

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Definisi Limbah Komputer

Limbah menurut UU No. 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Dalam undang-undang pengelolaan sampah No. 18/2008, dikatakan bahwa sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah spesifik adalah sampah yang karena sifat, konsentrasi dan/atau volumenya memerlukan pengelolaan khusus. Limbah padat adalah segala benda yang tidak diinginkan atau dibuang yang tidak berwujud cair atau gas (Miller, 2002: 331).

Limbah komputer, yang berwujud padat merupakan bagian dari limbah elektronik. Pengertian limbah elektronik atau *Waste Electrical and Electronic Equipment* (WEEE) yang dikenal di dunia internasional ([en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org), 24.11.2006) adalah limbah yang terdiri produk elektrik atau elektronik yang telah rusak atau tidak digunakan lagi. Menurut definisi EMPA atau Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Limbah Elektronik (*e-waste*) atau Limbah Elektrik dan perangkat elektronik (WEEE) adalah perangkat elektrik atau elektronik yang berupa limbah, sedangkan limbah adalah segala benda atau obyek yang telah dibuang oleh pemilik sebelumnya, termasuk semua komponen, *subassembly* dan bagian-bagian yang termasuk dalam unit produk tersebut pada saat dibuang.

WEEE adalah limbah beracun dan tidak *biodegradable*, terdiri dari dua kategori yaitu: limbah elektrik (*electrical waste*) dan limbah elektronik (*electronic waste*). Limbah elektrik terdiri dari kulkas bekas, mesin cuci bekas, pengering rambut dan lain-lain peralatan elektrik yang digunakan dalam rumah tangga. Limbah elektronik adalah komputer, televisi, telepon genggam, kulkas, AC bekas, dan lain-lain barang yang komponen-komponennya ([en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org), 24.11.2006).

### 2.2. Usia Kegunaan (Life Span)

Usia kegunaan atau *life-span* sebuah komputer adalah sekitar tiga hingga lima tahun, dalam rentang waktu mulai dari produk dibeli oleh konsumen dan digunakan. Dalam

waktu tiga tahun sejak waktu pembelian tersebut adalah waktu komputer masih berfungsi baik, dari sisi kualitas *hardware*, tanpa melihat faktor lain seperti, penggunaan yang tidak bertanggung jawab, kecerobohan pengguna (menjatuhkan, membenturkan barang dan lain-lain). Menurut National Association of State Comptrollers, yang melakukan survai terhadap properti di Amerika Serikat, daur hidup komputer dan perangkatnya adalah tiga tahun.

Menurut Departement of Information Resources of Texas, *life-span* suatu PC menggambarkan masa kegunaan suatu komputer desktop, mulai dari saat pemilikan/pembelian hingga *end-of-life* (EOL) produk. *Life-span* komputer ditentukan berdasarkan kebutuhan pengguna (*end-user*), perkembangan teknologi dan biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh teknologi itu sendiri. Berbeda dengan pernyataan National Association of State Comptrollers, Departement of Information Resources of Texas mengatakan bahwa *life-span* komputer desktop adalah sekitar 4 hingga 5 tahun.

### **2.3. Bahan Berbahaya dan Beracun Dalam Limbah Komputer dan Dampaknya bagi Lingkungan**

Limbah B3 menurut Peraturan Pemerintah No. 18/1999, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun adalah

“Sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta mahluk hidup lain”.

Komputer desktop mengandung banyak bahan berbahaya dan beracun, dengan demikian limbah komputer dapat dikategorikan dalam limbah B3.

Pada saat komputer masih berfungsi baik dan dapat dioperasikan, B3 dalam komputer tidak akan mencemari lingkungan, tetapi tidak demikian jika komputer sudah berupa limbah dan tidak dikelola dengan baik, contohnya papan sirkuit. Papan sirkuit pada umumnya mengandung 70% bahan non logam, 16% tembaga, 4% solder dan 2% nikel, besi, perak, emas, paladium dan tantalum. Usaha daur ulang papan

sirkuit biasanya lebih ditujukan untuk mengekstrak bahan yang berharga, sedangkan bahan lainnya akan menjadi residu limbah (Anonim, 2008: 14).

Dalam satu unit komputer desktop terdapat kurang lebih 36 bahan kimia (MCC, 1996; dalam [www.mindfully.org](http://www.mindfully.org), 2008) dan banyak diantaranya yang tergolong B3, diantaranya: timbal, kadmium, merkuri, kromium, barium, berlium dan senyawa penghambat panas terbrominasi. Beberapa dapat didaur-ulang dan dimanfaatkan kembali sebagai bahan berharga seperti emas, perak dan tembaga. Sebagian besar bahan lain yang berbahaya seperti kromium dan kadmium tidak dapat didaur-ulang, maka jika limbah komputer tidak dikelola dengan baik akan menjadi ancaman serius bagi manusia dan makhluk hidup lain. Kandungan bahan kimia dalam suatu komputer desktop diuraikan pada Tabel 1.

### **2.3.1. Timbal**

Timbal adalah jenis logam yang secara terdapat di lingkungan alami sebagaimana juga terdapat pada produk manufaktur. Selain melalui udara, manusia dapat terpajan timbal yang larut dalam air minum dan makanan. Timbal bersifat persisten di lingkungan dan terakumulasi dalam tanah dan sedimen yang terdeposisi dari sumber dan pembuangan langsung ke badan air. Dampak buruk pada ekosistem di sekitar adalah adanya hilangnya kehati, penurunan pertumbuhan dan angka reproduksi pada tumbuhan dan hewan, dan berdampak pada system syaraf vertebrata ([www.epa.gov](http://www.epa.gov), 23.06.2008).

Timbal dapat merusak sistem syaraf pusat, menyerang sistem peredaran darah, dan ginjal. Menurut penelitian mengenai pengaruh timbal pada sistem endokrin, intoksikasi timbal menyebabkan perkembangan otak pada anak menjadi lamban. Timbal yang terakumulasi di lingkungan akan meracuni tumbuhan, binatang dan mikroorganisme (Tchobanoglous, 2002).

Timbal dalam komputer terdapat pada papan sirkuit (*circuit board*). Papan sirkuit yang terdapat pada CPU adalah *mainboard* atau *motherboard*, sedangkan pada Tabung Sinar Katoda dalam monitor komputer (CRT) juga terdapat papan sirkuit pada corong tabung, tetapi dengan ukuran yang kecil. Solder timbal atau timah pada

sampah papan sirkuit komputer pada umumnya berkisar antara 4-6%, kandungan timbal sekitar 2-3% berat papan sirkuit (Anonim, 2008: 14).

Pada CRT, timbal berfungsi sebagai penahan radiasi. Ada beberapa hasil penelitian yang berbeda mengenai kandungan timbal dalam monitor CRT. Menurut penelitian University of Tennessee (2000 dalam Anonim, 2001: 11), terdapat 0,5 kg timbal dalam setiap 17 inci CRT. Menurut Young (1999 dalam Anonim 2001:11) kandungan timbal dalam monitor CRT adalah 743 g. Dalam ketetapan WEEE Directive (2000), kandungan timbal adalah 0,4 kg dalam setiap monitor CRT. Menurut EPA (2000), kandungan timbal dalam setiap monitor CRT adalah 2-3 kg. Secara umum kandungan timbal adalah 6,3% berat total PC dan monitor (MCC, 1996 dalam Anonim, 2001: 11).

### **2.3.2. Kadmium**

Logam berwarna putih perak dan lunak, namun bentuk ini jarang ditemukan di lingkungan. Umumnya terdapat dalam kombinasi dengan elemen lain, misalnya produk samping dari pengecoran seng, timah atau tembaga kadmium yang banyak digunakan berbagai industri, terutama *plating* logam, pigmen, baterai dan plastik. Sumber pemajanan berasal dari makanan karena makanan menyerap dan mengikat kadmium, misalnya tanaman dan ikan. Atau karena adanya resapan dari tempat buangan limbah (Wijanto, 2008: 8).

Kadmium diklasifikasikan dalam bahan beracun yang dapat mempengaruhi kerja ginjal dan terserap melalui respirasi dan pencernaan. Karena waktu paruh efek kadmium yang cukup lama (30 tahun) dalam tubuh manusia, maka dapat dengan mudah akan terakumulasi hingga jumlah yang cukup untuk menyerang organ tubuh. Kadmium juga dapat terakumulasi di lingkungan. Jika pada tahun 2004 terdapat 315 juta limbah komputer di Amerika, maka terdapat 2 juta pound atau setara dengan 0,9 juta kg kadmium yang terdapat dalam *landfill* (Tchobanoglous, 2002).

Kadmium banyak digunakan dalam baterai (Ni-Cd) laptop model lama dan ponsel. Tetapi pada masa kini baterai sejenis itu sudah digantikan dengan baterai lithium-ion atau baterai jenis lain. Walaupun baterai Ni-Cd telah tergantikan, peralatan

komunikasi lama harus tetap menjadi perhatian untuk pengelolaan limbahnya (Anonim, 2001:14).

Menurut MCC (1996) dalam laporan akhir Five Winds International (2001), kandungan kadmium adalah 0,0065% total berat PC. Menurut Young (1999) dalam laporan akhir Five Winds International kandungan kadmium adalah 5-10 g dalam setiap monitor CRT dan 0,004 g pada setiap *motherboard*. Kandungan kadmium dalam *housing* Komputer lebih dari 25 g dan penggunaan kadmium dalam *housing* komputer telah dilarang di Swedia (EIA, 2001 dalam Anonim, 2001: 15).

### 2.3.3. Merkuri

Elemen Hg berwarna kelabu-perak, sebagai cairan pada suhu kamar dan mudah menguap bila dipanaskan. Sedangkan Metil Merkuri (MeHg) merupakan bentuk penting yang memberikan pemajanan pada manusia. Sebagian senyawa merkuri yang dilepas ke lingkungan akan mengalami proses metilasi menjadi MeHg oleh mikroorganisme dalam air dan tanah (Wijanto, 2008: 6).

Metil merkuri mudah terakumulasi dalam organisme hidup dan terkonsentrasi melalui rantai makanan, terutama ikan. Metil merkuri dapat menyebabkan kerusakan otak. Diperkirakan 22% merkuri yang secara tidak sengaja dikonsumsi penduduk dunia berasal dari limbah elektronik. Merkuri, selain terdapat pada baterai, juga terdapat pada papan sirkuit (Tchobanoglous, 2002).

Kandungan merkuri dalam setiap layar monitor datar (layar laptop) adalah antara 0,12-50 mg (Anonim, 2001:8). Dalam 1 unit Desktop PC kandungan merkuri adalah 0.0022% berat total (MCC, 1996). Walaupun merkuri lebih banyak digunakan oleh layar LCD (*liquid crystal display*), emisi merkuri dari layar CRT yang ditimbulkan dari konsumsi listrik melebihi seluruh jumlah emisi dari LCD, yaitu sebesar 7,75 mg per CRT. Sedangkan emisi dari LCD, terhitung dari 2 sumber emisi, yaitu dari penggunaan *backlight* LCD sebesar 3,99 mg dan emisi dari konsumsi listrik sebesar 2,22 mg (Socolof, et al., 2007).

#### **2.3.4. Kromium Valensi VI**

Kromium adalah logam keras berwarna abu-abu dan sulit dioksidasi meski dalam suhu tinggi. Ada 3 valensi kromium berdasarkan urutan toksisitasnya: Cr-0, Cr-III, Cr-VI (Wijanto, 2008: 7). Kromium VI mudah terserap melalui membran sel dan menghasilkan berbagai efek racun diantara sel dan menyebabkan kerusakan DNA. Kromium VI menyebabkan reaksi alergi dalam konsentrasi kecil. Insinerasi limbah yang mengandung kromium menyebabkan debu terbang yang mengandung kromium, maka membakar limbah yang mengandung kromium sangat tidak dianjurkan (Tchobanoglous, 2002).

Kromium VI digunakan untuk pengeras untuk *plastic housing* dan sebagai campuran pigmen (Anonim, 2001:18). Menurut Young (1999) dalam laporan akhir Five Winds International, kandungan kromium VI dalam sebuah monitor adalah sekitar 0,2 g dan dalam sebuah *motherboard* adalah 0,3 g.

#### **2.3.5. Plastik**

Kandungan bahan plastik dalam sebuah komputer sekitar 6 kg. Jenis plastik yang paling sering digunakan dalam manufaktur elektronik adalah PVC, yakni sekitar 26%. Penggunaan PVC dalam komputer sebagian besar adalah pada *cabling* dan *casingnya*. PVC lebih sulit untuk didaur ulang dan dapat mengkontaminasi plastik lain dalam proses daur ulangnya. Jika diproses dengan cara insinerasi, plastik akan mengeluarkan dioksin yang bersifat karsinogen (Tchobanoglous, 2002).

Faktor lain yang potensial menimbulkan bahaya, sehingga diperlukan pengelolaan khusus pada saat EOL produk, adalah bahwa klorin dan penghambat panas biasanya ditambahkan pada saat proses manufaktur (Anonim, 2001: 22). Kandungan PVC dalam *keyboard* adalah 37,1 g dan total 314 g terdapat pada keseluruhan kabel. Keseluruhan kandungan PVC dalam komputer desktop adalah 23% total berat PC (Young, 1999 dalam Anonim, 2001).

### 2.3.6. Brominated flame-retardants

*Brominated flame-retardants* terdiri dari *polybrominated biphenyls* (PBB) dan *polybrominated diphenylethers* (PBDE), biasa digunakan untuk mengurangi tingkat panas (*flammability*) pada bagian produk elektronik seperti papan sirkuit, komponen konektor, kabel dan plastik penutup komputer. Paparan terhadap PBDE diduga dapat merusak sistem endokrin dan mereduksi level hormon tiroksin hewan mamalia dan manusia sehingga perkembangan tubuh terganggu. Senyawa ini masuk melalui rantai makanan dan dapat terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup (Tchobanoglous, 2002).

Beberapa negara sudah melarang penggunaan *brominated flame-retardants* dan digantikan dengan TBBP-A (tetrabromobisphenol), sejenis penghambat panas yang tidak terlalu berbahaya. Walaupun demikian TBBP-A juga sedang dalam pengkajian lebih jauh (Anonim, 2001: 20). Dalam *Guidelines For Environmentally Sound Management Of E-Waste* (2008), TBBP-A juga mengandung dioksin tetapi dengan tingkatan yang lebih rendah. Kandungan TBBP-A, sebagai pengganti PBDE dalam papan sirkuit adalah 28,6 g (Young, 1999 dalam Anonim, 2001). Menurut Nordic Council of Minister (1995 dalam Anonim, 2001), TBBP-A pada papan sirkuit adalah 0,4 kg/m<sup>2</sup> atau 17%.

### 2.3.7. Barium

Barium adalah logam putih keperakan yang digunakan di panel depan CRT dalam komputer untuk melindungi konsumen dari radiasi. Paparan barium dalam jangka waktu pendek akan pembengkakan saraf, otot lemas; kerusakan pada fungsi jantung, hati dan limpa (Tchobanoglous, 2002).

### 2.3.8. Berilium

Berilium dalam komputer desktop digunakan untuk fungsi struktural yang sangat ringan tetapi lebih kuat daripada baja. Zat ini memiliki daya hantar panas dan listrik yang baik, anti karat, kuat dan mudah dibentuk (Anonim, 2001: 16). Campuran tembaga-berilium digunakan pada *motherboard*, sedangkan kandungan berilium sendiri adalah 0,08 g. Kandungan berilium dalam monitor adalah 0,05 g (Young, 1999 dalam Anonim, 2001) dan 0,0157% dari total berat PC (MCC, 1996).

Tabel 1. Bahan Kimia Dalam 1 Unit Komputer *Desktop* Seberat 27 kg dan Dampaknya pada Manusia

Bahan Kimia	Berat (%)	Berat (kg)	Efisiensi Daur Ulang (%)	Fungsi	Lokasi	Dampak Pada Lingkungan dan Kesehatan Manusia
Aluminium	14.17	3.86	80	a. Struktur b. Konduktivitas	a. Housing b. CRT c. PWB d. Konektor	Pada dasarnya bersifat non toksik, tubuh manusia sehat dapat mentolerir aluminium hingga 7 g/hari, pada jumlah yang berlebih aluminium dapat mengganggu sistem syaraf manusia dan hewan. Pada dosis tinggi dicurigai dapat menyebabkan alzheimer. Menurunkan pertumbuhan tanaman pada tanah yang asam.
Antimon	0.009	< 0.1	0	Dioda	a. Housing b. PWB c. CRT	Dalam dosis rendah menyebabkan sakit kepala dan depresi dalam dosis tinggi mengakibatkan kematian.
Arsen	0.0013	< 0.1	0	Doping agent dalam transistor	PWB	Bersifat karsinogen dan mematikan. Jika limbah ditimbun atau ditumpuk begitu saja, leaching arsen akan masuk ke air tanah dan akan menyebabkan keracunan arsenik jika terminum. Paparan dapat terjadi pada pekerja industri yang memroses logam yang mengandung arsenik.
Barium	0.032	< 0.1	0		Panel glass CRT	Pada dosis rendah barium berperan sebagai stimulan otot, tetapi pada dosis yang tinggi mempengaruhi sistem syaraf, menyebabkan tremor, dan kelumpuhan.
Berilium	0.015	< 0.1	0	a. Termal b. Konduktivitas	a. PWB b. Konektor	Berbahaya jika terhirup dan bersifat karsinogen, dampaknya tergantung pada lama paparan. Jika konsentrasi berilium di udara cukup tinggi (lebih dari 100 µg/m <sup>3</sup> ) dapat menyebabkan penyakit berilium akut yang mirip pneumonia. Karena merupakan <i>occupational hazard</i> , maka diperlukan baku mutu udara pada lingkungan kerja untuk mencegah kerusakan paru-paru. Paparan terlalu lama dapat menyebabkan kanker paru-paru. Di lingkungan industri sering terjadi penyakit kronik berilium (CBD).
Besi	20.47	5.58	80	a. Struktur b. Magnetivitas	a. Housing b. CRT c. PWB	Walaupun diperlukan oleh makhluk hidup, konsumsi berlebihan dapat menjadikannya racun, karena besi dapat bereaksi dengan peroksida untuk membentuk radikal bebas yang sangat reaktif dan dapat merusak DNA, protein, lipida dan komponen sel lain. Dosis mematikan bagi manusia 60 mg/kg berat badan.



Bahan Kimia	Berat (%)	Berat (kg)	Efisiensi Daur Ulang (%)	Fungsi	Lokasi	Dampak Pada Lingkungan dan Kesehatan Manusia
Bismuth	0.0063	< 0.1	0	Wetting agent	PWB	Pajanan berlebihan terhadap bismut dapat menyebabkan pembentukan deposit hitam pada gingiva, yang dikenal dengan nama garis bismut.
Cobalt	0.0157	< 0.1	85	a. Struktur b. Magnetivitas	a. Housing b. CRT c. PWB	Mutagenik dan karsinogenik.
Emas	0.0016	< 0.1	99	a. Koneksi b. Konduksi	a. PWB b. Konektor	Emas murni non toksik dan tidak berbahaya jika tertelan, digunakan sebagai zat aditif makanan. Senyawa emas dalam elektro plating termasuk toksik bagi hati dan ginjal.
Europium	0.0002	< 0.1	0	Activator fosfor	PWB	Belum banyak penelitian mengenai dampak keracunan europium. Debu yang mengandung europium mudah meledak
Gallium	0.0013	< 0.1	0	Semi-konduktor	PWB	Walaupun tidak diperhitungkan toksik, beberapa ilmuwan mengatakan galium dapat menyebabkan dermatitis pada pajanan terlalu lama. Jika pengelolaan galium dilakukan dengan tangan telanjang, maka tangan yang terkena droplet galium akan berubah warna menjadi abu-abu.
Germanium	0.0016	< 0.1	0	Semi-konduktor	PWB	
Indium	0.0016	< 0.1	60	a. Transistor b. Rectifier	PWB	Tingkat toksisitas rendah.
Kadmium	0.0094	< 0.1	0	a. Baterai b. Emitter fosfor hijau-biru	a. Housing b. CRT c. PWB	Bersifat akumulatif dalam lingkungan, karsinogenik dan mematikan. Jika masuk ke tubuh manusia lewat inhalasi dapat menyebabkan pneumonitis dan pulmonary edema. Dapat tidak sengaja dikonsumsi manusia lewat makanan yang menyerap dan mengikat kadmium.
Kromium	0.0063	< 0.1	0	a. Dekoratif b. Pengeras	Housing	Bersifat karsinogen dan dapat menyebabkan kerusakan DNA. Dalam konsentrasi kecil menyebabkan alergi. Dosis mematikan kromium vi adalah ½ sendok teh bahan. Iritan bagi mata dan kulit, pajanan kronik dapat menyebabkan kerusakan mata permanen. Menurut WHO, konsentrasi maksimum kromium vi dalam air minum yang masih diperbolehkan 0,05 mg/liter.

Bahan Kimia	Berat (%)	Berat (kg)	Efisiensi Daur Ulang (%)	Fungsi	Lokasi	Dampak Pada Lingkungan dan Kesehatan Manusia
Mangan	0.0315	< 0.1	0	a. Struktur b. Magnetivitas	a. Housing b. CRT c. PWB	Pajanan terhadap debu mangan tidak boleh melebihi 5 mg/m <sup>3</sup> . Keracunan mangan dapat menyebabkan kerusakan motorik dan kemampuan kognitif.
Merkuri	0.0022	< 0.1	0	a. Baterai b. Switch	a. Housing b. PWB	Sangat toksik dan akumulatif. Dapat terdekomposisi jika senyawa merkuri dipanaskan, tetapi ruangan harus memiliki ventilasi yang cukup agar terhindar dari uap merkuri. Termasuk dalam occupational hazard. Menyebabkan tremor, kerusakan kemampuan kognitif dan gangguan tidur pada pekerja yang terpajan uap merkuri bahkan pada konsentrasi rendah antara 0,7-42 µg/m <sup>3</sup> .
Nikel	0.8503	0.23	80	a. Struktur b. Magnetivitas	a. Housing b. CRT c. PWB	Pajanan terhadap nikel tidak boleh lebih dari 0,05 mg/cm <sup>3</sup> per 40 jam kerja seminggu. Asap dan debu mengandung nikel bersifat karsinogen.
Niobium	0.0002	< 0.1	0	Welding	Housing	Debu yang mengandung niobium bersifat iritan bagi mata dan kulit. Niobium mudah meledak.
Palladium	0.0003	< 0.1	95	a. Konektivitas b. Konduktivitas	a. PWB b. Konektor	Pajanan terhadap garam palladium dapat menyebabkan iritasi kulit dan mata.
Perak	0.0189	< 0.1	98	Konduktivitas	a. PWB b. Konektor	Pada umumnya perak yang diproduksi secara komersial tidak berpotensi iritan. Walaupun belum ada bukti mengenai dampak pajanan perak pada kesehatan manusia, tetapi beberapa larutan yang mengandung perak, seperti nitrat perak yang dapat menyebabkan iritasi kulit, mata dan pernapasan.
Plastik	22.990	6.26	20	Insulasi	a. Kabel b. Housing	Plastik sulit terurai secara alami. Jika diinsinerasi akan mengeluarkan asap yang beracun dan mengandung dioksin yang menyebabkan pembentukan sel kanker. Pada saat proses manufaktur plastik menyebabkan terbentuknya bahan polutan. Selain itu manufaktur plastik masih bergantung pada cadangan minyak bumi.

Bahan Kimia	Berat (%)	Berat (kg)	Efisiensi Daur Ulang (%)	Fungsi	Lokasi	Dampak Pada Lingkungan dan Kesehatan Manusia
Platinum	0		95	Konduktor	PWB	Pajanan jangka pendek pada garam platinum menyebabkan iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan. Pajanan jangka panjang menyebabkan alergi pernapasan dan kulit. Konsentrasi maksimum yang diperbolehkan bagi lingkungan kerja yang mengandung debu platinum 0.002 mg/m <sup>3</sup> , 8 jam per hari.
Mangan	0.0315	< 0.1	0	a. Struktur b. Magnetitas	a. Housing b. CRT c. PWB	Pajanan terhadap debu mangan tidak boleh melebihi 5 mg/m <sup>3</sup> . Keracunan mangan dapat menyebabkan kerusakan motorik dan kemampuan kognitif.
Ruthenium	0.0016	< 0.1	80	Resistive circuit	PWB	Sangat toksik dan mudah meledak. Kemungkinan bersifat karsinogen dan bioakumulatif dalam tulang.
Selenium	0.0016	44E-3	70	Rectifier	PWB	Bersifat toksik dalam dosis tinggi. Konsumsi yang berlebihan terhadap selenium hingga lebih dari 400 µg/hari menyebabkan selenosis. Beberapa kasus yang ekstrem terhadap pajanan selenium menyebabkan sirosis hati dan kematian.
Silika	24.880	6.8	0	a. Kaca b. Solid state devices	a. CRT b. PWB	Dapat menyebabkan silikosis, bronchitis dan kanker. Debu yang mengandung silika dapat masuk ke dalam paru-paru dan menjadi iritan. Debu silika dalam dosis 0,1 mg/m <sup>3</sup> masih diperbolehkan.
Tantalum	0.0157	< 0.1	0	Kapasitor	a. PWB b. Power supply	
Tembaga	6.9287	1.91	90	Konduktivitas	a. CRT b. PWB c. Konektor	Gejala keracunan tembaga mirip dengan arsen dan bersifat mematikan. Kandungan tembaga dalam air minum yang dapat ditoleransi tubuh manusia antara 1,5
Terbium	0	0	0	a. Aktivator b. Fosfor hijau c. Dopant	a. CRT b. PWB	Senyawa terbium tergolong memiliki toksisitas rendah, selain itu belum ada penelitian secara detail.

Bahan Kimia	Berat (%)	Berat (kg)	Efisiensi Daur Ulang (%)	Fungsi	Lokasi	Dampak Pada Lingkungan dan Kesehatan Manusia
Timah	1.0078	0.27	70	Metal joining	a. PWB b. CRT	Pajanan akut dapat menyebabkan iritasi mata dan kulit; sakit kepala; sakit perut dan masalah urinasi. Paparan kronik dapat menyebabkan depresi, kerusakan hati, malfungsi sistem imun, kerusakan kromosom, penurunan jumlah sel darah merah dan kerusakan otak. Dapat menyebar melalui media air dan mengendap dalam lumpur, kemudian menyebabkan rusaknya ekosistem akuatik, karena beracun bagi fungi, algae dan fitoplankton.
Timbal	6.2988	1.72	5	Metal joining	a. Funnel glass CRT b. PWB	Selain dapat terakumulasi dalam tanah dan sedimen, juga dapat terakumulasi dalam tubuh manusia, terutama pada tulang. Dapat menyebabkan kerusakan sistem syaraf dan ginjal, serta gangguan sistem reproduksi dan pertumbuhan. Dampak pada ekosistem adalah hilangnya kehati, penurunan pertumbuhan dan angka reproduksi pada tumbuhan dan hewan, dan berdampak pada system syaraf vertebrata.
Titanium	0.0157	< 0.1	0	a. Pigment b. Alloying agent	Housing	Dampak paparan berlebihan dapat menyebabkan kelelahan dan nyeri dada, batuk dan kesulitan bernapas. Kontak dengan kulit atau mata dapat menyebabkan iritasi. Bagi lingkungan tingkat toksisitas titanium tergolong rendah. Bersifat mudah meledak, maka tergolong <i>fire hazard</i> .
Vanadium	0.0002	< 0.1	0	Emiter fosfor merah	CRT	Pajanan akut menyebabkan iritasi paru-paru, tenggorokan, mata dan pernapasan. Dampak pada kesehatan lainnya adalah penyakit jantung, inflamasi perut dan usus, kerusakan sistem syaraf, pendarahan hati dan ginjal dan perubahan perilaku. Bersifat bioakumulatif dalam lingkungan. Dapat ditemui kandungannya dalam kepingan, ikan, kerang dan algae.
Yttrium	0.0002	< 0.1	0	Emiter fosfor merah	CRT	Senyawa yttrium yang larut dalam air dikategorikan beracun, sedangkan yang tidak larut dalam air tidak beracun.
Seng	2.2046	0.6	60	a. Baterai b. Emiter fosfor	a. PWB b. CRT	Walaupun diperlukan oleh tubuh manusia, konsumsi yang berlebihan dapat berbahaya.

Sumber: MCC, 1996; dalam [www.mindfully.org](http://www.mindfully.org), 2008, Tchobanoglous, 2002, Wikipedia.org, 2008, hc-sc.gc.ca, 2008, Wijanto, 2008

## 2.4. Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Minimisasi Limbah

Lingkungan hidup ialah jumlah semua benda yang hidup dan tidak hidup serta kondisi yang ada dalam ruang yang kita tempati. Antara manusia dan lingkungan hidupnya terdapat hubungan timbal-balik. Manusia mempengaruhi lingkungan hidupnya dan sebaliknya (Sastrawijaya, 2000: 6).

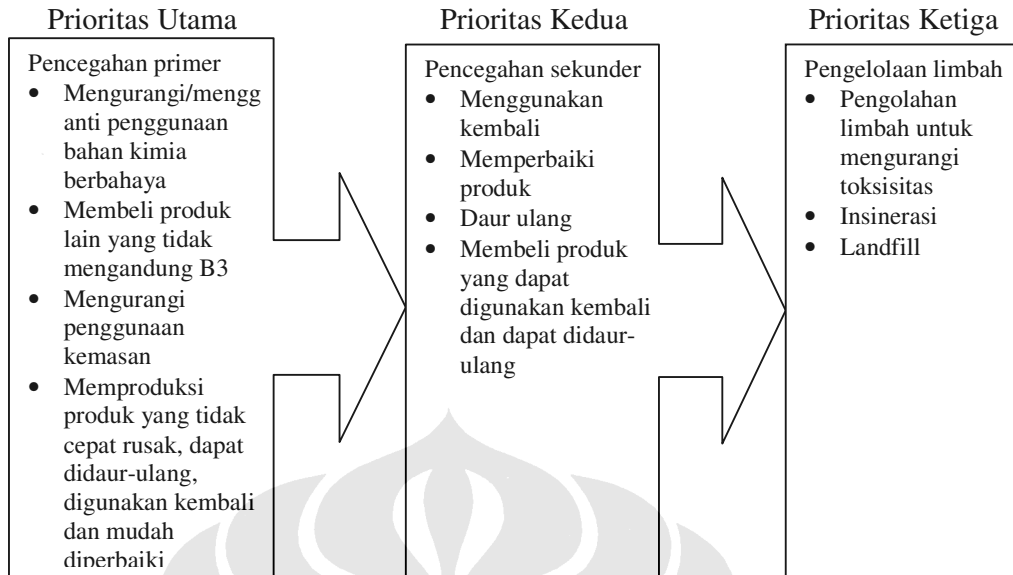
Segala sesuatu yang mempengaruhi organisme hidup adalah lingkungan hidup. Ilmu lingkungan adalah kajian interdisiplin yang menggunakan konsep ilmu alam dan ilmu sosial untuk mempelajari kerja alam; dan mempelajari bagaimana makhluk hidup didalamnya mempengaruhi sistem kehidupan dan membentuk kehidupan; serta mengevaluasi dan mencari solusi untuk menyelesaikan persoalan lingkungan yang dihadapi (Miller, 2002).

Kebutuhan manusia yang terus meningkat tidak seiring dengan daya dukung alam. Walaupun kekayaan alam cukup tersedia, namun pengambilannya jauh lebih cepat dari waktu yang diperlukan untuk terbentuknya kekayaan alam tersebut. Perkembangan teknologi dan industri membawa dampak pada kehidupan manusia, baik positif maupun negatif (Wardhana, 2004).

Dampak positif perkembangan teknologi adalah adanya kemudahan bagi penunjang aktivitas manusia. Dampak negatif perkembangan teknologi dan industri adalah adanya pencemaran lingkungan yang akan berdampak pada manusia pada akhirnya. Dampak langsung yang bersifat negatif akibat kegiatan industri dapat terlihat dari terjadinya masalah: pencemaran udara, pencemaran air dan pencemaran daratan (Wardhana, 2004: 24).

Pradigma lama pengelolaan lingkungan adalah *end-of-pipe* yang melakukan pencegahan jika sudah terjadi masalah pencemaran. Tetapi paradigma tersebut telah berubah pada awal tahun 1970an menjadi bersifat pencegahan (*upfront*), yang menjadi berkembang ke arah minimisasi limbah (Shah, 2000).

Prioritas pengelolaan limbah B3 yang diajukan oleh banyak kalangan lingkungan berkaitan dengan penggunaan bahan dan limbah padat yang dihasilkan seperti ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Prioritas Pengelolaan Limbah B3

Sumber: Miller (2002, Fig 11-3)

Definisi pengelolaan lingkungan hidup menurut Undang-undang Pengelolaan Lingkungan Hidup nomor 23 tahun 1997 adalah upaya terpadu untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup yang meliputi kebijaksanaan penataan, pemanfaatan, pengembangan, pemeliharaan, pemulihan, pengawasan, dan pengendalian lingkungan hidup. Pengelolaan lingkungan hidup sebenarnya lebih ditujukan pada pengelolaan interaksi antar manusia dan dampak yang disebabkan interaksi tersebut ([en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org), 30.06.2008).

Pengelolaan lingkungan hidup bertujuan untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan ([en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org), 30.06.2008). Pengelolaan lingkungan terhadap masalah limbah komputer yang sangat potensial mencemari lingkungan dan berdampak pada manusia, dilakukan melalui upaya minimisasi limbah mulai dari proses produksi hingga penggunaan untuk mengurangi limbah akhir (Anonim, 2008). Upaya minimisasi limbah pada saat proses produksi (produksi bersih) dilakukan dengan upaya preventif langsung dari sumbernya salah satunya adalah dengan melakukan perubahan bahan baku yang menimbulkan limbah yang berbahaya (Anonim, 03.07.2008).

Pada saat EOL produk, produsen produk elektronik juga diwajibkan bertanggung-jawab terhadap produk yang telah menjadi limbah tersebut. Extended Producer Responsibility (EPR) adalah suatu strategi mengintegrasikan biaya lingkungan ke dalam harga produk terkait dengan produk selama daur hidupnya (OECD, 1999 dalam en.wikipedia.org, 2007). Dengan demikian strategi tersebut mengharuskan produsen mengelola limbah elektronik dari produk manufakturnya. Pengguna juga berkewajiban untuk mengembalikan produk yang telah menjadi limbah kepada produsen untuk didaur-ulang.

Ada tiga jenis upaya pemanfaatan limbah: Daur ulang, Penggunaan kembali dan Perolehan kembali (Anonim, 2008). Daur ulang dilaksanakan melalui pengolahan fisik atau kimiawi untuk menghasilkan produk yang sama atau produk lain. Penggunaan kembali adalah pemanfaatan limbah dengan cara menggunakannya kembali untuk keperluan dan fungsi yang sama. Sedangkan perolehan kembali adalah upaya pemanfaatan limbah dengan jalan memprosesnya, untuk memperoleh kembali salah satu atau lebih materi/komponen yang terkandung di dalamnya.

*Waste exchange* adalah salah satu konsep pemanfaatan limbah dengan mengupayakan limbah yang berpotensi untuk dimanfaatkan dapat diketahui oleh pengguna yang potensial. Agar pelaksanaannya terarah dan lancar, diperlukan kelembagaan *waste exchange*, yaitu organisasi formal yang memberikan informasi/publikasi yang dapat dilengkapi dengan jasa layanan kepada industri pembangkit limbah dapat dilengkapi dengan jasa layanan kepada industri pembangkit limbah ataupun yang membutuhkan limbah. Informasi yang diberikan menyangkut ketersediaan dan kebutuhan limbah, lengkap dengan jumlah serta komposisinya, sedang layanan dapat dalam bentuk perizinan, transportasi atau pengiriman limbah, serta jasa pemeriksaan komposisi limbah. Lembaga ini dapat bersifat penghasil laba atau nirlaba (Soemantojo, 2007).

Upaya minimisasi limbah komputer pada saat setelah akhir penggunaan, umumnya selain dengan pemanfaatan kembali (*refurbishment*) juga melalui upaya daur ulang. Sebagaimana yang disosialisasikan oleh Uni Eropa adalah dengan cara menggunakan kembali, mengurangi dan mendaur-ulang (3R). Negara-negara maju telah banyak melakukan upaya *refurbishment* komputer usang untuk kemudian didonasikan ke

negara-negara berkembang, sebelum sisa komponennya dihancurkan atau ditimbun dalam *landfill* (MacGibbon, et al., 2006).

Pada tahun 1990an beberapa negara di Eropa telah memberlakukan peraturan untuk tidak membuang limbah elektronik ke *landfill*. Hal ini menyebabkan munculnya industri pengelolaan limbah elektronik di Eropa. Pada awal tahun 2003 Uni Eropa membahas masalah WEEE dan mengeluarkan RoHS Directive. RoHS Directive mengatur produsen untuk tidak menggunakan senyawa atau B3 tertentu dalam produknya. RoHS Directive (*Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment*) menuntut penggunaan substitusi B3 seperti timbal, kadmium, merkuri, kromium VI, PBB dan PDBE (E-waste guide, 2007). Kedua senyawa yang terakhir sudah dilarang penggunaannya di negara-negara Uni Eropa mulai Juli 2006.

## 2.5. Bagian-bagian Komputer dan Upaya Daur Ulang

Secara umum suatu komputer desktop terdiri dari satu unit CPU (*central processing unit*), satu unit monitor dan *keyboard*. Uraian mengenai komponen dalam bagian-bagian tersebut tertera pada Tabel 2 hingga Tabel 4.

Tabel 2. Komponen dan Bahan Dalam 1 Unit *Keyboard*

Komponen	Berat [g]	Material
<b>Keyboard, 102 keys</b>		
Cover	150	ABS
Base	230	ABS
Base shielding	280	Steel sheet, electroplated
Electric function unit	60	Printed wiring board and few components
Cable and plug	70	Copper 47% and PVC 53% (signal cable)
Key foil	Negligible	No information
Keys	390	ABS
Sum	1180	
<b>Packaging for keyboard</b>		
Box	300	Cardboard
Sum	300	
<b>Total with packaging</b>	1480	

Sumber: LCA PC, 1998



Tabel 3. Komponen dan Bahan Dalam 1 Unit CPU

<b>Komponen</b>	<b>Berat [g]</b>	<b>Material</b>
Electric function unit CPU	620	Printed wiring board and components
Cooling body for processor	10	Aluminium, black anodised
Electric function unit BUS-Print	120	Printed wiring board and components
<b>Sum</b>	<b>750</b>	
<b>Harddisk</b>		
Cover	60	Aluminium sheet
Casing	205	Cast aluminium, perhaps alloy
Hard disk plates	85	Assumption: alloy aluminium w/coating
Electric function unit	60	Printed wiring board and components
<b>Sum</b>	<b>410</b>	
<b>Disk drive/floppy drive</b>		
Mechanical part	110	Steel sheet, galvanised
Mechanical part	130	Assumption: PS
Cover	70	Aluminium sheet, bright
Electric function unit	30	Printed wiring board and components
<b>Sum</b>	<b>340</b>	
<b>Power Supply</b>		
Cabinet	505	Steel sheet, galvanised
Ventilator, sockets	100	Assumption: PS
Electric function unit	100	Printed wiring board and components
Electrolytic capacitors	45	Al, Cu, Phenolic resin paper and PS
Choking coils and Transformers	110	PVC, Lacquer insulated Cu + Ferrite
Cooling body	30	Aluminium, bright
Cable and plug	210	Copper, PVC and PS
<b>Sum</b>	<b>1100</b>	
<b>Desktop Cabinet</b>		
Metal frame	2680	Steel profile, electroplated
Hard disk socket	250	Steel profile, electroplated
Cover	2180	Steel sheet
Front	210	PPO
<b>Sum</b>	<b>5320</b>	
<b>Cables</b>		
Flat band cable	100	Copper, POF and PS
Mains cables (two), (TT-cable)	360	Copper and PVC
<b>Sum</b>	<b>460</b>	
<b>Packaging for Control unit</b>		
Box	1780	Cardboard
Insert	410	Cardboard
Padding	160	PP, foam
<b>Sum</b>	<b>2350</b>	
<b>Total without packaging</b>	<b>8380</b>	
<b>Total with packaging</b>	<b>10730</b>	

Sumber: LCA PC, 1998

Tabel 4. Komponen dan Bahan Dalam 1 Unit Monitor CRT

Komponen	Berat [g]	Material
<b>Monitor ukuran 15"</b>		
Cabinet	2.500	ABS with flame retardant
Monitor cable	300	Copper and PVC
Foot/socket	500	ABS mixed with PC
Panel glass	3.850	Glass
Funnel glass	2.250	Glass
Shadow mask	41	Nickel rich steel
Frame	425	Steel
Inner shield	87	Steel
Mount	37	Nickel rich steel
Deflection Yoke	816	Copper, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and PWB
Shrinking band	268	Stainless steel
Frit Glass	30	Glass
Electronic gun	No information	300 and 400 serie steel, Borosilicate glass pillar, Nickel tubes and Tungsten wire
Electric function unit	402	Printed wiring board and components
Electrolytic capacitors	120	Al, Cu, Phenolic resin paper and PS
Choking coils and Transformers	240	PVC, Lacquer insulated Cu + Ferrite
Cable	240	PS, PVC and Copper
Sum	12.106	
<b>Packaging for monitor</b>		
Box	1.520	Cardboard
Padding	250	PS
Sum	1.770	
<b>Total with packaging</b>	<b>13.876</b>	

Sumber: LCA PC, 1998

### 2.5.1. Prosedur daur ulang limbah komputer

Potensi yang dapat dimanfaatkan kembali dari daur ulang limbah elektronik, menurut Guidelines For Environmentally Sound Management Of E-Waste (2008), adalah:

- a. Besi dan baja dari casing dan bingkai perlengkapan elektronik.
- b. Logam non-ferrous, terutama tembaga pada kabel dan aluminum.
- c. Gelas/kaca yang digunakan oleh monitor.
- d. Plastik yang terdapat di *casing*, kabel dan papan sirkuit.
- e. Komponen elektronik.
- f. Material lain seperti karet, kayu, keramik dan lain-lain.

Komposisi limbah elektronik sangat beraneka-ragam, maka pendekatan utama untuk pengelolaan limbah elektronik adalah dengan mengurangi konsentrasi bahan berbahaya dan beracun, dan mendaur-ulang komponen-komponennya, serta rekondisi. Dalam proses daur ulang atau rekondisi limbah elektronik tertentu beberapa komponen yang mengandung bahan berharga dapat dipertimbangkan sebagai bahan mentah sekunder (Anonim, 2008: 25).

Menurut Guidelines for Environmentally Sound Management of E-Waste (2008), tahapan proses daur ulang melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

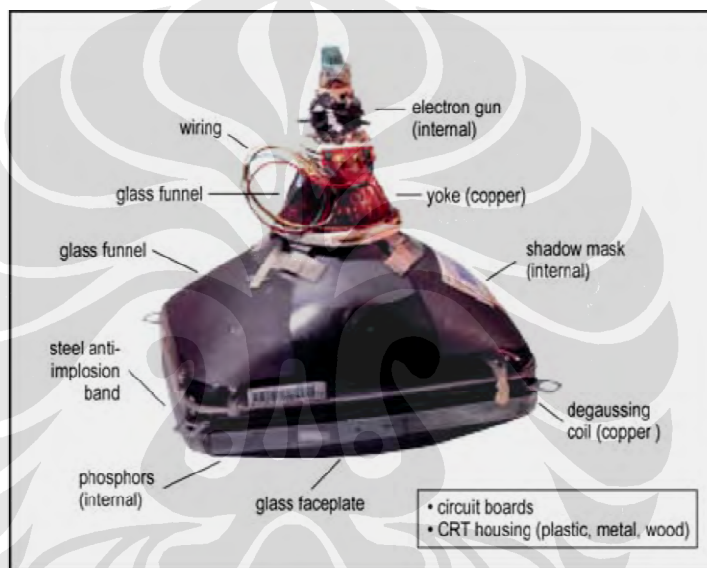
- a. *Dismantling*, yakni proses pemisahan atau pengambilan bagian-bagian yang mengandung B3 dari bagian lain atau mengambil material berharga, seperti melucuti kawat tembaga dari dalam kabel.
- b. Pemisahan logam yang mengandung besi, logam yang tidak mengandung besi dan plastik.
- c. *Reuse* atau *refurbishment*. Penggunaan kembali atau rekondisi terhadap limbah elektronik yang masih dapat digunakan kembali.
- d. Daur ulang atau pemulihan material berharga untuk mengekstrak logam yang mengandung besi dalam produk elektronik dibakar, sedangkan logam yang tidak mengandung besi dilebur. Logam yang berharga seperti emas dan perak dipisahkan dengan menggunakan larutan kimia tertentu.
- e. *Treatment/disposal* material B3 dan limbah elektronik. Proses yang biasa digunakan adalah insinerasi atau memendam dalam tanah (*landfill* untuk limbah B3).

### 2.5.2. Tabung Sinar Katoda

Limbah Tabung Sinar Katoda atau CRT masih menjadi masalah besar hingga kini, karena biasanya sebagian besar CRT akan masuk ke *landfill*. Bagian-bagian yang bisa didaur-ulang adalah solder timbal, kawat tembaga dalam kabel dan pelat, baja, aluminum, perak, paladium dan sejumlah kecil emas. Sebagian besar tembaga (sekitar 500 g) dapat diambil dari kabel pada kuk antara tabung penembak elektron dan *funnel* (corong) kaca, serta yang terdapat pada koil *degaussing* (Gambar 2). CRT

terbuat dari gabungan kaca, fosfor, baja, tembaga, aluminum, elektroda, kabel, papan sirkuit dan *housing* yang terbuat dari plastik (MacGibbon, et al., 2007:85).

Jika CRT retak atau pecah, tidak lagi dapat direkondisi lagi, maka harus didaur-ulang. Dalam laporan Computer Asccess NZ (CANZ) disebutkan mengenai sebuah studi yang dilakukan di Inggris mengatakan bahwa oksida logam pada CRT tidak dapat dihilangkan melalui proses peleburan maupun elektrolisis. Sedangkan untuk memudahkan proses daur ulang maka lapisan timbal dan logam lainnya harus diangkat.



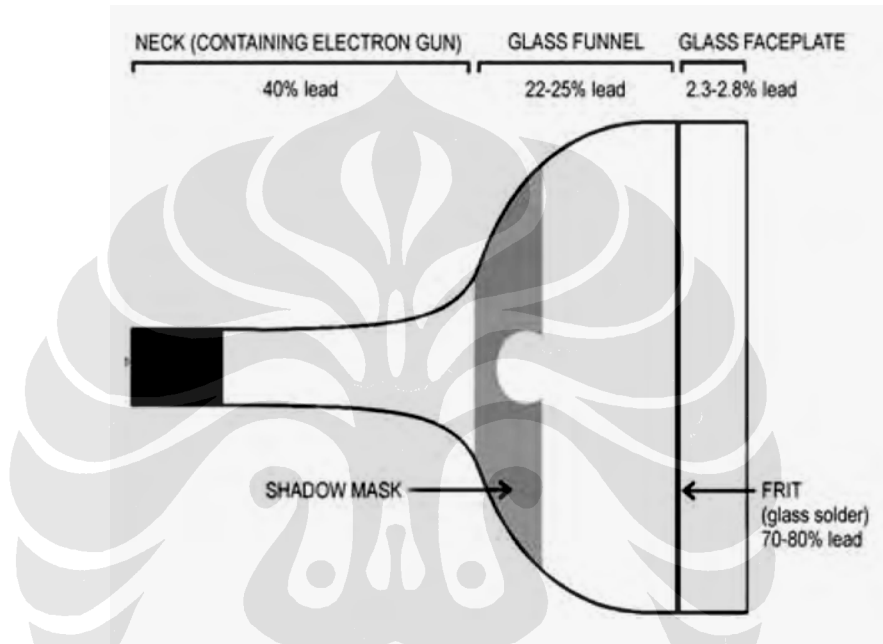
Gambar 2. Bagian-bagian dari CRT

Sumber: E-waste in New Zealand, copy right of CANZ (2006)

Ada 2 pendekatan yang digunakan untuk mendaur-ulang CRT, yaitu pemisahan (*splitting*) dan penghancuran. Dalam proses pemisahan, panel kaca depan CRT yang mengandung sedikit timbal dipisahkan dari corong yang mengandung timbal. Corong CRT bekas dapat dijual ke pasaran untuk dimanufaktur kembali menjadi CRT baru, untuk diekstrak timbalnya melalui proses peleburan, atau penggunaan kaca alternatif (MacGibbon, et al., 2007: 42). Dalam proses penghancuran, CRT di hancurkan berikuk panel kaca depan dan corongnya setelah melalui proses pemisahan papan sirkuit, kabel dan *housing*-nya (MacGibbon, et al., 2007: 44).

Gambar 3 menjelaskan bahwa CRT terdiri dari 3 bagian, yang terbuat dari 2 jenis kaca yang berbeda (MacGibbon, et al., 2007: 86):

- Bagian depan yang datar (panel kaca depan) dari kaca yang mengandung oksida barium (hingga 14%) dan oksida strontium (hingga 12%).
- Bagian corong yang lebih tipis mengandung 22 hingga 25% timbal.
- Bagian leher untuk menembakkan electron mengandung 40% timbal.



Gambar 3. Komposisi Kaca pada CRT

Sumber: E-waste in New Zealand, copy right of CANZ (2006)

Tabel 5. Distribusi Pengelolaan CRT di Amerika

Distribusi	Persentase
Insinerasi	15%
Daur Ulang	11%
Remanufaktur	3%
Landfill Limbah B3	46%
Solid Waste Landfill	25%

Sumber: Dekstop Computer Displays: A Life-Cycle Assessment Volume 1 (2001)

Tabel 5 memperlihatkan dari 1 unit CRT sebagian besar (46%) berakhir di landfill khusus B3, yang dapat terdaur-ulang hanya 11%, tetapi hasil studi tersebut tidak menutup kemungkinan persentase berbeda pada analisis daur hidup yang lain (Socolof, et al. , 2001: ES-11).

### 2.5.3. Papan sirkuit

Papan sirkuit atau yang juga dikenal dengan PWB (*Printed Wiring Board*) atau PCB (*Printed Circuit Board*) dalam komputer desktop selain terdapat pada CPU sebagai *mainboard* atau *motherboard*, terdapat juga dalam CRT, tetapi yang banyak dimanfaatkan untuk daur ulang adalah papan sirkuit *mainboard* atau *motherboard*. Papan sirkuit banyak menggunakan campuran bahan kimia dan dalam proses produksinya menggunakan banyak energi. Didalamnya terdapat sejumlah timbal, tembaga dan nikel yang sangat beracun, tetapi juga mengandung banyak bahan berharga seperti emas dan perak (Parsons, 2006).

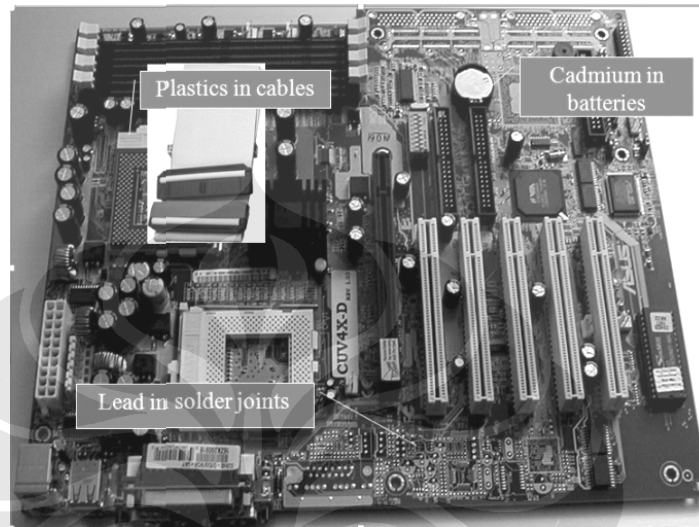
Hampir setiap perangkat elektronik dilengkapi dengan papan sirkuit yang mengandung bahan solder diatas papan sirkuit yang terbuat dari serat *epoxy*. Bahan utama yang tersolder diatas papan sirkuit adalah campuran timbal dan timah. Komponen-komponen diatas papan sirkuit (hampir semua perangkat elektronik) terdiri dari bahan-bahan sebagaimana tersebut dalam Tabel 6, tetapi komposisi bisa berbeda untuk setiap jenis perangkat elektronik.

Tabel 6. Komponen pada Papan Sirkuit

Komponen elektronik	Komposisi Utama
Resistor	Keramik, karbon
Kapasitor	Aluminum, elektrolit, plastik, tembaga, timbal
Induktor, Transformer	Baja, tembaga
IC	<i>Plastic case</i> , tembaga, timbal, silicon
Transistor, Dioda	<i>Plastic case</i> , tembaga, timbal, silicon
Konektor	Plastik, baja, tembaga
Kabel	Tembaga, plastic
Mounting brackets	Aluminum, baja
Penahan panas	Aluminum

Sumber: Printed Circuit Board Recycling in Australia (2006)

Dari tabel terlihat banyaknya kandungan B3 dalam sebuah papan sirkuit, maka sangat berbahaya jika menimbun sampah papan sirkuit dalam *landfill*. Papan sirkuit dalam bentuk *motherboard* atau *mainboard* komputer desktop ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Mainboard* Komputer Desktop

Sumber: [www.assochem.org](http://www.assochem.org)

Walaupun ditimbun dalam *landfill* yang terkontrol, kandungan B3 dalam papan sirkuit masih dapat masuk ke dalam tanah dan permukaan air tanah sebagaimana terdapat dalam Tabel 7. Dalam tabel, persentase bahan yang terlepas ke udara tidak dicantumkan, tetapi dari semua bahan tersebut ada bagian yang terlepas ke udara, hanya dalam jumlah yang sangat kecil dan dinyatakan dalam 0,0000%.

Tabel 7. Perkiraan Bahan yang Terlepas (*leaching*) Dari Landfill yang Terkontrol

Bahan	Tanah	Air
Merkuri	0,0004%	0,0071%
Kadmium	0,0001%	0,0026%
Arsen	0,0001%	0,0022%
Kromium	0,0001%	0,0019%
Tembaga	0,0002%	0,0045%
Timbal	0,0001%	0,0016%

Sumber: Huisman, 2003 dalam Parsons, 2006.

Menurut Parsons (2006: 4), beberapa cara mendaur-ulang papan sirkuit adalah:

- a. Memisahkan bahan berbahaya dan beracun seperti baterai dan komponen besar lainnya.
- b. Memotong dan memecahkan bagian yang besar kedalam ukuran yang lebih kecil hingga seukuran partikel atau ukuran mm.
- c. Memisahkan bahan yang mengandung logam besi secara magnetis, memisahkan bahan yang mengandung tembaga secara magnetis, memisahkan plastik dengan cara triboelektrik dan melebur bahan berharga seperti emas.

Tabel 8 adalah persentase pemulihan logam dalam papan sirkuit menurut Pasons (2006).

Tabel 8. Persentase Pemulihan Logam

<b>Logam</b>	<b>Persentase Pemulihan</b>
Tembaga	95%
Perak	97%
Emas	98%
Palladium	98%
Nikel	90%
Timbal	90%
Timah	90%
Kadmium	90%
Merkuri	90%

Sumber: Huisman (2003) dalam Parsons (2006)

Hasil studi di Australia (Parsons, 2006) terhadap berbagai jenis papan sirkuit, setelah diolah dengan software untuk analisis daur hidup, berkesimpulan bahwa daur ulang papan sirkuit hanya memberi sedikit keuntungan pada lingkungan (sekitar 20% hingga 30%) dibandingkan dengan menimbun limbah ke landfill, karena:

- a. berdampak negatif, tetapi relatif kecil pada ekotoksisitas.
- b. berdampak negatif pada perubahan iklim, yang disebabkan karena proses pengangkutan limbah dengan kendaraan bermotor.
- c. berdampak negatif pada asidifikasi, yang berasal dari emisi kendaraan dan penggunaan listrik selama proses daur ulang.
- d. berdampak positif dan menguntungkan, karena adanya pemulihan logam.



- e. berdampak negatif pada penggunaan bahan bakar fosil yang dikonsumsi untuk keperluan transportasi limbah.

#### **2.5.4. Housing**

Penanganan terhadap housing monitor setelah dipisahkan dari CRT, pada umumnya adalah pembakaran, karena daur ulang plastik pada housing sangat sulit dan berbahaya. Hal ini disebabkan adanya penggunaan berbagai bahan dan senyawa penghambat panas (MacGibbon, et al., 2007).

#### **2.6. Kerangka Pemikiran**

Berdasarkan tinjauan pustaka dan fakta dilapangan, dapat disusun kerangka pemikiran tentang timbulan limbah dan potensi limbah komputer dari penggunaan komputer oleh korporasi, dalam hal ini adalah BRI. Berdasarkan uraian teori mengenai kandungan B3 dalam komputer, maka sangat bahaya bila limbah komputer terlepas ke lingkungan tanpa pengelolaan terlebih dahulu. BRI adalah satu dari beberapa bank terbesar di Indonesia, dengan memiliki ribuan pegawai dan kantor cabang yang tersebar hingga seluruh pelosok Indonesia, dalam operasionalnya tidak dapat terlepas dari penggunaan peralatan IT, terutama komputer.

Komputer yang telah rusak dan tidak lagi dapat digunakan akan dilelang ke masyarakat. Masyarakat dalam hal ini kemungkinan besar adalah pengumpul limbah elektronik. Kemudian oleh masyarakat baik pengumpul limbah maupun pendaur-ulang akan memanfaatkan limbahnya untuk diambil beberapa komponen yang kemungkinan masih berfungsi dan melakukan daur ulang terhadap komponen untuk diambil bahan berharganya. Dengan demikian akan timbul residu limbah dari berbagai kegiatan tersebut.

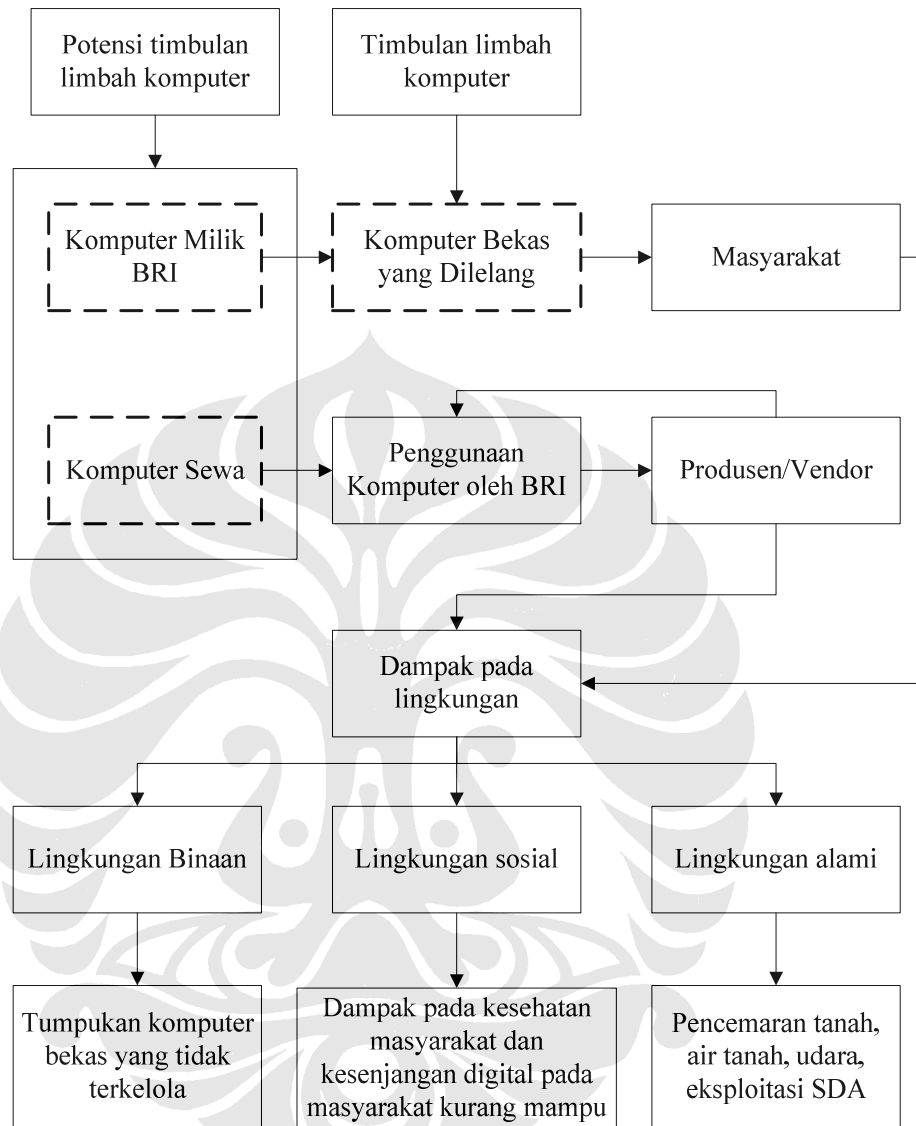
Komputer yang berupa peralatan dengan status barang sewaan setelah digunakan beberapa waktu tertentu dapat mengalami kerusakan atau masa sewa sudah habis sehingga harus dikembalikan ke Vendor. Oleh vendor, ada kemungkinan perlakuan perbaikan komponen tertentu, jika komputer rusak, maka hal ini akan menyebabkan adanya komponen yang terlepas ke lingkungan, atau jika komputer telah habis masa sewa akan digunakan kembali, baik oleh pihak vendor sendiri maupun pihak lain.

Jika komputer yang telah rusak dan tidak dapat digunakan telah menjadi limbah dan tidak dikelola dengan baik, maka akan berdampak buruk pada lingkungan. Komputer rusak yang ditumpuk begitu saja di gudang atau sudut ruangan akan menjadi tumpukan benda tidak berguna yang lama-kelamaan akan meningkat jumlahnya sehingga memaksa pemilik membuangnya. Kalau komputer yang rusak dibuang begitu saja tanpa pengelolaan limbah B3, maka B3 dalam limbah komputer akan mencemari tanah dan air tanah sekitar lokasi pembuangan dan kemudian akan berdampak pada kesehatan masyarakat. Jika keseluruhan bagian dan komponen komputer yang rusak dibuang begitu saja, maka komponen yang tidak rusak tidak dapat dimanfaatkan oleh masyarakat pengguna komputer yang kurang mampu.

Pengelolaan limbah komputer atau daur ulang yang dilakukan tanpa memperhatikan aspek lingkungan, akan menyebabkan pencemaran lingkungan yang disebabkan dari kegiatan tersebut dan residu limbah. Kandungan bahan dalam limbah komputer yang tidak digunakan akan menyebabkan tidak berkurangnya eksploitasi SDA untuk memproduksi komputer baru.

Hubungan antar variabel dijelaskan pada Gambar 5. Variabel timbulan limbah komputer akan diperoleh dari data komputer BRI yang telah dilelang dan potensi timbulan limbah komputer akan di peroleh dari data komputer milik BRI dan komputer sewa.

## 2.7. Kerangka konsep penelitian



Gambar 5. Kerangka Konsep Penelitian

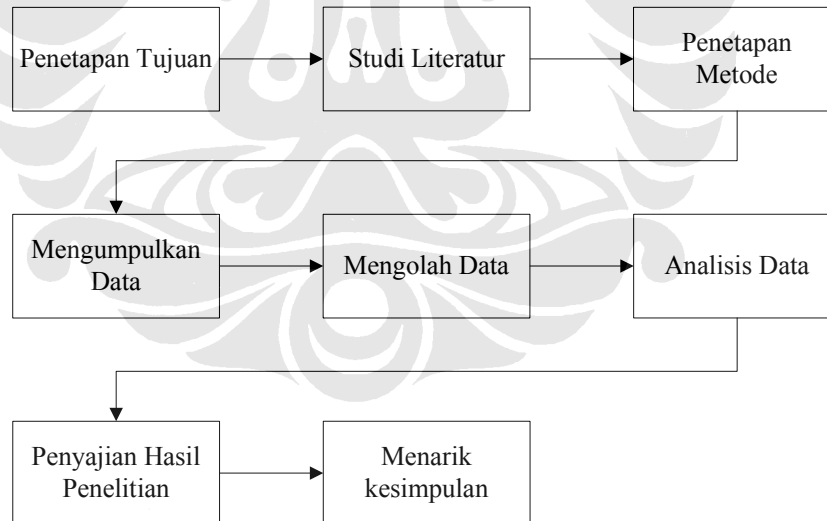
Keterangan:

[ - - - ] : Variabel penelitian

## 2.8. Tahapan Penelitian

Urutan kerja penelitian ini adalah:

1. Menetapkan tujuan penelitian.
2. Berdasarkan tujuan penelitian, maka dilakukan studi literatur mengenai teori dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan tujuan penelitian.
3. Selanjutnya adalah menetapkan metode penelitian sebagai acuan pengumpulan data dan analisis data.
4. Setelah menetapkan metode, maka dilakukan pengumpulan data, kemudian mengolah data dan selanjutnya melakukan analisis terhadap hasil pengolahan data.
5. Hasil pengolahan data disajikan dalam pembahasan.
6. Terakhir adalah menarik kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian berdasarkan hasil pembahasan.



Gambar 6. Tahapan Penelitian