualisasi jaringan berbasis paket yang mengharapkan aliran paket intermix. Seperti yang terlihat pada gambar 2.14 Virtual Mesin Monitor (VMM) menawarkan Network Interface Card (NIC) dengan emulasi atau para-virtualisasi untuk menyampaikan logical network devices. Langkah ini menurunkan kinerja dan meningkatkan latensi akses jaringan dibandingkan dengan non VM. Dalam teknologi virtualisasi seperti Xen dan VMware, instruksi I/O divirtualisasikan dan dikelola oleh VMM. teknik berbasis perangkat lunak seperti para-virtualized NIC (address translation) atau disk emulasi (instruction translation) memungkinkan perlindungan pada integritas data ke perangkat VMS sharing I/O berbagi VMS tetapi dengan penurunan formance dan kehilangan bandwidth. Massimo Cafaro melakukan percobaan efek dari perangkat virtualisasi arsitektur dengan httpperf dan net-perf. Hasilnya 70% drop pada throughput diidentifikasi dalam para-sistem virtual, dan 50% dari kehilangan

bandwidth yang tersedia diidentifikasi dalam VM terkonsolidasi (Cafaro & Aloisio, 2011).



Gambar 2.14 Virtualisasi Jaringan (Rockwell, 2013)

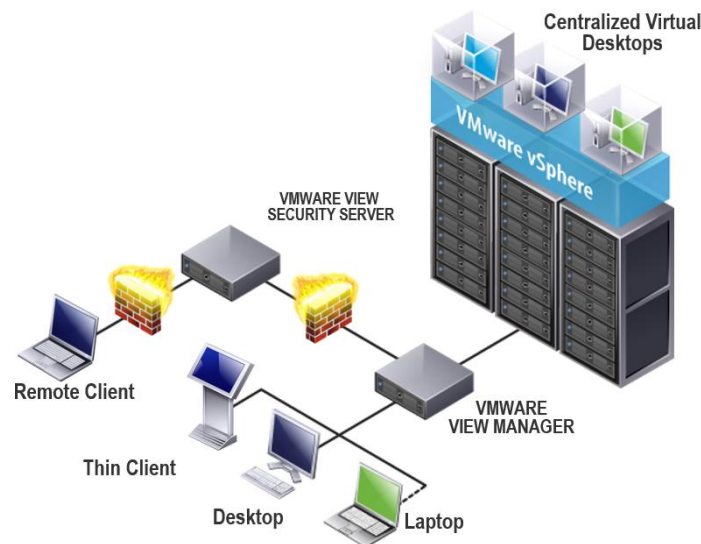
### 2.3.6 VIRTUALISASI APLIKASI

Virtualisasi aplikasi mengacu pada pemisahan program eksekusi dari tampilan program; dengan kata lain, sebuah program seperti Microsoft Word dijalankan pada server yang terletak mungkin jauh dari user, tetapi output grafis atau tampilan dikirim ke user dan sebaliknya user bisa mengirimkan semua sinyal keyboard ke server. User melihat tampilan grafis secara penuh dari program dan dapat berinteraksi dengannya melalui keyboard dan mouse. Varian dari virtualisasi aplikasi adalah dimana aplikasi tidak dijalankan pada server di pusat data, tetapi aktif di perangkat klien.

Perbedaan dari mode penggunaan aplikasi tradisional terletak pada cara aplikasi dikelola - bukannya diinstal secara permanen di perangkat klien, itu dikirim ke perangkat klien setiap kali perangkat dinyalakan. Mode "instal di setiap penggunaan" ini mungkin tampak berulang, tetapi memungkinkan organisasi TI untuk mengontrol aplikasi lebih baik - untuk memastikan bahwa aplikasi selalu diperbarui dengan versi baru, patch, dan update (Golden, 2007).

### 2.3.7 VIRTUALISASI DESKTOP

Tidak seperti virtualisasi aplikasi di mana satu atau lebih aplikasi ditampilkan oleh server pusat, pada virtualisasi desktop seperti pada Gambar 2.15 seluruh PC pengguna dijalankan di pusat server, dengan output tampilan grafis ke perangkat klien. Anda akan sering mendengar bentuk virtualisasi klien ini disebut sebagai VDI, yang merupakan singkatan dari *Virtual Desktop Infrastructure*. Keuntungan dari pendekatan ini adalah PC user lebih mudah disimpan, diperbarui dengan patch, handal dan jauh lebih murah dari segi capital cost. Selain itu jauh lebih mudah mengelola sistem PC yang terpusat di lokasi yang sama dari pada yang terpecah berjauhan. Perkembangan baru dalam virtualisasi desktop adalah dioptimalkannya bentuk virtualisasi desktop ini. Daripada perlu menyimpan satu desktop image untuk setiap pengguna - dengan kata lain, untuk 4.000 pengguna maka dibutuhkan 4.000 disk image, sehingga memerlukan banyak data storage, meskipun pada dasarnya data image user PC ini banyak yang identik. Teknologi terbaru VDI menggunakan satu image user PC yang kemudian dikloning sesuai kebutuhan. Kloning ini sangat mengurangi jumlah storage yang dibutuhkan dan membuat virtualisasi desktop sangat menarik secara cost.



Gambar 2.15 Virtualisasi Desktop (Rockwell, 2015)

Sedangkan data-data individu dapat disimpan secara terpisah dan diterapkan ke PC image kloning untuk memastikan bahwa setiap user memiliki aplikasi dan data yang berbeda sesuai kebutuhan. Virtualisasi desktop perlu sebuah perangkat klien yang relatif murah untuk tampilan dan interaksi ke user. *Thin client* adalah perangkat murah dengan sedikit komputasi, daya dan tidak ada penyimpanan disk lokal. Ini dapat mengurangi biaya per perangkat secara signifikan. *Thin client* ini bukan saja lebih murah tetapi juga menggunakan lebih sedikit energi, mengambil lebih sedikit ruang, dan membutuhkan lebih sedikit support karena keandalannya. (Golden, 2007)

## **2.4 KEUNTUNGAN TEKNOLOGI VIRTUALISASI**

Keuntungan dari penerapan teknologi virtualisasi antara lain dijelaskan secara mendetail sebagai berikut:

### **a. Efisiensi Energi**

Bukan rahasia bahwa banyak negara khawatir tentang fenomena pemanasan global. Semua server ataupun PC menghasilkan panas dan mengkonsumsi daya listrik. Kekhawatiran tentang penggunaan sumber daya energi listrik secara berlebihan mempunyai kontribusi pada pemanasan global, sehingga upaya untuk menggunakan energi secara efisien penting untuk setiap perusahaan karena selain mengurangi biaya energi listrik, juga mengurangi melepaskan CO<sub>2</sub> yang menyebabkan efek rumah kaca dan pemanasan global.

Teknologi virtualisasi mampu mengurangi server dan komputer dengan mengoptimalkan sumber daya komponen tersebut, sehingga pemakaian server menjadi lebih sedikit. Virtualisasi server dan PC berarti menggunakan lebih sedikit perangkat keras fisik, sehingga dampaknya adalah pengurangan energi daya listrik server, PC termasuk energi sistem pendinginnya. Virtualisasi memungkinkan organisasi TI untuk mengurangi jumlah total mesin dan disk drive hingga 90 persen. Bahkan penghematan energi yang lebih besar dimungkinkan jika menggunakan mesin generasi baru yang dirancang untuk berfungsi sebagai platform virtualisasi

Sebelum naiknya popularitas virtualisasi, banyak pusat data memiliki server dan penyimpanan yang berjalan hanya 10 persen atau kurang dari kapasitas total.

Dengan kata lain, 90 persen potensi server tidak digunakan, situasi ini adalah pemborosan sumber daya. Dengan menerapkan virtualisasi, organisasi dapat meningkatkan pemanfaatan perangkat keras tersebut dari 10 atau 15 persen hingga 70 atau 80 persen.

#### **b. Mengurangi biaya operasi dan perawatan.**

Salah satu tantangan terbesar bagi organisasi TI adalah mengelola perangkat keras. Kegagalan perangkat keras langsung menyebabkan masalah pada proses bisnis maupun kontrol sistem di bawahnya. Sebelum virtualisasi datang, tugas pemeliharaan dan upgrade server, penyimpanan, dan PC bukanlah hal yang mudah. Karena perangkat server dan komputer yang melayani produksi tidak dapat dimatikan karena melayani bisnis produksi, pemeliharaan dan upgrade biasanya dijadwalkan pada saat shutdown atau off hours. Bahkan, aktivitas perawatan penting kadang-kadang dilewati karena kesulitan menjadwalkan pekerjaan, hal ini dapat menyebabkan kegagalan perangkat keras karena buruknya program perawatan.

Virtualisasi dapat membantu membuat pemeliharaan dan program upgrade secara signifikan lebih mudah dan lebih murah. Mesin virtual tidak lagi tergantung pada satu server, hal ini memungkinkan mesin virtual bermigrasi dari server A ke server B dengan sangat cepat sementara server A perlu dilakukan perawatan berkala. PC Virtualisasi (juga disebut virtual desktop atau klien virtual) memungkinkan proses upgrade, patch, dan perbaikan PC dilakukan secara terpusat, karena semua OS, aplikasi dan data PC berada dalam pusat data bukan pada PC itu sendiri. Dengan menggunakan sistem virtualisasi untuk menggantikan mesin fisik, biaya operasional yang terkait dengan pemeliharaan perangkat keras dapat dikurangi hingga 60 persen atau lebih, tergantung pada rasio konversi virtual server ke server fisik.

Virtualisasi juga dapat mengurangi biaya operasi yang berkenaan dengan manajemen data. Semakin banyak data penting untuk organisasi, yang tersebar di banyak server fisik telah membuat pengelolaan data merupakan tantangan besar bagi sebagian besar organisasi TI. Solusinya banyak organisasi TI yang pindah ke



penyimpanan virtualisasi, dengan memindahkan semua data ke sistem terpusat. Hal ini memungkinkan mengelola total data sebagai satu kesatuan, bukan sedikit demi sedikit data yang tersebar di ratusan atau ribuan individu server. Dengan menggunakan virtualisasi penyimpanan, replikasi data disederhanakan. Sebagian besar solusi penyimpanan virtualisasi datang dengan kemampuan replikasi yang memungkinkan sistem manajemen penyimpanan yang sama menangani seluruh siklus hidup data. Dengan mengurangi jumlah tugas yang terkait dengan pengelolaan dan penyimpanan data, virtualisasi storage mengurangi biaya operasi yang terkait pengelolaan TI. Virtualisasi memotong hubungan kebutuhan antara aset fisik dan sistem OS, dan menciptakan kumpulan komponen TI yang dapat dialokasikan secara dinamis dan digunakan sesuai kebutuhan. Hardware adalah merupakan biaya tertinggi pada peralatan SCADA Automation, mengurangi jumlah perangkat keras yang digunakan akan dengan sendirinya mengurangi biaya operasi dan perawatan peralatan.

#### **c. Response time lebih cepat**

Bila SCADA menggunakan server fisik dan tiba tiba mati, waktu pengalihan tergantung pada sejumlah faktor, yaitu: server cadangan yang siap dan tersedianya image server sebagai back up. Apabila hal ini tersedia maka diperlukan waktu 2 – 8 jam tergantung pada skill *maintenance*, untuk melakukan restorasi server. Dengan virtualisasi, *redeploy* dan *response time* bisa dilakukan dalam hitungan menit. Hal ini dikarenakan virtualisasi server dan komputer membuat file virtualisasi yang dapat dengan mudah dipindah-pindahkan dari satu storage ke storage lain. Sedangkan resource CPU, memory dan Network dilayani oleh server yang berbeda. Apabila server resource tersebut bermasalah maka dengan cepat Virtual server akan pindah ke server yang tersedia.

#### **d. Kemudahan backup Sistem**

Sistem tidak hanya dapat melakukan full backup dari SCADA server virtual, Sistem juga dapat melakukan backup dan snapshot dari mesin virtual. Server virtual ini dapat dipindahkan dari satu server ke server yang lain dan dipindah-pindah lebih mudah dan cepat. Snapshots dapat diambil sepanjang hari, memastikan data yang jauh lebih up-to-date.

#### **e. Pengujian yang lebih baik**

Virtual juga merupakan tempat pengetesan dan pengujian yang sangat baik, Jika engineer membuat kesalahan tragis, semua tidak hilang. Kembali ke snapshot sebelumnya dan bergerak maju seolah-olah kesalahan itu bahkan tidak terjadi. Virtualisasi juga dapat mengisolasi lingkungan pengujian ini dari pengguna akhir sambil tetap online.

#### **f. Multi Vendor**

Salah satu hal kelebihan virtualisasi adalah pemisahan antara perangkat lunak dan perangkat keras. Ini berarti SCADA server dan komputer tidak perlu terikat pada satu vendor tertentu - mesin virtual tidak terlalu peduli dengan perangkat keras apa yang mereka jalankan, jadi sistem tidak terikat dengan vendor tertentu. Umumnya vendor server dan komputer yang mengkhususkan untuk merk SCADA dan kontrol sistem tertentu mempunyai biaya peralatan yang jauh lebih mahal dari pada server dan komputer pada umumnya.

#### **g. Disaster Recovery yang lebih cepat**

*Disaster Recovery* (juga disebut DR) adalah asuransi jiwa untuk sistem IT juga terutama SCADA sistem. Ketika bencana melanda, operasi server dan komputer harus dibawa kembali online secepat mungkin. Mekanisme umum untuk DR adalah memiliki cadangan kedua pusat data dengan sumber daya komputasi dan aplikasi yang siap tersedia saat itu juga. Beberapa tantangan masalah yang cenderung muncul ketika melakukan back up adalah:

- ✓ Menyimpan cadangan atau backup untuk server, komputer dan aplikasi yang tidak melakukan pekerjaan apapun memerlukan biaya yang mahal.
- ✓ Masalah kedua adalah menjaga data backup tetap konsisten di antara pusat data operasi dan backup. Tidak ada gunanya mempertahankan cadangan pusat data jika semua data dalam sistem jika seminggu kadaluarsa.

Virtualisasi adalah solusi untuk DR. Mesin virtual dapat dengan mudah ditransfer dalam beberapa detik atau menit ke backup pusat data; dalam keadaan sulit, banyak mesin virtual dapat dijalankan pada sejumlah server fisik yang lebih

kecil, mengurangi biaya sumber daya fisik yang diperlukan untuk DR. Selain itu, penyimpanan bersama virtual dapat digunakan untuk mereplikasi data di seluruh pusat data, memastikan bahwa data konsisten dan membuat sistem lebih mudah untuk kembali online dengan segera. Sistem DR - Disaster Recovery jauh lebih mudah saat server dan komputer SCADA di virtualisasi. Dengan backup file yang ada dapat segera bangkit dan berjalan dengan cepat. Dan jika bencana menyerang pusat data itu sendiri, sistem selalu dapat memindahkan mesin virtual tersebut ke tempat lain. Dengan tingkat fleksibilitas tersebut berarti rencana pemulihan bencana akan lebih mudah diberlakukan dan akan memiliki tingkat keberhasilan yang jauh lebih tinggi.

#### **h. Mengurangi ruangan server dan komputer**

Virtualisasi menawarkan kemampuan untuk meng-host beberapa guest server maupun komputer pada satu server fisik, hal ini memungkinkan organisasi untuk dapat mengurangi kebutuhan akan ruang dan tempat untuk server maupun komputer, sehingga menghindari biaya membangun lebih banyak ruang pusat data. Ini sangat besar manfaatnya, karena biaya untuk membangun ruang server atau pusat data dengan segala fasilitasnya seperti; sistem pendingin, backup power; sistem pendeteksi dan pemadam kebakaran memerlukan memerlukan biaya jutaan dollar (Golden, 2007).

#### **i. Meningkatkan umur aplikasi**

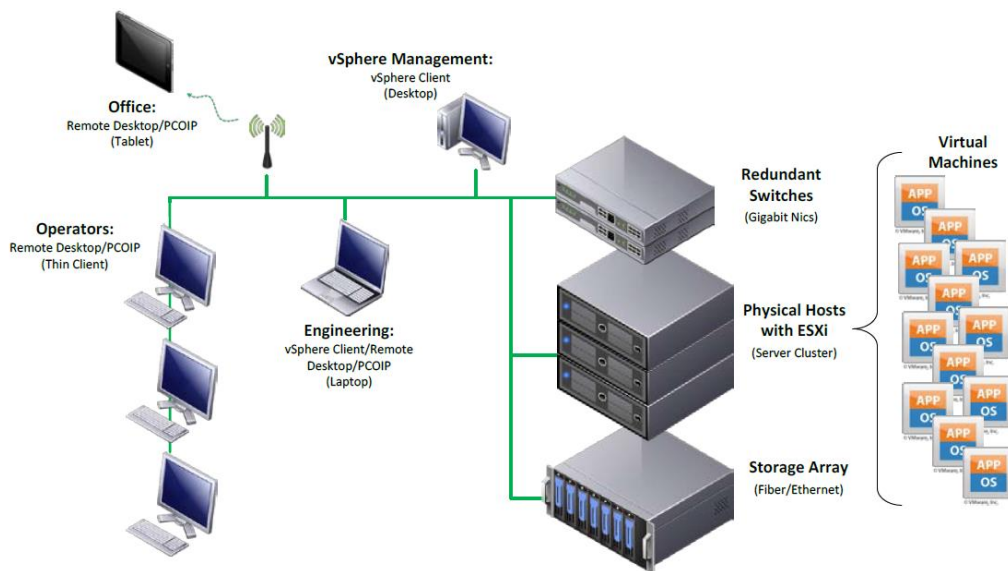
Banyak industri berjuang dengan siklus hidup perangkat keras dan perangkat lunak komputasi mereka, terutama aplikasi yang berkenaan dengan SCADA dan proses kontrol. Dimana aplikasi ini mempunyai karakteristik yang berbeda dengan aplikasi umum IT, yaitu aplikasi cenderung mempunyai update cycle yang lama, atau tidak memerlukan update sama sekali, sehingga kadang kala ada aplikasi yang hanya bisa dijalankan pada OS dengan hardware tertentu yang sudah usang. Karena hardware memerlukan support dan suku cadang, maka resiko tidak tersedianya suku cadang untuk hardware usang tentu sangat tinggi. Pada akhirnya, pengguna dihadapkan dengan melakukan upgrade perangkat keras unik tersebut yang mahal, atau dengan tetap menjalankan sistem tersebut dengan

komponen yang tidak didukung karena usang dengan resiko server dan komputer mengalami kerusakan sewaktu waktu dan mengganggu produksi.

Pada sistem virtualisasi, perangkat lunak yang sudah usang dan perlu dijalankan pada OS tertentu bisa dijalankan pada perangkat keras terbaru, karena pada umumnya virtualisasi mampu untuk mendukung berbagai macam OS tamu. Penghematan dapat menjadi sangat penting karena virtualisasi memungkinkan pengguna untuk tetap menjalankan aplikasi terutama untuk SCADA dan kontrol sistem yang menggunakan OS yang usang dengan handal. Aplikasi perangkat lunak akan berjalan selama bertahun-tahun, meskipun itu digunakan pada perangkat keras yang lebih baru (Seißler, 2018).

## 2.5 TOPOLOGI FISIK INFRASTRUKTUR VIRTUALISASI

Arsitektur virtualisasi terdiri dari komponen fisik termasuk server (Host), array penyimpanan, jaringan ethernet, PC manajemen, dan klien desktop seperti terlihat pada Gambar 2.16 di bawah ini.



Gambar 2.16 Topologi Infrastruktur Virtualisasi (Rockwell, 2013)

Host Fisik akan menjalankan hypervisor ESXi pada "bare metal" dan menyediakan CPU dan sumber daya memori untuk masing-masing Mesin virtual. Untuk sistem yang lebih kecil, penyimpanan data disediakan melalui HDD pada

host lokal. Untuk sistem yang lebih besar dan yang membutuhkan fasilitas HA / FT, penyimpanan data disediakan oleh *array share storage*. Dengan mengelompokkan beberapa host fisik bersama di software virtualisasi, pengguna dapat membuat kelompok server, atau kumpulan sumber daya server. Salah satu kelebihan virtualisasi adalah kemudahan skalabilitas. Dengan hanya menambahkan server lain ke *cluster*, kumpulan sumber daya tumbuh dan lebih banyak sumber daya tersedia untuk sistem untuk menjalankan mesin virtual tambahan.

Array penyimpanan terhubung ke *cluster server* dan menyediakan penyimpanan data bersama untuk seluruh sistem. Dengan menggabungkan data ke array tunggal, Virtual Machine dapat dijalankan pada host manapun (HA, FT, vMotion) karena sumber daya komputasi bergerak antar host sementara data disimpan pada array yang tidak berada di host.

Jaringan Ethernet menyediakan tulang punggung komunikasi bagi sistem. Untuk sistem yang membutuhkan HA atau FT, *switch redundant* sangat direkomendasikan. Beberapa NIC memungkinkan setiap host dan VM di dalamnya untuk mengakses VLAN yang berbeda (*Control System Networks, vSphere Management, Data Storage, dll.*) melalui penggunaan Virtual Switch.

Pengelolaan *virtual environment* dilakukan melalui klien vSphere. Ini adalah PC dengan perangkat lunak vSphere Client yang diinstal pada Sistem Operasi Windows Server. Host fisik memungkinkan beberapa level manajemen secara langsung. Klien vSphere menyediakan GUI untuk mengelola semua komponen topologi pengguna dari satu pusat. Untuk melakukan ini, vSphere memanfaatkan komponen perangkat lunak yang disebut VMware vCenter Server. VMware vCenter Server menyediakan layanan dan data infrastruktur terkait dengan komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang berbeda yang terdiri dari sistem virtualisasi. Klien vSphere mendapat data informasi yang memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan data / pengaturan sementara juga mengelola sistem mereka. VMware vCenter dapat berupa server fisik atau dapat divirtualisasikan.

Operator dapat mengakses workstation mereka melalui penggunaan *thin client*, desktop tradisional, atau bahkan tablet. Salah satu manfaat utama dari workstation operator yang tervirtualisasi adalah bahwa perangkat keras yang

bersifat kritis tidak lagi terpapar pada kondisi pabrik yang biasanya ekstrem. Jika *thin client* rusak, itu mudah diganti tanpa berdampak apa pun ke mesin virtual yang berada jauh di server. Sebagai contoh workstation tradisional, jika desktop rusak seorang insinyur mungkin harus membangun kembali (perangkat lunak, OS, kode aplikasi) atau melakukan instalasi dari awal. Ini sering dapat mengambil banyak waktu. Jika dikonfigurasi dengan benar, operator tidak akan tahu bahwa workstation mereka adalah virtualisasi. Sebagai contoh, *thin client* dapat menautkan login desktop lokal ke mesin virtual tertentu di *cluster server* dan menggunakan single-sign. Ketika operator masuk, yang terlihat seolah-olah masuk ke mesin lokal. Untuk pengguna yang lebih suka menggunakan PC desktop yang sudah ada, ada perangkat lunak klien yang dapat diinstal yang tersedia dari VMware yang memungkinkan mereka mengakses mesin virtual dengan cara yang sangat mirip.

Jika pengguna sudah menggunakan teknologi *thin client*, itu dapat memberikan manfaat tambahan untuk engineering. Sebagai insinyur, pengguna dapat mengatur izin di lingkungan virtual sehingga password mereka dapat memberi akses ke sejumlah mesin virtual. Sebagai contoh, seorang insinyur mungkin perlu mengakses kode logix untuk aplikasi tertentu yang tidak tersedia pada *thin client* operator lokal operator. Jika insinyur itu masuk ke *thin client*, VMware akan mengenal bahwa insinyur tersebut memiliki izin untuk mengakses sejumlah mesin virtual yang berbeda, salah satunya adalah sebuah engineering workstation. *Thin client* dapat diubah dari workstation operator menjadi engineering workstation dengan perubahan login.

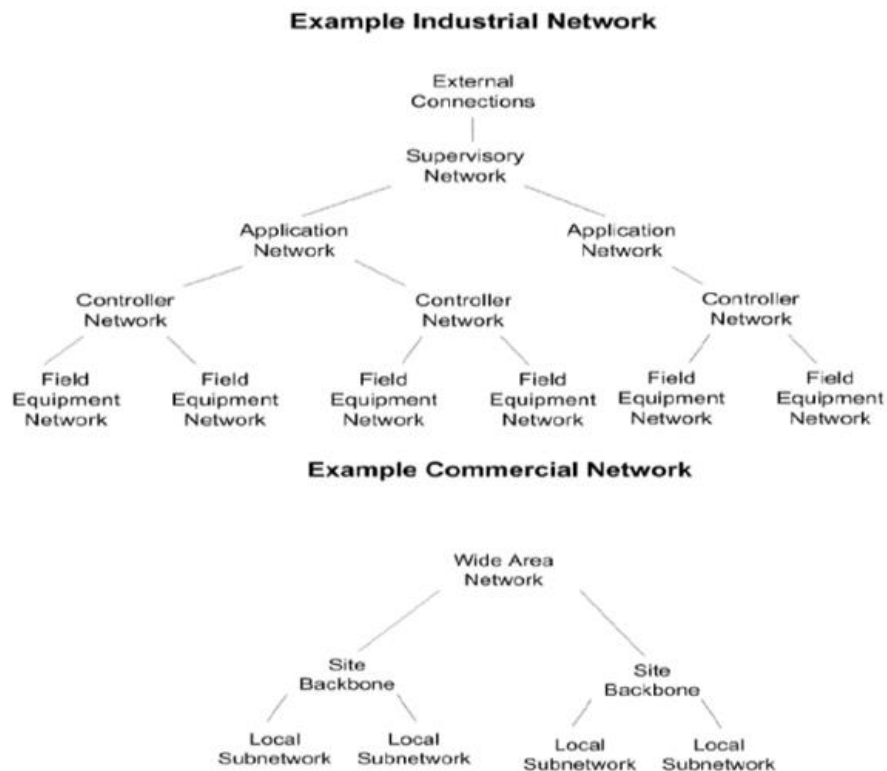
Penggunaan mesin virtual juga memungkinkan pengguna untuk menggunakan tablet nirkabel. Tablet tidak harus memiliki horsepower yang signifikan karena mereka tidak menjalankan mesin virtual, dan sebagai gantinya hanya menampilkannya. Tablet bertindak sebagai koneksi *thin client* ke sistem. Penyebaran ini bermanfaat karena perangkat lunak dan data dijalankan dalam sistem non-nirkabel dan satu-satunya yang ditampilkan ke tablet adalah salinan tampilan mesin virtual. Sehingga perangkat lunak kontrol tidak mengalami komunikasi nirkabel yang intermiten (Rockwell, 2013).

## 2.6 SCADA

*Supervisory control and data acquisition* (SCADA) adalah arsitektur sistem kontrol yang menggunakan komputer, komunikasi data berbasis jaringan dan grafis user interface untuk manajemen pengawasan proses kontrol. SCADA menggunakan perangkat periferal lainnya seperti *programmable logic control* PLC ataupun DCS untuk berinteraksi dengan mesin mesin proses di pabrik atau hydro power station. Operator interface (MMI) memungkinkan operator melakukan proses kontrol dan monitoring mesin mesin tersebut, seperti melakukan start stop motor, open close valve, perubahan *set point controller*, dan lain sebagainya.

Konsep SCADA dikembangkan sebagai sarana universal untuk akses jarak jauh ke berbagai modul kontrol / PLC / DCS lokal, yang dapat berasal dari produsen yang berbeda yang memungkinkan akses melalui protokol komunikasi otomasi standar. Dalam prakteknya, sistem SCADA yang besar berkembang menjadi sangat mirip dengan sistem kontrol terdistribusi.

SCADA digunakan dalam lingkungan industri untuk mengontrol proses manufaktur, di industri pertambangan untuk mengontrol otomatisasi proses, dalam sistem keamanan industri, di ladang minyak, bandara dan berbagai tempat lainnya. Ini terdiri dari berbagai jenis perangkat lunak dan komponen perangkat keras, yang membentuk sistem untuk dapat mengontrol peralatan listrik yang ditempatkan dari jarak jauh. SCADA adalah sistem yang sangat dapat dikustomisasi yang dapat digunakan untuk mengontrol atau mengawasi target apa pun. SCADA dapat diimplementasikan untuk mengontrol area geografis besar yang memiliki beberapa sistem independen untuk dikontrol. Ini juga sangat dapat disesuaikan dan dapat disesuaikan sesuai kebutuhan. Misalnya sistem distribusi listrik yang memiliki perangkat keras dan pabrik kontrol di banyak lokasi yang berbeda secara geografis dapat dipantau dengan SCADA.



Gambar 2.17 Contoh arsitektur jaringan industri dan komersial (Kero, 2016)

Jaringan industri yang dikendalikan dengan SCADA biasanya lebih rumit dan memiliki arsitektur yang lebih kompleks dibandingkan dengan jaringan komersial normal. Pemantauan dan operasi real-time adalah fungsi penting ketika mengendalikan industry jaringan, yang menimbulkan tantangan ke sistem SCADA. Gambar 2.17 menunjukkan perbedaan antara arsitektur jaringan industri dan komersial dasar.

Sistem SCADA yang khas menyediakan operator interface (HMI) yang terintegrasi menjadi satu, dan berkomunikasi dengan berbagai jenis perangkat keras kontrol, misalnya RTU (*Remote Terminal Unit*) dan IED (*Intelligent Electronic Device*). *Remote Terminal Unit* biasanya PLC (*Programmable Logic Controller*). PLC adalah perangkat elektronik solid-state berbasis komputer dan merupakan komponen kontrol utama dari jaringan industri. PLC digunakan untuk keperluan otomatisasi dan mereka memberikan informasi dari equipment di lapangan kepada operator melalui HMI. PLC memiliki port komunikasi yang digunakan untuk



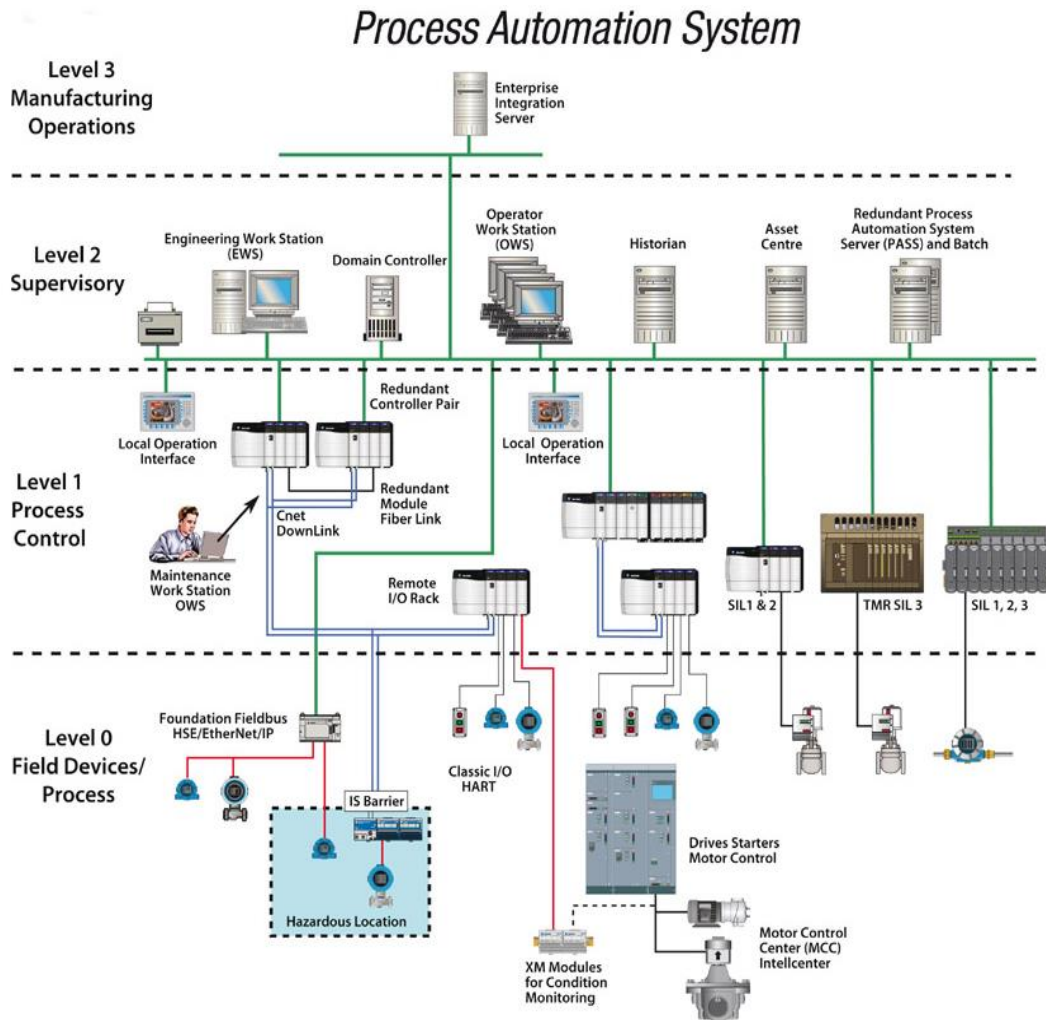
berkomunikasi dengan SCADA dan untuk menyediakan data yang akan ditampilkan di HMI. Kebanyakan PLC memiliki input dan output analog dan biner/digital, yang digunakan untuk memantau dan mengontrol sistem. PLC sangat dapat dikustomisasi atau dibuat sesuai kebutuhan user, mereka dapat memiliki berbagai modul yang berbeda tergantung pada kebutuhan sistem dan instalasi yang terkontrol. PLC dan RTU harus dapat berfungsi dengan baik di lokasi di mana mereka dapat terkena kondisi yang keras seperti kelembaban, panas, debu dan getaran. Pada Gambar 2.18 dapat dilihat sebuah RTU / PLC yang dipabrikasi oleh Allen Bradley (Kero, 2016).



Gambar 2.18 PLC Control Logix AB (Rockwell, 2018).

Gambar 2.19 memperlihatkan SCADA – Automation Overview yang terdiri dari beberapa level tingkatan kontrol. Level 0 adalah level field devices, level ini bertugas mengambil data langsung dari lapangan seperti instruments devices untuk analog data dan switch untuk digital data. Instrument device contohnya adalah level transmitter, flow meter, pressure transmitter dan sebagainya. Pada level ini ada beberapa field device protocol communication seperti foundation fieldbus, Modbus dan sebagainya. Pada level 1 proses automation sistem di sebut level *process control*, dimana PLC ataupun DCS berada pada level ini. PLC/DCS menerima sinyal baik berupa analog, digital maupun data komunikasi melalui field devices protocol untuk dilakukan pengontrolan sesuai fungsi masing masing. Level 2 proses automation sistem di sebut level supervisory dimana perangkat SCADA server dan komputer berada pada level ini. SCADA server terdiri dari MMI server, data server, alarm server dan server pendukung lain seperti historian dan asset server juga

domain server. Untuk komputer pada level ini terdiri dari operator dan engineering workstation.



Gambar 2.19 SCADA – Automation Overview (Rockwell, 2018)

## 2.7 ANALISIS BIAYA PROYEK

Dalam melakukan penyusunan estimasi biaya proyek, biaya dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu: biaya Langsung (*Direct Cost*) dan biaya Tak Langsung (*Indirect Cost*). Dalam penyajian akhir biaya proyek, biasanya kedua kelompok besar tersebut digabung menjadi satu yang disebut sebagai biaya proyek, walaupun dalam proses yang sebenarnya terdiri dari dua kelompok. Namun demikian, dalam cost accounting (proses intern), hal tersebut

diuraikan kembali menjadi kelompok biaya langsung dan biaya tak langsung (Siregar, 2011).

### **2.7.1 Biaya Langsung (*Direct Cost*)**

Yang dimaksud dengan biaya langsung (*direct cost*) dalam biaya proyek adalah seluruh biaya yang berkaitan langsung dengan fisik proyek, yaitu meliputi seluruh biaya dari kegiatan yang dilakukan proyek (dari persiapan hingga penyelesaian) dan biaya mendatangkan seluruh sumber daya yang diperlukan oleh proyek tersebut. Komponen utama dari biaya langsung ini adalah material, tenaga kerja, sub kontraktor dan alat (Cilensek & CCE, 1991). Biaya langsung ini juga biasa disebut dengan biaya tidak tetap (*variable cost*), karena jumlah biaya yang terjadi untuk setiap satuan waktu tidak tetap, tetapi tergantung kegiatan proyek yang bersangkutan.

### **2.7.2 Biaya Tak Langsung (*Indirect Cost*)**

Yang dimaksud dengan biaya tidak langsung (*indirect cost*) dalam proyek adalah biaya yang harus dikeluarkan untuk kegiatan yang tidak berkaitan secara langsung dengan proyek yang bersangkutan, yang hasilnya tidak berbentuk fisik, melainkan bersifat mendukung pekerjaan konstruksi (Cilensek & CCE, 1991). Oleh karena itu, besar kecilnya biaya ini kurang atau tidak dipengaruhi oleh kegiatan proyek. Hal ini berarti kalau kegiatan pelaksanaan proyek tidak tinggi, biaya ini tidak membesar, melainkan relatif tetap, begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu, dalam sistem akuntansi biaya ini sering juga disebut sebagai biaya tetap (*fixed cost*). Biaya indirect cost bukanlah komponen biaya konstruksi yang aktual tetapi dapat menimbulkan problem bagi kontraktor dalam mendukung pekerjaan proyek, biaya ini biasanya dikategorikan sebagai biaya overhead.

### **2.7.3 Manajemen Biaya Proyek (Total Cost Management)**

Total Cost Management merupakan kemampuan profesional dan keahlian teknis untuk merencanakan dan mengendalikan sumber daya, biaya dan *profitability* serta resiko. *Total Cost Management* merupakan dasar bagi manajemen biaya yaitu untuk mengatur dan menurunkan biaya proyek sebelum terjadi pembengkakan biaya.

Manajemen Biaya Proyek termasuk dari proses yang diperlukan untuk memastikan bahwa proyek telah lengkap dan sesuai dengan biaya yang disetujui. Manajemen Biaya Proyek ini meliputi:

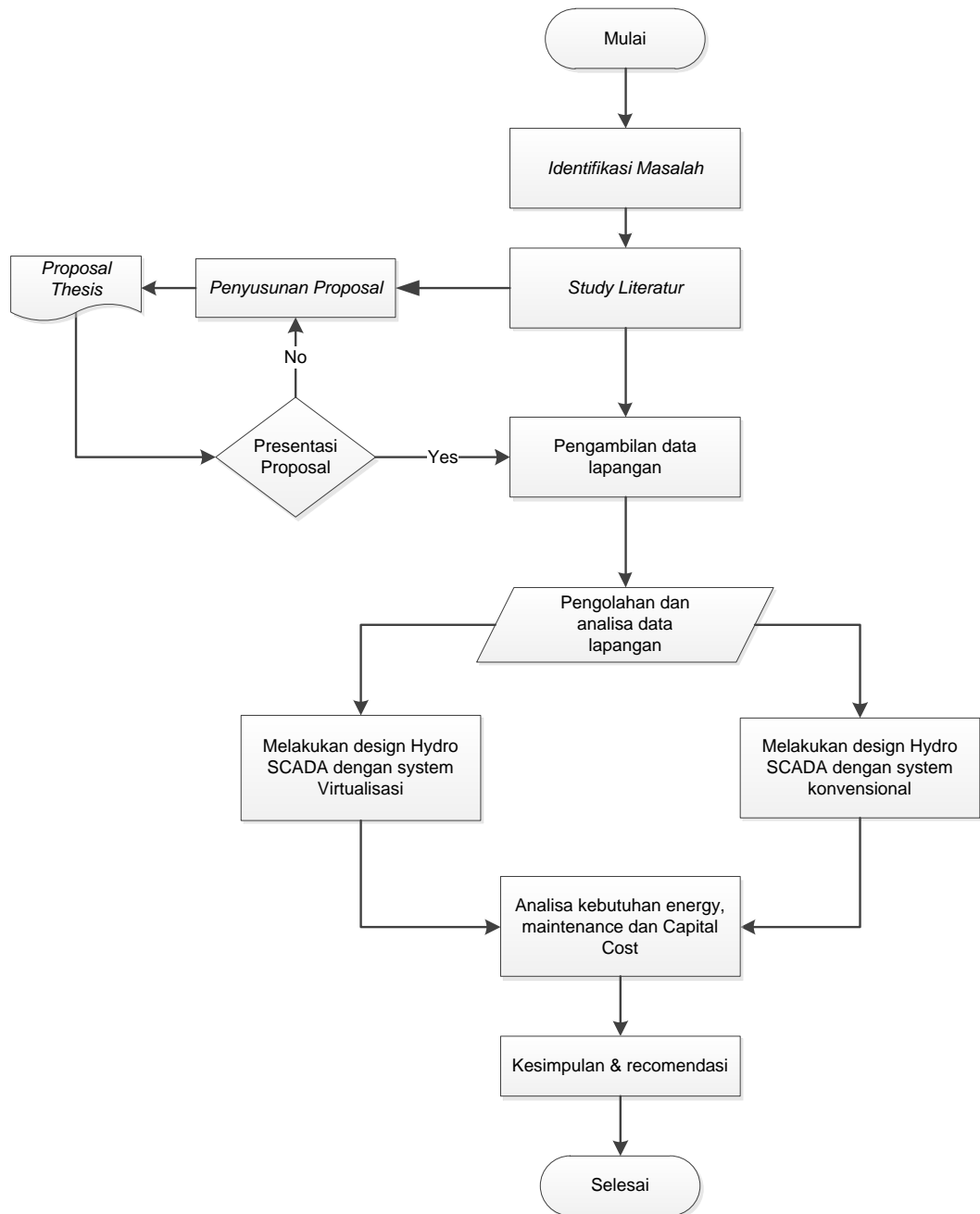
- a. Mengestimasi Biaya (*Estimate Costs*); merupakan proses analisa perhitungan berdasarkan pada metode konstruksi, volume pekerjaan, dan ketersediaan berbagai sumber daya, sedemikian rupa sehingga membentuk operasi pelaksanaan yang optimal terhadap kebutuhan pembiayaan. Estimasi biaya merupakan proses perkiraan yang digunakan untuk memperkirakan kualitas, biaya dan harga dari sumber daya yang diperlukan baik untuk kegiatan investasi maupun pelaksanaan suatu proyek.
- b. Menentukan Budget (*Determine Budget*); Tujuan dari menentukan *budget* adalah untuk mematok biaya pelaksanaan, atau memberi batasan anggaran yang tersedia untuk keperluan bahan, upah, alat, subkontraktor dan lain-lain dalam total biaya proyek. *Cost Budget* berfungsi juga sebagai tolok ukur atau alat kendali biaya dan dipakai sebagai dasar dalam pembuatan program pengendalian biaya.
- c. Mengendalikan Biaya (*Control Costs*); pengendalian biaya adalah proses pengawasan terhadap biaya yang keluar, mencatat keterangan yang berkaitan dengan biaya proyek, melakukan pengawasan terhadap kinerja biaya selama pelaksanaan proyek berlangsung dengan melakukan perbandingan antara biaya aktual dengan biaya yang direncanakan (Siregar, 2011).

# BAB 3

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 PROSEDUR PENELITIAN

Prosedur penelitian secara garis besar digambarkan dalam diagram alir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Gambar 3.1 dapat dijelaskan tahapan-tahapan yang ada pada diagram alir penelitian yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut ini:

- a. Tahap pertama, memulai suatu penelitian dengan mempersiapkan semua yang akan dilakukan.
- b. Tahap kedua, pengambilan data komputer dan server SCADA yang berisi data tipe server dan komputer, data utilisasi CPU, utilisasi memory, data sistem operasi dan lain sebagainya.
- c. Tahap ketiga, setelah pengambilan data dilakukan maka dilakukan perancangan *upgrading* SCADA memakai sistem konvensional.
- d. Tahap keempat, dilakukan perancangan *upgrading* SCADA memakai sistem virtualisasi.
- e. Jika tahap empat sudah dilakukan maka akan dihitung kebutuhan energi dan sistem pendingin dari kedua pilihan tersebut, selain itu akan dihitung biaya proyek dan operasional termasuk pemeliharaan kedua pilihan tersebut.
- f. Tahap terakhir, jika semua tahap telah lengkap maka dilakukan analisa dan penyusunan laporan dengan baik dan berakhir dengan hasil yang diinginkan.

### **3.2 TEMPAT PENELITIAN**

Tempat penelitian dan data yang diperlukan untuk penelitian ini diambil dari server dan komputer SCADA yang dimiliki oleh departemen Utilities PT. Vale Indonesia Tbk. Server dan komputer SCADA tersebut tersebar di berbagai lokasi seperti tampak pada Gambar 3.2 yaitu:

- a. Larona *Hydro power station*,
- b. Balambano *Hydro power station*,
- c. Karebe *Hydro power station*,
- d. Thermal Soroako *power station*,
- e. Thermal Soroako SCADA *server room*.



Gambar 3.2 Thermal *Control room* dan Soroako SCADA *server room*.

### 3.3 PENGAMBILAN DATA LAPANGAN

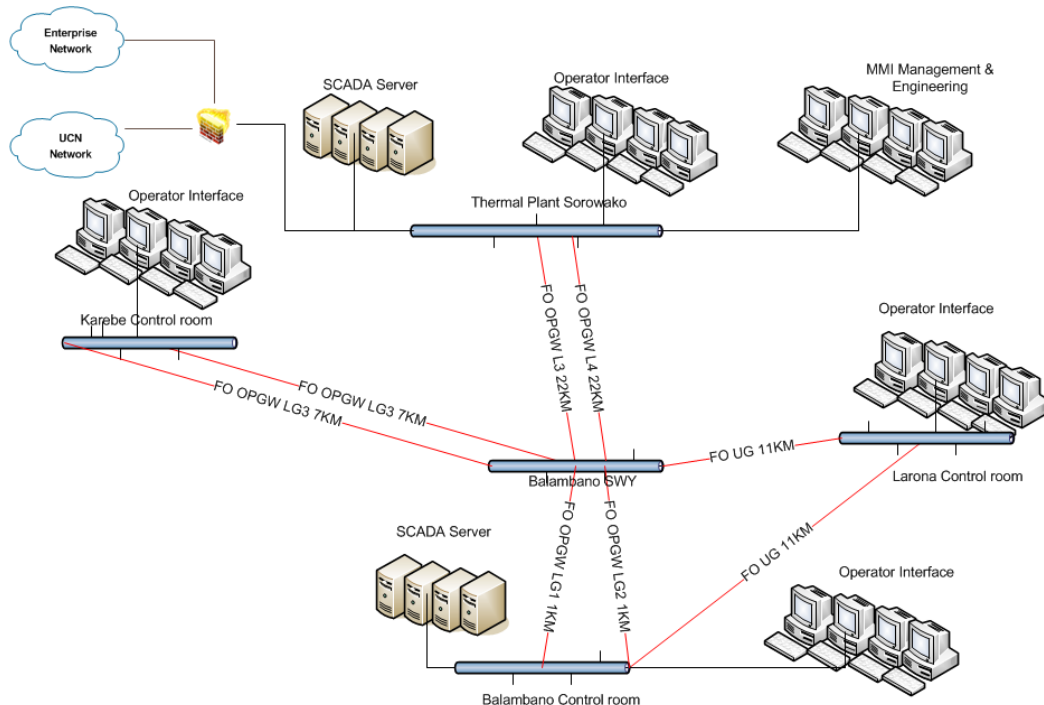
Data yang diperlukan akan diambil dari server dan komputer SCADA yang terletak di semua *control room* seperti yang disebutkan diatas. Data yang akan diambil dari SCADA dan sistem kontrol lainnya diantaranya:

- a. Data jumlah server dan komputer.
- b. Data tipe server dan komputer.
- c. Data utilisasi CPU server dan komputer.
- d. Data utilisasi memory server dan komputer.
- e. Data sistem operasi server dan komputer.
- f. Data spesifikasi server dan komputer baru – sistem konvensional.
- g. Data spesifikasi server dan komputer baru – sistem virtualisasi.
- h. *Vendor quotation* dari server dan komputer baru.

### 3.4 KONFIGURASI SCADA POWER GENERATION

Sistem SCADA saat ini menggunakan konfigurasi server dan *client* untuk melakukan fungsi kontrol dan monitor di semua lokasi power generation PT. Vale. Gambar 3.3 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan interkoneksi antara SCADA sistem yang memungkinkan semua hidro dan thermal power generation dikontrol oleh satu *control room*. Interkoneksi data antara satu area dengan area

lain disambungkan oleh kabel Fiber Optik – FO ganda berkecepatan tinggi 10 Gbps yang di pasang baik melalui kabel OPGW – *Overhead Power Ground Wire* pada tower tegangan tinggi 150KV ataupun melalui FO bawah tanah. Sebagai contoh koneksi antara Thermal Plant Sorowako ke Balambano Switchyard yang berjarak 22 KM di layani oleh FO ganda yang dipasang pada tower line 150 KV yaitu L3 dan L4. FO ganda ini diperuntukkan sebagai bagian dari sambungan data backup untuk memastikan sistem SCADA dapat selalu melayani operasi *Hydropower generation*. Kumpulan server SCADA di tempatkan pada server room di plant site dan server cabinet di balambano control room. SCADA mempunyai 2 server yaitu *hot server* dan *standby server* sebagai backup apabila satu server berhenti beroperasi ataupun bermasalah. Dua SCADA server tersebut ditempatkan di lokasi yang berbeda untuk memastikan bahwa jika satu server atau kumpulan server bermasalah di satu lokasi maka kumpulan server di lokasi lainnya tetap dapat bekerja untuk mendukung operasi *hydropower generation*. Blok diagram lengkap dari SCADA terdapat pada lampiran 1.

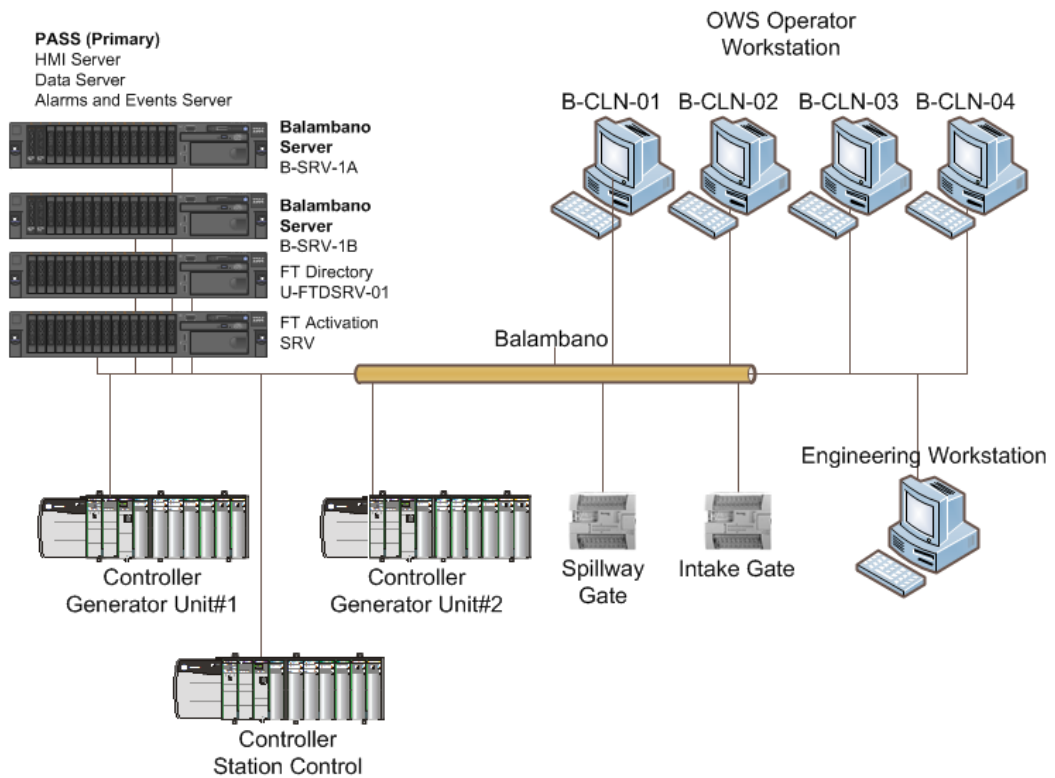


Gambar 3.3 Blok diagram SCADA power generation



Konfigurasi SCADA di setiap unit area adalah *typical* seperti yang diperlihatkan pada konfigurasi SCADA Balambano *Hydropower station* pada gambar 3.4. Komponen komponen dari unit SCADA Balambano *Hydropower station* ini adalah:

- **FactoryTalk Network Directory (FTD)**, adalah server yang menyimpan semua informasi dan alamat dari beberapa komponen perangkat lunak Rockwell Automation di berbagai macam komputer dan menyediakan administrasi pusat di seluruh sistem PlantPax SCADA. Komponen aplikasi, seperti tampilan dan pengaturan keamanan, dapat disimpan dan tersedia untuk seluruh sistem PlantPax tanpa perlu untuk duplikasi.



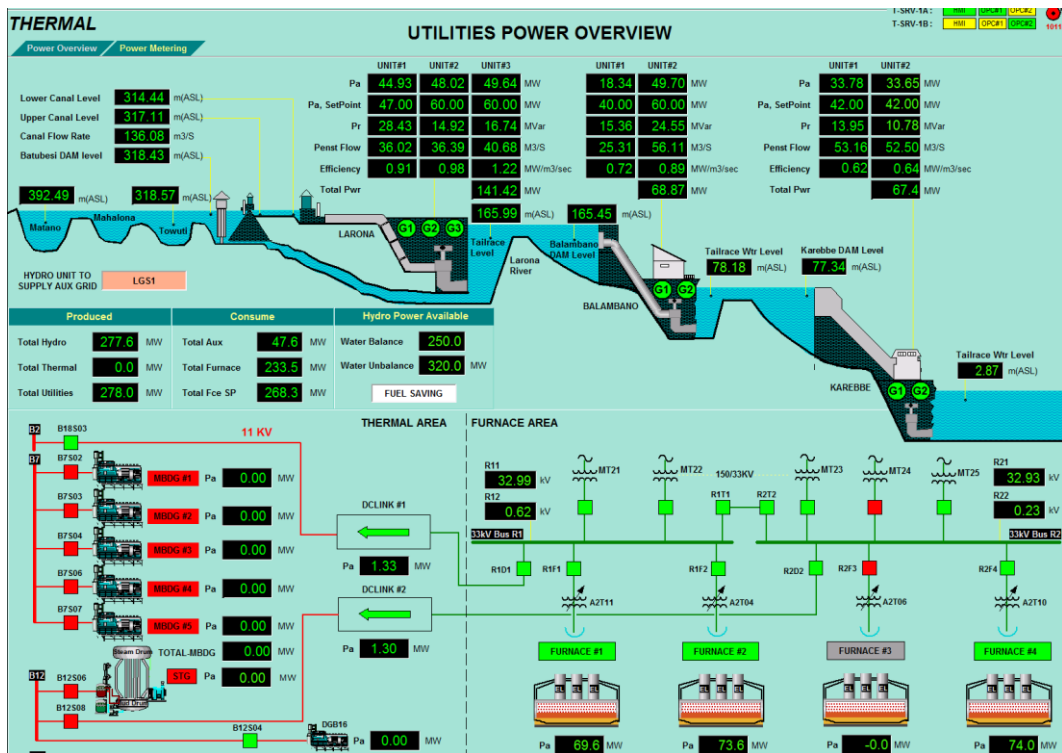
Gambar 3.4 Detail blok diagram dan komponen SCADA Balambano

- **FactoryTalk Activation server**, adalah server dengan kebutuhan redundansi untuk melakukan aktivasi lisensi perangkat lunak SCADA yang akan diaktifkan melalui file yang dihasilkan oleh Rockwell Automation. Server ini pada dasarnya mengelola file yang diperlukan untuk melisensikan produk-produk Rockwell pada sistem PlantPax.

- ***FactoryTalk View HMI Server***, adalah server *Human Machine Interface* (HMI) dengan kebutuhan redundansi yang dikonfigurasi dalam aplikasi FT-SE. Server HMI menyimpan semua komponen proyek HMI, seperti tampilan grafik, dan menyajikan komponen-komponen ini ke permintaan OWS *Operator Workstation*. Server HMI juga mengelola basis data tag dan mencatat data historis. Beberapa server HMI bisa ada di Sistem PlantPAx. Setiap server HMI harus berada di server yang terpisah.
  
- ***FactoryTalk View Data server***, adalah komponen server data dengan kebutuhan redundansi yang menyediakan akses ke informasi dari proses kontrol PLC /DCS ke server dan workstation pada sistem PlantPAx. Perangkat lunak FactoryTalk View mendukung dua jenis server data: Rockwell Automation Device servers (FactoryTalk Linx software) dan OPC Data server. Server data yang disebutkan dalam dokumentasi PlantPAx umumnya mengacu pada server Perangkat Rockwell Automation. Server data dikonfigurasi dalam Tampilan FactoryTalk Aplikasi SE. Beberapa server data bisa ada didalam sistem PlantPAx.
  
- ***FactoryTalk View Alarm and Event server***, adalah Server dengan kebutuhan redundansi yang menerbitkan informasi alarm dan event dari kontroler dan server yang tersedia untuk semua OWS yang tersambung dalam satu FT Talk unit. Alarm dan event server dikonfigurasi dalam aplikasi FactoryTalk View SE studio. Ada dua jenis Alarm dan event server: berbasis perangkat dan berbasis server. Alarm dan Event server berbasis perangkat dikonfigurasi sebagai opsi untuk data server. Alarm dan Event server berbasis server dikonfigurasi sebagai komponen terpisah. Setiap alarm dan event berbasis server harus berada di server yang terpisah.
  
- ***Engineering Workstation EWS*** adalah komputer untuk mendukung dan melakukan konfigurasi sistem, pengembangan dan modifikasi aplikasi untuk operator interface termasuk aplikasi PLC/DCS, dan fungsi

troubleshooting. Workstation ini adalah lokasi sentral untuk melakukan monitoring dan troubleshooting dari pengoperasian sistem.

- **Operator workstation (OWS)** menyediakan tampilan grafis operator interface untuk semua proses automation. OWS mendukung interaksi operator dan tidak dimaksudkan untuk mendukung kegiatan pengembangan atau pemeliharaan, meskipun kegiatan ini dimungkinkan jika diinginkan. Perangkat lunak klien FTVIEW Site Edition (SE) harus diinstal pada OWS. OWS juga dapat berisi klien untuk aplikasi server non-inti, seperti FactoryTalk Batch, FactoryTalk Historian, atau FactoryTalk AssetCentre (Rockwell, 2018). Gambar 3.5 memperlihatkan operator workstation SCADA power overview.

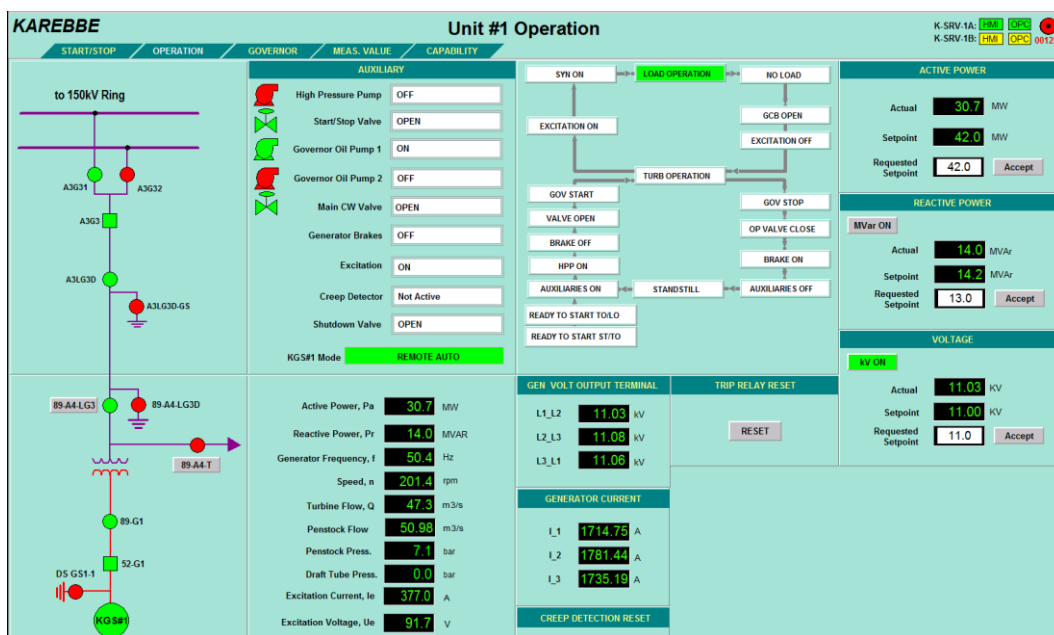


Gambar 3.5 Operator workstation SCADA power generation

- **Station Control**, kontroler ini menyediakan fungsi kontrol dan monitoring fungsi pendukung dari *hydropower station* seperti *emergency generators*,

power station service, unwatering sistem, compress air, transformer circuit breaker dan disconnecting switch, inverter dan charger.

- **Controller Generator Unit**, menyediakan fungsi kontrol untuk keseluruhan operasi unit generator seperti: step sequence generator starts sampai pada final step yaitu load operation, sequence generator stops sampai pada final step yaitu generator berhenti total, hal ini seperti yang terlihat pada Gambar 3.6 di bawah menggambarkan screen OWS untuk Karebe generator unit 1 kontrol. Selain itu juga menangani fungsi proteksi generator, kontrol eksitasi generator, kontrol governor, high voltage transformer, dan circuit breaker. Salah satu inti dari kontrol generator ini adalah kontrol governor generator yang mengatur kecepatan dan berbanding lurus dengan frekuensi listrik dan juga beban generator itu sendiri.

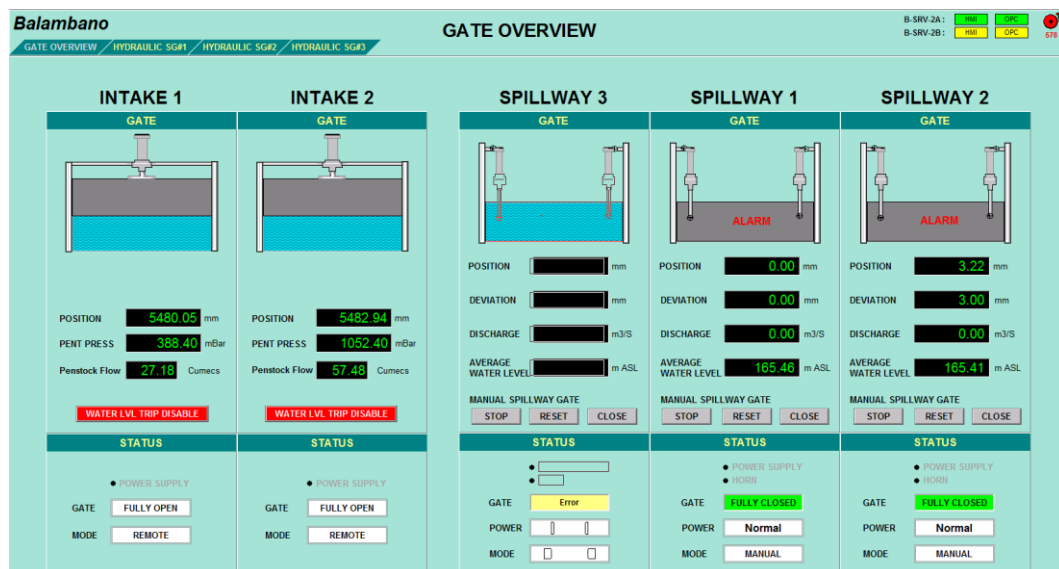


Gambar 3.6 OWS screen generator kontrol unit 1 Karebe

- **Spillway Gate**, kontroler ini menyediakan fungsi kontrol dan monitoring fungsi pintu air spillway, sistem ini adalah struktur yang digunakan untuk menyediakan pelepasan aliran air yang terkontrol dari bendungan ke daerah hilir. *Spillways* memastikan bahwa air di bendungan tidak meluap dan merusak atau menghancurkan bendungan dan bangunan power station di

bawahnya. Spillways mengatur aliran air dan level reservoir dan juga dapat digunakan untuk mengatur aliran hilir - dengan melepaskan air dalam jumlah kecil sebelum reservoir penuh, operator dapat mencegah pelepasan besar yang tiba-tiba yang akan terjadi jika bendungan itu terlalu tinggi. Air biasanya mengalir di atas spillway hanya selama periode banjir - ketika reservoir tidak dapat menahan kelebihan air yang masuk ke waduk melebihi jumlah yang digunakan.

- **Intake Gate**, kontroler ini menyediakan fungsi kontrol dan monitoring fungsi pintu air kedalam penstock generator, pintu air ini adalah gerbang yang dibangun di bagian dalam bendungan. Air dari waduk dilepaskan dan dikendalikan melalui gerbang ini. Pintu air ini disebut gerbang inlet karena air memasuki unit pembangkit listrik melalui gerbang ini. Ketika gerbang kontrol dibuka aliran air karena gravitasi melalui penstock dan menuju turbin. Air yang mengalir melalui gerbang memiliki energi potensial serta energi kinetik. Gambar 3.7 adalah OWS untuk mengontrol intake dan spillway gate pada dam Balambano.



Gambar 3.7 Balambano intake dan spillway gate SCADA OWS screen

### 3.5 DESAIN SCADA - KONVENSIONAL

Pada desain SCADA konvensional, tahapan proses upgrade sistem SCADA yang diperlukan untuk mengganti hardware dan software yang telah usang, cukup sederhana yaitu dengan melakukan proses di bawah ini:

- a. Melakukan identifikasi semua perangkat keras dan perangkat lunak dari sistem SCADA dan sistem kontrol lainnya yang sedang berjalan saat ini.
- b. Melakukan identifikasi perangkat lunak versi terbaru dari sistem SCADA dan sistem kontrol lainnya.
- c. Melakukan identifikasi kebutuhan minimum *hardware dan software* dari perangkat lunak versi terbaru tersebut.
- d. Membuat daftar kebutuhan dari *hardware dan software* untuk proses upgrade. Jenis hardware yang akan dipasang diasumsikan mengikuti standar departemen IT PT. Vale Indonesia.

Daftar lengkap dari semua perangkat keras dan perangkat lunak dari sistem SCADA dan sistem kontrol lainnya yang sedang berjalan saat ini dapat dilihat di lampiran 2. Selain perangkat keras dan sistem operasi OS, aplikasi SCADA juga di asumsikan di upgrade versinya menjadi lebih baru sesuai dengan sistem operasi terbaru saat ini. Dibawah ini adalah aplikasi dan versi dari SCADA:

- a. Studio 5000 Logix Designer® application, version 31.x
- b. Studio 5000 Architect™ application, version 3.0
- c. FactoryTalk View software, version 10.x
- d. FactoryTalk AssetCentre software, version 8.0 *or later*

Dari aplikasi diatas maka didapatkan daftar kebutuhan minimum spesifikasi dari komponen server dan komputer SCADA saat ini dapat dilihat dari Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Kebutuhan minimum perangkat keras SCADA konvensional (Rockwell, 2018)

SCADA Hardware Minimum Requirements					
No	PlantPax System Elements (x64 bit OS)	Hardware	Processor	RAM	Operating System
1	Process Automation System Servers (PASS)	Server Class	Intel Xeon Multicore (4 cores or greater) 2.40 GHz min	8 GB	Windows Server 2012 R2
2	AppServ-OWS	Server Class	Intel Xeon Multicore (4 cores or greater) 2.40 GHz min	16 GB	Windows Server 2012 R2
3	AppServ-Information Management (SQL)	Server Class	Intel Xeon Multicore (4 cores or greater) 2.40 GHz min	4 GB	Windows Server 2012 R2
4	Process Automation Domain Contr (PADC)	Server Class	Intel Xeon Multicore (4 cores or greater) 2.40 GHz min	4 GB	Windows Server 2012 R2
5	AppServ – Asset Management	Server Class	Intel Xeon Multicore (4 cores or greater) 2.40 GHz min	4 GB	Windows Server 2012 R2
6	Operator Workstations (OWS)	workstation	Intel Core 2 Duo 2.40 GHz CPU min	4 GB	Windows 10 64 bit
7	Engineering Workstations (EWS)	workstation	Intel Core 2 Duo 2.40 GHz CPU min	5 GB	Windows 10 64 bit

Sedangkan dalam proses upgrade nantinya, penulis akan memakai server dan komputer yang menjadi standard department IT pada PT. Vale Indonesia. Komponen standar tersebut akan desain untuk memenuhi kebutuhan minimum spesifikasi perangkat keras yang dibutuhkan oleh aplikasi SCADA. Daftar komponen standar tersebut diperlihatkan pada Tabel 3.2 di bawah ini:

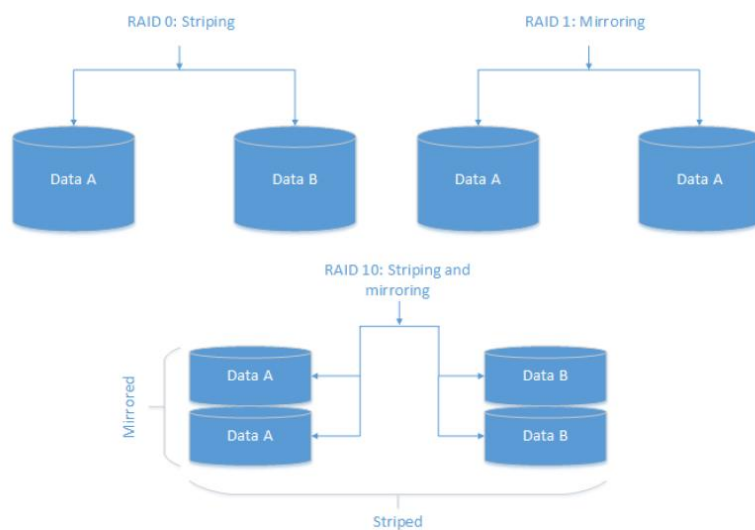
Tabel 3.2 Standard perangkat keras department IT PT. Vale Indonesia

IT Standard Hardware								
No		Hardware	Processor	RAM	Operating System	RAID	NIC	Power
1	HPE ProLiant DL360 G10	Server Class	Intel Xeon-Silver 4112 (2.6GHz/4-core/85W)	16 GB	Windows Server 2012 R2	RAID 10	Redundant	Redundant
2	HP EliteDesk 800 G4	workstation Class	Intel® i7-7700 Processor (3.6 GHz, 4 cores)	8 GB	Windows 10 64 bit	N/A	N/A	N/A
3	HP EliteDesk 800 G4	Client Class	Intel® Core™ i5-7600 Processor (3.6 GHz, 4 cores)	4 GB	Windows 10 64 bit	N/A	N/A	N/A

Redudansi dan keandalan adalah kata kunci dalam pengoperasian komponen sistem SCADA untuk mendukung pengoperasian *hydropower generation* secara kontinyu, jika komponen server tersebut gagal/rusak maka akan ada resiko untuk menghentikan produksi listrik. Hal tersebut termasuk komponen server yang akan mengganti komponen usang SCADA, komponen server yang dibutuhkan untuk dilakukan redudansi meliputi: sistem penyimpanan, *power supply* dan *Network card*.

## Sistem Penyimpanan

Sistem penyimpanan yang digunakan untuk aplikasi SCADA sangat penting untuk dilakukan redundansi untuk meningkatkan keandalan pengoperasian. Hal ini terutama untuk pemulihan data-data penting jika terjadi kegagalan pada sistem penyimpanan, server atau keseluruhan sistem. RAID (*redundant array of independent disks*) adalah teknologi terkenal untuk redundansi penyimpanan data dan digunakan dalam tesis ini. RAID menggunakan teknik *mirroring*, *striping* dan kombinasi yang berbeda untuk menyediakan tipe RAID yang berbeda. *Mirroring* berarti bahwa segmen data digandakan ke perangkat fisik yang berbeda. *Striping* menyimpan segmen data berturut-turut ke perangkat fisik yang berbeda untuk meningkatkan *throughput* data.

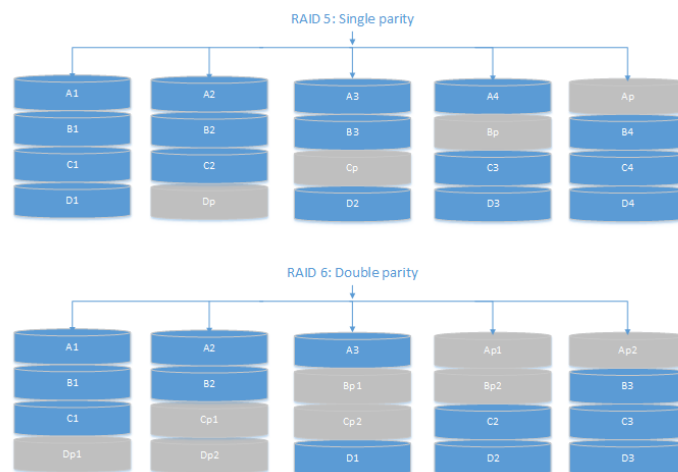


Gambar 3.8 RAID level 1,0 dan 10 untuk konfigurasi SCADA server

*Mirror* RAID 1 biasanya digunakan di server yang lebih kecil untuk membuat sistem cadangan dan mencegah kegagalan perangkat keras tunggal yang akan mempengaruhi fungsi server. Untuk server berskala lebih besar yang memiliki lebih banyak hard drive, fungsi RAID 10 (RAID 1 + 0) dengan *mirroring* dan *striping* adalah solusi cadangan yang umum digunakan. Metode ini juga memberikan peningkatan kinerja karena disertakan fungsi striping. RAID 5 adalah level RAID yang lebih lama, dan menggunakan striping level-strip dengan paritas



didistribusikan. RAID 6 sangat mirip RAID 5, kecuali ia menggunakan paritas ganda untuk memberikan toleransi kesalahan lebih dibandingkan dengan RAID 5. Perbedaan antara kedua tingkat RAID ini adalah bahwa RAID 5 mampu menangani satu kegagalan disk, sementara RAID 6 dapat melanjutkan operasi dengan dua kegagalan disk karena paritas ganda. Kemungkinan konfigurasi RAID untuk penyimpanan dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan 3.9.



Gambar 3.9 Perbedaan RAID 5 dan RAID 6 (Kero, 2016)

Server SCADA PlantPax memiliki empat hard disk masing-masing 300 GB SAS (Serial Attached SCSI). Hard drive dihubungkan dengan kontroler RAID yang dikonfigurasi untuk beroperasi dalam mode RAID 10 - untuk menyediakan redundansi dan kecepatan baca dan tulis yang lebih cepat untuk penyimpanan data. Kapasitas penyimpanan RAID 10 dapat dihitung dengan persamaan 3.1 (Kero, 2016):

$$\text{RAID 10}_{\text{Total available space}} = X * \frac{N}{2} \quad (3.1)$$

Di mana X adalah ukuran satu disk tunggal dan N adalah jumlah disk. Karena nature RAID 10, minimal empat disk diperlukan untuk level RAID yang dipilih. Dengan persamaan 3.1, total ruang yang tersedia untuk server SCADA adalah 600 GB.

### 3.6 DESAIN - SCADA VIRTUALISASI

SCADA PlantPax didasarkan pada open standar dan jaringan IT yang berarti bahwa semua workstation dan server PlantPax serta kontrol sistem lainnya dapat dengan mudah divirtualisasikan. Jumlah minimum server yang direkomendasikan untuk sistem yang menggunakan VMware *fault tolerance* FT atau *high Availability* HA adalah 3 server. Tetapi karena pada kasus ini kita tidak menggunakan fasilitas itu dan server SCADA sudah tersedia redundansi di setiap area dan juga berusaha meminimalkan biaya proyek maka diputuskan desain hanya menggunakan 2 server (Rockwell, 2015). Jika satu server gagal, sistem akan tetap dalam keadaan terlindungi pada server yang tersisa. Ini juga memberikan peluang bagi satu server untuk dibawa offline untuk pemeliharaan sambil mempertahankan perlindungan. Dalam desain ini juga dipertimbangkan kemungkinan rencana ekspansi di masa depan dengan menambahkan tambahan 30% sumber daya (Rockwell, 2015).

#### Perhitungan CPU

Mesin virtual selalu dibatasi oleh kemampuan kecepatan megahertz dari *physical core* CPU. Kesalahpahaman yang umum adalah bahwa VM dapat memanfaatkan sebanyak mungkin kecepatan dari total gabungan CPU yang tersedia. Satu VM vCPU tidak pernah dapat menggunakan kecepatan lebih besar daripada kecepatan maksimum satu CPU / inti. Jika VM memiliki 2 vCPU, itu tidak pernah dapat menggunakan kecepatan lebih daripada kecepatan maksimum setiap CPU / inti.

Menentukan jumlah *physical core* yang diperlukan untuk sistem SCADA PlanPax dengan menggunakan rasio konsolidasi pada Tabel 3.3 dengan kombinasi vCPU dan vRAM yang didokumentasikan dalam tabel tersebut untuk sistem PlantPax dengan arsitektur yang sudah direkomendasikan.

#### Perhitungan Memori

Dengan menggunakan data yang disediakan di Tabel 3.3, kebutuhan total memori dapat dihitung pada *resource pool* dengan mengalikan jumlah total setiap

jenis elemen sistem dengan jumlah memori yang direkomendasikan. Hasilnya memberikan jumlah kebutuhan memori run-time SCADA dan kontrol sistem lainnya yang direkomendasikan.

Tabel 3.3 Rasio kebutuhan virtualisasi resource SCADA (Rockwell, 2018)

Server and Workstation Type	Ratio (vCPU: 1)	vRAM	vCPU
Process Automation Domain Controller (PADC)	2	4	1
Process Automation System Server (PASS)	2	8	4
Operator Workstation (OWS)	6	4	2
Engineering Workstation (EWS)	2	4	2
Operator Workstation Application Server (AppServ-OWS)	2	16	8
Engineering Workstation Application Server (AppServ-EWS)	2	8	4
Information Management Application Server Historian (AppServ-Info Historian)	2	4	2
Information Management Application Server VantagePoint (AppServ-Info VantagePoint)	2	4	2
Information Management Application Server SQL (AppServ-Info SQL)	2	4	2
Asset Management Server (AppServ-Asset)	2	4	2
Batch Management Server (AppServ-Batch)	2	4	2
VMware vCenter Server	1	4	2

Sebagai contoh perhitungan *sizing* server virtualisasi pada SCADA balambano seperti yang terlihat pada Tabel 3.4 di bawah ini:

Tabel 3.4 Perhitungan *sizing* server virtualisasi SCADA Balambano

No	Asset Name	Type	Area	vCPU	Ratio (vCPU: 1)	Physical Core	vRAM
<b>SCADA Server</b>							
1	B-SRV-2A	PASS - SCADA Server	Balambano	4	2	2	8
2	B-SRV-2B	PASS - SCADA Server	Balambano	4	2	2	8
3	T-FTDSRV-02	PASS - FT directory Server	Balambano	4	2	2	8
4	T-OPC-UT2	PASS - Data Server	Balambano	4	2	2	8
5	T-STUDIO-01	EWS Engineering Workstation	Balambano	2	2	1	4
<b>SCADA Client</b>							
6	B-CLN-01	OWS - Operator Workstation	Balambano	2	6	0.33	4
7	B-CLN-02	OWS - Operator Workstation	Balambano	2	6	0.33	4
8	B-CLN-03	OWS - Operator Workstation	Balambano	2	6	0.33	4
9	B-CLN-04	OWS - Operator Workstation	Balambano	2	6	0.33	4
<b>Minimum Resource requirements</b>						10.33	52.00
<b>Resource requirements + 30% Expansion</b>						13.43	67.60

Dari perhitungan Tabel 3.4 di atas maka server virtualisasi yang dibutuhkan adalah server dengan CPU 14 Core dan RAM 68 Gb. Dikarenakan kebutuhan redundansi, maka load di atas bisa dibagi menjadi 2 server virtualisasi masing-masing menjadi CPU 8 Core dan RAM 34 Gb.

### **Perhitungan Sistem Penyimpanan**

Sistem penyimpanan untuk virtualisasi dapat menggunakan penyimpanan lokal yang langsung terhubung ke host fisik atau pada perangkat penyimpanan jaringan terpisah yang dibagi antara host. Untuk memanfaatkan sepenuhnya sistem virtual dengan fitur VMware seperti HA, FT, vMotion, maka diperlukan menggunakan perangkat penyimpanan bersama yang bisa menggunakan *Fiber Channel* atau iSCSI. Untuk sistem yang tidak memerlukan fitur VMware di atas maka penyimpanan host local adalah solusi yang terbaik dari sisi kecepatan dan harga. Pada penelitian ini, SCADA ditetapkan untuk menggunakan solusi local karena tidak diperlukan fitur virtualisasi di atas dan pertimbangan dari segi biaya proyek.

Selanjutnya yang diperlukan adalah pemilihan konfigurasi RAID, Untuk memilih tingkat RAID yang tepat perlu di pertimbangkan faktor-faktor di bawah ini, masing-masing dari faktor-faktor ini menjadi *trade-off* untuk yang lain:

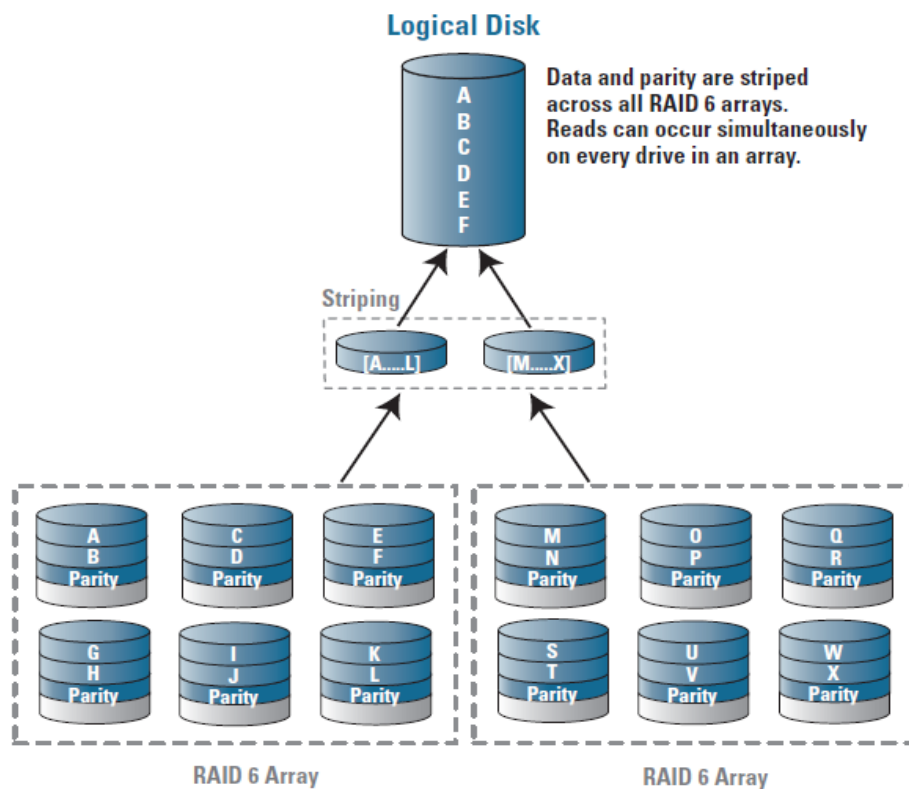
- Biaya penyimpanan disk
- Perlindungan atau ketersediaan data (rendah, sedang, tinggi)
- Persyaratan kinerja (rendah, sedang, tinggi)

Biaya bermuara pada trade-off antara kapasitas disk, ketersediaan atau kinerja. Misalnya, RAID 1/10 dan jumlah disk kecil RAID 6 mahal dalam hal kehilangan ruang disk (50%), tetapi ketersediaan data tinggi. Performa juga tergantung pada pola akses (acak / sekuensial, baca / tulis, panjang / pendek) dan banyaknya pemakai. Tabel 3.5 di bawah ini menjelaskan perbandingan konfigurasi penyimpan data. Untuk server virtualisasi SCADA diputuskan untuk memakai RAID 60 dengan pertimbangan perlindungan data atau redundansi penyimpanan paling tinggi, mempunyai performance yang optimum dibutuhkan dan kapasitas penyimpanan yang memadai.

Tabel 3.5 Perbandingan konfigurasi penyimpanan data (Adaptec, 2005)

Features	RAID 0	RAID 1	RAID 1E	RAID 5	RAID 5EE	RAID 6	RAID 10	RAID 50	RAID 60
Minimum # Drives	2	2	3	3	4	4	4	6	8
Data Protection	No Protection	Single-drive failure	Single-drive failure	Single-drive failure	Single-drive failure	Two-drive failure	Up to one disk failure in each sub-array	Up to one disk failure in each sub-array	Up to two disk failures in each sub-array
Read Performance	High	High	High	High	High	High	High	High	High
Write Performance	High	Medium	Medium	Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium
Read Performance (degraded)	N/A	Medium	High	Low	Low	Low	High	Medium	Medium
Write Performance (degraded)	N/A	High	High	Low	Low	Low	High	Medium	Low
Capacity Utilization	100%	50%	50%	67% - 94%	50% - 88%	50% - 88%	50%	67% - 94%	50% - 88%
Typical Applications	High end workstations, data logging, real-time rendering, very transitory data	Operating system, transaction databases	Operating system, transaction databases	Data warehousing, web serving, archiving	Data warehousing, web serving, archiving	Data archive, backup to disk, high availability solutions, servers with large capacity requirements	Fast databases, application servers	Large databases, file servers, application servers	Data archive, backup to disk, high availability solutions, servers with large capacity requirements

RAID 60 seperti pada Gambar 3.10 adalah penggabungan beberapa RAID 6 set dengan RAID 0 (striping). Paritas Ganda memungkinkan kegagalan dua disk di setiap RAID 6 array. Striping membantu meningkatkan kapasitas dan kinerja tanpa menambahkan disk ke setiap RAID 6 array (Adaptec, 2005).



Gambar 3.10 Konfigurasi RAID 60 (Adaptec, 2005)

Kapasitas penyimpanan RAID 60 dapat dihitung dengan persamaan 3.2 (Adaptec, 2018):

$$\text{RAID 60}_{\text{Total available space}} = X * \left[ 1 - 2 * \frac{\text{Stripes}}{N} \right] \quad (3.2)$$

Di mana X adalah ukuran satu disk tunggal dan N adalah jumlah disk, sedangkan *stripes* adalah jumlah kelompok penyimpanan.

### Perhitungan Jaringan Data

Virtualisasi memanfaatkan Virtual Switch dan Virtual Ethernet Adapter untuk mengatur lalu lintas jaringan di lingkungan virtual. Kartu jaringan NIC fisik pada setiap host bertindak sebagai trunks ke dalam lingkungan virtual untuk VLAN yang berbeda. Sebuah saklar virtual ditempatkan di ujung batang yang memungkinkan pengguna untuk menghubungkan berbagai VM ke batang atau VLAN tersebut. Switch virtual ini mirip dengan switch fisik dan menyediakan banyak kemampuan yang sama. Untuk menentukan berapa banyak NIC fisik yang diperlukan, jumlah segmen VLAN harus ditentukan. Untuk setiap sistem persyaratan VLAN dasar termasuk pemisahan Manajemen VMware, Mesin Virtual dan Jaringan Penyimpanan. Ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja dan stabilitas sambil meminimalkan potensi masalah dengan pertentangan bandwidth.

Tabel 3.6 Kebutuhan Kartu Jaringan Virtual server

Type Virtual LAN	Jumlah NIC
VMware Management (i.e. / vMotion, etc)	2
VMware FT (If FT required)	0
iSCSI Storage (if iSCSI used)	0
VLAN 51 - Hydro SCADA	10
VLAN I-Fix	2
VLAN DC- Link	2
VLAN VALE	2
DMZ	2
<b>Total NIC's required / host</b>	<b>20</b>

Kebutuhan kartu jaringan NIC (network interface card) pada virtual server SCADA bisa dijelaskan sebagai berikut:

1. VLAN VMware Management digunakan oleh administrator server host virtual untuk memindahkan VM dengan fasilitas vMotion, melakukan administrasi VM (membuat, memodifikasi, membuang dsb.), untuk berkomunikasi antara berbagai host, dan untuk mengumpulkan data sistem (alarm, event, log, dsb.).
2. VLAN VMware FT (fault tolerance) tidak digunakan karena server virtual tidak menggunakan fasilitas tersebut.
3. VLAN penyimpanan iSCSI tidak digunakan karena server virtual menggunakan penyimpanan lokal.
4. VLAN 51 - SCADA adalah jaringan utama sistem kontrol hidro yang menghubungkan setiap unit *hydropower generation*.
5. VLAN IFix – adalah jaringan SCADA *relay protection*.
6. VLAN DC Link - adalah jaringan SCADA peralatan DC Link 3,3 KV
7. VLAN VALE - adalah jaringan bisnis LAN Vale untuk kamera CCTV
8. DMZ demilitarized zone - adalah zona demiliterisasi (kadang-kadang disebut sebagai jaringan perimeter) adalah jaringan yang memisahkan area sistem kontrol dan bisnis LAN Vale untuk alasan keamanan. Trafik data dari jaringan sistem kontrol dalam hal ini VLAN 51 dan sebaliknya harus melewati jaringan DMZ sebelum ke jaringan umum bisnis LAN Vale yang di access oleh banyak orang. Pada Tabel 3.6, ditunjukkan untuk jumlah NIC fisik yang diperlukan oleh virtual server yang membutuhkan akses ke setiap jaringan.

### **Pemilihan *Thin Client* Virtual Desktop**

Dikarenakan bukan hanya server yang divirtualisasikan tapi juga semua komputer maka dibutuhkan sebuah peralatan *thin client* untuk membuat komputer interface dengan operator. *Thin client* adalah terminal desktop tanpa kipas pendingin yang tidak memiliki hard drive. Semua fitur yang biasanya ditemukan pada PC desktop, termasuk aplikasi, data sensitif, memori, dll, disimpan di pusat data saat menggunakan thin client. *Thin client* menjalankan *Remote Desktop Protocol* (RDP), seperti Citrix ICA dan Windows Terminal Services, dan / atau

perangkat lunak virtualisasi, mengakses hard drive di pusat data yang disimpan di server, blade, dll. *Thin client* digunakan sebagai teknologi pengganti PC untuk mengakses virtual desktop atau aplikasi virtual apa pun. *Thin client* memberikan cara yang efektif untuk menciptakan infrastruktur desktop virtual (VDI). *Thin client* digunakan di berbagai industri dan perusahaan di seluruh dunia yang semuanya memiliki persyaratan yang berbeda tetapi mempunyai tujuan bersama yaitu penurunan biaya, peningkatan keamanan, dan kemudahan pengelolaan.

*Thin client* yang diperlukan untuk SCADA adalah peralatan biasa yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- a. Protocol RDP
- b. Mendukung dual monitor dengan resolusi 1600 x 1200 pixel
- c. OS HP Smart Zero Core (32-bit)
- d. Gigabit Ethernet
- e. Mendukung Hi-Speed USB 2.0 ports

Untuk itu perlu diseleksi thin client yang tersedia di pasaran untuk bisa memenuhi persyaratan tersebut.

### 3.7 KONSUMSI ENERGI

Untuk menghitung konsumsi energi yang langsung digunakan oleh server, komputer dan energi yang terkait dengan pendinginan ruangan tempat server dan komputer berada, diperlukan beberapa parameter dari perangkat yang digunakan, untuk perhitungan daya sbb. (El-Hawary, 2000):

$$P = I \times V \quad (3.3)$$

Dimana:

$$v = Vm \sin (\omega t + \theta v) \quad (3.4)$$

$$i = Im \sin (\omega t + \theta i) \quad (3.5)$$

$$P = [Vm \sin (\omega t + \theta v)] \times [Im \sin (\omega t + \theta i)] \quad (3.6)$$



$$P = V_m I_m [\sin(\omega t + \theta_v) \sin(\omega t + \theta_i)] \quad (3.7)$$

$$P = \frac{V_m I_m}{2} [\cos \theta - \cos(2\omega t + \theta)] \quad (3.8)$$

$$P = \frac{V_m I_m}{2} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times \frac{I_m}{\sqrt{2}} = V_{rms} \times I_{rms} \quad (3.9)$$

Dimana V dan I adalah nilai rata-rata dari bentuk gelombang sinusoidal, v dan i, dan  $\theta$  adalah perbedaan fasa antara dua bentuk gelombang. Oleh karena itu kita bisa mengekspresikan instantaneous power sebagai:

$$P = V I \cos \theta - V I \cos(2\omega t + \theta) \quad (3.10)$$

Karena power sesaat terus berubah seiring dengan profil sinusoid dari waktu ke waktu, ini membuat sulit untuk diukur. Oleh karena itu lebih mudah pada matematika untuk menggunakan nilai rata-rata power. Jadi selama sejumlah siklus tetap, nilai rata-rata kekuatan seketika sinusoid diberikan hanya sebagai:

$$P = V I \cos \theta \quad (3.11)$$

$$P = V I * PF \quad (3.12)$$

Daya yang memasuki jaringan apa pun adalah produk dari nilai efektif tegangan dan arus dan kosinus dari sudut fase  $\phi$ , yang disebut juga dengan faktor daya (PF). Hal ini berlaku hanya untuk tegangan dan arus sinusoidal saja. Ketika reaktansi dan resistensi hadir, komponen arus dalam sirkuit ini digunakan untuk menyalurkan energi yang disimpan dan disalurkan secara berkala keluar dari reaktansi. Ini adalah energi yang disimpan dan di salurkan ke dan dari medan magnet induktansi atau medan listrik dari kapasitansi, menambah arus di sirkuit tetapi tidak menambah daya rata-rata.

Sebagai contoh implementasi persamaan 3.11 untuk menghitung daya server konvensional sbb:

$$V = 230 \text{ VAC, Line Voltage}$$

$$I = 0.39 \text{ A, Arus pada utilisasi 12% berdasarkan spesifikasi alat}$$

$$PF = 95\% \text{ (Asumsi untuk peralatan server)}$$

$$P = V * I * PF \text{ (daya aktif)}$$

$$= 230 * 0.39 * .95$$

$$= 85,4 \text{ Watt}$$

Tabel 3.7 di bawah ini adalah perhitungan konsumsi energi dan *heat output* untuk item SCADA server dan klien untuk sistem konvensional, data daya dan *heat output* diasumsikan dari spesifikasi teknis peralatan, perhitungan lengkap ada pada lampiran 6.

Tabel 3.7 Perhitungan konsumsi energi SCADA server dan klien untuk sistem konvensional.

WORK ITEM	WORK DESCRIPTION	VOL.	UNIT	HEAT OUTPUT (BTU/Hr)		INPUT POWER (Watt)	
				OUT/UNIT	TOTAL	POWER / UNIT	TOTAL
<b>1</b>	<b>SCADA Server</b>				<b>4076.2</b>		<b>1195.3</b>
	HPE ProLiant DL360 Gen10 8SFF Intel Xeon-Silver 4112 (2.6GHz/4-core/85W) - Calculated based on 12% Load	14	ea	291.2	4076.2	85.4	1195.3
<b>2</b>	<b>SCADA Client</b>				<b>3384.0</b>		<b>988.6</b>
<b>2.a</b>	<b>Engineering station</b>						
	HP EliteDesk 800 G3 Tower Gold 500W Intel® Core™ i7-7700 Processor (3.6 GHz, up to 4.2 GHz) 16 GB (2x8 GB) DDR4-2400 Unbuffered Memory 1 TB 7200 RPM SATA 3.5" HDD Data based on Normal operation (short idle)	1	ea	49.0	49.0	14.2	14.2
<b>2.b</b>	<b>SCADA Client - Thermal, Larona, Balambano, Karebe</b>						
	HP EliteDesk 800 G3 Tower Gold 500W Intel® Core™ i5-7600 Processor (3.5 GHz, up to 4.1 GHz) 8 GB (1x8 GB) DDR4-2400 Unbuffered Memory 500 GB 7200 RPM SATA 3.5" HDD Data based on Normal operation (short idle)	23	ea	49.0	1127.0	14.2	326.4
<b>2.c</b>	<b>HP EliteDisplay E243i 24-inch Monitor</b> WUXGA (1920 x 1200 @ 60 Hz) Data based on Normal operation	48	ea	46.0	2208.0	13.5	648.0

### 3.8 PENYUSUNAN BIAYA PROYEK DAN BUDGET PERAWATAN

#### Biaya Proyek

Dalam melakukan penyusunan estimasi budget proyek upgrade SCADA ini, biaya dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu:

a. Biaya material (server, komputer, perangkat lunak)

b. Biaya servis (instalasi server)

Data harga material diasumsikan dari informasi vendor, data ini diperoleh dengan mengakses langsung ke web dari vendor komputer dan server yang dalam hal ini adalah Hewlett Packard Enterprise sebagai standar peralatan perusahaan. Selain itu juga beberapa komponen seperti software di lakukan inquiry pada vendor local. Begitu juga untuk biaya instalasi dari server adalah asumsi yang di supply oleh vendor yang bersangkutan. Bill of Material BOM lengkap dari proyek ini dapat dilihat pada lampiran 3 dan 4. Semua biaya dihitung dalam mata uang USD sebagai standar akuntansi perusahaan. Tabel 3.8 di bawah ini adalah perhitungan biaya proyek untuk item SCADA server dan klien untuk sistem konvensional.

Tabel 3.8 Contoh perhitungan biaya proyek upgrade konvensional

WORK ITEM	WORK DESCRIPTION	VOL.	UNIT	MATERIAL COST		LABOUR COST	
				UNIT RATE	TOTAL MATERIAL	UNIT RATE	TOTAL LABOR
<b>1</b>	<b>SCADA Server</b>				<b>115,338.3</b>		<b>16,100.0</b>
	HPE ProLiant DL360 Gen10 8SFF Intel Xeon-Silver 4112 (2.6GHz/4-core/85W) 16GB (1x16GB) Dual Rank x8 DDR4 HPE 600GB	14	EA	\$8,238.5	\$115,338.3		
	Server Instalation	14	EA			\$1,150.0	\$16,100.0
<b>2</b>	<b>SCADA Client</b>				<b>\$49,400.0</b>		<b>\$0.0</b>
<b>2.a</b>	<b>Engineering station</b>						
	HP EliteDesk 800 G3 Tower Gold 500W Intel® Core™ i7-7700 Processor (3.6 GHz, up to 4.2 GHz) 16 GB (2x8 GB) DDR4-2400 Unbuffered Memory 1 TB 7200 RPM SATA 3.5" HDD Windows 10 Pro 64 - HP recommends Windows 10 Pro Three-year (3-3-3) limited warranty	1	EA	\$1,893.0	\$1,893.0		
	HP EliteDisplay E243i 24-inch Monitor WUXGA (1920 x 1200 @ 60 Hz) Protected by HP, including a 3-year standard limited warranty.	2	EA	\$259.0	\$518.0		
<b>2.b</b>	<b>SCADA Client - Thermal, Larona, Balambano, Karebe</b>						
	HP EliteDesk 800 G3 Tower Gold 500W Intel® Core™ i5-7600 Processor (3.5 GHz, up to 4.1 GHz) 8 GB (1x8 GB) DDR4-2400 Unbuffered Memory 500 GB 7200 RPM SATA 3.5" HDD Windows 10 Pro 64 - HP recommends Windows 10 Pro Three-year (3-3-3) limited warranty	23	EA	\$1,525.0	\$35,075.0		
	HP EliteDisplay E243i 24-inch Monitor WUXGA (1920 x 1200 @ 60 Hz) Protected by HP, including a 3-year standard limited warranty.	46	EA	\$259.0	\$11,914.0		

## Biaya Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan tahunan diperlukan untuk memastikan peralatan dan komponen SCADA bekerja secara optimum dan mendapatkan dukungan service yang memadai ketika komponen mengalami kerusakan. Biaya ini terdiri dari biaya pemeliharaan tahunan dan biaya perawatan tahunan yang dilakukan oleh team pemeliharaan internal perusahaan. Biaya pemeliharaan sudah termasuk biaya personil dan material dari peralatan apabila memerlukan penggantian, pemeliharaan ini dilakukan oleh personil dari vendor peralatan yang bersangkutan. Sedangkan perawatan tahunan yang dilakukan team pemeliharaan adalah melakukan pembersihan komponen SCADA. Untuk komponen server dibersihkan tiap tahun karena diletakkan pada ruangan server yang sejuk dan tertutup rapat. Sedangkan komponen komputer di bersihkan minimal setiap 4 bulan sekali. Tabel 3.9 dibawah ini memberikan gambaran budget tahunan yang diperlukan untuk komponen SCADA server dan klien.

Tabel 3.9 Daftar pekerjaan perawatan pada SCADA sistem konvensional

WORK ITEM	WORK DESCRIPTION	VOL.	UNIT	MAINTENANCE COST		LABOUR COST	
				UNIT RATE	TOTAL MATERIAL	UNIT RATE	TOTAL LABOR
<b>1</b>	<b>SCADA Server</b>				<b>\$12,161.3</b>		<b>\$294.0</b>
	HPE ProLiant DL360 Gen10 8SFF Intel Xeon-Silver 4112 (2.6GHz/4-core/85W) 16GB (1x16GB) Dual Rank x8 DDR4 HPE 600GB	14	Lot	\$868.7	\$12,161.3		
	Server Cleanup 3 Hrs / server	42	Hr			\$7.0	\$294.0
<b>2</b>	<b>SCADA Client</b>				<b>\$0.0</b>		<b>\$1,008.0</b>
<b>2.a</b>	<b>Engineering station</b>						
	HP EliteDesk 800 G3 Tower Gold 500W Intel® Core™ i7-7700 Processor (3.6 GHz, up to 4.2 GHz 16 GB (2x8 GB) DDR4-2400 Unbuffered Memory 1 TB 7200 RPM SATA 3.5" HDD Windows 10 Pro 64 - HP recommends Windows 10 Pro Three-year (3-3-3) limited warranty	1			Included for first 3 Years		
	Desktop Cleanup 2 Hrs / PC each 4 months	6	Hr			\$7.0	\$42.0
<b>2.b</b>	<b>SCADA Client - Thermal, Larona, Balambano, Karebe</b>						
	HP EliteDesk 800 G3 Tower Gold 500W Intel® Core™ i5-7600 Processor (3.5 GHz, up to 4.1 GHz 8 GB (1x8 GB) DDR4-2400 Unbuffered Memory 500 GB 7200 RPM SATA 3.5" HDD Windows 10 Pro 64 - HP recommends Windows 10 Pro Three-year (3-3-3) limited warranty	23			Included for first 3 Years		
	Desktop Cleanup 2 Hrs / PC each 4 months	138	Hr			\$7.0	\$966.0

## BAB 4

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan menjelaskan lebih lanjut mengenai hasil review dari data infrastruktur SCADA saat ini, desain server dan komputer untuk sistem konvensional dan virtualisasi, perbandingan energi yang diperlukan pada masing-masing pendekatan, dan perbandingan biaya proyek termasuk perawatan apabila menggunakan pendekatan konvensional maupun virtualisasi.

#### 4.1 REVIEW *EXISTING* SISTEM SCADA

Review dari status sistem SCADA saat ini diperlukan untuk melihat kondisinya di lapangan, termasuk mengambil data yang diperlukan seperti; data jumlah server dan komputer, tipe perangkat keras, utilisasi CPU dan memori, termasuk data sistem operasinya. Berdasar pengambilan data unit perangkat keras SCADA yang tersedia di setiap kontrol room dan ruangan server SCADA dan sistem kontrol, hasilnya dapat disimpulkan pada Tabel 4.1 di bawah ini. Data lengkap dan mendetail disajikan pada lampiran 2.

Tabel 4.1 Daftar total unit perangkat keras dan utilisasi CPU

<b>Asset Description</b>	<b>Total</b>	<b>Ave CPU Load (%)</b>	<b>Ave Mem Usage (Mb)</b>
SCADA Server	12	12.8	802.6
SCADA Client	24	7.5	1157.8
Development & Project	7	1.0	2285.7
Support & management	7	8.1	894.1
Other Control System	23	14.8	1272.2
<b>Total</b>	<b>73</b>	<b>8.8</b>	<b>1282.5</b>

Melihat dari data yang tersedia di Tabel 4.1, jelas mengindikasikan bahwa utilisasi komputer dan server SCADA dengan total asset sebanyak 73 buah sangat rendah yaitu hanya sebesar 8.8% saja sementara pemakaian memory adalah 1.28Gb untuk keseluruhan sistem. Hasil pengukuran utilisasi SCADA di atas sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Mueen Uddin, 2014, yang menyatakan bahwa utilisasi rasio dari server data center sangatlah rendah, hanya berkisar 5% sampai 10% saja.

Hal lain yang di temukan dari pengambilan data di lapangan adalah bahwa sebagian besar komputer dan server terutama SCADA dan support server semuanya telah usang, baik perangkat keras maupun perangkat lunaknya. Sementara untuk komputer klien telah dilakukan upgrade secara insidental oleh personil pemeliharaan. Bila ada komputer klien yang rusak maka moment itu juga dipakai untuk mengupgrade komputer klien satu demi satu. Saat ini hanya server development yang kondisinya masih layak atau *up to date* baik perangkat lunak maupun perangkat kerasnya.

#### 4.2 DESAIN SCADA – KONVENSIONAL

Proses upgrade menguunakan design SCADA konvensional akan dilakukan secara bertahap dengan menggunakan standard server dan komputer departemen IT PT. Vale Indonesia sesuai dengan Tabel 3.2. Hal berbeda yang perlu dilakukan pada komponen server untuk dapat memenuhi kebutuhan sistem SCADA adalah kebutuhan akan redundansi untuk sistem penyimpanan dengan konfigurasi RAID 10, redundansi power supply dan kartu jaringan.

Konfigurasi RAID 10, diperlukan pada aplikasi SCADA server karena aplikasi ini memerlukan kebutuhan akan redundansi selain performa tinggi untuk kecepatan baca dan tulis yang lebih cepat untuk penyimpanan data. Minimum kapasitas penyimpanan server yang tersedia di pasaran adalah 300GB, karena nature RAID 10, minimal empat disk diperlukan untuk level RAID yang dipilih, maka dari persamaan 3.1 diperoleh total ruang yang tersedia untuk server SCADA adalah 600GB seperti yang terlihat pada daftar komponen pada Tabel 4.2 dibawah.

Tabel 4.2 Daftar komponen server konvensional

QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	875966-B21	HPE ProLiant DL360 Gen10 TAA-compliant 8SFF Configure-to-order Server
1	860659-L21	HPE DL360 Gen10 Intel Xeon-Silver 4112 (2.6GHz/4-core/85W) FIO Processor Kit
1	835955-B21	HPE 16GB (1x16GB) Dual Rank x8 DDR4-2666 CAS-19-19-19 Registered Smart Memory Kit
4	870753-B21	HPE 300GB SAS 12G Enterprise 15K SFF (2.5in) SC 3yr Wty Digitally Signed Firmware HDD
1	P01366-B21	HPE 96W Smart Storage Battery (up to 20 Devices) with 145mm Cable Kit
1	804331-B21	HPE Smart Array P408i-a SR Gen10 (8 Internal Lanes/2GB Cache) 12G SAS Modular Controller
1	629135-B22	HPE Ethernet 1Gb 4-port 331FLR Adapter
2	865408-B21	HPE 500W Flex Slot Platinum Hot Plug Low Halogen Power Supply Kit
2	AF559A	HPE C13 - Nema 5-15P TH/PH 250V 10Amp 1.83m Power Cord

Power Supply dan kartu jaringan juga ditambah untuk memenuhi kriteria redudansi untuk aplikasi SCADA. Sedangkan CPU HPE DL360 Gen10 Intel Xeon-Silver 4112 (2.6GHz/4-core/85W) dan memori 16 GB lebih dari cukup atau masuk dalam memenuhi kebutuhan minimum aplikasi SCADA seperti dalam Tabel 3.1. Komponen server dan komputer lengkap untuk SCADA memakai sistem konvensional ini ada pada lampiran 3.

### 4.3 DESAIN SCADA – VIRTUALISASI

Perhitungan *server sizing* dilakukan berdasar Tabel 3.3 untuk server virtualisasi SCADA dan sistem kontrol power generation, rangkuman hasil perhitungan server virtualisasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan server sizing

Asset Description	Total	Total vCPU	Physical Core	Total vRam (GB)	Total Storage (GB)
SCADA Server	14	44	22	88	4,600
SCADA Client	24	48	9	100	2,500
SCADA Development & Project	7	24	12	52	2,800
Server support & management	8	20	11	44	4,500
Other Control System	25	50	20	140	5,900
Extra 30 % Future			22	127	6,090
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>186</b>	<b>95</b>	<b>551</b>	<b>26,390</b>

Hasil perhitungan tabel diatas, server host virtualisasi SCADA membutuhkan minimum CPU 95 core, memori 551 GB dan media penyimpanan dengan konfigurasi RAID 60 sebesar 26,390 GB. Total sumber daya server virtualisasi diatas sudah termasuk tambahan sumber daya server untuk mengantisipasi kebutuhan jangka pendek ke depan apabila ada penambahan virtual komputer maupun server sebesar 30% dari total kebutuhan minimum atau tambahan sumber daya dengan besaran sebagai berikut; CPU 22 core, memori 127 GB dan media penyimpanan dengan konfigurasi RAID 60 sebesar 6,090 GB.

Kebutuhan sumberdaya server akan CPU 95 core, memori 551 GB dan *storage* RAID 60 sebesar 26,390 GB akan dibagi menjadi 2 server besar yang akan mem-backup satu dengan yang lainnya. Sehingga setiap server harus mampu untuk menanggung kebutuhan sumber daya virtual server sebagai berikut: minimum setiap virtual server mempunyai kemampuan atau spesifikasi CPU 48 core, memori 276 GB dan media penyimpanan sebesar 13,195 GB. Khusus untuk media penyimpanan, karena server dibutuhkan untuk menggunakan konfigurasi RAID 60 maka berdasarkan persamaan 3.2 dibutuhkan media penyimpanan sebesar 17,593 GB.

Hasil dari proses pemilihan server dan komponennya yang didasarkan dari kebutuhan minimum spesifikasi diatas maka didapatkan server yang tersedia di pasaran dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.4 Daftar komponen server host virtualisasi

QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	875783-B21	HPE ProLiant DL380 Gen10 TAA-compliant 24SFF Configure-to-order Server
1	869089-L21	HPE DL380 Gen10 Intel Xeon-Platinum 8168 (2.7GHz/24-core/205W) FIO Processor Kit
1	869089-B21	HPE DL380 Gen10 Intel Xeon-Platinum 8168 (2.7GHz/24-core/205W) Processor Kit
10	815100-B21	HPE 32GB (1x32GB) Dual Rank x4 DDR4-2666 CAS-19-19-19 Registered Smart Memory Kit
16	872479-B21	HPE 1.2TB SAS 12G Enterprise 10K SFF (2.5in) SC 3yr Wty Digitally Signed Firmware HDD
1	870549-B21	HPE DL38X Gen10 12Gb SAS Expander Card Kit with Cables
1	629135-B22	HPE Ethernet 1Gb 4-port 331FLR Adapter
2	647594-B21	HPE Ethernet 1Gb 4-port 331T Adapter
1	P01366-B21	HPE 96W Smart Storage Battery (up to 20 Devices) with 145mm Cable Kit
1	804331-B21	HPE Smart Array P408i-a SR Gen10 (8 Internal Lanes/2GB Cache) 12G SAS Modular Controller
2	865408-B21	HPE 500W Flex Slot Platinum Hot Plug Low Halogen Power Supply Kit
2	AF559A	HPE C13 - Nema 5-15P TH/PH 250V 10Amp 1.83m Power Cord

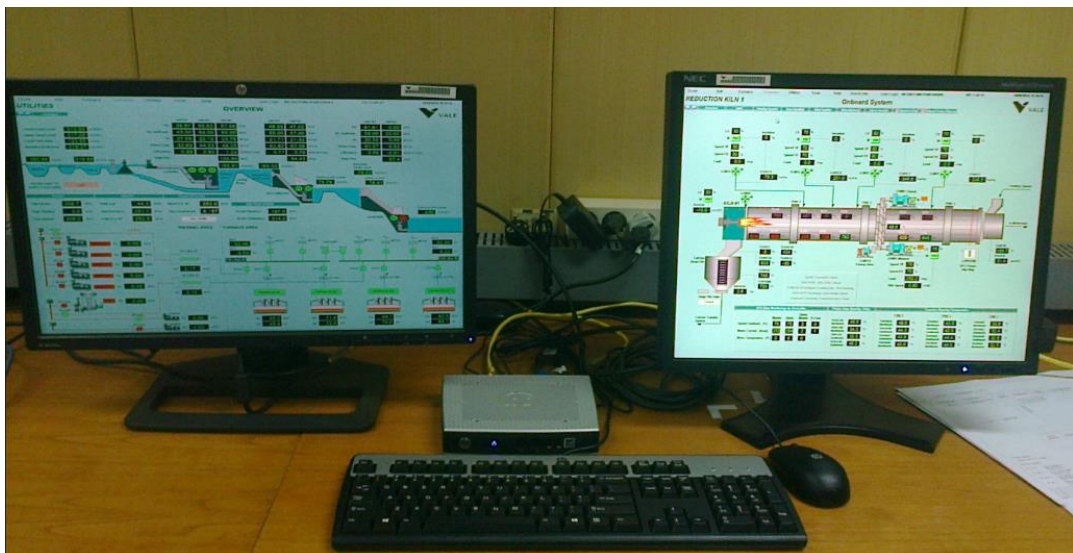
Mengacu pada Tabel 4.4 diatas, bisa disimpulkan bahwa server HPE ProLiant DL380 Gen10 mempunyai spesifikasi sebagai berikut; CPU 24 x 2 core, memori 32 x 10 GB dan untuk media penyimpanan sebesar 1,200 GB x 16 atau 19,200 GB. Jika menggunakan konfigurasi RAID 60 maka berdasarkan persamaan 3.2 menjadi 14,400 GB. Dari spesifikasi server di atas maka bisa ditarik kesimpulan bahwa HPE ProLiant DL380 Gen10 server (Gambar 4.1) memenuhi kebutuhan minimum sebagai server virtualisasi. Komponen server dan komputer lengkap untuk SCADA memakai sistem virtualisasi ini ada pada lampiran 4.





Gambar 4.1 ProLiant DL380 Gen10 server

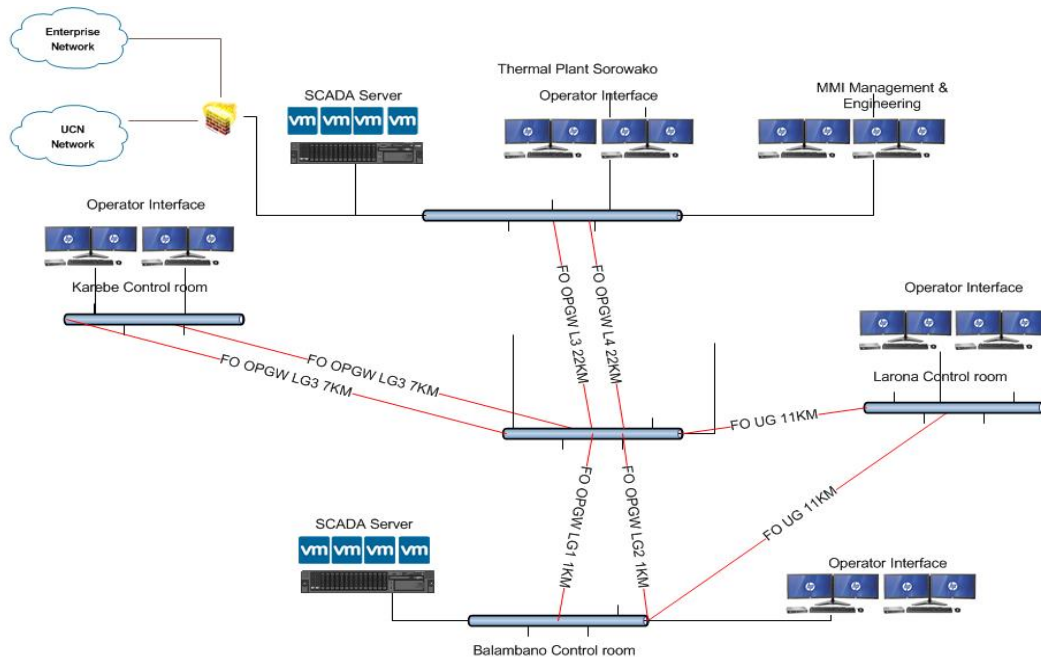
Persyaratan yang harus dipenuhi pada seleksi *thin client*, adalah peralatan yang mempunyai spesifikasi; Protocol RDP, mendukung dual monitor, OS HP Smart Zero Core, Gigabit Ethernet dan mendukung Hi-Speed USB 2.0 ports. Dari persyaratan tersebut maka diputuskan untuk memakai HP t420 *Thin Client* sebagai peralatan yang akan bekerja bersama dengan virtual server SCADA sebagai sistem virtual desktop untuk operator interface. Gambar 4.2 dibawah menunjukkan pengetesan *Thin Client* yang dipasang sebagai pengganti perangkat keras PC dan digunakan sebagai OWS operator interface.



Gambar 4.2 Pengetesan *Thin Client* Operator Workstation-OWS

Penempatan virtual server SCADA harus dipisah dengan pertimbangan untuk menghindari ke dua server mati atau tidak berfungsi secara bersamaan karena mengalami permasalahan di bawah ini:

- Power supply atau UPS mengalami kegagalan
- *Network Switch* di area tersebut mati atau bermasalah
- Ruang server terbakar



Gambar 4.3 Skematik diagram server host virtualisasi SCADA

Seperti terlihat pada Gambar 4.3, penempatan host server virtual akan di tempatkan di Balambano dan plant site Sorowako. Hal ini untuk memastikan bahwa apabila terjadi gangguan seperti diatas maka satu server tetap akan cukup mendukung operasi hidro dan thermal power generation. Alokasi dan assignment SCADA virtual mesin pada host virtual server #1 di Balambano dan host virtual server #2 di Thermal control room di jelaskan secara mendetail pada lampiran 10.

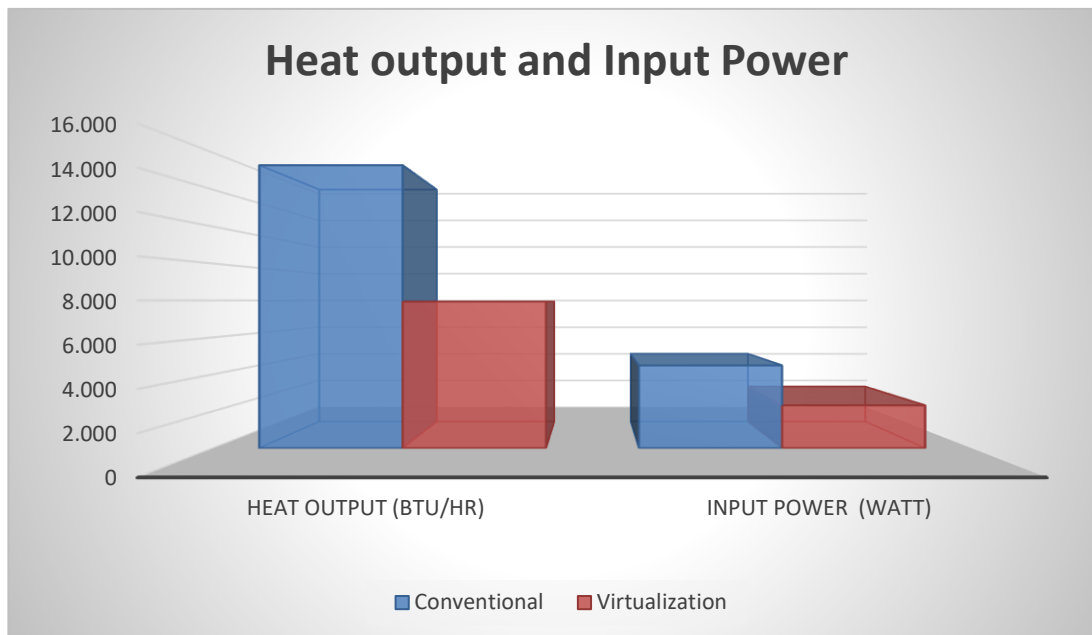
#### 4.4 EVALUASI KEBUTUHAN ENERGI

Data kebutuhan power listrik untuk semua server, komputer dan komponen SCADA yang lainnya seperti thin client dan monitor diasumsikan mengambil dari spesifikasi semua peralatan yang sudah didesain dan ditetapkan di atas. Untuk server, semua komponen server di daftar dan di cek satu per satu kebutuhan energi listriknya termasuk heat (BTU) yang dihasilkan untuk kebutuhan sistem pendingin. Kebutuhan energi server konvensional dihitung berdasarkan data load saat ini yaitu 11.8%, sedangkan untuk server virtualisasi dihitung berdasarkan asumsi estimasi load tertinggi yaitu 75%. Perbandingan hasil perhitungan seluruh komponen sistem SCADA dapat dijelaskan pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Kebutuhan energi sistem SCADA konvensional dan virtualisasi

Asset Description	Number of Asset	Conventional Server		Virtualization	
		Heat Output (BTU/hr)	Input Power (Watt)	Heat Output (BTU/hr)	Input Power (Watt)
SCADA Server	14	4,076	1,195	0	0
SCADA Client	24	3,384	989	2,592	756
Development & Project	7	1,888	553	108	32
Support & management	7	2,038	598	0	0
Other Control System	25	3,932	1,150	1,300	378
Virtual Infrastructure	2	N/A	N/A	3,976	1,166
<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>15,318</b>	<b>4,485</b>	<b>7,976</b>	<b>2,331</b>

Mengacu pada sisi konvensional server, terlihat bahwa yang paling besar mengkonsumsi daya dan menghasilkan panas adalah SCADA server yaitu sebesar 4,076 BTU/hr dan 1,195 Watt, sementara pada sisi virtualisasi semua server yaitu SCADA dan server support management adalah nol karena beralih semua ke infrastruktur virtualisasi. Pada sisi SCADA klien virtualisasi masih terdapat kebutuhan power dan sumber panas adalah berasal dari monitor dan thin client.



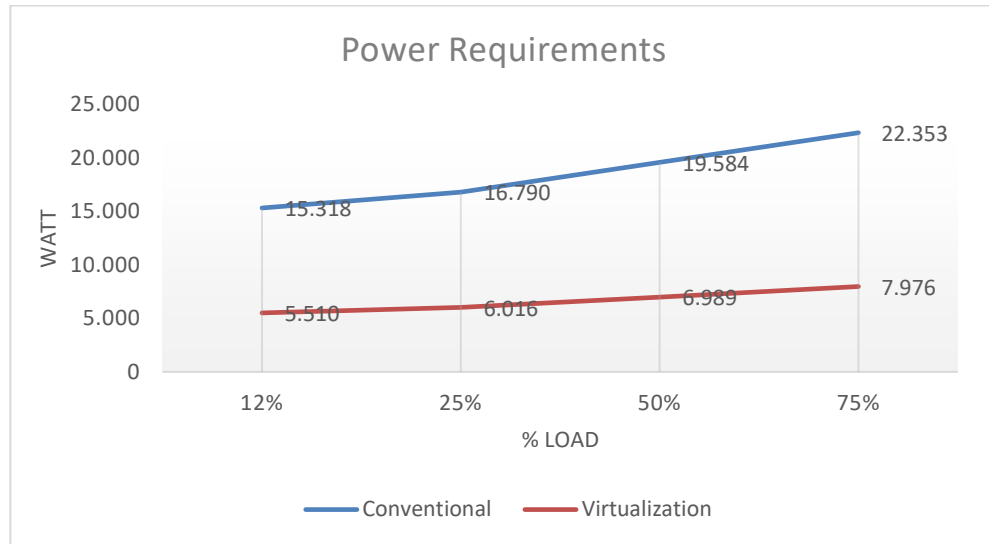
Gambar 4.4 Perbandingan kebutuhan listrik dan heat output pada sistem konvensional dan virtualisasi.

Total kebutuhan energi untuk seluruh sistem SCADA ini termasuk server, komputer dan monitor pada sistem konvensional adalah 4,485 Watt dan menghasilkan panas 15,318 BTU/hr. Sementara total kebutuhan energi untuk seluruh sistem SCADA ini termasuk server, *thin client* dan monitor pada sistem virtualisasi adalah 2,331 Watt dan menghasilkan panas 7,976 BTU/hr. Terlihat jelas sistem virtualisasi lebih rendah 48.02% dalam konsumsi energi dan 47.93% lebih rendah dalam menghasilkan panas. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian K. Thirupathi, 2010 (Rao, Kiran, & L.S.S.Reddy, 2010) bahwa teknologi virtualisasi mampu menghemat energi sampai 65%. Perbandingan grafis dapat dilihat pada Gambar 4.4 di atas.

#### 4.5 ANALISA SENSITIVITAS

Analisa sensitivitas berfungsi untuk mengetahui pengaruh perubahan variabel server load terhadap nilai input power yang dibutuhkan pada SCADA konvensional dan virtualisasi. Dalam melakukan analisa sensitivitas, dilakukan empat variasi pembebanan server yaitu 12%, 25%, 50%, dan 75%. Pengamatan analisa sensitivitas dilakukan dari dua kondisi, yaitu dengan menggunakan design SCADA konvensional dan virtualisasi. Grafik hubungan antara pembebanan server

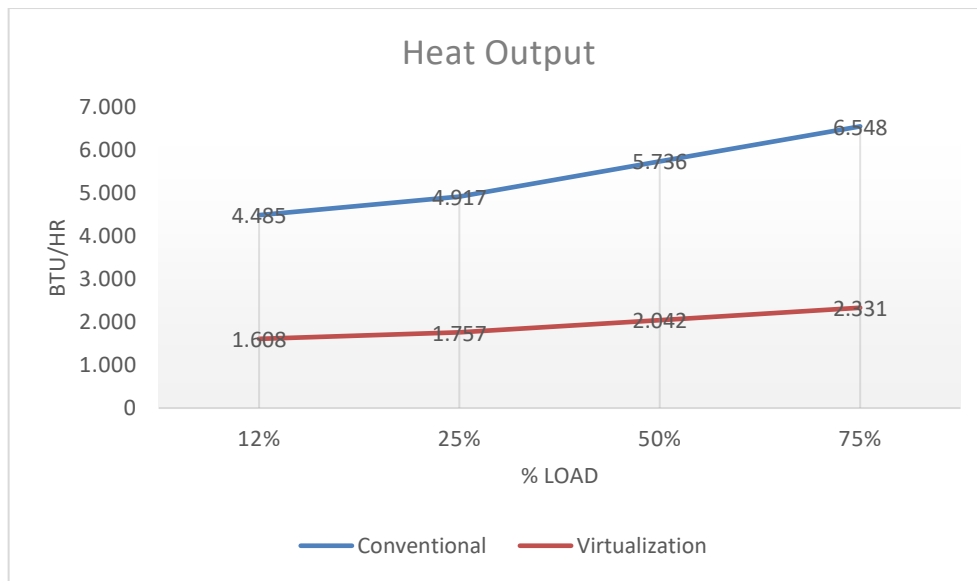
dengan input power dan heat output untuk masing-masing SCADA konvensional dan virtualisasi dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara % load dan kebutuhan listrik pada sistem konvensional dan virtualisasi.

Gambar 4.5 di atas menunjukkan sensitivitas untuk kebutuhan input power pada setiap persen pembebanan server, yaitu pembebanan server pada 12%, 25%, 50%, dan 75%. Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa persen pembebanan berbanding lurus dengan kebutuhan input power, selain itu terlihat bahwa ada peningkatan kebutuhan daya yang signifikan pada SCADA konvensional pada tiap titik di bandingkan dengan SCADA virtualisasi.

Analisis sensitivitas heat output yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 di bawah dilakukan untuk perhitungan kebutuhan cooling system pada setiap persen pembebanan server, yaitu pembebanan server pada 12%, 25%, 50%, dan 75%. Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa persen pembebanan berbanding lurus dengan server heat output, selain itu terlihat bahwa ada peningkatan server heat output yang signifikan pada SCADA konvensional pada tiap titik di bandingkan dengan SCADA virtualisasi.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara % load dan heat ouput pada sistem konvensional dan virtualisasi.

#### 4.6 EVALUASI BIAYA PROYEK DAN PERAWATAN

Biaya proyek upgrade ini terdiri dari biaya material dan instalasi, biaya material terutama yang terbesar adalah server termasuk komponennya, komputer, thin client, monitor dan software pada sistem konvensional maupun virtual. Biaya instalasi diperlukan hanya untuk material server sedangkan komponen lainya tidak perlu, instalasi dilakukan sesuai dengan spesifikasi produk server, melakukan pemeriksaan untuk memastikan tidak ada yang rusak selama pengiriman dan pemasangan perangkat lunak. Proses instalasi termasuk menjalankan tes verifikasi server seperti *Power-On Self-Tests (POSTs)* ke produk yang sedang diinstal, verifikasi operasi produk, dan verifikasi untuk memastikan bahwa perangkat lunak dan firmware pada perangkat server tersebut telah berjalan dengan sempurna. Hasil perhitungan biaya proyek dan perawatan tahunan seluruh perangkat sistem SCADA dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini.

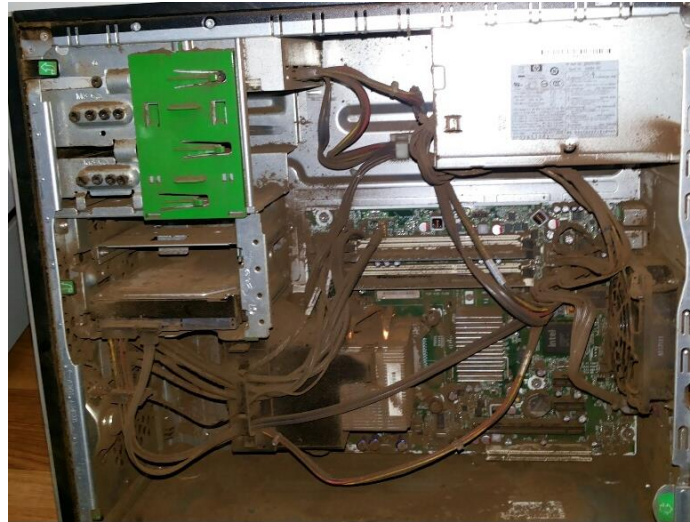
Tabel 4.6 Perbandingan biaya proyek dan perawatan tahunan antara sistem konvensional dan virtualisasi SCADA.

Asset Description	Number of Asset	Conventional Server			Virtualization		
		Material Cost	Installation Cost	Yearly Maintenance Cost	Material Cost	Installation Cost	Yearly Maintenance Cost
SCADA Server	14	\$115,338	\$16,100	\$12,455	\$0	\$0	\$0
SCADA Client	24	\$49,400	\$0	\$1,008	\$18,312	\$0	\$0
Development & Project	7	\$518	\$0	\$5,380	\$763	\$0	\$0
Support & management	7	\$57,669	\$8,050	\$6,228	\$0	\$0	\$0
Other Control System	25	\$94,497	\$8,050	\$6,984	\$10,108	\$0	\$0
Virtual Infrastructure	2	N/A	N/A	N/A	\$108,416	\$2,300	\$2,399
<b>Sub Total</b>		\$317,423	\$32,200	\$32,055	\$137,599	\$2,300	\$2,399
<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>\$349,623</b>		<b>\$32,055</b>	<b>\$139,899</b>		<b>\$2,399</b>

Mengacu pada bagian server konvensional Tabel 4.6, biaya material server termasuk instalasi pada baris development dan project tidak ada, hal ini karena dari data yang ada server tersebut masih dalam keadaan layak dan *up to date* baik perangkat keras maupun lunaknya, sehingga tidak perlu dilakukan upgrade dan masih bisa memakai server yang ada saat ini. Sedangkan pada baris yang lain semua ada biaya instalasi server kecuali baris klien SCADA. Pada bagian server virtualisasi, baris SCADA server dan baris *support & management* server, tidak ada sama sekali biaya proyek baik material, instalasi maupun perawatan tahunan, hal ini dikarenakan seluruh server tersebut telah di virtualisasikan dan diletakkan di server host virtualisasi. Sedangkan biaya instalasi hanya ada pada infrastruktur virtual server saja.

Biaya perawatan tahunan terdiri dari biaya *maintenance* yang nilainya tetap dari vendor server dan biaya perawatan pembersihan yang dilakukan oleh team *maintenance* secara periodik. Untuk server dilakukan cukup setiap tahun sekali karena server diletakkan pada ruangan khusus server yang tertutup, bersih dan dingin. Sedangkan komputer harus dilakukan perawatan pembersihan minimal setiap 4 bulan sekali, hal ini dikarenakan komputer terletak di ruangan terbuka di mana debu mudah sekali masuk karena adanya kipas pendingin komputer, Gambar 4.5 memperlihatkan dampak debu pabrik pada unit komputer klien SCADA. Untuk

*thin client* tidak perlu perawatan hal ini dikarenakan peralatan ini tidak mempunyai bagian yang berputar seperti kipas pendingin dan harddisk, sehingga kemungkinan debu masuk sangat kecil.



Gambar 4.7 Kondisi komputer klien SCADA di proses plant Sorowako

Dari Tabel 4.6 dapat dibandingkan kebutuhan biaya proyek dan perawatan antara sistem SCADA konvensional dan menggunakan virtualisasi, hasilnya SCADA konvensional membutuhkan biaya proyek sebesar \$349,623 sedangkan SCADA virtualisasi membutuhkan biaya proyek sebesar \$139,899 yang berarti 60% lebih murah, hal ini dikarenakan pada sistem virtualisasi hanya membutuhkan 2 perangkat keras server sebagai host virtualisasi, sementara sistem konvensional membutuhkan 32 perangkat keras server untuk keseluruhan sistem SCADA.

Anggaran biaya perawatan tahunan dari sistem SCADA konvensional juga sangat besar dibanding sistem virtualisasi, hal ini berbanding lurus dengan banyaknya server dan komputer yang terpasang. SCADA konvensional membutuhkan anggaran biaya perawatan sebesar \$32,055 per tahun, sedangkan SCADA virtualisasi membutuhkan biaya perawatan hanya sebesar \$2,399 per tahun. Dari angka tersebut di atas, Nampak jelas bahwa virtualisasi server SCADA mampu untuk menekan biaya perawatan hingga 92.51%, hal ini dikarenakan unit server terpasang hanya virtual host yang berjumlah 2 buah dan *thin client* yang bebas dari perawatan tahunan.



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa;

- a. Infrastruktur sistem SCADA saat ini telah usang, dengan total asset server dan komputer sebanyak 73 buah mempunyai utilisasi komputasi yang sangat rendah yaitu sebesar 8.8%.
- b. Dari analisa kebutuhan energi untuk seluruh komponen sistem SCADA yang terdiri dari server, *thin client*, komputer dan monitor pada sistem konvensional dan virtualisasi, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi virtualisasi mampu untuk menekan konsumsi energi sebesar 48.02% dan menghasilkan panas 47.93% lebih rendah.
- c. Analisa anggaran biaya perawatan tahunan pada sistem SCADA konvensional dan virtualisasi menyimpulkan bahwa penerapan teknologi virtualisasi pada sistem SCADA mampu untuk menekan anggaran tahunan perawatan sistem SCADA hingga 92.51%.
- d. Hasil dari analisa biaya proyek pada SCADA konvensional dan virtualisasi menyimpulkan bahwa penerapan teknologi virtualisasi mampu untuk mengurangi biaya proyek 60% lebih murah.

#### **5.2 SARAN**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu apabila sistem virtualisasi ini sudah diterapkan pada SCADA di area utilities power generation, penelitian dapat dilanjutkan dengan mengukur kenaikan utilisasi komputasi dari keseluruhan server host yang terpasang untuk dibandingkan dengan pengukuran komputasi utilisasi saat ini.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Adaptec. (2005). Which RAID Level is Right for Me. *Storage solutions*.
- Adaptec. (2018). *Nested RAID levels*. (Wikipedia) Retrieved from Wikipedia:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Nested\\_RAID\\_levels](https://en.wikipedia.org/wiki/Nested_RAID_levels)
- Bianchini, R., & Rajamony, R. (2004). Power and energi management for server sistems. *IEEE*, 37(11), 68–74.
- Cafaro, M., & Aloisio, G. (2011). *Grids, Clouds, and Virtualization*. Springer.
- Cilensek, R., & CCE. (1991). *Understanding Contractor Overhead Cost Engineering Vol. 33*.
- Davies, A. (2004). Computational intermediation and the evolution of computation as a commodity. *Applied Economics*, 36, 11: 1131.
- El-Hawary, M. E. (2000). *Electrical Energy Systems*. CRC Press.
- Golden, B. (2007). *Virtualization for Dummies*. Wiley Publishing.
- Gul, B., Khan, F. G., & Ahmed, I. (2016). Analyzing Virtualization based Energy Efficiency. *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, 14(6).
- Hatta, P. (2011). *Optimalisasi Utilisasi Server Menggunakan Virtualisasi Server*. Universitas Sebelas Maret.
- Kaur, S., Kathpal, N., & Munjal, N. (2015). Role of SCADA in Hydro Power Plant. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and*, 4(10).
- Kero, V. (2016). *Virtualizing a SCADA System - Thesis*. Tampere University of Technology .
- Kulkarni, O., Bagul, S., Gawali, D., & Swamy, P. (2012). Virtualization Technology: A Leading Edge. *International Journal of Computer Application*, 2.

- Lee, H. (2014). *Virtualization Basics: Understanding Techniques and Fundamentals. Publication School of Informatics and Computing, Indiana University.*
- Oludele, A., Ogu, E. C., Kuyoro, S. O., & Umezuruike, C. (2014). The Evolution of Virtualization and Cloud Computing. *Research gate.*
- Patel, S., & Makwana, R. M. (2016). Optimized Energy Efficient Virtual Machine Placement Algorithm and Techniques for Cloud Data Centers. *Computer Sciences*, 1.
- Rao, K. T., Kiran, P., & L.S.S.Reddy. (2010). Energy Efficiency in Datacenters through. *Global Journal of Computer Science and Technology Virtualization*, 103(3), 6.
- Rockwell. (2013). *Virtualization for Process Automation Systems, Rockwell Automation.*
- Rockwell. (2015). Introduction to Virtualization for Manufacturing Environments. *RSTeched.*
- Rockwell. (2018). *PlantPAx Distributed Control System - Selection Guide.*
- Rockwell. (2018). *PlantPAx Distributed Control System Reference Manual.*
- Seißler, D. M. (2018). HMI & Virtualization in Process Automation.
- Shehabi, A., Smith, S., Sartor, D., Brown, R., & Herrlin, M. (2016). *US Data Center Energy Usage Report.* Berkeley National Laboratory.
- Siregar, V. (2011). *Faktor-Faktor Risiko Cost Overrun Pada Biaya Overhead Yang Berpengaruh Terhadap Kinerja Biaya Akhir Proyek Pembangunan Pipeline Dan Stasiun Gas di PT X.* FT. Universitas Indonesia.
- Uddin, M., Shaha, A., Abubakara, A., & Adelekeb, I. (2014). Implementation of Server virtualization to Build Energi Efficient Data Centers. *Power Technologies*, 1–10.

VMware. (2007). Understanding Full Virtualization, Paravirtualization, and Hardware Assist. *white paper*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LAMPIRAN**

1. Drawing blok diagram Utilities automation network.
2. Daftar lengkap dari semua perangkat keras dan perangkat lunak dari sistem SCADA dan sistem kontrol di Utilities Department PT. Vale Indonesia.
3. Daftar komponen server dan komputer untuk desain konvensional.
4. Daftar komponen server dan komputer untuk desain virtualisasi.
5. Perhitungan sizing server virtualisasi.
6. Perhitungan energi, biaya proyek dan perawatan tahunan SCADA konvensional.
7. Perhitungan energi, biaya proyek dan perawatan tahunan SCADA virtualisasi.
8. Hasil perhitungan Energi server konvensional menggunakan HP Power advisor.
9. Hasil perhitungan Energi server virtualisasi menggunakan HP Power advisor.
10. Detail alokasi dan assignment SCADA virtual mesin pada host server.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*