

BUDI RAHARDJO

KEAMANAN INFORMASI

Contents

<i>1</i>	<i>Pengantar</i>	<i>5</i>
<i>2</i>	<i>Pendahuluan</i>	<i>7</i>
<i>3</i>	<i>Prinsip-prinsip Keamanan Informasi</i>	<i>17</i>
<i>4</i>	<i>Kriptografi</i>	<i>21</i>
<i>5</i>	<i>Domain Name System (DNS)</i>	<i>29</i>
<i>6</i>	<i>PGP / Gnu Privacy Guard</i>	<i>35</i>
<i>7</i>	<i>Keamanan Sistem Email</i>	<i>43</i>
<i>8</i>	<i>Keamanan Sistem Web</i>	<i>53</i>
<i>9</i>	<i>Penutup</i>	<i>59</i>
<i>10</i>	<i>Bibliography</i>	<i>61</i>
	<i>Appendices</i>	<i>63</i>

A tcpdump 65

Pengantar

Buku ini muncul karena kebutuhan buku teks untuk kuliah keamanan informasi (*information security*). Jenis buku seperti ini agak langka. Bahkan dahulu ilmu yang terkait dengan keamanan - misalnya kriptografi - dianggap tidak boleh diajarkan sehingga referensi untuk hal itu sangat langka. Buku yang pertama kali terbit mengenai kriptografi adalah “Codebreakers” karangan David Kahn ¹, yang diterbitkan tahun 1969. Sejak saat ini, ilmu tentang keamanan (*security*) mulai terbuka untuk umum.

¹ David Kahn. *Codebreakers*. Scribner, 1967

Buku teks berbeda dengan buku *how to* yang banyak beredar di toko buku. Buku tersebut biasanya hanya menjelaskan bagaimana menggunakan sebuah program tertentu, atau melakukan hal tertentu. Sementara itu buku teks digunakan untuk memberikan landasan teori sehingga pemahaman tidak bergantung kepada *tools* tertentu saja. Meskipun demikian, penggunaan *tools* sebagai contoh akan juga disampaikan dalam buku ini. Semoga dengan demikian, buku ini dapat bertahan lebih lama. (Meskipun saya agak ragu setelah melihat pesatnya perkembangan teknologi informasi.)

Urutan pembahasan juga membuat saya merenung cukup panjang. Ada beberapa hal yang disinggung di depan, tetapi pembahasan teorinya di belakang. Sementara itu kalau teorinya diletakkan di depan, maka siswa akan bosan karena terlalu banyak teori. Seharusnya memang buku ini dipaketkan dengan materi presentasi (slide) yang saya gunakan untuk mengajar. Yang itu belum saya benahi. Masih menunggu waktu.

Sebelumnya saya pernah membuat buku yang sejenis, tetapi kode sumber dari buku tersebut sudah hilang. Maklum, saya membuatnya di tahun 1990-an dengan menggunakan program FrameMaker, yang sudah tidak saya miliki lagi. Sekarang saya buat dari awal dengan menggunakan L^AT_EX agar lebih bisa bebas.

Ada yang mengatakan bahwa *security* itu seperti pisau yang bermata dua. Dia dapat digunakan untuk kebaikan atau kejahatan, tergantung kepada penggunaanya. Saya berharap agar ilmu yang

diperoleh dari membaca buku ini dapat digunakan untuk kebaikan, bukan kejahatan. Saat ini masih dibutuhkan banyak tenaga kerja yang menguasai security (security professionals). Sayang sekali kalau lowongan ini tidak dapat dipenuhi dan malah banyak yang memilih untuk menjadi perusak.

Bagi Anda yang mengajarkan kuliah *security* dan ingin menggunakan buku ini sebagai buku teks, silahkan digunakan. Bagi para mahasiswa dan peneliti yang membutuhkan referensi untuk makalah Anda, semoga buku ini dapat membantu. Lebih baik lagi apabila Anda dapat menemukan guru yang dapat membantu Anda dalam memahami isi buku ini. Selain buku ini, saya juga menulis buku lain yang dapat diunduh juga: “Keamanan Perangkat Lunak”². Yang ini saya gunakan untuk kuliah saya yang lainnya.

² Budi Rahardjo. *Keamanan Perangkat Lunak*. PT Insan Infonesia, 2016

Selain prinsip-prinsip keamanan, ada beberapa *tools* yang juga diuraikan di buku ini karena mereka sering digunakan, seperti misalnya program tcpdump. Tentu saja Anda dapat membaca berbagai tutorial tentang penggunaan tools tersebut. Keberadaan tulisan tersebut agar buku ini komplit.

Dikarenakan buku ini masih dalam pengembangan, maka ada banyak bagian yang masih kosong atau meloncat. Mohon dimaafkan. Dalam penulisan selanjutnya, bagian-bagian tersebut akan diisi dan dilengkapi. Mohon masukkan jika hal ini terjadi.

Selamat menikmati versi 0.4 dari buku ini. Semoga bermanfaat.

Bandung, 2017

Budi Rahardjo, peneliti

twitter: @rahard

blog: <http://rahard.wordpress.com>

web: <http://budi.rahardjo.id>

Penulisan referensi:

Budi Rahardjo, “*Keamanan Informasi*”, PT Insan Infonesia, 2017.

This work is licensed under a Creative Commons “Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported” license.



2

Pendahuluan

Selalu ada aspek negatif dari sebuah pemanfaatan teknologi. Teknologi informasi tidak lepas dari masalah ini. Ada banyak manfaat dari teknologi informasi. Sayangnya salah satu aspek negatifnya adalah masalah keamanan (*security*).

Banyak tulisan dan buku yang mengajarkan cara merusak sebuah sistem informasi. Sementara itu buku yang mengajarkan cara pengamanannya agak minim. Demikian pula, ilmu untuk mengamankan sistem berbasis teknologi informasi juga harus lebih banyak diajarkan.

2.1 *Keamanan Informasi*

Ketika kita berbicara tentang *security*, yang muncul dalam benak kebanyakan orang adalah *network security*, keamanan jaringan. Padahal sesungguhnya yang ingin kita amankan adalah **informasi**. Bahwa informasi tersebut dikirimkan melalui jaringan adalah benar, tetapi tetap yang ingin kita amankan adalah informasinya. Nanti akan kita bahas lebih lanjut mengapa demikian. Maka judul dari buku ini adalah “Keamanan Informasi”.

2.2 *Beberapa Contoh Kasus*

Untuk menunjukkan betapa banyaknya masalah keamanan informasi, berikut ini ada beberapa contoh kasus-kasus. Contoh ini bukanlah daftar yang komplit, melainkan hanya sampel dari kondisi yang ada. Bahkan, kemungkinan kondisi yang ada lebih parah daripada contoh-contoh ini.

Beberapa contoh kasus di luar negeri (diurutkan berdasarkan tahun kejadiannya) antara lain dapat dilihat dari daftar berikut.

1. 2006-2008. Tahun-tahun ini ditandai dengan mulai masuknya aspek manajemen ke dalam bidang keamanan informasi. Standar

ISO (mulai dari 17799 dan kemudian menjadi seri 27000) mulai digunakan di berbagai instansi. Adanya bencana alam (tsunami, banjir, gempa, dan sejenisnya) membuat orang mulai memikirkan keberlangsungannya sistem IT. Perangkat IT semakin mengecil dalam ukuran sehingga mulai dibawa pengguna ke kantor. Misalnya pengguna membawa sendiri akses internet dengan menggunakan handphone 3G. Penggunaan kartu sebagai pengganti uang juga mulai populer. (Less cash society.)

2. 2013. Virus masih tetap mendominasi masalah. Pencurian identitas (*identity theft*) mulai marak. Cyber war mulai menjadi bagian dari diskusi.
3. 2014. Heartbleed dan Bash Bug. (Yang ini lebih mudah dijelaskan dengan menggunakan gambar. Sayangnya saya tidak memiliki hak untuk memasukkan gambar tersebut ke dalam buku ini. Di kesempatan berikutnya akan saya usahakan memberi penjelasan dengan kata-kata dulu.)
4. 2014. Bursa Singapura terganggu karena masalah software. Perdagangan saham sempat terhenti.
5. 2016. Sebuah firma hukum di Panama bernama Mossack Fonseca (MF) mengalami kebocoran data. Data yang bocor berupa tabungan / investasi orang-orang terkenal dari beberapa negara (termasuk Indonesia). Kasus ini disebut *Panama Papers Breach*. Kebocoran ini diduga karena *Slider plugin* yang digunakan oleh situsnya (yang menggunakan Wordpress) sudah kadaluwarsa dan memiliki kerentanan. Hasil eksploitasi memperkenalkan orang untuk mengambil berkas sesukanya.
6. 2016. CCTV digunakan sebagai bagian dari Distributed DoS attack. Ini menunjukkan bahwa perangkat yang menjadi bagian dari Internet of Things (IoT) dapat menjadi target serangan untuk kemudian dijadikan “anak buah” (zombie) untuk menyerang tempat lain. Kode sumber Mirai yang digunakan untuk melakukan penyerangan tersedia di internet. Jika kita tidak siap, ini dapat menjadi masalah yang berikutnya.
7. 2016. Serangan DDoS terhadap berbagai DNS (Domain Name System) servers. Serangan menggunakan bantuan *botnet* sehingga menghabiskan *bandwidth* jaringan dalam orde Gbps.
8. 2017. Sebuah kampus di Amerika Serikat mengalami masalah di jaringan internalnya. Ternyata ada banyak paket dari segmen mesin minuman (atau segmen IoT). Perangkat IoT ternyata diretas (melalui coba-coba password secara brute-force). Kemudian perangkat tersebut menyerang DNS dari kampus.

9. Februari 2017. Layanan cloud dari Amazon.com berhenti berfungsi (down) selama beberapa jam. Berbagai perusahaan yang menyediakan layanan untuk publik dan kebetulan menggunakan layanan cloud (S3) dari Amazon ikut berhenti. Setelah diteliti, penyebabnya adalah salah ketik (typo) dari salah seorang operator ¹.
10. Mei 2017. Dunia digemparkan dengan Ransomware WannaCry yang menyerang hampir semua versi dari sistem operasi Microsoft Windows. Penyerangan memanfaatkan kelemahan dari SMBv1. Sebetulnya dari sisi teknis, ransomware ini tidak lebih hebat dari yang lain-lainnya tetapi nampaknya wawasan akan keamanan mulai terbangun. (Meskipun ada reaksi yang terlalu berlebihan.) Salah satu dokumentasi cara penanganannya dapat dibaca di blog ^{2,3}.
11. 27 Mei 2017. Sistem komputer dari penerbangan British Airways (BA) gagal berfungsi. Akibatnya seluruh penerbangan terkait dengan BA dihentikan. Penumpang terkatung-katung. Diberitakan bahwa software tidak berfungsi dan kemungkinan penyebabnya adalah masalah *power*.
12. Juni 2017. Kembali terjadi serangan ransomware yang diberi nama Petya. (Nama ini diberikan karena pada awalnya diduga kodenya mirip dengan kode yang diberi nama Petya, tetapi penelusuran lebih jauh ternyata menunjukkan bahwa kodenya berbeda.) Pada dasarnya ransomware ini melakukan eksploitasi kelemahan pada SBM v1, seperti pada ransomware WannaCry. Diduga exploit ini juga berasal dari exploit EtherBlue yang dikembangkan oleh NSA. Ransomware Petya ini pertama kali ditemukan di Ukraina. Diperkirakan awalnya disebarkan melalui software akunting yang harus digunakan oleh perusahaan yang memiliki kontrak dengan pemerintah Ukraina. Itulah sebabnya ada dugaan lain bahwa sebetulnya serangan ini ditargetkan untuk menyerang atau mengacaukan Ukraina. Penyebaran ransomware ini agak terbatas karena mekanisme penyebarannya melalui jaringan lokal, bukan internet meskipun upaya penyebaran melalui *pishing* juga ada..
13. 13 September 2017. Aplikasi chat Telegram down sehingga tidak dapat digunakan. Diduga permasalahan disebabkan oleh listrik di data center mereka yang berada di Singapura. Ini adalah masalah *availability*. Padahal permasalahan listrik di data center Singapura seharusnya tidak menjadi masalah.
14. 16 Oktober 2017. Diumumkan bahwa terdapat kelamahan pada implementasi WPA2 yang digunakan oleh banyak layanan

¹ Catatan dari Amazon dapat dibaca di sini:
<https://aws.amazon.com/message/41926/>

² Budi Rahardjo. Penanganan ransomware wannacry, Mei 2017

³ <https://rahard.wordpress.com/2017/05/14/penanganan-ransomware-wannacry/>

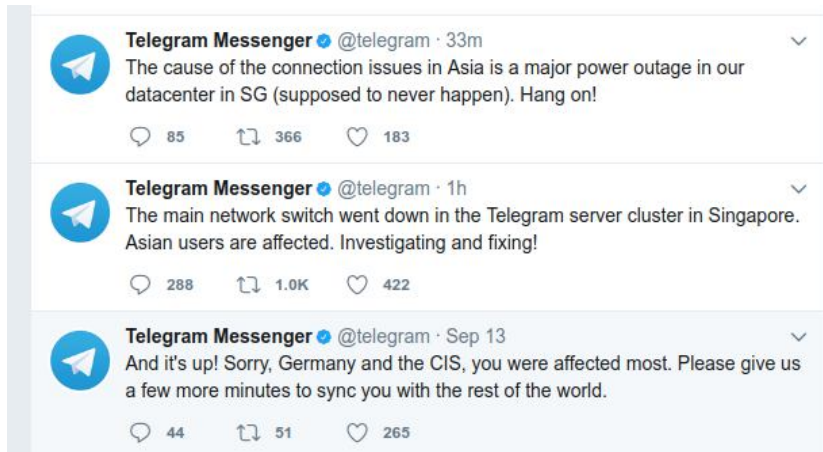


Figure 2.1: Telegram down

WiFi. Kelemahan ini dapat digunakan untuk menyadap data dan bahkan menyisipkan perintah ke dalam sesi yang sedang berlangsung. Kelemahan ini khususnya sangat berpengaruh pada sistem yang berbasis Android dan Linux. Singkatnya adalah penyerang dapat melakukan *Man-in-the-middle attack* dan meminta para pelaku untuk menggantikan kunci enkripsi dengan semua nol. Setelah kunci diubah dengan nol semua maka penyerang dapat melakukan penyadapan⁴.

Selain contoh-contoh di atas, tentunya masih banyak kasus-kasus lain. Ada yang menganalogikan ini sebagai puncak dari *iceberg*. Di bawah laut lebih banyak lagi masalah yang tidak terlihat.

Beberapa contoh kasus yang terkait dengan Indonesia dapat dilihat dari daftar berikut.

1. 1999. Nama domain Timor Timur (.TP) diacak-acak. Diduga pelakunya adalah pemerintah Indonesia. Investigasi lebih lanjut menunjukkan bahwa ini tidak dilakukan oleh pemerintah Indonesia tetapi oleh seseorang (atau sekelompok) yang berada di Amerika Serikat.
2. 2011. Perusahaan Research in Motion (RIM) yang memproduksi *Blackberry* dipaksa untuk memiliki server di Indonesia. Alasan utama adalah agar dapat dilakukan *lawful interception*, yaitu penyadapan secara legal untuk kasus-kasus tertentu. Pihak RIM keberatan. Tidak ada server RIM di Indonesia.
3. 2015. Serangan man-in-the-browser (MITB) dilakukan terhadap berbagai layanan internet banking di Indonesia sehingga mengakibatkan hilangnya uang nasabah⁵

⁴ <https://arstechnica.com/information-technology/2017/10/severe-flaw-in-wpa2-protocol-leaves-wi-fi-traffic-open-to-eavesdropping/>

⁵ <http://regional.kompas.com/read/2015/08/11/12185971/> Kronologi. Hilangnya. Uang. Nasabah. Bank. Mandiri. Versi. Korban

4. 2016. Aplikasi Pokemon Go mulai muncul dan ramai digunakan. Aplikasi ini menggunakan lokasi pengguna sebagai bagian dari permainannya, yaitu untuk menampilkan monster Pokemon sesuai dengan lokasi. Selain itu, foto dari lingkungan sekitarnya dapat juga kita ambil dan kita bagikan (share) dengan orang lain melalui media sosial. Aplikasi ini dilarang digunakan di lingkungan militer dan pemerintahan karena dikhawatirkan dapat membocorkan data rahasia. (Sebetulnya ada banyak aplikasi lain yang juga menggunakan data lokasi seperti *Waze* dan *Google Maps*, tetapi ini tidak “terlihat”. Bahkan lebih berbahaya lagi adalah penggunaan layanan email gratisan untuk akun resmi pemerintahan atau instansi lain di Indonesia.)
5. 2016. Berbagai *market place* (seperti Tokopedia, Bukalapak, dll.) dan aplikasi handphone (seperti Go-Jek) diserang oleh orang yang mencoba melakukan password cracking. Asumsinya adalah seseorang akan menggunakan userid (alamat email) dan password yang sama untuk situs-situs tersebut. Identitas yang bocor di sebuah layanan (web site, application) dicoba digunakan di tempat lain.
6. 2016. Topik pembentukan “Badan Cyber Nasional (BCN)” mulai hangat dibicarakan.
7. 2017. Seorang (beberapa?) mahasiswa di sebuah perguruan tinggi di Indonesia meminta bantuan cracker untuk mengubah nilainya di sistem informasi kampusnya.
8. Maret 2017. Listrik dari tempat data center dari sebuah ISP mati sehingga layanannya terhenti. Beberapa *electronic market places* ikut terkena imbasnya karena menggunakan layanan ISP tersebut.
9. Agustus 2017. Satelit Telkom 1 mengalami masalah sehingga ribuan ATM dari berbagai bank di Indonesia tidak dapat beroperasi. Satelit ini memang sudah habis masa operasinya, meskipun diperkirakan masih dapat digunakan beberapa tahun lagi. Dipertanyakan kesiapan dari *business continuity planing* dari layanan ATM bank.

Saat ini semakin banyak lagi masalah keamanan yang ditemui. Hal ini disebabkan semakin banyak pemanfaatan teknologi informasi dan jaringan internet. Selain itu teknik untuk menemukan lubang keamanan juga semakin canggih sehingga lebih banyak ditemukan kelemahan-kelemahan tersebut.

Sebuah survey yang dilakukan oleh *Information Week* di Amerika Serikat (tahun?) menunjukkan bahwa hanya 22 persen manager yang menganggap keamanan sistem informasi sebagai hal yang

penting. Bagaimana meyakinkan mereka untuk melakukan investasi di pengamanan?

Rendahnya kesadaran atas masalah keamanan (lack of security awareness) merupakan salah satu kunci utama munculnya masalah keamanan. Para praktisi juga masih menjalankan kebiasaan buruk, seperti misalnya berbagi password admin.

Masalah keamanan informasi yang biasanya berupa data teknis harus diterjemahkan ke angka finansial agar dapat dimengerti oleh pihak pimpinan. Sebagai contoh, di Inggris ada survey mengenai berapa biaya yang dikeluarkan perusahaan jika sistem mereka tidak dapat diakses (*down*).

2.3 Security Life Cycle

Banyak orang yang beranggapan bahwa masalah keamanan informasi dapat dipecahkan dengan membeli produk keamanan, misalnya firewall, anti-virus, dan seterusnya. Keamanan informasi sebetulnya berupa sebuah siklus sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.2.

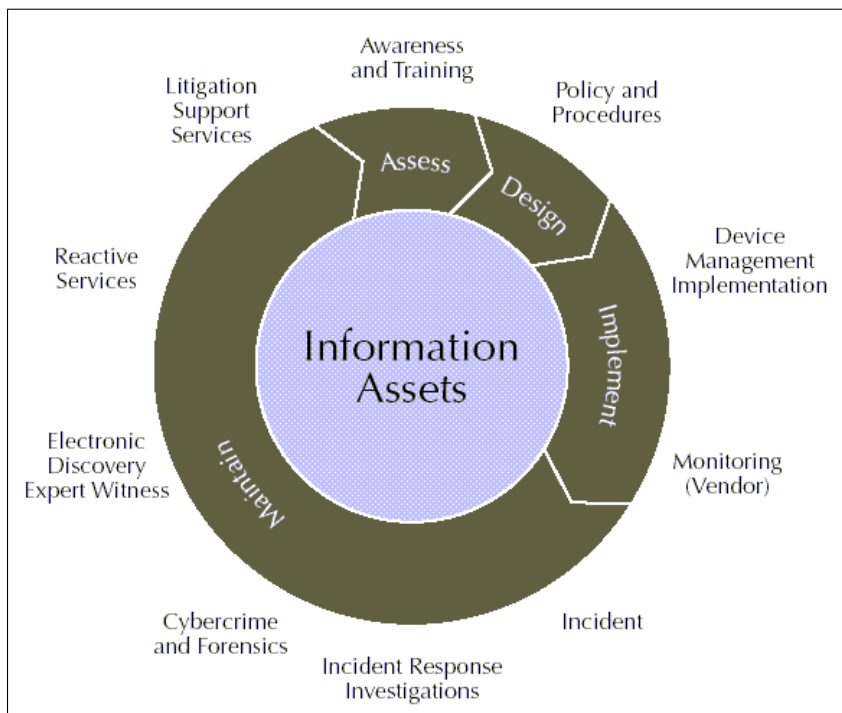


Figure 2.2: Security Life Cycle

Sesuatu yang akan kita amankan disebut dengan “aset”. Untuk itu, langkah pertama dalam pengamanan adalah menentukan aset yang ingin dilindungi. Apa saja yang dianggap sebagai aset harus ditentukan bersama dengan pemilik dari sistem (aplikasi, data,

dsb.) sebab mereka yang mengetahui mana aset dan mana yang bukan aset. Proses ini disebut *assesment* dan dapat dilakukan dengan melalui training atau *awareness* terhadap pihak-pihak terkait. Seringkali pemilik aplikasi memahami mana asetnya tetapi pihak operasional (orang-orang IT yang diberi tugas untuk mengamankan sistem) tidak tahu.

Setelah mengetahui aset yang ingin diamankan, aset tersebut harus kita beri harga (value). Pengamanan nantinya akan disesuaikan dengan dengan nilai dari aset tersebut. Akan sulit kita melakukan investasi pengamanan yang biasanya lebih mahal dari nilai asetnya. Sebagai contoh, jika kita memiliki sebuah komputer yang harganya Rp. 5.000.000,- maka akan sulit untuk menerima biaya pengamanan yang harganya Rp. 100.000.000,- (lebih mahal). Biaya pengamanan harus lebih murah daripada nilai asetnya. Jika biaya pengamanan lebih mahal, mungkin lebih baik membeli barang sejenis saja sebagai duplikat.

Untuk hal-hal yang terkait dengan teknologi informasi, pendaftaran aset-aset ini tidak mudah karena ada hal-hal yang tidak terlihat secara kasat mata. Aset ini dapat kita bagi menjadi tiga (3) jenis; *hardware*, *software*, dan data. Mari kita mulai mencoba mendata.

Aset yang berbentuk perangkat keras (*hardware*) agak “mudah” didata karena terlihat oleh mata, tetapi ada beberapa hal yang membuatnya menjadi susah. Salah satunya adalah nilai dari aset tersebut. Harga komputer cenderung jatuh dengan cepat. Berapa depresiasi dari sebuah server? Contoh-contoh aset perangkat keras antara lain komputer, router, perangkat jaringan, disk, dan seterusnya. Apakah notebook termasuk aset atau barang habis? Bagaimana dengan USB flashdisk? Apakah itu termasuk aset juga?

Beberapa kejadian terkait dengan kesulitan mendata perangkat keras antara lain tidak diketahuinya pemilik dari perangkat tersebut. Database perangkat keras sering tidak tersedia. Sebagai contoh, sering kali tidak diketahui harddisk dan lokasi server yang menggunakan disk tersebut.

Jika pendataan perangkat keras sudah susah, maka pendataan perangkat lunak lebih susah lagi. Masalahnya, perangkat lunak tidak terlihat secara kasat mata sehingga pendataannya harus melalui pemilik layanan / pemilik aplikasi. Sebagai contoh, sebuah layanan online memiliki aplikasi di server web dan juga database di server database. Aplikasi-aplikasi tersebut berbentuk beberapa perangkat lunak yang tentunya memiliki harga.

Penentuan harga (nilai) dari perangkat lunak cukup rumit. Untuk aplikasi yang dibeli, dapat digunakan harga pembelian tersebut. Bagaimana menentukan harga aplikasi yang dikembangkan sendiri? Ada yang menggunakan jumlah waktu pengembang (dalam *man*

days) yang kemudian dikalikan dengan honor (gaji) orang tersebut. Itulah harga dari aplikasi tersebut. Lantas bagaimana dengan produk *free software* atau (sebagian dari) *open source* yang kebanyakan dapat diperoleh secara gratis? Bagaimana menentukan harga mereka? Ini masih menjadi pertanyaan. Hal lain yang menyulitkan adalah berapa depresiasi dari perangkat lunak?

Bagian selanjutnya dari aset teknologi informasi adalah data. Jika pendaftaran aset hardware dan software sudah sukar, pendaftaran data lebih sukar lagi. Data apa saja yang dimiliki oleh sistem? Pada umumnya data apa saja yang tersedia tidak terdaftar. Masing-masing aplikasi hanya memiliki data tersendiri.

Penentuan harga dari data lebih sukar lagi. Sebagai contoh, berapa harga data transkrip mahasiswa? Bagi mahasiswa, data tersebut sangat berharga sehingga harus dilindungi. Bagi orang lain, data tersebut mungkin tidak ada nilainya. Maukah Anda membeli data transkrip mahasiswa ITB seharga Rp. 30.000.000,- ? Saya yakin tidak ada yang mau. Bagaimana jika Rp. 3.000.000,- saja? Mungkin masih tidak. Bagaimana jika Rp. 3.000,- ? Mungkin mau. Apakah nilai dari data transkrip tersebut hanya tiga ribu rupiah? Jika iya, bagaimana nilai perlindungan yang akan kita berikan?

Setelah mengetahui aset yang akan dilindungi, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan desain pengamanan. Hal ini dilakukan dengan mengembangkan kebijakan dan prosedur (*policies and procedures*). Banyak yang melupakan langkah ini dan langsung melakukan implementasi, tetapi tanpa PnP ini akan sulit. Sebagai contoh, siapa yang boleh melakukan akses kepada data transkrip tersebut? Ini dituangkan dalam kebijakan. Tanpa kebijakan ini, perangkat pengamanan yang ada (*authorization* dan *access control*) akan sulit diterapkan. Rules apa yang akan dipakai? Banyak kejadian sistem pengamanan diterapkan dengan salah karena tidak memiliki desain yang benar.

Desain pengamanan ini kemudian diterapkan secara teknis melalui perangkat pengamanan (*security devices*). Penerapan ini dapat meminta bantuan vendor.

Meskipun sudah diterapkan pengamanan, insiden keamanan akan tetap dapat terjadi. Ketika insiden ini terjadi, maka harus dilakukan investigasi terlebih dahulu. Apakah insiden yang terjadi tersebut benar-benar insiden ataukah kejadian biasa saja? Jika memang itu adalah insiden, maka akan diproses lebih lanjut sesuai dengan kebijakan dan prosedur yang ada.

Ini kemudian menjadi siklus; *security life cycle*. Banyak orang yang masih menganggap *security* adalah sebuah produk sehingga mereka lebih fokus kepada pembelian produk pengamanan tertentu tanpa memperhatikan faktor lain (misalnya aset mana yang akan dilin-

dungi). Ini seperti mengatasi sakit kepala dengan menggunakan obat penghilang rasa sakit tanpa perlu mencari tahu apa sumber permasalahan sesungguhnya.

2.4 Keamanan Dari Berbagai Elemen Sistem

Dahulu, ketika kita berbicara tentang *security*, maka yang ada dalam kepala sebagian besar orang adalah *network security* (keamanan jaringan komputer). Padahal sistem teknologi informasi tidak hanya jaringan saja. Ada elemen-elemen lain di sistem.

Sebuah sistem berbasis teknologi informasi memiliki beberapa elemen (komponen), yaitu komputer (host, server, workstation), jaringan (berserta perangkatnya), dan aplikasi (software, database). Keamanan dari masing-masing elemen tersebut akan berbeda penanganannya.

2.4.1 Computer Security

Computer security (keamanan komputer) terkait dengan keamanan komputer, yang boleh jadi merupakan server, workstation, notebook, dan sejenisnya. Seringkali ini disebut juga sebagai *host security*.

Permasalahan yang muncul pada keamanan komputer terkait dengan sistem operasi yang digunakan, *patch* yang sudah dipasang, konfigurasi yang digunakan, serta keberadaan aplikasi yang ada. Seringkali sistem operasi yang digunakan sudah kadaluwarsa dan sudah ditemukan beberapa kerentanan (*vulnerability*) pada sistem operasinya.

2.4.2 Network Security

Saat ini sebagian besar sistem terhubung dengan jaringan (apapun jenis jaringannya). Ada beberapa masalah terkait dengan keamanan jaringan, seperti misalnya penyadapan data, modifikasi data, dan juga serangan *Denial of Service* terhadap jaringan dengan membanjiri jaringan dengan paket yang sangat banyak (sangat besar).

2.4.3 Application Security

Boleh jadi komputer (server) yang digunakan sudah aman dan jaringan yang digunakan sudah aman, tetapi aplikasi (software) yang digunakan memiliki kerentanan sehingga data dapat diambil (atau diubah) oleh orang yang tidak berhak. Contoh yang sering terjadi saat ini adalah *SQL injection*.

Terkait dengan *application security* adalah keamanan sistem database. Ternyata penanganan masalah keamanan database mirip dengan penanganan keamanan jaringan (bukan aplikasi).

Topik keamanan aplikasi atau software mulai menjadi penting dan ini menjadi topik buku tersendiri.

3

Prinsip-prinsip Keamanan Informasi

Ada beberapa prinsip utama dalam keamanan informasi. Bab ini akan membahas prinsip-prinsip tersebut secara singkat. Hal-hal yang lebih rinci dan teknis, misalnya bagaimana mengimplementasikan aspek keamanan, akan dibahas pada bagian terpisah.

3.1 Aspek Keamanan

Ketika kita berbicara tentang keamanan informasi, maka yang kita bicarakan adalah tiga hal; *confidentiality*, *integrity*, dan *availability*. Ketiganya sering disebut dengan istilah **CIA**, yang merupakan gabungan huruf depan dari kata-kata tersebut. Selain ketiga hal tersebut, masih ada aspek keamanan lainnya.

Ketika kita berbicara tentang keamanan sebuah sistem - jaringan, aplikasi, atau apa pun - yang kita lakukan adalah mengevaluasi aspek C, I, dan A dari sistem tersebut. Prioritas dari ketiga aspek tersebut berbeda-beda untuk jenis sistem dan organisasi yang menggunakannya. Ada sistem yang aspek *integrity* lebih penting daripada kerahasiaannya (*confidentiality*). Untuk itu, pahami ketiga aspek ini. Ini adalah prinsip utama dari keamanan.

3.1.1 Confidentiality

Confidentiality atau kerahasiaan adalah aspek yang biasa dipahami tentang keamanan. Aspek *confidentiality* menyatakan bahwa data hanya dapat diakses atau dilihat oleh orang yang berhak. Biasanya aspek ini yang paling mudah dipahami oleh orang. Jika terkait dengan data pribadi, aspek ini juga dikenal dengan istilah *Privacy*.

Serangan terhadap aspek *confidentiality* dapat berupa penyadapan data (melalui jaringan), memasang *keylogger* untuk menyadap apa-apa yang diketikkan di keyboard, dan pencurian fisik mesin / disk yang digunakan untuk menyimpan data.

Perlindungan terhadap aspek *confidentiality* dapat dilakukan den-

gan menggunakan kriptografi, dan membatasi akses (segmentasi jaringan)

3.1.2 Integrity

Aspek *integrity* mengatakan bahwa data tidak boleh berubah tanpa ijin dari yang berhak. Sebagai contoh, jika kita memiliki sebuah pesan atau data transaksi di bawah ini (transfer dari rekening 12345 ke rekening 6789 dengan nilai transaksi tertentu), maka data transaksi tersebut tidak dapat diubah seenaknya.

TRANSFER 12345 KE 6789 100000

Serangan terhadap aspek *integrity* dapat dilakukan oleh *man-in-the-middle*, yaitu menangkap data di tengah jalan kemudian mengubahnya dan meneruskannya ke tujuan. Data yang sampai di tujuan (misal aplikasi di web server) tidak tahu bahwa data sudah diubah di tengah jalan.

Perlindungan untuk aspek *integrity* dapat dilakukan dengan menggunakan *message authentication code*.

3.1.3 Availability

Ketergantungan kepada sistem yang berbasis teknologi informasi menyebabkan sistem (beserta datanya) harus dapat diakses ketika dibutuhkan. Jika sistem tidak tersedia, *not available*, maka dapat terjadi masalah yang menimbulkan kerugian finansial atau bahkan nyawa. Itulah sebabnya aspek *availability* menjadi bagian dari keamanan.

Serangan terhadap aspek *availability* dilakukan dengan tujuan untuk meniadakan layanan atau membuat layanan menjadi sangat lambat sehingga sama dengan tidak berfungsi. Serangannya disebut *Denial of Service* (DOS).

Perlindungan terhadap aspek *availability* dapat dilakukan dengan menyediakan redundansi. Sebagai contoh, jaringan komputer dapat menggunakan layanan dari dua penyedia jasa yang berbeda. Jika salah satu penyedia jasa jaringan mendapat serangan (atau rusak), maka masih ada satu jalur lagi yang dapat digunakan.

3.2 Aspek Keamanan Lainnya

Selain ketiga aspek utama (CIA), yang sudah dibahas pada bagian sebelumnya, ada aspek keamanan lainnya. Yang ini sifatnya tambahan, meskipun kadang menjadi bagian yang cukup signifikan juga.

3.2.1 *Non-repudiation*

Aspek *non-repudiation* atau nir-sangkal digunakan untuk membuat para pelaku tidak dapat menyangkal telah melakukan sesuatu. Aspek ini biasanya kental di dalam sistem yang terkait dengan transaksi. Contoh penggunaannya adalah dalam sistem lelang elektronik.

Implementasi dari aspek ini dapat dilakukan dengan menggunakan *message authentication code* (dengan menggunakan fungsi *hash*) dan pencatatan (logging).

3.2.2 *Authentication*

Proses *Authentication* digunakan untuk membuktikan klaim bahwa seseorang itu adalah benar-benar yang diklaim (bagaimana membuktikan bahwa saya adalah pengguna dengan nama "budi").

Proses pembuktian seseorang ini lebih mudah dilakukan di dunia nyata dibandingkan dengan di dunia maya (siber, *cyber*). Di dunia nyata akan sulit bagi saya untuk membuat klaim palsu bahwa saya seorang wanita. (Saya memiliki kumis dan jenggot.) Namun di dunia maya, saya dapat membuat klaim bahwa saya seorang wanita dengan hanya memilih nama wanita dan memasang foto wanita.

Proses *authentication* ini dapat dilakukan dengan bantuan hal lain, yang sering disebut "faktor". (Sehingga ada istilah *two-factor authentication*.) Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut.

1. Sesuatu yang diketahui. Contoh dari faktor ini adalah nama, userid, password, dan PIN.
2. Sesuatu yang dimiliki. Contoh dari faktor ini adalah kartu, kunci, dan token.
3. Sesuatu yang menjadi bagian dari fisik pengguna. Contoh dari faktor ini adalah sidik jari, retina mata, dan *biometric* lainnya.

Selain faktor-faktor di atas, ada juga yang menambahkan faktor lain seperti berikut ini:

1. orang tersebut berada di tempat tertentu. (Proximity);
2. authentication dengan menggunakan bantuan pihak lain, pihak ketiga yang terpercaya (trusted third party).

3.2.3 *Authorization*

Pada aspek sebelumnya, *authentication*, kita dapat mengetahui siapa pengguna dan *roles* dari pengguna tersebut. Selanjutnya hak akses

akan diberikan kepada pengguna sesuai dengan *roles* yang dimilikinya. Inilah aspek *authorization*. Perlu diingatkan kembali bahwa aspek *authorization* ini membutuhkan *authorization*, sehingga dia letaknya setelah *authorization*.

4

Kriptografi

Ada dua cara untuk mengamankan data, yaitu menyembunyikan data atau menyandikan data. Cara pertama menggunakan steganografi, sementara cara kedua menggunakan kriptografi. Bab ini akan membahas lebih banyak tentang kriptografi, meskipun steganografi akan disinggung secara singkat.

Ilmu ini pada awalnya dianggap terlarang untuk diajarkan sehingga tidak ada bahan bacaan untuk mempelajarinya. Setelah David Kahn membuat bukunya di tahun 1969, maka ilmu pengamanan data ini menjadi lebih terbuka untuk dipelajari. Saat ini sudah sangat banyak buku yang membahas mengenai hal ini, mulai dari yang umum ¹ (tidak teknis) sampai ke yang teknis.

¹ Steven Levy. *Crypto: How the Code Rebels Beat the Government Saving Privacy in the Digital Age*. Penguin Books, 2001

4.1 Steganografi

Steganografi (*steganography*) adalah ilmu untuk menyembunyikan pesan sehingga tidak terlihat dengan mudah. Mekanisme penyembunyian (*hide, concealment*) dilakukan dengan menggunakan media lain. Sebagai contoh, kita dapat menyembunyikan pesan dalam gambar (*image, foto*), audio, atau video. Dalam sejarahnya, penyembunyian pesan dapat dilakukan dengan menggunakan meja yang dilapisi lilin (jaman perang antara Yunani dan Persia).

Saat ini steganografi digunakan sebagai bagian dari *Digital Rights Management* (DRM), misalnya dengan menyisipkan informasi mengenai HaKI dari produk digital (musik, ebook, foto, dan sejenisnya).

Ada banyak cara untuk menyisipkan informasi ke dalam berkas digital. Sebagai contoh, kita dapat menyisipkan pesan di dalam gambar (foto) digital seperti ditampilkan pada Gambar 4.1. Cara yang digunakan adalah dengan menggunakan *least significant bit* (LSB) dari data *pixel* gambar. Misalnya, sebuah *pixel* (titik) di gambar direpresentasikan oleh 8-bit. Dalam hal ini ada 256 kombinasi (katakanlah skala abu-abu / grey scale). Maka kita dapat mengorbankan bit yang ke-8 tersebut dan hanya menggunakan 7-bit saja dalam pewarnaan.



Figure 4.1: Contoh Watermark

Bit ke-8 dapat kita gunakan sebagai bagian dari data. Jika ada 8 bit yang berurutan kita perlakukan seperti itu, maka akan ada tempat untuk 8-bit data (1 byte). Jika ini kita teruskan lagi, maka kita dapat menyimpan beberapa (banyak) bytes di dalam gambar itu. Data yang kita simpan di dalam berkas (gambar) tersebut dapat berupa kepemilikan gambar, *copyright*, misalnya.

Tentu saja contoh di atas agak sedikit menyederhanakan permasalahan. Steganografi yang bagus akan tahan bantingan terhadap proses-proses tertentu. Sebagai contoh, jika gambar tersebut diubah ukurannya (*resize*) maka informasi yang ditanamkan tersebut akan hilang. Algoritma steganografi yang bagus akan memiliki kekuatan yang lebih dari itu.

4.2 Kriptografi

Berbeda dengan steganografi, kriptografi tidak menyembunyikan pesan tetapi mengubah pesan sehingga sulit diperoleh pesan aslinya. Pesan diubah dengan cara **transposisi** (mengubah letak dari huruf) dan **substitusi** (mengganti huruf/kata dengan huruf/kata lainnya). Pesan yang sudah diubah terlihat seperti sampah, tetapi tetap terlihat oleh penyerang atau orang yang tidak berhak.

Proses transposisi dapat dilakukan dengan berbagai cara. Sebagai contoh, kita dapat menulis pesan menjadi dua baris secara bergantian. Huruf pertama diletakkan di baris pertama, huruf kedua di baris kedua, huruf ketiga di baris pertama lagi, huruf keempat di

baris kedua lagi, dan seterusnya. Mari kita ambil contoh kalimat “selamat datang di kota bandung”. Kalimat ini akan kita tuliskan secara bergantian. (Dalam contoh ini, spasi kita buang saja.)

```
slmtaagioaadm
eaadtndktbnug
```

Kalimat yang akan dikirimkan menjadi “slmtaagioadneaadtndktbnug”. Kalimat ini yang kita kirimkan. Dapat dilihat bahwa kalimat yang dikirimkan sudah sulit dibaca isinya. Di sisi penerima akan dilakukan proses sebaliknya sehingga didapat kalimat aslinya. Ini adalah salah satu contoh proses transposisi.

Proses substitusi dalam kriptografi dilakukan dengan menukarkan simbol dengan simbol lain. Sebagai contoh kita dapat menukarkan huruf dengan huruf lain sesuai dengan sebuah aturan.

Caesar cipher merupakan salah satu contoh kriptografi dengan menggunakan metoda substitusi. Cara kerjanya adalah sebagai berikut. Urutkan huruf abjad dari “A” sampai ke “Z”. Di bawahnya kita geser huruf-huruf tersebut sebanyak tiga lokasi. Hasilnya seperti terlihat di bawah ini. (Penggunaan huruf besar dan kecil hanya untuk memperjelas saja. Seharusnya kedua baris memiliki huruf yang sama.)

```
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z
d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z a b c
```

Katakan kita ingin mengirim pesan yang berisi kata “BUDI”. Yang kita lakukan adalah mengambil huruf-huruf di bawah masing-masing huruf sebagai penggantinya. Sebagai contoh, huruf “B” akan digantikan dengan “e”, “U” digantikan “x”, “D” digantikan “g”, dan “I” digantikan “l”. Sehingga “BUDI” akan menjadi “EXGL”.

Jumlah pergeseran huruf - apakah 3 atau 7 - dapat ditentukan bersama. Namun ada yang menarik jika kita gunakan 13 sebagai jumlah pergeseran. Jumlah huruf kita ada 26, sehingga 13 merupakan angka “ajaib”. Sebuah pesan dapat kita geser 13 sehingga menjadi tersembunyi dan kalau kita geser 13 lagi (dengan proses yang sama) akan menghasilkan teks aslinya. Proses ini dikenal dengan istilah **ROT13** (atau rotate 13) ².

```
FHQNUXNU NAQN ZRAPBON?
```

Cara substitusi seperti yang digunakan oleh *Caesar cipher* tersebut menggunakan satu tabel sehingga sebuah huruf akan disubstitusi oleh huruf yang sama. Dalam contoh pertama, huruf “B” akan disubstitusi dengan huruf “E”. Hal ini disebut *monoalphabetic cipher*.

Persandian dengan menggunakan *Caesar cipher* ini bertahan cukup lama. Dapatkah Anda membayangkan cara memecahkan persandian

² Ada situs www.rot13.com yang dapat kita gunakan untuk melakukan enkripsi dan dekripsi dengan pergeseran 13 huruf itu.

ini? Serangan (attack) apa yang dapat Anda lakukan? Ternyata Al Kindi menemukan cara untuk memecahkan *Caesar cipher* ini.

Kelemahan dari *monoalphabetic cipher* adalah huruf yang sama digantikan oleh huruf pasangannya dan tetap seperti itu. Serangan yang dilakukan oleh Al Kindi adalah membuat statistik dari kemunculan huruf. Dalam sebuah bahasa tertentu, katakan Bahasa Inggris, ada statistik kemunculan setiap huruf. Dalam Bahasa Inggris, huruf yang paling sering muncul adalah huruf "A". Jika hasil statistik dari teks yang sudah tersandikan huruf yang paling sering muncul adalah huruf "J", maka kita tinggal geser huruf "J" tersebut di bawah huruf "A" dan sisanya tinggal menyesuaikan. Ternyata tidak susah untuk melakukan serangan bukan?

- | | | |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| <p>Ex. 1 —</p> | <p>Kemunculan huruf</p> | <p>1. Buat sebuah program yang membuat statistik kemunculan huruf-huruf untuk bahasa Indonesia, bahasa Inggris, bahasa Jawa, dan bahasa Sunda. Urutkan lima terbesar di setiap bahasa. Catatan: Semakin banyak Anda memberi masukan kepada program statistik Anda, semakin akurat hasil statistiknya.</p> <p>2. Apakah metoda ini dapat digunakan untuk bahasa-bahasa yang tidak menggunakan karakter Roman (seperti bahasa Arab, Cina, India, Thailand, dan sejenisnya)?</p> |
|-----------------------|--------------------------------|---|

Dalam sejarah persandian, keberadaan orang yang membuat algoritma sandi (*code maker*) akan berseteru dengan orang yang berusaha untuk memecahkannya (*code breaker*). Dalam contoh di atas, Al Kindi menjadi *code breaker* yang memecahkan kode *Caesar cipher*.

4.2.1 Struktur Sistem Kriptografi

Secara umum ada tiga komponen utama dari kriptografi, yaitu *plain text*, *ciphertext*, dan algoritma serta kunci yang digunakan³.

- *Plain text* adalah data (teks, pesan, *message*) asli yang belum diproses. Meskipun disebut *plain text*, sesungguhnya data asli tidak harus berupa teks (ASCII). *Plain text* dapat juga berupa berkas biner.
- *Ciphertext* adalah data yang dihasilkan dari proses enkripsi. *Ciphertext* dapat berbentuk berkas biner atau ASCII. Perlu diasumsikan bahwa penyerang kemungkinan dapat mengakses *ciphertext*.
- Algoritma dan kunci merupakan *black box* yang memproses *plain text* menjadi *ciphertext*. Algoritma diasumsikan diketahui oleh penyerang, tetapi kunci tidak diketahui.

³ Pada awalnya, kunci melekat dengan algoritma. Namun kemudian, kunci dipisahkan dari algoritma. Kekuatan dari sebuah sistem kriptografi bergantung kepada kerahasiaan dari kuncinya, bukan dari kerahasiaan algoritmanya.

Hubungan antara ketiga komponen tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut. *Ciphertext* c merupakan hasil operasi enkripsi (*encryption*) E dengan kunci k terhadap pesan m . *Ciphertext* ini yang nanti dikirimkan kepada pihak yang dituju.

$$c = E_k(m) \quad (4.1)$$

Penulisan proses enkripsi dapat juga dilakukan seperti berikut.

$$c = \text{ENKRIP}(k, m) \quad (4.2)$$

Di sisi sebaliknya, yaitu di sisi penerima, pesan (*plain text*) m diperoleh dari hasil proses dekripsi (*decryption*) D dengan kunci k terhadap *ciphertext* c .

$$m = D_k(c) \quad (4.3)$$

Penulisan dapat dilakukan dengan notasi berikut.

$$m = \text{DEKRIP}(k, c) \quad (4.4)$$

Jika kita menggunakan algoritma kriptografi kunci privat, kunci (k) yang sama digunakan untuk proses enkripsi dan dekripsi. Untuk algoritma kriptografi yang berbasis kunci publik, kunci yang digunakan untuk proses enkripsi dan dekripsi berbeda bergantung kepada proses yang dilakukan (apakah untuk enkripsi atau penandatanganan).

4.2.2 Kriptografi Kunci Privat

Kriptografi kunci privat adalah jenis kriptografi yang paling banyak dikenal. Pada sistem kriptografi ini, ada satu kunci yang digunakan untuk mengunci dan membuka. Itulah sebabnya sistem ini dikenal juga dengan istilah kriptografi **simetrik**. Kunci yang digunakan harus dirahasiakan sehingga kriptografi ini disebut kriptografi kunci privat.

Ada banyak algoritma yang mengimplementasikan kriptografi kunci privat, antara lain DES, Blowfish, dan AES. (Penjelasan rinci mengenai algoritma-algoritma ini akan dibahas secara terpisah.) Algoritma-algoritma ini umumnya sangat cepat dalam operasinya.

Salah satu kesulitan dari pengoperasian sistem kriptografi kunci privat adalah dalam hal distribusi kunci (*key distribution*). Sebagai contoh, jika *Alice* ingin mengirim pesan kepada *Bob*, maka mereka berdua memiliki sebuah kunci yang sama. Jika *Alice* ingin mengirim pesan ke orang lain, katakan *Charlie*, maka mereka berdua memiliki kunci sendiri (*Alice-Charlie*) yang berbeda dengan kunci *Alice-Bob*. Demikian pula jika *Bob* dan *Charlie* ingin berkomunikasi

maka mereka memiliki kunci sendiri (*Bob-Charlie*). Jika kita teruskan dengan pihak-pihak lain, maka jumlah kunci yang dibutuhkan akan meledak secara eksponensial sesuai dengan penambahan jumlah pengguna (n).

$$\text{numkeys} = \frac{(n)(n-1)}{2} \quad (4.5)$$

Untuk jumlah pengguna yang sedikit, misal puluhan orang, maka jumlah kunci yang beredar tidak terlalu banyak. Begitu jumlah pengguna sangat banyak, maka jumlah kunci menjadi sangat besar seperti dapat dilihat pada tabel 4.1. Bayangkan jumlah pengguna internet di dunia ini. Berapa banyak kunci yang harus dipersiapkan jika semuanya akan saling berkomunikasi satu dengan lainnya?

n	Jumlah kunci
10	45
100	4.950
1000	499.500
10.000	49.995.000
100.000	4.999.950.000

Table 4.1: Jumlah Kunci

Meskipun ada masalah distribusi kunci, sistem kriptografi kunci privat ini yang paling baik kinerjanya (performance) sehingga dia sangat dibutuhkan.

4.2.3 Kriptografi Kunci Publik

Pada sistem kriptografi kunci publik, ada dua kunci yang akan digunakan. Setiap pelaku akan memiliki sepasang kunci (**kunci publik** dan **kunci privat**) yang saling berhubungan. Jika sebuah pesan dikunci dengan kunci publik, maka dia hanya dapat dibuka oleh kunci privat pasangannya. Demikian pula jika sebuah pesan dikunci oleh kunci privat, maka dia hanya dapat dibuka oleh kunci publik pasangannya. (Jangan bingung. Baca berulang kali. Nanti akan dijelaskan dengan cara lain lagi.)

Sistem ini sering juga disebut **kriptografi asimetrik**, karena kunci yang dipakai untuk mengunci berbeda dengan kunci untuk membuka. Asimetrik.

Sesuai dengan namanya, kunci publik boleh diketahui oleh umum dan disimpan di tempat publik. Sementara itu, kunci privat hanya boleh diakses oleh pemiliknya. Selama-lamanya kunci privat ini tidak boleh terbuka. Jika kunci privat ini tercuri, maka identitas kita juga tercuri.

Mari kembali kita ambil contoh komunikasi antara *Alice* dan *Bob*. Masing-masing pelaku memiliki sepasang kunci. *Alice* memiliki kunci publik KA_{pub} dan kunci privat KA_{priv} . Demikian pula *Bob*

memiliki kunci publik KB_{pub} dan kunci privat KB_{priv} . Jika *Alice* ingin mengirimkan pesan m kepada *Bob*, maka *ciphertext* c merupakan hasil enkripsi dengan menggunakan kunci publik *Bob*.

$$c = E_{KB_{pub}}(m) \quad (4.6)$$

Di sisi penerima, *Bob*, akan menerima ciphertext c . Untuk mengembalikannya ke pesan semula, dilakukan proses dekripsi (D) dengan kunci privatnya sebagai berikut. Perlu diingat bahwa hanya *Bob* yang dapat melakukan hal ini karena hanya dia yang memiliki kunci privatnya. *Alice* sebagai pengirim pun sudah tidak dapat membuka kembali pesan yang dia kirimkan.

$$m = D_{KB_{priv}}(c) \quad (4.7)$$

Yang menarik dari proses ini adalah untuk mengirimkan pesan bersandi ke *Bob*, sang pengirim (*Alice*) hanya perlu mencari kunci publik *Bob*. Dia tidak perlu bertukar kunci sebelumnya. Masalah *key distribution* terpecahkan dengan cara ini.

Jumlah kunci yang beredar di sistem juga tidak meledak sebagai mana terjadi pada kriptografi kunci privat. Jika jumlah pengguna adalah n , maka jumlah kunci adalah:

$$numkeys = 2n \quad (4.8)$$

Beberapa contoh algoritma kriptografi kunci publik yang terkenal antara lain RSA⁴ dan Elliptic Curve Cryptosystem (ECC). Sayangnya algoritma-algoritma ini memiliki komputasi yang cukup tinggi sehingga membutuhkan waktu yang jauh lebih lama dalam memproses data. (Akan dibahas kemudian.) Akibatnya, algoritma kriptografi kunci publik kurang disukai atau digunakan secukupnya saja.

⁴ Nama RSA ini berasal dari singkatan nama penemunya, yaitu Ron Rivest, Adi Shamir, dan Len Adleman

4.2.4 Kriptografi Hybrid

Seperti dikemukakan sebelumnya, kriptografi kunci privat memiliki algoritma yang relatif cepat tetapi ada masalah pada distribusi kunci. Sementara itu kriptografi kunci publik memiliki kelemahan komputasinya yang tinggi. Salah satu solusi yang menarik adalah menggabungkan kedua sistem sehingga menjadi kriptografi (kunci) hybrid.

Pada pendekatan ini, enkripsi (dan dekripsi) akan menggunakan kriptografi kunci privat tetapi dengan kunci yang dibuat sesaat (*session key*) dan kunci sesi inilah yang dipertukarkan dengan menggunakan algoritma kriptografi kunci publik. Ukuran kunci sangat kecil sehingga biaya (*cost*) untuk melakukan enkripsi dengan kunci publik menjadi kecil. Pertukaran kunci ini dapat dilakukan dengan

berbagai algoritma, salah satunya dengan menggunakan algoritma Diffie-Hellman.

4.3 Diffie-Hellman Key Exchange

Seperti sudah diuraikan pada bagian sebelumnya, salah satu pendekatan praktis yang dilakukan adalah menggunakan sistem kriptografi kunci privat. Kunci yang digunakan akan dipertukarkan secara berkala dengan mekanisme *key exchange*. Salah satu algoritma yang banyak digunakan adalah Diffie-Hellman.

Ambil sebuah kasus dimana Ani dan Budi ingin bertukar kunci. Berikut adalah langkah-langkah pertukaran kunci.

1. Budi memilih 2 bilangan prima g dan p
2. Ani memilih sebuah bilangan rahasia (a). Bilangan ini tidak boleh diberitahukan kepada siapa-siapa. Ani kemudian menghitung $A = g^a \bmod p$ dan mengirimkan bilangan A ke Budi. Perhatikan bahwa operasi *mod* adalah operasi modulus.
3. Budi memilih sebuah bilangan rahasia (b) dan kemudian menghitung $B = g^b \bmod p$. Bilangan B ini dikirimkan ke Ani.
4. Ani menerima B dan kemudian menghitung $secretkey = B^a \bmod p$
5. Budi menerima A dan menghitung $secretkey = A^b \bmod p$

Kedua *secret keys* tersebut akan sama. Kedua persamaan di bawah ini sama. Persamaan pertama ada di Ani dan yang kedua ada di Budi.

$$B^a \bmod p = (g^b \bmod p)^a \bmod p = g^{ba} \bmod p \quad (4.9)$$

$$A^b \bmod p = (g^a \bmod p)^b \bmod p = g^{ab} \bmod p \quad (4.10)$$

4.4 Kualitas Sistem Kriptografi

Kebagusan sebuah sistem kriptografi bergantung kepada kerahasiaan kuncinya bukan kepada kerahasiaan dari algoritmanya. Algoritma yang baik adalah algoritma yang diterbitkan untuk umum dan dievaluasi bersama-sama. Banyak orang yang heran atau tidak percaya kepada hal ini. Ambil contoh algoritma RSA yang dibuat pada tahun 1970-an. Algoritma ini tersedia dan dapat dievaluasi. Sampai sekarang belum ditemukan kelemahan dari algoritma ini. Jika ada seseorang atau sebuah vendor yang tidak mau membuka algoritmanya, maka tingkat keamanannya pantas untuk diragukan.

5

Domain Name System (DNS)

Salah satu komponen utama dari internet adalah penamaan domain, Domain Name System (DNS). Penelusuran DNS juga merupakan salah satu langkah awal dari evaluasi keamanan atau penyerangan. Mencari tahu sebuah target dimulai dari layanan DNS dahulu. Sebagai contoh, jika akan dilakukan evaluasi keamanan dari sebuah perusahaan maka yang pertama dilakukan adalah melakukan DNS query.

5.1 Sejarah DNS

Komputer bekerja dengan angka, atau lebih tepatnya dengan menggunakan bilangan biner, ON dan OFF. Salah satu cara memberikan identitas komputer adalah dengan menggunakan nomor IP. Contoh nomor IP antara lain dapat dilihat di bawah ini. (Tahukah Anda itu nomor IP dari layanan apa?)

172.217.27.3
31.13.78.35
104.244.42.193

Di sisi lain, manusia lebih mudah menghafal nama dibandingkan dengan angka. Oleh sebab itu harus ada sebuah sistem yang melakukan konversi dari nama ke angka dan sebaliknya. Pada awalnya, hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah tabel. Di sistem UNIX, tabel itu ada di berkas */etc/hosts* yang isinya serupa ini. Kolom kiri merupakan nomor IP (angka) dan kolom kanan berisi nama untuk nomor IP tersebut. Nama boleh lebih dari satu.

167.205.24.34 paume www.paume.itb.ac.id
192.168.100.1 br accesspoint

Pada awalnya, tabel ini jumlahnya tidak banyak sehingga dapat dikelola secara manual. Inilah yang dilakukan oleh Jon Postel dan

kawan-kawannya di Amerika Serikat. Dikarenakan pengelolaannya menjadi semakin berat, maka dibentuklah sebuah organisasi yang diberi nama *Internet Assigned Numbers Authority* (IANA)¹. Tabel-tabel ini diperbaharui secara berkala dan dapat diunduh melalui FTP.

Jumlah komputer dan organisasi yang terhubung ke internet semakin bertambah sehingga pengelolaan nama yang tersentralisasi ini menjadi makin rumit. Ditambah lagi ada perebutan nama yang populer (seperti server, mail, dan seterusnya). Nama yang sama tidak diperbolehkan dalam sistem yang menggunakan tabel tersebut. Akhirnya disepakati harus ada sebuah sistem yang terdistribusi pengelolaannya. Maka lahirlah DNS.

Konsep DNS mirip dengan penamaan jalan di dunia nyata yang digunakan untuk mengirim surat melalui pos. Sebagai contoh, pak pos di Amerika Serikat tidak perlu tahu ada nama jalan Ganesha di Bandung, misalnya. Dia cukup mengetahui kemana untuk mengirimkan email yang ditujukan ke Bandung. Mari kita ambil contoh alamat surat menyurat saya.

Budi Rahardjo
Gedung PAU, lantai 4
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10
Bandung 40132
Indonesia

Jika seseorang ingin mengirimkan surat dari Amerika ke saya dengan alamat seperti di atas, maka alurnya adalah sebagai berikut.

Pengirim akan memasukkan surat ke pos terdekat. Pak pos akan membaca alamat dari belakang (dari paling bawah). Surat itu ditujukan ke Indonesia, maka pak pos akan meneruskan surat tersebut ke kantor pos Amerika yang mengumpulkan surat-surat yang ditujukan ke Indonesia. (Ini ada dimana?) Dari sana surat-surat (termasuk surat yang ditujukan kepada saya tersebut) ke Jakarta karena semua surat yang menuju Indonesia masuk ke kantor pos Jakarta. Di kantor pos Jakarta, surat-surat dipilah-pilah. Surat-surat yang menuju ke Bandung akan dikirimkan ke kantor pos Bandung. Di kantor pos Bandung, surat saya terlihat memiliki kode pos 40132 (Bandung Utara), maka surat itu akan diteruskan kepada bagian yang mengirimkan ke Bandung Utara. Surat tersebut kemudian diteruskan ke ITB yang beralamat di Jalan Ganesha nomor 10. Di ITB, surat tersebut diteruskan kembali ke Gedung PAU. Di gedung PAU, surat tersebut diteruskan ke lantai 4 dan akhirnya ke kantor saya. Demikianlah perjalanan surat dari luar negeri ke kantor saya.

Perlu diperhatikan bahwa sistem seperti ini *scalable*. Maksudnya, pos di berbagai negara tidak perlu memiliki daftar semua jalan di

¹ IANA juga yang mengatur pembagian atau distribusi nomor IP.

negara lain. Penamaan jalan dapat berubah-ubah secara lokal, tetapi surat dari luar negeri akan sampai seolah-olah perubahan lokal tersebut diketahui di luar negeri.

Sistem DNS diimplementasikan dalam program BIND. Untuk setiap tingkatan (level) dari nama domain ada *name server* yang bertanggung jawab terhadap domain-domain di level tersebut. Level teratas (top level domain) ditandai dengan titik (dot) yang tidak nampak. Level teratas ini awalnya dikelola oleh IANA dan kemudian diteruskan oleh ICANN (The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)².

Mari kita ambil sebuah contoh. Misalnya Anda ingin melihat halaman web yang memiliki alamat (nama) “www.paume.itb.ac.id”. Komputer (atau web browser) tidak dapat mengenali nama tersebut. Komputer harus melakukan konversi ke angka. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Bertanya kepada root name server (ICANN yang mengelola top level domain dot), siapa pengelola (atau name server) dari “ID”. ICANN memiliki beberapa root name servers; a.root-servers.net sampai m.root-servers.net. Salah satu dari root name server tersebut akan menjawab bahwa domain “.ID” ada di server-server berikut; (biasanya ada lebih dari satu name server) a.dns.id, b.dns.id, c.dns.id, e.dns.id, dan sec3.apnic.net.
2. Kepada salah satu dari name server (NS) tersebut ditanyakan, siapa (name server mana) yang mengelola “AC.ID”. Jawabannya adalah b.dns.id, c.dns.id, d.dns.id, dan e.dns.id.
3. Kepada salah satu dari NS tersebut ditanyakan, siapa (name server mana) yang mengelola “ITB.AC.ID”. Jawabannya adalah ns3.itb.ac.id, sns-pb.isc.org, ns1.ai3.net, ns1.itb.ac.id, dan ns2.itb.ac.id.
4. Kepada salah satu NS tersebut ditanyakan siapa name server domain “PAUME.ITB.AC.ID”. Jawabannya adalah www.vlsi.itb.ac.id, ns3.itb.ac.id, ns2.itb.ac.id, alliance.globalnetlink.com, ic.vlsi.itb.ac.id, mx.insan.co.id.
5. Kepada salah satu NS tersebut ditanyakan, berapa nomor IP dari “WWW.PAUME.ITB.AC.ID”. Jawabannya adalah 167.205.24.34. Setelah mendapatkan nomor IP tersebut maka komputer dapat melakukan tugasnya. (Atau kalau menggunakan web browser, maka browser akan mengunjungi halaman web yang memiliki nomor IP tersebut.)

Demikianlah proses yang terjadi di belakang layar. Tentu saja jika proses itu dilakukan sering (berulang-ulang), maka akan terjadi pemborosan penggunaan jaringan dan akan memakan waktu. Untuk itu

² Penjelasan mengenai perpindahan dari IANA ke ICANN akan dibahas secara terpisah.

dibuatlah proses *caching* yang mengingat-ingat beberapa domain yang ditanyakan terakhir sehingga proses *query* tidak harus mengulang dari awal. Demikian pula, daripada setiap komputer melakukan proses ini sendiri-sendiri, maka di berbagai organisasi (dan layanan) disediakan layanan DNS server. Biasanya Anda memasukkan DNS server ini di konfigurasi jaringan di komputer Anda. DNS server inilah yang akan melakukan proses *query* dan *caching*.

Pada penjelasan di atas dikatakan kita dapat bertanya tentang name server. Bagaimana cara melakukannya? Ada beberapa *tools* yang dapat digunakan untuk melakukan hal tersebut. Untuk sistem yang berbasis UNIX (termasuk Linux, berbagai variasi dari BSD, dan Mac OS X) ada *nslookup*, *dig* dan *host*. Berikut ini contoh sebuah sesi untuk mencari name server dari domain itb.ac.id dengan menggunakan program *host*.

```
$ host -t ns itb.ac.id
itb.ac.id name sever ns3.itb.ac.id.
itb.ac.id name sever sns-ob.isc.org.
itb.ac.id name sever ns1.ai3.net.
itb.ac.id name sever ns1.itb.ac.id.
itb.ac.id name sever ns2.itb.ac.id.
```

Keamanan dari sistem DNS bergantung kepada beberapa hal, salah satunya adalah ketergantungan kepada DNS server. Jika DNS server memberikan jawaban yang salah terhadap *query*, maka kita bisa diteruskan ke alamat yang salah. (Di alamat yang palsu tersebut bisa dibuatkan halaman yang mirip dengan web aslinya sehingga kita tertipu. Ini adalah salah satu contoh serangan terhadap DNS.)

5.2 DNS Filtering

Salah satu cara melakukan penapisan *filtering* di internet adalah melalui DNS. Untuk domain-domain tertentu (yang ingin difilter), DNS tidak memberikan jawaban meskipun server yang dituju tersebut tetap ada. Inilah salah satu filtering yang lazim dilakukan. Tentu saja “solusi” terhadap filtering dengan cara tersebut adalah dengan menggunakan DNS server yang lain (atau milik sendiri).

Pemaksaan untuk melakukan filtering DNS dapat dilakukan melalui kebijakan, bahwa semua harus menggunakan DNS server yang sudah ditentukan. Cara yang lebih teknis lagi dapat dilakukan dengan memaksakan port 53 yang digunakan ke DNS ke server tertentu sehingga pengguna tidak dapat menggunakan DNS server selain yang sudah ditentukan. Hal tentu saja masih dapat dilewati dengan menggunakan layanan DNSCrypt.

5.3 DNS spoofing

Pencarian (query) DNS dilakukan dengan berbagai cara. Cara yang lain lazim adalah dengan menggunakan paket UDP di port 53. Salah satu serangan yang dapat dilakukan adalah memantau port 53 (UDP) ini dan menjawab dengan segera *request* tersebut (dengan jawaban palsu). (Aspek kecepatan merupakan hal yang utama untuk mencapai kesuksesan serangan ini.)

Program *dnsspoof*, yang merupakan bagian dari paket *dsniff*, dapat digunakan untuk melakukan proses spoofing tersebut. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa lalu lintas (traffic) DNS harus terlihat oleh mesin yang melakukan spoofing tersebut. Untuk menguji hal ini dapat digunakan *tcpdump* terlebih dahulu. Jika memang traffic DNS dapat didengar, maka secara teori dia dapat juga dipalsukan (spoofed). Jika traffic DNS tidak didengar, maka harus mencari cara lain untuk melakukan DNS spoofing ini.

Misal kita memiliki berkas yang berisi daftar hosts yang ingin kita sesatkan jawabannya. Berkas ini misalnya bernama */tmp/hosts-spoofed* dan berisi seperti contoh berikut.

```
$ cat /tmp/hosts-spoofed
192.168.1.101 ibanking.co.id
192.168.1.102 populer.co.id

$ dnsspoof -f /tmp/hosts-spoofed
```

Coba melakukan query ke alamat ibanking.co.id. Jawabannya adalah 192.168.1.101. Jika kita memasang server web di mesin tersebut dan membuat halaman palsu yang mirip dengan halaman ibanking.co.id, maka kita dapat melakukan penipuan.

5.4 Zone Transfer

Daftar semua mesin (komputer) dan subdomain di dalam sebuah database DNS tidak untuk diberikan ke semua orang. Biasanya *query* dibatasi untuk hal-hal tertentu yang sangat spesifik, misalnya menanyakan nomor IP atau *name server*. Jarang ada permintaan untuk melihat seluruh isi dari sebuah zona DNS.

Untuk melihat daftar seluruh domain tertentu dilakukan proses *zone transfer*. Berikut ini contoh sebuah sesi *zone transfer* terhadap domain itb.ac.id dengan menggunakan program *host* kepada NS ns3.itb.ac.id. Perlu dicatat bahwa perintah berikut ini hanya dapat bekerja di lingkungan jaringan ITB karena *zone transfer* dibatasi.

```
$ host -l itb.ac.id ns3.itb.ac.id
```

Pembatasan *zone transfer* dilakukan karena dia dapat menghabiskan *bandwidth* dan juga memberikan informasi yang berlebihan. Sebuah *query* DNS dapat menghasilkan jawaban yang cukup panjang (besar, secara ukuran) bila daftar domain yang ada cukup banyak. Ada faktor amplifikasi dari penggunaan jaringan. Inilah yang ditargetkan untuk diserang. Di beberapa tempat, kebocoran data melalui *zone transfer* dapat digunakan sebagai langkah awal untuk melakukan penyerangan terhadap sebuah instansi tertentu. Untuk itu, *zone transfer* seharusnya dibatasi.

5.5 *Random Label Attack*

Query terhadap DNS dijawab oleh DNS *resolver*, yang biasanya kita kenal dengan istilah “DNS server” dalam konfigurasi komputer kita. Domain yang sering ditanyakan kemungkinan juga akan disimpan (*cached*) dalam mesin resolver ini agar penggunaan jaringan dapat dikurangi. Pendekatan ini juga menguntungkan name server karena ini akan mengurangi jumlah *query*.

Random label attack adalah penyerangan terhadap DNS server dengan cara melakukan *query* kepada domain yang tidak ada. Nama mesin dibuat secara random dan kemudian dilakukan *query*. Nama yang random ini tentunya tidak akan ada dalam cache dan harus ditanyakan kepada name server. Hal ini menyebabkan beban dari name server bertambah. Jika serangan ini dilakukan secara bertubi-tubi dan dari tempat yang jumlahnya banyak, maka serangan ini dapat menyebabkan *Denial of Service* (DOS) dari mesin name server.

6

PGP / Gnu Privacy Guard

Pretty Good Privacy (PGP) pada awalnya adalah aplikasi yang dapat digunakan pengguna untuk menggunakan kriptografi di berbagai aplikasi dengan lebih mudah. Pengembangan selanjutnya PGP menjadi bagian dari *public key infrastructure*.

6.1 Sejarah

[... more to be written ...]

Gnu Privacy Guard (GPG) merupakan implementasi dari PGP yang bersifat terbuka. (Catatan: Singkatan dari GPG ini merupakan guyonan terhadap PGP.) Bab ini akan membahas lebih banyak tentang GPG, meskipun konsep yang sama dapat juga diterapkan pada PGP jika Anda menggunakan produk PGP yang komersial.

Dalam buku ini, kita akan menggunakan GPG versi *command line interface*, yaitu dengan mengetikkan perintah “gpg” di program terminal atau CMD.exe. Ada banyak program *GUI* dari GPG ini. Silahkan gunakan manual terkait dengan program-program tersebut. Prinsipnya masih tetap sama.

6.2 Menggunakan Gnu Privacy Guard, gpg

Awal dari penggunaan GPG adalah membuat pasangan kunci publik dan privat. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan perintah berikut.

```
gpg --gen-key
```

Perintah di atas akan menanyakan beberapa hal, seperti jenis algoritma yang digunakan (pilih RSA dan RSA), panjang kuncinya (pilih 2048), dan alamat email yang akan digunakan untuk kunci tersebut. Dalam contoh buku ini saya akan menggunakan alamat email “rahard2017@gmail.com”. Gunakan alamat email Anda sebagai penggantinya/

```
$ gpg --gen-key
gpg (GnuPG/MacGPG2) 2.0.30; Copyright (C) 2015 Free Software Foundation, Inc.
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.
```

Please select what kind of key you want:

- (1) RSA and RSA (default)
- (2) DSA and Elgamal
- (3) DSA (sign only)
- (4) RSA (sign only)

Your selection? 1

RSA keys may be between 1024 and 4096 bits long.

What keysize do you want? (2048)

Requested keysize is 2048 bits

Please specify how long the key should be valid.

- 0 = key does not expire
 - <n> = key expires in n days
 - <n>w = key expires in n weeks
 - <n>m = key expires in n months
 - <n>y = key expires in n years
- Key is valid for? (0) 3m

Key expires at Wed May 31 10:30:37 2017 WIB

Is this correct? (y/N) y

GnuPG needs to construct a user ID to identify your key.

Real name: Budi Rahardjo

Email address: rahard2017b@gmail.com

Comment:

You selected this USER-ID:

"Budi Rahardjo <rahard2017@gmail.com>"

Change (N)ame, (C)omment, (E)mail or (O)kay/(Q)uit?

Setelah proses *key generation* selesai, kunci publik dapat diekspor dengan menggunakan perintah berikut. Gantikan "rahard2017@gmail.com" dengan alamat email Anda.

```
gpg --export --armor rahard2017@gmail.com > kunci-public.asc
```

Akan dihasilkan berkas "kunci-public.asc". Tanpa perintah *redirect output* yang menggunakan ">" itu, hasilnya hanya akan ditampilkan di layar saja. Tentu saja Anda dapat menggunakan nama berkas lainnya. Berikut ini adalah contoh beberapa baris pertama dari berkas ASCII hasil ekspor kunci tersebut. (Tampilan bisa panjang sekali, bergantung dari panjang kunci yang digunakan.)

-----BEGIN PGP PUBLIC KEY BLOCK-----

Comment: GPGTools - <https://gpgtools.org>

```
mQENBFiiijUBCAD3ZIxjUQyDtCgTmHs2iU+2aS+MMp2w+codVRrqLfVI+V8S+TmP
WGe2Gu4pTLovGzZ2NGWvKACZ0A+BL97e9K6QN6+UIYRARFdxfojQ4lbwH/W01YSn
J6BsCE1IfX8niRiskdibBhZZcrUCcDa/tgvGXTymoAeZEcMwR48hE0UWu0GoCE2g
TA/kD9yCyorFUKesbyKJMKPtLMJGICUwtggDdXT5arCCafpydLGxok+w4TJjADeX
jeTxDgYSNjCNar9wRhtnG+G/Irbfctj77/9Ppz8j8Dp1NkAwX5P+9AJRNNkwU88c
7FSEz0cpAzgC4VyaL/iX85G8wr6z5kaWNV3FABEBAAG0JEJlZGkgUmFoYXJkam8g
PHJhaGFyZDIwMTdAZ21haWwY29tPokBPQTAQoAJwUCWKKKNQIbAwUJABuvGaul
...
```

Kunci publik ini yang akan didistribusikan secara publik, misal disimpan di blog Anda. Kunci ini juga dapat disimpan di *key server*.

Untuk melihat informasi mengenai kunci Anda, dapat digunakan perintah berikut:

```
gpg --fingerprint rahard2017
```

```
pub 2048R/EB6CEB46 2017-02-14 [expires: 2017-03-07]
    Key fingerprint = 810B 2149 3366 E699 F95E 9E49 07E1 BDC5 EB6C EB46
uid [ultimate] Budi Rahardjo <rahard2017@gmail.com>
sub 2048R/C2E83C60 2017-02-14 [expires: 2017-03-07]
```

Perhatikan bahwa kunci publik yang ini memiliki ID “EB6CEB46”. ID ini dapat digunakan untuk bertukar kunci, atau untuk melakukan proses-proses lainnya. Sebagai contoh, kita dapat mengirimkan kunci ini ke server agar dapat dilihat atau dicari oleh orang lain. Keyserver yang akan kita gunakan dalam contoh ini adalah `pgp.mit.edu`.

```
gpg --keyserver pgp.mit.edu --send-keys EB6CEB46
```

Pengiriman kunci dapat juga dilakukan dengan menggunakan web dari situs PGP MIT tersebut sebagaimana dicontohkan dalam gambar berikut. Masukkan teks ASCII kunci Anda ke kolom kunci dan upload.

- | | |
|-------------------------------------|---|
| <p>Ex. 2 — Membuat Kunci</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Buat pasangan kunci publik dan kunci privat Anda. Gunakan parameter default saja (RSA dan RSA). Asosisasikan dia dengan alamat email Anda. 2. Unggah kunci publik Anda ke salah satu keyserver yang tersedia (misal <code>pgp.mit.edu</code> atau <code>keyserver.cert.or.id</code>) 3. Beritahukan teman-teman Anda tentang kunci Anda tersebut. Minta mereka untuk ikut menandatangani kunci publik Anda tersebut. |
|-------------------------------------|---|

Figure 6.1: Key server pgp.mit.edu

6.2.1 Enkrip Untuk Sebuah Alamat Email

Salah satu fungsi dari PGP/GPG adakan mengirim pesan secara rahasia. Pesan tersebut dienkrip dengan menggunakan kunci publik (alamat email) tujuan. Sebagai contoh, kita akan mencoba mengirimkan pesan rahasia ke rahard2017@gmail.com.

Langkah pertama tentunya kita harus mendapatkan kunci publik dari akun email rahard2017 tersebut. Cari di salah satu keyserver, unduh, dan masukkan ke gantungan kunci kita.

```
pgp --keyserver hkp://pgp.mit.edu --search-keys rahard2017
```

Dalam contoh ini, kita akan menggunakan berkas “dokumen.txt” yang berisi pesan dalam bentuk *plain text*. Tentu saja PGP/GPG tidak membatasi jenis pesan (berkas). Dalam contoh ini saja kita akan menggunakan berkas teks yang berisi teks ASCII. Secara umum berkas biner (MS Word, lagu MP3, film MP4, dan seterusnya) dapat juga diproses. Isi berkas dokumen.txt tersebut adalah sebagai berikut.

Ini adalah dokumen untuk percobaan menggunakan PGP/GPG.
Untuk tanda tangan, isinya tidak harus disembunyikan.
Selamat mencoba.

Perintah untuk mengenkripsi dengan menggunakan kunci publik tujuan (rahard2017@gmail.com) adalah seperti dicontohkan di bawah ini. Perintah tersebut akan menghasilkan berkas “dokumen.pgp”.

```
gpg --output dokumen.pgp --encrypt --recipient rahard2017@gmail.com dokumen.txt
```

Berkas “dokumen.pgp” yang dihasilkan dari proses enkripsi di atas berupa berkas biner. Jika kita ingin menghasilkan berkas dalam bentuk ASCII, maka gunakan opsi “-armor” (-a) seperti perintah di bawah ini.

```
gpg -a --output dokumen.pgp --encrypt --recipient rahard2017@gmail.com dokumen.txt
```

Jika kita lihat berkas “dokumen.pgp”, isinya adalah seperti berikut.

```
-----BEGIN PGP MESSAGE-----
Comment: GPGTools - https://gpgtools.org

hQEMAY/vbaXC6DxgAQf/Zjk74t1FXTT3abmJUz/w5Z8iHIIEWZlvMmBdMS7w/2U8
L2NvrvG6G0rsduLTirybCIAQ0GPU9Nq+YOMYJaY3BhiqkCSyYhHYRk04060S3GCA
ONnhqKiVLJIYfNwdDBtB4k7s8pfM5ngxgeZ6/gH5TDspHrhjrLS65Stn7sr+Nlf
TSuG9p21vr19yL13KBkd2rI5WBnL68/3bRJnKt0JL1PLeMvQ0eZIiRXcmropPXIs
rLtFRflpdp0H0LJn2/xQ5rXr13QRRjzo3SL4i/eYxPLEmpD164aicI8LC+qKgYcc
FShUuTxwxtu7tPYpqEH17jTTd29wZdrXDFHp5TGLTdKtAeMKeGupxvic0aNM46J
S3LBC9fU2bywwmvM77cCr97D0P1rA6WXR2xluRvLhms83lNMcpSDuZCPpb8rxKmu
Xk2WFThfV5rq0I1kyP2Kc1g+0cgnJkAzFXe5MQRI0pJ/MRwrekAo3Dvp3TefwMYu
R3LYwCi8VstPpnH9rcFyoyxsqMqLTPtUnheISNUmVERTLm3rALtHjf2vyvKR/2JF
Vmu79aqbbFJPJZ0gNmK=
=D+3L
-----END PGP MESSAGE-----
```

Berkas “dokumen.pgp” tersebut dapat kita kirimkan (misal melalui email) ke rahard2017@gmail.com. Di sisi penerima (rahard2017), berkas tersebut dapat dia buka dengan menggunakan kunci privatnya. Ketika menggunakan kunci privat, biasanya pengguna ditanyakan *passphrase* untuk mengakses (membuka) kunci privat tersebut karena biasanya kunci privat dilindungi dengan *passphrase* tersebut.

```
gpg --decrypt dokumen.pgp

You need a passphrase to unlock the secret key for
user: "Budi Rahardjo <rahard2017@gmail.com>"
2048-bit RSA key, ID C2E83C60, created 2017-02-14 (main key ID EB6CEB46)

gpg: encrypted with 2048-bit RSA key, ID C2E83C60, created 2017-02-14
      "Budi Rahardjo <rahard2017@gmail.com>"
```

Ini adalah dokumen untuk percobaan menggunakan PGP/GPG.
Untuk tanda tangan, isinya tidak harus disembunyikan.
Selamat mencoba.

Seperti dilihat pada contoh di atas, teks aslinya ditampilkan di layar. Jika kita ingin menyimpannya ke dalam sebuah berkas, maka dapat kita gunakan opsi “--output namaberkas” ketika menjalankan perintah gpg tersebut di atas.

Perlu diingat kembali bahwa hanya orang yang memiliki kunci privat, yaitu rahard2017@gmail.com, yang dapat membuka berkas tersebut. Jika berkas tersebut dicoba untuk dibuka dengan kunci lain, maka dia tidak dapat menghasilkan isi yang sama.

6.2.2 Tanda Tangan Dokumen

Salah satu manfaat penggunaan PGP/GPG adalah tanda tangan digital (sign). Dalam contoh berikut ini kita akan mendatangi berkas “dokumen.txt”. (Kita dalam contoh ini adalah “rahard2017@gmail.com”).

```
gpg -u rahard2017@gmail.com --output dokumen.sig --sign dokumen.txt
```

```
You need a passphrase to unlock the secret key for
user: "Budi Rahardjo <rahard2017@gmail.com>"
2048-bit RSA key, ID EB6CEB46, created 2017-02-14
```

Seperti sebelumnya, berkas yang dihasilkan (dokumen.sig) dalam format biner. Untuk menghasilkan berkas ASCII, dapat digunakan “-a”.

```
gpg -a -u rahard2017@gmail.com --output dokumen.sig --sign dokumen.txt
```

Isi berkas “dokumen.sig” yang sudah di-armor-kan seperti ini. Sebagai catatan, isi dokumen dan tanda tangan tercampur dan terarmor-kan. Kerugian cara ini adalah isi dari dokumen tidak dapat terlihat secara langsung.

```
-----BEGIN PGP MESSAGE-----
```

```
Comment: GPGTools - https://gpgtools.org
```

```
owGbwMvMwMXI/nDv0dc5r90Y10xI4k7Jzy7NTc3TK6koidipudUzL1MhMSUxJzFD
ASqjUJpXUpqtUJBaLJyflJiYpwAUS08vzUvMBRiD3AP03QPc9bhCwYpKEvNSEkFk
emKejkJmcWZeJZCbMZYrZCRWFRarJCSWZyam1SaV5kJ1K3HFZyak5ibWAIyEmS4
HlcnowwLAYMXAxsR8g1DFycAjDXcoix//d7pfhQ+pbBxM4ilx/pi05400kFsfs2
TDDSVY/Zec58cp/zm9TgDczKn+71Kkqvs/4fNNvRuUr208VdwowLPTliFpR+02/L
0cR/KDTuie6h9Xlq3bXTSg6kpeoxblZ323ra4jDfvvs/9RjeSBYs0cp4+T/c81B6
YUepNt00hLjZZeGxR63yNqxbu7ZX9dj4p6a7/JTbJKepvo3XItl08x0xVDt3LIv
oRc/tc7667WqskaC95zr1E6xREHL5eEKGnkByy7arEnL0Ge++bNd4ET4N0V3FYqP
```



```
L875kT8v8PeVPdqr+SrENG7YNL6+PWX0vNUR6ruMVdS0hzEoeyn4P2EWX6J1dVL/
n1dzXzdrAgA=
=VRfS
-----END PGP MESSAGE-----
```

Ada cara untuk memisahkan isi (teks) dan tanda tangannya. Perintah yang digunakan adalah “--clearsign”.

```
gpg -u rahard2017@gmail.com --output dokumen.sig --clearsign dokumen.txt
```

Hasilnya adalah sebuah berkas yang isinya adalah sebagai berikut. Perhatikan bahwa isi dan tanda tangan terpisah, meskipun masih dalam sebuah berkas.

```
-----BEGIN PGP SIGNED MESSAGE-----
Hash: SHA512

Ini adalah dokumen untuk percobaan menggunakan PGP/GPG.
Untuk tanda tangan, isinya tidak harus disembunyikan.
Selamat mencoba.
-----BEGIN PGP SIGNATURE-----
Comment: GPGTools - https://gpgtools.org

iQEcBAEBCgAGBQJYUStHAAoJEAfhvcXrb0tG1pKIALaFxiXK0bM7p/ZTMpzNCIHN
GpyR9Q6QQEi+9+0loHdw1TqMEskJ3HxW0negupMueiIp00IaEd8qCraLSfRF3G1f
gBxl837rXnTjDIYABN9T6f5GrZHywXEhwDRDuLWsb9v85pNd/RUbQ8L7N/s4SUl
NgyPbHKhal+ob047mHE1zF9lvpuRfhWM3ztr80JN6MWtgB+NYpc0b9YuyqSRiDZ0
y3fvY3iRexMjLI2dxhX0TWG4IM5ouwbFtheJML1Lssh/pn1KZwicnWGAouWhQT0Y
hGR8zSoy4oeS/hlUmdAu3bse73pcWeybCtYLwvXSBvg7W67sC0ERmIfZxXxtq08=
=/uVR
-----END PGP SIGNATURE-----
```

Untuk melakukan verifikasi apakah dokumen tersebut terjamin integritasnya (isinya tidak berubah dan yang menandatangani benar), gunakan perintah “verify”.

```
gpg --verify dokumen.sig
```

Seringkali ada kebutuhan untuk memisahkan berkas dari tanda tangan dan dokumennya. Sebagai contoh, jika dokumen yang ingin kita tandatangani adalah berkas biner (dokumen *word processor*, audio, video, dan sejenisnya), maka tanda tangan dan dokumennya harus dipisah.

```
gpg -u rahard2017@gmail.com --output dokumen.sig --detach-sig dokumen.txt
```

Untuk melakukan verifikasi bahwa dokumen tersebut benar (isinya benar dan yang menandatangani benar juga) jika dokumen-nya dipisah adalah sebagai berikut.

```
gpg --verify dokumen.sig dokumen.txt
```

- Ex. 3 — Verifikasi**
1. Menurut Anda, apakah tanda tangan (signature) akan tetap sama untuk setiap orang meskipun dokumen yang ditandatangani berbeda-beda? Ataukah untuk dokumen yang berbeda, tanda tangan digital dari dokumen tersebut akan berbeda?
 2. Verifikasi dokumen dengan data yang benar. Maksudnya jangan ubah berkas “dokumen.sig” dan “dokumen.txt”.
 3. Verifikasi dokumen dengan data yang sudah tercemar. Edit berkas dokumen.txt sehingga berbeda dengan aslinya. Coba verifikasi. Tunjukkan bahwa proses verifikasi gagal.

6.3 Tools

Perintah-perintah dalam contoh pada bagian sebelumnya dilakukan dengan menggunakan *command line*. Ada beberapa *tools* (biasanya memiliki *graphical user interface*) yang dapat membantu untuk mempermudah operasi. *Tools* yang tersedia bergantung kepada sistem operasi yang Anda gunakan.

6.4 Web of Trust

Keamanan dari PGP/GPG ini berbasis *web of trust*. Bagaimana kita dapat mempercayai bahwa kunci publik tersebut milik dari “Budi Rahardjo” dengan alamat email tersebut (rahard2017@gmail.com)? Boleh jadi ada seseorang yang dengan sengaja memalsukan identitas tersebut.

Proses verifikasi dilakukan oleh orang lain dengan menandatangani kunci tersebut dan kemudian data tersebut - kunci yang sudah ditandatangani - diunggah kembali ke keyserver.

7

Keamanan Sistem Email

Electronic mail (email¹) masih merupakan salah satu aplikasi yang paling populer di internet. Bahkan alamat email digunakan sebagai identitas pengguna di internet. Jika Anda mendaftar ke sebuah layanan, email digunakan sebagai identitas.

Beberapa masalah keamanan terkait dengan sistem email antara lain:

- disadap (*intercept*);
- dipalsukan (*forgery*);
- disusupi (*intrude*);
- digunakan untuk spamming;
- mailbomb;
- mail relay.

¹ Dalam bahasa Indonesia sudah ada istilah **surel** untuk email ini. Dalam buku ini saya masih menggunakan istilah email.

7.1 Komponen Sistem Email

Sebelum membahas masalah keamanan tersebut ada baiknya kita melihat komponen dari sebuah sistem mail. Pemahaman tentang komponen ini dibutuhkan untuk memahami potensi sumber masalah keamanan email. Sebuah sistem email terdiri dari beberapa komponen; *mail user agent* (MUA), *mail transfer agent* (MTA), dan *mail delivery agent* (MDA). (Lihat Gambar 7.1.)

MUA adalah komponen yang berhubungan dengan pengguna. Biasanya MUA adalah yang kita sebut program email. Contoh dari MUA antara lain adalah Thunderbird, Outlook, Mac Mail.app, mutt, UNIX mail, pine, dan masih banyak lagi. (Daftar ini sering berubah.) Pengguna menggunakan MUA untuk membuat (*compose*) dan membaca email.

MTA adalah komponen yang bertugas untuk mengirimkan dan menerima email. Dia adalah “pak pos”. MTA menerima berkas email

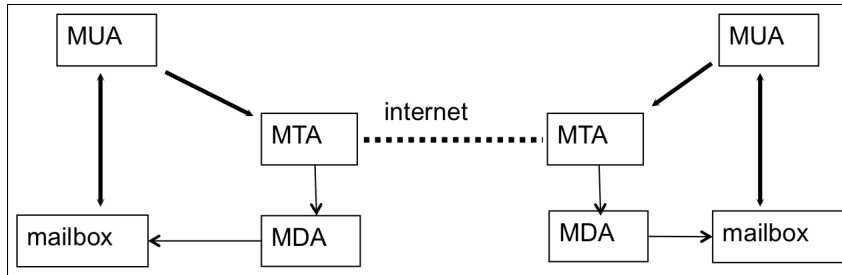


Figure 7.1: Topologi Sistem Email

dari MUA dan meneruskannya ke MTA lainnya dan seterusnya sampai ke MTA yang dituju. Contoh dari MTA antara lain adalah postfix, sendmail, qmail, Exchange, exim, dan sejenisnya. MTA biasanya adalah urusan dari administrator.

MDA adalah komponen yang bertugas untuk menyimpan email yang datang ke mailbox pengguna. Dahulu, MDA ini menjadi bagian dari MTA, tetapi kemudian dipisahkan karena pemisahan role agar lebih aman. MDA harus menambahkan email yang baru masuk ke mailbox pengguna. Untuk itu MDA harus memiliki hak untuk menulis ke mailbox tersebut, dengan kata lain MDA harus dijalankan dengan hak admin atau *super user / root*. Sementara itu MTA tidak harus dijalankan sebagai admin.

Ada dua format besar dari penyimpanan email; mbox dan Maildir. Format *mbox* berupa sebuah berkas besar yang berisi semua email. Email diurutkan secara sambung menyambung (concatenate). Format *Maildir* berbeda, yaitu setiap email merupakan satu berkas sendiri dalam sebuah direktori.

Skenario yang terjadi adalah sebagai berikut. Seorang pengguna (A) membuat email dengan menggunakan MUA. Setelah email selesai dibuat, email diberikan kepada MTA untuk disampaikan kepada MTA penerima (B). Kadang MTA yang dituju tidak langsung dapat diakses tetapi melalui MTA lainnya dahulu. Sesampainya di MTA tujuan, email diberikan ke MDA untuk ditambahkan ke mailbox penerima (B). Penerima (B) tidak harus online ketika email tersebut itu sampai. Ketika penerima (B) akan membaca email, maka dia akan menggunakan MUA untuk mengakses mailbox. Jika dia (B) akan membalas, maka digunakan MUA untuk menuliskan balasannya. Setelah selesai, email balasan diteruskan ke MTA untuk disampaikan ke MTA tujuan (A).

7.2 Standar Email

Pengguna email memiliki sistem dan konfigurasi yang bervariasi. Masalah *interoperability* merupakan salah satu aspek yang sangat

penting. Untuk itu digunakan RFC (Request For Comments) sebagai standar.

Standar format email didefinisikan oleh RFC 822, "Standard for the format of ARPA Internet text messages." ² (RFC ini sudah digantikan oleh RFC 2822, "Internet Message Format.") Pada prinsipnya email dibagi dua bagian; **header** dan **body**.

² David H. Crocker. RFC822: Standard for the format of ARPA internet text messages, August 1982

- *Header*. Seperti amplop, berisi informasi tentang alamat pengirim yang dituju. Header ini berisi *field* yang nantinya digunakan oleh MTA untuk mengirimkan ke tujuan.
- *Body*. Isi surat. Body dipisahkan dari header dengan satu baris kosong.

Contoh dari (format) email dapat dilihat sebagai berikut. Perhatikan bahwa header dan body dipisahkan oleh satu baris kosong. Contoh ini tentu saja merupakan simplifikasi dari format email sesungguhnya.

```
From: Budi Rahardjo <budi@cert.or.id>
To: br@paume.itb.ac.id
Subject: Kelas EL776 hari ini

Kelas hari ini dibatalkan dan akan digantikan dengan
hari lain.

-- budi
```

Ada standar *field* di header yang mudah terlihat oleh pengguna, yaitu *From*, *To*, *Subject*, *Cc*, dan *Bcc*. Padahal ada banyak *field-field* lain yang biasanya terdapat dalam email. Berikut ini contoh header yang lebih komplisit lagi. (Mengenai masing-masing field di header tersebut akan dibahas lebih lanjut.)

```
Received: from nic.cafax.se (nic.cafax.se [192.71.228.17])
  by alliance.globalnetlink.com (8.9.1/8.9.1) with ESMTTP id QAA31830
  for <budi@alliance.globalnetlink.com>; Mon, 26 Mar 2001 16:18:01 -0600
Received: from localhost (localhost [[UNIX: localhost]])
  by nic.cafax.se (8.12.0.Beta6/8.12.0.Beta5) id f2QLSJVM018917
  for ietf-provreg-outgoing; Mon, 26 Mar 2001 23:28:19 +0200 (MEST)
Received: from is1-55.antd.nist.gov (is1-50.antd.nist.gov [129.6.50.251])
  by nic.cafax.se (8.12.0.Beta5/8.12.0.Beta5) with ESMTTP id f2QLSGiM018912
  for <ietf-provreg@cafax.se>; Mon, 26 Mar 2001 23:28:17 +0200 (MEST)
Received: from barnacle (barnacle.antd.nist.gov [129.6.55.185])
  by is1-55.antd.nist.gov (8.9.3/8.9.3) with SMTP id QAA07174
  for <ietf-provreg@cafax.se>; Mon, 26 Mar 2001 16:28:14 -0500 (EST)
```

Message-ID: <04f901c0b63b\$16570020\$b9370681@antd.nist.gov>
 From: "Scott Rose" <scottr@antd.nist.gov>
 To: <ietf-provreg@cafax.se>
 Subject: confidentiality and transfers
 Date: Mon, 26 Mar 2001 16:24:05 -0500
 MIME-Version: 1.0
 X-Mailer: Microsoft Outlook Express 5.50.4133.2400
 Sender: owner-ietf-provreg@cafax.se
 Precedence: bulk

Nama *field* biasanya berupa satu kata atau jika lebih dari satu kata disambungkan dengan tanda garis (dash) dan diakhiri dengan tanda titik dua (:). Isi dari *field* berupa teks. (Panjang dari teks ini biasanya kurang dari 80 karakter karena merupakan bawaan dari sistem-sistem jaman dahulu.) Jika teks membutuhkan lebih dari satu baris, maka lanjutannya dapat diletakkan di bawahnya dengan masuk (indent) menggunakan spasi atau tab.

Selain *field* yang sudah standar, kita juga dapat membuat *field* sendiri. Aturannya adalah nama *field* tersebut dimulai dengan "X-". Misalnya kita dapat membuat *field* "X-catatan:" yang dapat kita gunakan untuk menuliskan catatan kecil. Oleh MTA dan MUA, *field* tambahan ini akan diabaikan. Pada contoh sebelumnya dapat dilihat sebuah contoh, yaitu "X-Mailer:".

X-Mailer: Microsoft Outlook Express 5.50.4133.2400

Pemahaman fungsi dari masing-masing *field* itu dibutuhkan ketika kita akan melakukan *forensic* terhadap email, karena seringkali ada email palsu atau email-email ancaman. Sebagian besar orang memang tidak tahu keberadaan *field-field* tersebut.

Salah satu *field* yang penting adalah "Message-ID". Setiap email memiliki kode Message-ID yang berbeda-beda (unik). Message-ID ini dibuat oleh MTA ketika dia mengirimkan email (yang pertama kali). Identitas ini dapat membantu kita dalam melakukan pelacakan. Sebagai contoh, kita bisa mencari (bertanya) apakah di berkas catatan (log) di server mail pengirim ada Message-ID tersebut. Ini sangat bermanfaat dalam penyidikan.

Mari kita coba melakukan sedikit pengamatan (atau *forensic*) terhadap header email di atas. Email tersebut dikirimkan oleh Scott Rose kepada saya (dengan alamat email budi@alliance.globalnetlink.com). Hal yang penting dari header ini adalah *field* "Received". *Field* ini mirip dengan cap yang ada di amplop surat konvensional. (Biasanya sebagian menempel dengan perangko.) *Field* "Received" ini ditambahkan oleh setiap MTA yang dilalui oleh email. Urutan perjalanan dari email adalah sebagai berikut. Kita urut dari bawah.

1. Email dikirimkan oleh Scott Rose dari mesin “barnacle” (**barnacle.antd.nist.gov**) yang memiliki alamat IP 129.6.55.185. Coba cari baris tersebut pada header email. Ini adalah field “Received” yang paling bawah.
2. Email tersebut diterima oleh mesin **is1-55.ant.nist.gov**. (Masih pada field Received yang paling bawah.)
3. Email kemudian diterima oleh mesin **nic.cafax.se**.
4. Email diterima oleh **localhost** di mesin **nic.cafax.se**. Perhatikan bahwa localhost adalah nama untuk diri sendiri. Terlihat bahwa mail diterima oleh diri sendiri. Ini adalah tanda-tanda pada mesin tersebut ada semacam *mailing list manager*.
5. Email kemudian diterima oleh **alliance.globalnetlink.com** (yaitu server saya). Email ini kemudian diteruskan ke pengguna “budi”. (Lihat field Received yang paling atas.)

Kita dapat menelusuri perjalanan email dengan melihat jejak dari field “Received” tersebut. Proses semacam inilah yang kita lakukan ketika kita melakukan *forensic* terhadap sebuah email.

7.3 Penyadapan Email

Email sering dianalogikan dengan surat, padahal email lebih cocok dianalogikan dengan kartu pos karena dia terbuka dan dapat dibaca. Kartu pos dapat dibaca oleh orang-orang yang dilewati oleh kartu pos tersebut, misalnya oleh pak pos. Demikian pula dengan email. Email dapat dibaca pada setiap jalur yang dilewati oleh email tersebut, misalnya pada MTA. (Itulah sebabnya pengelola atau admin dari MTA haruslah orang yang dapat kita percaya.)

7.3.1 Penyadapan SMTP

Pengiriman email antar MTA pada awalnya menggunakan protokol SMTP, Simple Mail Transfer Protokol (RFC 821). Sesuai dengan namanya, SMTP merupakan protokol yang sederhana yang tidak memiliki pengamanan terhadap aspek penyadapan. SMTP menggunakan protokol TCP dan berjalan di atas port 25. Penyadapan port 25 ini dapat dilakukan dengan menggunakan program *sniffer* seperti *tcpdump* dan *wireshark*.

Penyadapan email ini dapat dilakukan pada jalur yang dilewati oleh email. Jadi kita tidak dapat menangkap email yang berada pada segmen jaringan yang berbeda.

Penggunaan *tcpdump* untuk menyadap email memang dapat dilakukan, tetapi data yang diperoleh masih mentah dan harus

disambung-sambungkan lagi untuk mendapatkan email yang tersusun lengkap (dan berurutan). Ada program *mailsnarf* yang dapat melakukan hal tersebut³.

```
unix$ mailsnarf > sniffed-mails
```

Berkas hasil tangkapan *mailsnarf* dapat dibuka dengan menggunakan MUA (program email) yang biasa kita gunakan.

Ada beberapa cara untuk mengamankan email kita dari penyadapan. Yang pertama, dari sisi pengguna, kita dapat melakukan enkripsi terhadap body email sehingga meskipun email kita disadap tetapi sang penyadap tidak dapat memperoleh isinya. Cara ini dapat dilakukan dengan mudah jika kita menggunakan PGP atau GPG.

Cara yang lebih baik adalah dengan menggunakan protokol yang lebih aman. SMTPS, atau SMTP Secure, merupakan implementasi SMTP yang menggunakan enkripsi. Pada prinsipnya klien (MTA) tetap menggunakan protokol SMTP tetapi pada layer di bawahnya digunakan SSL atau TLS untuk menghindari penyadapan. SMTPS biasanya menggunakan port 587.

³ Program mailsnarf terdapat dalam paket *dsniff*. Sayangnya paket program ini sudah tidak dikembangkan lagi. Di berbagai implementasi dari mailsnarf nampaknya tidak dapat menangkap email lagi. Untuk merakit ulang program ini dibutuhkan skill yang lumayan.

7.3.2 Penyadapan POP3: Post Office Protocol

Penyadapan email dapat juga dilakukan ketika pengguna mengakses mailbox-nya melalui protokol POP3, yang berjalan pada port 110. Masalahnya adalah protokol POP menggunakan plain text untuk mengakses data **dan** userid serta password. Selain email dibaca, userid dan password menjadi ketahuan.

Program password sniffer seperti *dsniff* dan sniffer secara umum (seperti *tcpdump* dan *ngrep*) dapat digunakan untuk menyadap password tersebut. Berikut ini contoh sesi *ngrep* (network grep).

```
unix# ngrep -q 'PASS'
```

POP3 sendiri saat ini sudah dianggap kadaluwarsa dan tidak aman. Untuk itu dia digantikan oleh protokol lain yang lebih aman. Versi secure POP biasanya berjalan di port 995.

7.4 Pemalsuan Email

Pada dasarnya sistem email (dan sistem surat biasa) itu berdasarkan kepada kepercayaan. Tentu saja ada orang-orang yang melanggar kepercayaan ini dengan misalnya membuat email palsu.

Seperti telah diuraikan sebelumnya, pengguna menggunakan MUA untuk membuat (*compose*) email. Setelah email selesai, dia disimpan dalam sebuah berkas. Berkas ini kemudian diserahkan kepada

“pak pos” (MTA) untuk disampaikan ke tujuannya. Pemalsuan dilakukan dengan membuat berkas yang isinya palsu. Selama dia sesuai dengan standar (RFC822 dan seterusnya), maka MTA dengan senang hati meneruskan email tersebut ke tujuannya.

Sebagai contoh, kita dapat membuat berkas yang berisi seperti berikut. Perhatikan bahwa alamat email atau apapun dari tulisan berikut ini adalah palsu. Anda dapat menggunakan nama domain apapun. Perhatikan pula bahwa berkas ini sesuai dengan standar; *header* dan *body* dipisahkan oleh satu baris kosong. Email palsu ini disimpan dalam berkas “email-palsu.txt”.

```
To: pemenang@kontes.undian123.com
From: admin@kontes.undian123.com
Subject: Hasil Undian
```

```
Selamat! Anda dinyatakan sebagai pemenang dari undian
yang diselenggarakan minggu lalu.
Hadiah akan kami kirimkan setelah Anda memberikan
data Anda sebagai berikut:
```

```
Nama:
Nomor HP:
Bank:
PIN mobile banking:
```

```
Administrasi Undian123
```

Jika Anda memiliki komputer yang memiliki MTA, misalnya Anda menggunakan Linux dan terhubung ke internet, maka Anda dapat memberikan perintah berikut untuk mengirimkan email tersebut⁴. Sebagai contoh, orang yang ditargetkan untuk dikirim email palsu tersebut adalah “target@coba.cert.or.id”. (Anda dapat menggunakan alamat email Anda.)

⁴ Diasumsikan komputer Anda menggunakan *Postfix* atau *Sendmail* sebagai MTA.

```
unix$ /usr/sbin/sendmail target@coba.cert.or.id < email-palsu.txt
```

Email palsu akan dikirimkan ke alamat tersebut. Jika Anda menggunakan alamat pribadi Anda sebagai target, maka Anda dapat buka mail Anda dan cari email palsu tersebut. (Catatan: kadang email masuk ke folder “Spam”.)

Untuk mengetahui email palsu sebetulnya mudah dilakukan, yaitu dengan melihat (dan menelusuri) header dari email. Namun, berapa banyak orang yang melakukan hal ini? Dengan melihat *field* atau baris “Received” dapat terlihat dari mana email berasal. Pada

beberapa MTA, *real userid* atau pengirim aslinya beserta nomor IP disertakan pada header untuk memudahkan penelusuran.

Pengiriman email palsu dapat juga dilakukan dengan langsung berkomunikasi dengan MTA melalui protokol SMTP. Pada contoh di bawah ini, kita berkomunikasi dengan MTA yang memiliki alamat “mailserver.domaintertentu.com” untuk target yang bernama “target@domaintertentu.com” melalui program telnet ke port 25 (SMTP). Kemudian kita berikan perintah-perintah sesuai dengan protokol SMTP. (Catatan: perintah diakhiri dengan sebuah tanda titik (.))

```
unix$ telnet mailserver.domaintertentu.com 25
HELO saya
MAIL FROM: admin@kontes.undian123.com
RCPT TO: target@domaintertentu.com
DATA
To: pemenang@kontes.undian123.com
From: admin@kontes.undian123.com
Subject: Hasil Undian
```

Selamat! Anda dinyatakan sebagai pemenang dari undian yang diselenggarakan minggu lalu.

.

7.5 Mailbomb

Mailbomb adalah pengiriman email bertubi-tubi ke seseorang. Jika kita perhatikan skrip untuk membuat email palsu, skrip itu tinggal dimasukkan ke dalam sebuah *loop*. Jadilah mailbomb.

Perlu diingat bahwa sesungguhnya semua pengiriman email itu tercatat, sehingga pengiriman bom email ini juga dapat ditelusuri asalnya. Dengan kata lain, jangan lakukan hal ini. Bahwa kita bisa melakukannya, bukan berarti kita boleh melakukannya.

Ada beberapa cara untuk mengatasi mailbomb. Pertama, setiap pengguna dibatasi jumlah (ukuran) mailboxnya. Jika seorang pengguna mendapat serangan mailbomb, maka sistem tidak mati karena hanya pengguna tersebut saja yang bermasalah, dengan email yang dikembalikan ke pengirim (termasuk ke penyerang). Pengguna lain masih dapat menggunakan layanan email.

Ada pendekatan lain, yaitu dengan mengamati email-email yang masuk dan membuat database dari email-email tersebut. (Teknisnya adalah membuat checksum atau hash dari body email.) Email-email yang datang berulang-ulang (ditandai dengan hash yang sama) akan ditandai atau langsung dibuang karena terindikasi sebagai mail-

bomb.

7.6 Spam

Jika bom email adalah mengirimkan banyak email ke satu orang, maka *spam* adalah mengirimkan sebuah email ke banyak alamat. Biasanya isi email tersebut berupa iklan.

Sejarah spam ada beberapa versi. Versi saya adalah sebagai berikut. Pada jaman dahulu, sebelum ada web, tempat orang berkumpul adalah di *bulletin board* yang bernama *Usenet newsgroups*. Ada beberapa (news)group yang dikategorikan berdasarkan topik yang dibahas. Sebagai contoh, untuk bahasan tentang Indonesia ada di group *soc.culture.indonesia*. Ada ribuan group.

Pada suatu saat, ada satu biro jasa hukum yang bernama *Canter and Siegel*. Biro jasa ini menawarkan bantuan untuk mengisikan permohonan untuk mendapatkan *green card* di Amerika Serikat. Pada waktu itu setiap tahunnya ada undian untuk mendapatkan *green card* ini. Mengisi form pendaftarannya tidak mudah. Itulah sebabnya biro hukum tersebut menawarkan jasanya. Cara mereka dalam menawarkan jasanya adalah dengan membuat iklan yang dipasang di setiap group di Usenet. Kontan orang-orang marah. Sejak saat itu, kebiasaan ini disebut *spam*.

Kata “spam” sendiri berasal dari daging kalengan yang didistribusikan oleh Hormel. (Isinya biasanya adalah daging babi / pork.) Lantas bagaimana ceritanya dia menjadi terkait dengan iklan di atas? Ada sebuah TV seri di Inggris yang bernama *Monty Python*. Dalam salah satu episodenya diceritakan ada sepasang suami istri datang ke sebuah restoran. Kebetulan sedang ada promosi. Setiap menu makanannya mendapat gratis spam; sandwich plus spam, apa saja plus spam. (Bahkan ada kelompok Viking yang sedang makan di situ dan juga berkata “spam, spam, spam”). Singkatnya, kemanapun kita melihat ada “spam” di sana. Jadi disamakan dengan kasus Canter dan Siegel itu, kemanapun kita melihat ada iklan tersebut. Spam.

Spam sangat mudah dilakukan. Tinggal membuat sebuah skrip kecil yang membaca alamat email dari sebuah tabel database, kemudian untuk setiap email di sana dapat dikirimkan email (spam) tersebut.

Ada beberapa upaya untuk menangani masalah spam ini. Salah satunya adalah membuat database pelaku (atau yang dicurigai sebagai pelaku) dari spam - spammer - sehingga email-email yang berasal dari pelaku tersebut ditandai sebagai spam dan dapat dibuang. Pendeteksian spam ini dapat dilakukan dengan melihat isi dari email dan melihat asal pengirim email (menganalisa header dari email). Email-email yang memiliki kata-kata tertentu, misalnya “cheap” ser-

ing terindikasi sebagai spam, maka dibuatlah statistik banyaknya kata-kata yang sering diasosiasikan dengan spam. Setiap email yang masuk kemudian dicocokkan atau dinilai dengan database ini. Jika nilainya melebihi dari sebuah batas tertentu (threshold), maka email tersebut ditandai sebagai spam. Pendekatan ini sering disebut menggunakan *Bayesian classifier*.

Pendeteksian yang berbasis data dari header (dan server pengirim email) juga dilakukan. Daftar pelaku spammer ini kemudian dimasukkan ke dalam sebuah database yang diperbaharui secara berkala (cepat). Sistem database spammer ini dikenal dengan nama RBL, *Real-time Blackhole List*⁵.

Server mail dapat juga dikonfigurasi untuk mendeteksi spam dengan menggunakan layanan dari Rspamd⁶. Setiap email yang masuk dites dengan menggunakan aturan (rules) atau kebijakan (policy) tertentu. Sebagai contoh, jika email dikirimkan dari server email yang berbeda dengan yang terdaftar di DNS (Domain Name System) dari domain tersebut maka email diberi nilai (penalty) tertentu.

⁵ <https://en.wikipedia.org/wiki/DNSBL>

⁶ <https://rspamd.com/>

Keamanan Sistem Web

World Wide Web (WWW, atau sering disingkat menjadi Web saja) merupakan aplikasi yang dominan pada saat ini. Kepopulerannya setara dengan aplikasi email. Boleh jadi kalau dilihat dari jumlah data yang dikirimkan melalui web atau melalui email, maka jumlah data yang dikirim melalui web lebih besar.

Bahasan mengenai masalah keamanan sistem web sesungguhnya dapat menjadi sebuah buku yang tersendiri. Bab ini akan membahas secara singkat masalah-masalah tersebut.

8.1 Sejarah Web

WWW pada awalnya dikembangkan oleh Tim Berners-Lee ketika dia bekerja di CERN, sebuah tempat penelitian terkait dengan Fisika di Swiss di akhir tahun 1980-an (sekitar tahun 1989) ¹. CERN merupakan tempat berkumpulnya peneliti-peneliti yang berasal dari berbagai tempat di seluruh dunia. Komputer dan software yang digunakan para peneliti tersebut tentunya berbeda-beda. Demikian pula dokumen yang dihasilkannya diletakkan pada komputer yang tersebar.

Pada saat itu protokol untuk distribusi informasi yang paling banyak digunakan adalah FTP dan Gopher. Keduanya cukup baik untuk mengelola atau mendistribusikan data (informasi) dalam sebuah direktori, misalnya. Namun orang masih harus mencari di mana letak direktori tersebut (di komputer mana dan dalam direktori mana). Proses ini membuat distribusi informasi tidak terlalu nyaman.

WWW terdiri dari dua komponen utama, yaitu standar format dokumen yang disebut HTML (HyperText Markup Language) dan protokol HTTP (HyperText Transfer Protocol). Keduanya dikembangkan oleh Tim Berners-Lee ².

Pada awalnya WWW tidak terlalu terkenal karena softwarenya terbatas. Pada suatu saat ada mahasiswa kerja praktek di NCSA yang diminta untuk mengembangkan browser untuk tiga platform;

¹ Saya mengikuti perkembangan sejarah Web ini karena secara tidak sengaja saya mengikutinya sejak awal. Ceritanya pada akhir tahun 80-an tersebut saya bekerja di kampus University of Manitoba dan “terpaksa” menggunakan komputer NeXT. Komputer NeXT ini adalah produk yang dikembangkan oleh Steve Jobs setelah dia ditendang dari Apple. Komputer NeXT ini sangat langka karena termasuk mahal. Pada waktu itu tidak banyak yang mau pakai karena softwarenya juga terbatas. Saya sedang mencari-cari software apa saja yang tersedia dan siapa saja yang pakai ketika melihat Tim Berners-Lee sedang mengembangkan WWW dengan menggunakan komputer NeXT-nya. Jadi kebetulan saya termasuk yang ikut ngoprek WWW pada awal-awalnya.

² Tim Berners-Lee. *Weaving the Web: the Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web, by its inventor*. Harper San Francisco, 1999

UNIX, Windows, dan Mac. Mahasiswa-mahasiswa tersebut akhirnya mengembangkan browser yang diberi nama Mosaic. Setelah tersedia di ketiga platform tersebut, maka WWW mulai banyak pengguna. Maka mulai populerlah dia. Salah satu mahasiswa tersebut bernama Marc Andreessen, yang kemudian akhirnya menjadi salah satu pengembang dari browser Netscape yang nantinya juga menjadi cikal bakal dari Mozilla.

HTML merupakan sebuah standar yang dikembangkan dari SGML, Standard Generalized Markup Language. Sebenarnya HTML merupakan versi lebih sederhana dari SGML. Justru inti utama dari HTML (dan HTTP) adalah di kesederhanaannya. Itulah salah satu alasan mengapa Web menjadi sangat populer. Sebelumnya sudah ada berbagai inisiatif untuk membangun sistem *hypertext*, tetapi gagal.

HTTP merupakan sebuah protokol untuk mendistribusikan data. Protokol HTTP didesain dengan sifat *connectionless* - lagi-lagi - agar sederhana ³. Protokol ini kemudian berkembang sesuai dengan kebutuhan dan kemajuan jaman. Sebagai contoh, nantinya akan ada protokol HTTPS dan seterusnya. Bahasan mengenai keamanan akan banyak terkait dengan protokol HTTP (dan turunannya) ini.

Salah satu alasan mengapa Web menjadi populer saat ini adalah karena dia memudahkan dalam operasional karena sifatnya yang tersentralisasi ⁴. Salah satu masalah dalam sistem *client server* adalah ketika terjadi update software. Sangat repot untuk melakukan update di sisi *client*. (Apalagi bagi instansi yang mempunyai banyak kantor cabang.) Sementara itu dengan menggunakan web, update hanya perlu dilakukan di server web saja.

Dalam sistem web, klien hanya perlu memasang (web) browser. Web browser ini juga tadinya hanya dapat memperagakan web secara sederhana. Perkembangan teknologi kemudian memperkembangkan penambahan fitur di browser dengan menggunakan konsep *plugin*. *Interactivity* kemudian diberikan dengan memasang (Adobe) Flash plugin. Namun ada kekhawatiran bahwa plugin-plugin ini dapat menyebabkan sumber masalah keamanan.

³ R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, and Tim Berners-Lee. RFC2068: Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1, January 1997

⁴ Dalam perkembangan teknologi selalu ada ayunan (swing) dari tersentralisasi dan terdistribusi. Pada jaman *mainframe*, sistem komputer tersentralisasi. Mainframe merupakan pusat dan pengguna menggunakan (green) terminal untuk mengakses mainframe secara bergantian. Teknologi kemudian berubah menjadi terdistribusi dengan adanya sistem *client server*. Di kantor-kantor cabang ada server lokal yang terhubung ke kantor pusat secara terjadwal. Teknologi web kembali menjadi tersentralisasi.

8.2 Topologi dan Asumsi

Secara umum, sistem Web terdiri dari tiga hal:

- web server (Apache, IIS, Nginx, Tomcat);
- web browser (Firefox, Chrome, Internet Explorer (IE), Safari, Edge, Lynx, Links, Opera, Vivaldi, Brave, Galeon, Kfm, dan program seperti wget, curl);
- jaringan (yang menghubungkan web server dan web browser).

Ada beberapa asumsi awal yang kita gunakan agar sistem Web berjalan dengan aman. Asumsi-asumsi inilah yang dilanggar ketika terjadi masalah keamanan⁵.

Asumsi terkait dengan web server adalah sebagai berikut.

1. Web (server) dimiliki oleh organisasi atau institusi yang benar dan terkait dengan nama domain yang digunakan. Sebagai contoh, web dari BNI dimiliki oleh Bank BNI.
2. Dokumen yang disajikan (diberikan) oleh web tidak mengandung malware (virus, trojan horse, dan seterusnya).
3. Data catatan (logging) di server web tidak digunakan untuk keperluan yang tidak semestinya. Sebagai contoh, data log tersebut tidak boleh diperjual-belikan atau dipublikasikan secara umum.

Asumsi terkait dengan klien yang menggunakan web browser adalah sebagai berikut.

1. Identitas pengguna adalah benar dan pengguna memiliki itikad baik dalam mengakses web server.
2. Pengguna hanya mengambil data dari direktori yang diperkenankan.
3. Pengguna memiliki itikad baik, tidak berniat merusak server web.

Asumsi terkait dengan jaringan yang menghubungkan web server dan web browser adalah sebagai berikut.

1. Jaringan (dan komputer) bebas dari penyadapan, pengubahan, serangan DoS (*Denial of Service*), dan serangan-serangan lainnya. (Masalah terkait dengan jaringan akan menjadi masalah *network security*, bukan masalah keamanan web.)

Asumsi-asumsi di atas akan dilanggar oleh penyerang, yang mengakibatkan masalah keamanan sistem web.

8.3 Keamanan Server Web

Server web menyediakan informasi secara statis dan dinamis melalui protokol HTTP. Halaman statis diperoleh dengan perintah GET. Halaman dinamis diperoleh dengan berbagai cara:

- CGI (Common Gateway Interface) dengan menggunakan berbagai bahasa pemrograman seperti shell script, PHP, Perl, Python, dan seterusnya;

⁵ Jika diperhatikan dengan seksama, sebenarnya asumsi ini terkait dengan aspek *confidentiality*, *integrity*, dan *availability*

- Server Side Include (SSI);
- Active Server Page (ASP);
- Servlets.

8.3.1 Confidentiality

Data disimpan di server dalam bentuk berkas (dalam sebuah direktori) atau menjadi bagian dari database. Salah satu bentuk serangan kepada server web adalah dengan mencoba masuk ke server web tersebut (secara tidak sah). Penyusupan ini dapat dilakukan melalui kelemahan (kerentanan) dari sistem operasi yang digunakan oleh web server, kelemahan software web servernya sendiri (server httpd), dan kelemahan dalam menggunakan password admin.

Sistem operasi (apapun sistem operasinya) memiliki kelemahan. Kadang kelemahan ini cepat ditemukan, kadang dibutuhkan waktu tahunan (atau belasan tahunan) untuk menemukan kelemahan tersebut. Eksploitasi terhadap kelemahan ini membuat penyerang dapat masuk ke sistem operasi. Ada yang masuk sebagai pengguna biasa dan ada juga yang (akhirnya) berhasil masuk sebagai administrator (root, di sistem UNIX). Jika penyerang sudah dapat masuk sebagai administrator, maka selesai sudah ceritanya karena penyerang dapat melakukan apa saja.

Kadang, berhasil masuk menjadi *user* (pengguna) biasa juga sudah dapat menimbulkan kekacauan. Sebagai contoh, ketika penyerang dapat masuk menjadi pengguna yang memiliki hak akses untuk membaca berkas-berkas (data) yang seharusnya tidak dibatasi aksesnya, maka data menjadi bocor. Sebagai contoh, data tentang daftar gaji karyawan, data kesehatan, data pemilu, dan sejenisnya jika bocor akan memiliki dampak yang berbeda-beda.

Bertambahnya fitur web, seperti menjalankan perintah atau *query* database di server web, semakin menambah potensi lubang keamanan pula. Sistem operasi server web sudah baik, tetapi server HTTP yang digunakan ternyata memiliki kelemahan. Akibatnya juga sama, yaitu kebocoran data.

Protokol HTTP menggunakan data yang tidak terenkripsi (*plain text*) sehingga dapat disadap dengan mudah. Sebagai contoh, tcpdump (wireshark) dapat digunakan untuk menyadap data HTTP.

```
# tcpdump port 80
```

Hal yang sering juga terjadi adalah penggunaan password yang lemah di server web. Sebagai contoh, ada banyak server yang menggunakan id *admin* dan password *admin*. Sebagus apapun sistem operasi dan server http yang digunakan, kelemahan dalam memilih password juga dapat berakibat kebocoran data.

Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan ini adalah dengan menggunakan protokol HTTPS, dimana data dienkripsi. Penyadapan masih dapat dilakukan, tetapi data yang disadap sudah dalam format terenkripsi.

8.3.2 Integrity

Jika seorang penyerang dapat masuk ke server web dan memiliki hak tulis, maka dia dapat mengubah data yang ada di server. Pengubahan data di server boleh jadi hanya mengubah tampilannya, sering disebut *web defacing*. Yang lebih mengerikan adalah kalau penyerang dapat mengubah data tetapi tidak terlalu terlihat oleh mata awam. Sebagai contoh, misalnya sebuah produk yang seharusnya berharga satu juta rupiah dapat diubah menjadi satu rupiah saja.

Serangan terhadap integritas data dapat dilakukan secara kasar, seperti contoh di atas, atau dilakukan secara halus dan tidak mudah terlihat. Sebagai contoh, sebuah data nilai mahasiswa boleh jadi asalnya 70 (skala 100) dapat diubah menjadi 79. Data ini bercampur dengan data nilai lainnya (dan siswa lainnya) sehingga tidak terlalu terlihat perubahannya. Serangan seperti ini sulit untuk dideteksi.

8.3.3 Availability

Serangan terhadap aspek *availability* dari layanan web dapat dilakukan dengan berbagai cara. Tujuan dari serangan ini adalah meniadakan layanan, sehingga disebut serangan *Denial of Service* (DOS).

Serangan yang paling primitif terhadap layanan web adalah dengan melakukan *request* secara berulang-ulang atau bertubi-tubi. Jika perilaku ini dilakukan oleh banyak orang (banyak mesin) maka akibatnya dapat menjadi fatal.

9

Penutup

Ilmu keamanan informasi (*information security*) merupakan salah satu ilmu yang tergolong “baru” Untuk itu dibutuhkan referensi yang mendalam (depth) untuk mempelajarinya. Semoga buku ini dapat memenuhi kebutuhan tersebut.

Salah satu “masalah” dalam membuat buku untuk ilmu yang cepat berkembang adalah buku tersebut menjadi cepat kadaluwarsa. Buku ini akan cepat kadaluwarsa, tetapi prinsip-prinsip yang diuraikan dalam buku ini masih akan tetap dapat digunakan. Untuk itu, pelajailah prinsip-prinsipnya. Contoh-contoh disampaikan untuk memudahkan pemahaman.

Buku ini masih dalam tahap pengembangan sehingga ada banyak hal yang masih belum lengkap, tetapi karena sudah dibutuhkan segera (saat ini) maka buku ini disediakan secara apa adanya.

Bibliography

- [1] Tim Berners-Lee. *Weaving the Web: the Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web, by its inventor*. Harper San Francisco, 1999.
- [2] David H. Crocker. RFC822: Standard for the format of ARPA internet text messages, August 1982.
- [3] R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, and Tim Berners-Lee. RFC2068: Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1, January 1997.
- [4] David Kahn. *Codebreakers*. Scribner, 1967.
- [5] Steven Levy. *Crypto: How the Code Rebels Beat the Government Saving Privacy in the Digital Age*. Penguin Books, 2001.
- [6] Budi Rahardjo. *Keamanan Perangkat Lunak*. PT Insan Infonesia, 2016.
- [7] Budi Rahardjo. Penanganan ransomware wannacry, Mei 2017.

Appendices

A

tcpdump

Tcpdump adalah sebuah program yang dapat digunakan untuk membaca data di jaringan, dengan kata lain *tcpdump* dalam sebuah *sniffer*. *tcpdump* merupakan program yang menggunakan *command line interface* (CLI). Versi yang menggunakan *graphical user interface* (GUI) adalah *Wireshark*. *Tcpdump* merupakan salah satu tools yang ada dalam kotak seorang *security engineer*.

Pada umumnya *tcpdump* digunakan untuk memecahkan masalah di jaringan. Misalnya Anda merasa ada paket data yang hilang. Maka Anda dapat menggunakan *tcpdump* untuk memantau data di jaringan (dan mengirim ulang data tersebut untuk memastikan bahwa data memang sampai di jaringan). Namun karena sifatnya sebagai *sniffer*, maka *tcpdump* dapat juga digunakan untuk menyadap secara ilegal.

(tutorial penggunaan *tcpdump*)