

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 PEMODELAN SISTEM

2.1.1 Definisi Sistem

Pengertian sistem sangat luas, tergantung pada latar belakang cara pandang orang dalam mengartikan sistem itu sendiri. Secara umum, sistem adalah kumpulan obyek-obyek yang saling berinteraksi dan berkerja bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu dalam lingkungan yang kompleks [Togar M Simatupang, *Teori Sistem Suatu Prespektif Teknik Industri*, h.7]. Obyek yang dimaksud adalah bagian-bagian dari sistem, seperti input, proses, output, pengendalian umpan balik, dan batasan-batasan, dimana ssetiap bagian ini mempunyai beberapa nilai atau harga yang bersama-sama menggambarkan keadaan sistem pada suatu saat tertentu.

Sistem dapat pula diartikan sebagai suatu koleksi yang saling berinteraksi, konsisten, dan merupakan mekanisme interreliant yang mempengaruhi keseluruhan struktur sistem (Deaton dan Winebrake, 2000). Definisi tentang sistem mencakup lima unsur utama yang terdapat dalam sistem, yaitu :

1. Elemen-elemen atau bagian-bagian
2. Adanya interaksi atau hubungan antar elemen-elemen atau bagian-bagian
3. Adanya sesuatu yang mengikat elemen-elemen atau bagian-bagian tersebut menjadi suatu kesatuan
4. Terdapat tujuan bersama, sebagai hasil akhir
5. Berada dalam suatu lingkungan kompleks

2.1.2 Definisi Model

Model didefinisikan sebagai sebuah fungsi tujuan dengan batasan-batasan yang diekspresikan dalam bentuk variabel keputusan (alternatif) dari masalah tersebut. Model dapat juga didefinisikan sebagai sebuah abstraksi dari sistem nyata yang diasumsikan, lalu mengidentifikasi hubungan yang sesuai dalam sistem tersebut dalam bentuk tujuan dan sekelompok batasan. (Taha, Hamdy A. *Riset Operasi*, hal 4)

Model adalah abstraksi atau penyederhanaan realitas sistem yang kompleks dimana hanya komponen-komponen yang relevan atau faktor-faktor yang dominan dari masalah yang dianalisa diikutsertakan (Sri Mulyono, *Operations Research*, hal 4). Karena sebuah model adalah suatu abstraksi realitas, ia akan tampak kurang kompleks dibanding realitas. Model itu, untuk menjadi lengkap, harus mencerminkan semua aspek-aspek realitas yang mulai diteliti.

2.1.3 Jenis – Jenis Model

Model dapat diklasifikasikan dalam banyak cara, misalnya menurut jenisnya, dimensinya, tujuannya, subyeknya, atau derajat abstraksinya. Kriteria yang paling biasa adalah jenis model. Jenis dasar itu meliputi : *iconic (physical)*, *analogue (diagramatic)*, dan *symbolic (mathematical)*.

1. *Iconic (Physical) Model*

Model iconic adalah suatu penyajian fisik yang tampak seperti aslinya dari suatu sistem nyata dengan skala yang berbeda. Contoh model ini adalah mainan anak-anak, potret, histogram, maket dan lain-lain. Model iconic dikatakan diperkecil (*scale down*) atau diperbesar (*scale up*) sesuai dengan ukuran model apakah lebih kecil atau lebih besar dibanding sistem nyata. Misalnya, dalam Biologi struktur dari suatu sel mungkin diilustrasikan dengan memperbesar model iconic untuk tujuan pengajaran. Model iconic mudah untuk mengamati, membangun, dan menjelaskan, tetapi sulit untuk memanipulasi dan tak berguna untuk tujuan peramalan. Biasanya model ini menunjukkan peristiwa statik.

2. *Analogue Model*

Adalah lebih abstrak dari model iconic, karena tak kelihatan sama antara model dengan sistem nyata. Contohnya jaringan pipa tempat air mengalir dapat digunakan dengan pengertian yang sama sebagai distribusi aliran listrik. Kurva permintaan, kurva

frekuensi dalam statistik adalah contoh lain model analog dari tingkah laku peristiwa-peristiwa. Model analog lebih mudah untuk memanipulasi dan dapat menunjukkan situasi dinamis. Model ini pada umumnya lebih berguna daripada model iconic karena kapasitasnya yang besar untuk menunjukkan ciri-ciri sistem nyata yang dipelajari.

3. *Mathematical (Symbolic) Model*

Adalah model yang sifatnya paling abstrak. Model ini menggunakan seperangkat simbol matematik untuk menunjukkan komponen-komponen (dan hubungan antar mereka) dari sistem nyata. Model ini dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu, deterministik dan probabilistik. Model deterministik dibentuk dalam situasi penuh kepastian (*certainty*). Keuntungan model ini adalah bahwa ia dapat dimanipulasi dan diselesaikan lebih mudah. Model probabilistik meliputi kasus-kasus dimana diasumsikan ketidakpastian (*uncertainty*). Meskipun penggabungan ketidakpastian dalam model dapat menghasilkan suatu penyajian sistem nyata yang lebih realitas, model ini umumnya lebih sulit untuk dianalisa.

2.1.4 Tahapan Pembuatan Model

Pembentukan model yang cocok terhadap suatu masalah dapat dipisahkan menjadi beberapa tahap, yaitu sebagai berikut :

1. Merumuskan masalah

Sebelum solusi terhadap suatu persoalan dipikirkan, pertama kali suatu definisi persoalan yang tepat harus dirumuskan. Dalam perumusan masalah ini ada tiga pertanyaan penting yang harus dijawab:

- a. Variabel keputusan yaitu unsur-unsur dalam persoalan yang dapat dikendalikan oleh pengambil keputusan. Ia sering disebut sebagai instrumen.
- b. Tujuan (*objective*). Penetapan tujuan membantu pengambil keputusan memusatkan perhatian pada persoalan dan pengaruhnya terhadap organisasi. Tujuan ini diekspresikan dalam variabel keputusan.
- c. Kendala (*constraint*) adalah pembatas-pembatas terhadap alternatif tindakan yang tersedia.

2. Pembentukan model

Sesuai dengan definisi persoalannya, pengambil keputusan menentukan model yang paling cocok untuk mewakili sistem. Model merupakan ekspresi kuantitatif dari tujuan dan kendala-kendala persoalan dalam variabel keputusan. Jika model yang dihasilkan cocok dengan salah satu model matematis yang biasa (misalnya linier), maka solusinya dapat dengan mudah diperoleh dengan program linear. Jika hubungan matematik model begitu rumit untuk penerapan solusi analitik, maka suatu model probabilitas mungkin

lebih cocok. Penggunaan model tergantung pada sifat-sifat dan kerumitan sistem yang dipelajari.

3. Mencari penyelesaian masalah

Penyelesaian masalah sesungguhnya merupakan aplikasi satu atau lebih teknik-teknik ini terhadap model. Seringkali, solusi terhadap model berarti nilai-nilai variabel keputusan yang mengoptimalkan salah satu fungsi tujuan dengan nilai fungsi tujuan lain yang dapat diterima.

4. Validasi model

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam pembentukan model harus absah dan hanya model tertentu saja yang dapat dinilai validasi model tersebut. Suatu metode yang biasa digunakan untuk menguji validitas model adalah membandingkan *performancenya* dengan data masa lalu yang tersedia. Sedangkan secara matematis cara pengujian validitas yang biasanya adalah dengan rumus AME (*Absolute Mean Error*) sebagai berikut :

$$AME = \frac{|S - A_1|}{A_1} \quad \text{dimana : } S = \text{Hasil simulasi skenario}$$

A_1 = Hasil simulasi kondisi aktual

Toleransi yang dapat diterima untuk model valid jika penyimpangan rata-rata antara perilaku simulasi dan perilaku sistem nyata antara 5%-10% (Muhammadi, Erman Aminullah, Budhi Soesilo, *Analisis Sistem Dinamis*, hal 38).

5. Penerapan hasil akhir

Tahap akhir adalah menerapkan hasil model yang telah diuji. Suatu tahap kritis pada tahap ini adalah mempertemukan pembentuk model dengan mereka yang bertanggung jawab terhadap pelaksana sistem.

Philips, Ravindran dan Solberg (1976) mengingatkan sepuluh prinsip dalam pembentukan model, yaitu (Sri Mulyono. *Operations Research*, hal 6) :

1. Jangan membuat model yang rumit jika yang sederhana akan cukup
2. Hati-hati dalam memecahkan model, jangan membuat kesalahan matematik.
3. Hati-hati dalam perumusan masalah, agar disesuaikan dengan teknik penyelesaian.
4. Pastikan kecocokkan model sebelum diputuskan untuk diterapkan.
5. Model jangan sampai keliru dengan sistem nyata.
6. Jangan membuat model yang terlalu banyak.
7. Hati-hati dengan model yang terlalu banyak.
8. Pembentukan model itu sendiri hendaknya memberikan beberapa keuntungan.
9. Sampah masuk, sampah keluar artinya nilai suatu model lebih baik dari pada datanya.
10. Model tidak dapat menggantikan pengambil keputusan.

2.2 SIMULASI

Pengamatan uji coba ini sama dengan pengamatan proses yang sesungguhnya. Untuk mengetahui bagaimana proses yang sesungguhnya akan bereaksi terhadap perubahan tertentu, kita dapat merekayasa perubahan itu dalam model dan mensimulasikan reaksinya. Sebagai contoh, dalam merancang sebuah pesawat terbang si perancang dapat memecahkan berbagai hitungan aerodinamika dengan sebuah model pesawat, atau bila hitungannya sangat sulit untuk dipecahkan, model skala dapat dibuat dan tingkah lakunya dapat diamati dalam lorong percobaan. Dalam simulasi kita buat model matematik yang tidak dapat memberi pemecahan analitik dan mengerjakannya berdasarkan data uji coba untuk mensimulasi tingkah laku sistem.

2.2.1 Definisi Simulasi

Simulasi merupakan prosedur kuantitatif yang menggambarkan suatu proses dengan mengembangkan modelnya dan menerapkan serangkaian uji coba terencana untuk memprediksikan tingkah laku proses sepanjang waktu (Richard I Levin, *Pengambilan Keputusan secara kuantitatif*, Hal 557). Atau definisi lainnya yaitu, simulasi merupakan suatu kumpulan tentang metode dan aplikasi untuk meniru perilaku sistem yang sesungguhnya, biasanya melalui sebuah komputer dengan menggunakan software yang sesuai (W David Kelton, *Simulation With Arena*, Hal 3).

Jadi sistem yang sedang kita amati melalui simulasi dapat dievaluasi tingkah lakunya ataupun performanya. Analisa dapat dilakukan untuk sistem yang baru tanpa harus membangunnya atau merubah sistem yang telah ada tanpa mengganggu operasi dari sistem tersebut.

Simulasi ialah suatu teknik yang dapat digunakan untuk memformulasikan dan memecahkan model-model dari golongan yang luas (Roger G Schroeder, *Manajemen Operasi*, edisi ketiga, Hal 227). Golongan atau kelas ini sangat luasnya sehingga dapat dikatakan jika semua cara yang lain gagal, maka cobalah simulasi. Model-model simulasi termasuk permainan bisnis (*business games*), simulator analog dan simulator penerbangan, menggambarkan suatu situasi yang nyata dalam istilah-istilah suatu model.

Pada umumnya simulasi digunakan untuk model-model dinamis yang melibatkan periode waktu ganda. Model-model simulasi dinamis bertambah atau meningkat dari satu periode waktu atau satu peristiwa ke periode waktu atau peristiwa berikutnya sesuai dengan berkembangnya situasi dari waktu ke waktu. Dengan cara ini, pengaruh keputusan yang berturut-turut dapat dievaluasi.

Simulasi digunakan dalam situasi dimana sangat mahal atau sangat sulit untuk melakukan percobaan dalam situasi yang nyata. Simulasi seringkali digunakan dalam pemecahan antrian yang memiliki pola kedatangan, distribusi pelayanan atau lini disiplin yang sangat sulit.

2.2.2 Alasan Menggunakan Simulasi

Sebagian alasan mengapa analisis sering menggunakan simulasi untuk memecahkan persoalan manajemen ialah (Thomas J. Kakiay, *Pengantar Sistem Simulasi*, hal 3). :

1. Simulasi merupakan satu-satunya metode yang tersedia karena lingkungan yang sesungguhnya sulit diamati.
2. Tidak mungkin mengembangkan pemecahan analitik.
3. Pengamatan sistem yang sebenarnya sangat mahal.
4. Tak ada waktu yang cukup untuk memungkinkan sistem bekerja secara ekstensif.
5. Operasi dan pengamatan sistem sangat mengganggu.

2.2.3 Kelemahan Simulasi

Penggunaan simulasi sebagai pengisi kekosongan teknik lain yang lebih baik, seperti apapun juga, mengandung sejumlah kelemahan dan kita harus menyadari kekurangan-kekurangan dalam pendekatan simulasi tersebut, antara lain :

1. Simulasi tidak persis. Ia bukan proses optimasi dan tidak menghasilkan jawaban tetapi hanya memberikan suatu kumpulan tanggapan sistem atas berbagai kondisi operasi. Kelemahan ini sendiri sulit untuk diukur.
2. Model simulasi yang bagus mungkin sangat mahal. Sering diperlukan waktu bertahun-tahun untuk mengembangkan model perencanaan usaha yang berguna.

3. Tidak semua situasi dapat dievaluasi dengan menggunakan simulasi. Hanya situasi yang melibatkan ketidakpastian dan tanpa komponen acak yang dapat disimulasikan.
4. Simulasi memberi suatu cara evaluasi pemecahan tetapi tidak memberi teknik pemecahan. Manajer harus mencari sendiri pendekatan pemecahan yang mereka ingin uji.

2.2.4 Langkah-langkah Dalam proses Simulasi

Semua simulasi efektif memerlukan sejumlah langkah perencanaan dan organisasi. Meskipun simulasi bervariasi kerumitannya dari suatu situasi ke situasi yang lain. Pada umumnya anda harus melalui langkah-langkah seperti dibawah ini (Thomas J. Kakiay, *Pengantar Sistem Simulasi*, hal 14) .:

1. Menentukan persoalan atau sistem yang hendak disimulasikan.
2. Formulasikan model yang akan anda gunakan.
3. Identifikasikan dan kumpulkan data yang diperlukan untuk menguji model.
4. Ujilah model, bandingkan tingkah lakunya dengan tingkah laku lingkungan persoalan yang sesungguhnya.
5. Lakukan simulasi.
6. Analisislah hasil simulasi dan bila diinginkan, ubahlah pemecahan yang anda evaluasi.
7. Lakukan kembali simulasi untuk menguji pemecahan baru.

8. Validitaskan simulasi, yaitu memperbanyak perubahan dan menyimak pengaruhnya guna memprediksikan situasi yang sesungguhnya.

2.3 SISTEM DINAMIKA

2.3.1 Definisi

Sistem dinamika dapat digambarkan sebagai suatu cara berpikir tentang sistem sebagai jaringan yang saling berhubungan yang mempengaruhi sejumlah komponen yang telah ditetapkan dari waktu ke waktu. Sistem dinamika menerapkan prinsip feedback yang memerlukan pertukaran informasi antar berbagai komponen dari sistem tersebut. Dengan kata lain, sistem dinamika adalah suatu cara pengkonsepan dunia nyata dalam kaitan dengan hubungan antara berbagai unsur-unsurnya .

Sistem dinamika sebagai bidang studi diusulkan oleh Jay Forrester dari Massachusetts Institut teknologi (MIT), Amerika pada tahun 1960an. Sistem dinamika mempunyai sejarah panjang dalam penggunaan secara luas dalam bidang yang berbeda seperti biologi, ekologi, dan ilmu pengetahuan bisnis.

Sistem dinamika terdiri dari 2 kata yaitu sistem dan dinamika. Dinamika dapat didefinisikan sebagai tingkat derajat yang menggambarkan perubahan apapun dari waktu ke waktu. Sebagai contoh, dalam sistem hydrologic, air diperlihatkan dalam format berbeda dalam berbagai komponen yang menyangkut siklus hydrologic sebagai uap di

udara, sebagai partikel yang dipadatkan di awan dan sebagai embun di perkebunan.

Kehadiran air dalam berbagai tingkat lithosfer dan komponen atmosfer hanya memiliki sedikit arti jika hanya dilihat pada air yang beredar di permukaan bumi. Jika komponen dari sistem lithospheric dan yang berada di angkasa bekerja sama, hal tersebut akan dapat menjelaskan karakteristik keseluruhan dari siklus hydrologic. Air dari tanah menguap dan berwujud padat sebagai awan. Manakala awan menjadi penuh, air kembali ke bumi dalam bentuk hujan.

Meskipun begitu, ketika kemarau, tidak ada air yang bergerak dari tanah ke atmosfer, sehingga membentuk pembatasan dalam siklus hydrologic itu. Hubungan pembatasan tersebut dikenal sebagai feedback, yang merupakan sebuah sistem sederhana yang dikenal sebagai hydrologic atau siklus air,

Karena sistem sedang beralih dan dinyatakan sebagai sistem dinamis. Karenanya, sistem dinamika adalah suatu teknik pengonsepan struktur sistem di mana komponen dari sistem dihubungkan sedemikian rupa sehingga membentuk feedback pengulangan, yang mewakili keseluruhan perilaku dari sistem.

2.3.2 Sejarah

Sistem dinamika ditemukan pada tahun 1950-an oleh Jay W. Forrester dari *MIT Sloan School of Management* dengan penetapan dari

MIT System Dynamics Group. Pada waktu itu, ia mulai menerapkan apa yang ia telah pelajari tentang sistem selama dia bekerja di teknik elektrik dari macam sistem sehari-hari, menentukan tanggal yang pasti dari pendirian bidang sistem dinamika adalah sulit dan melibatkan tingkat arbitrariness tertentu. Jay W. Forrester bergabung fakultas dari Sekolah Sloan pada MIT pada tahun 1956, di mana ia kemudian mengembangkan apa yang kini tentang sistem dinamika. Artikel yang diterbitkan pertama oleh Jay W. Forrester di *Harvard Business Review* tentang "Dinamika perusahaan", diterbitkan tahun 1958. Anggota Masyarakat Sistem Dinamika sudah memilih 1957 untuk menandai kesempatan karena itu adanya tahun di mana pekerjaan yang mendorong ke arah artikel itu, yang mana diuraikan dinamika suatu pabrikasi rantai persediaan, telah dilaksanakan.

2.3.3 Feedback dan Causal Loops: Komponen model Sistem Dinamika yang penting

Prinsip feedback membutuhkan pertukaran informasi antar komponen yang berbeda, karena hal itu menentukan keseluruhan perilaku dari sistem dan memberikan solusi yang lebih sederhana ke permasalahan nonlinier kompleks. Simulasi sistem dari waktu ke waktu membantu dalam pemahaman sistem dan batasan-batasannya, mengidentifikasi variabel kunci, mewakili proses alam atau variabel melalui hubungan matematis, dan pemetaan struktur dari model. Konsep

feedback menggaris bawahi perilaku dinamis dari pembahasan sistem. Loops feedback dapat diperlakukan sebagai sistem hubungan feedback. Loops feedback adalah hubungan yang dapat meningkatkan kemampuan pencapaian tujuan. Suatu contoh feedback dalam batas ilmu tata air adalah adanya permukaan lahan yang mempengaruhi jumlah air yang mampu masuk ke dalam lahan tersebut. Pengonsepan yang sederhana ini telah membuat sistem dinamika sebagai suatu alat efektif untuk pendidikan dan pelajaran batas ilmu tata air.

Dari pembahasan diatas, dapat disimpulkan bahwa sistem dinamika dan *system thinking* :

1. Menekankan keseluruhan system dari variable-variabel yang saling berhubungan.
2. Menggambarkan circular feedback (sebagai contoh, X mengarah ke Y, yang mengarah ke Z, yang mengarah balik ke X) dibanding linear cause and effect (X mengarah ke Y, yang mengarah ke Z, yang mengarah ke A,... dan seterusnya), dan
3. Menguraikan perilaku sistem, seperti penguatan proses (suatu feedback flow yang mengidentifikasi adanya pertumbuhan yang bersifat exponen atau collapse) dan menjaga keseimbangan proses (suatu feedback flow yang mengontrol perubahan dan membantu pemeliharaan stabilitas sistem).

Bentuk dari *system thinking* dan *feedback loops* untuk sistem manapun yang dilaksanakan digambarkan dengan penggunaan suatu sket grafis yang disebut diagram *causal loops*. Diagram ini meliputi unsur-unsur (*system process descriptors*) dan panah, yang dikenal sebagai mata rantai causal, yang menghubungkan berbagai unsur-unsur bersama-sama seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Diagram Causal Loops juga meliputi tanda (+ atau -) pada masing-masing mata rantai.

Tanda ini mempunyai maksud/arti sebagai berikut :

1. Hubungan causal antara satu unsur A dengan unsur B secara positif, jika perubahan A juga menyebabkan perubahan B, perubahan ini bersifat bersamaan, artinya jika A meningkat maka menyebabkan peningkatan B atau sebaliknya jika terjadi penurunan A maka akan menyebabkan penurunan B pula, hubungan ini disebut *same direction*.
2. Hubungan causal antara satu unsur A dengan unsur B secara negative. Hampir sama dengan hubungan positif, tetapi hubungan ini terbalik, artinya jika terjadi peningkatan terhadap unsur A maka menyebabkan penurunan unsur B dan sebaliknya, jika terjadi penurunan A maka menyebabkan peningkatan B. hubungan ini disebut juga dengan *opposite direction*.

Reinforcing and Balancing Feedback Loops

Feedback loops sebagai sirkuit tertutup dari hubungan antar variable dan sebagai sekuen dari sebab akibat yang mutual. Hubungan antara variable diperlihatkan dengan Same (S/+) dan Opposite (O/-), menggambarkan bagaimana variable saling mempengaruhi. Hubungan variable yang digambarkan dalam *Causal Loop Diagrams* (CLD) diibaratkan sebagai peta yang sederhana dan tertutup.

Feedback positif, juga dikenal sebagai *reinforcing feedback*, perubahan kapan saja pada suatu titik loop feedback akan bekerja secara berulang untuk menguatkan atau memperkuat suatu perubahan kearah asal. Sistem yang mempunyai feedback positif cenderung tidak terkendali. Sedangkan feedback negatif, menetralkan feedback pada setiap perubahan kedalam keadaan semula. Sistem yang mempunyai feedback negatif self.regulating akan selalu dalam keadaan terkontrol. Kebanyakan sistem alami mempunyai feedback negative.

Balancing Loop

Balancing loops merupakan penyeimbang dari reinforcing dan bersifat untuk mengendalikan dan mengembalikan sistem pada keadaan semula. Seperti sudah dipaparkan diatas bahwa reinforcing menjadikan loops tidak stabil, proses balancing umumnya mempunyai arah yang berlawanan dengan hal tersebut. Pada CLD balancing dinamakan dengan "B", pada proses ini selalu terdapat tujuan inherent, walau tujuan ada atau

tidak. Kenyataannya bahwa balancing loops adalah gap antara tujuan (level yang diinginkan) dengan level kenyataan.

Cara visual untuk mendeteksi balancing loops adalah dengan menghitung jumlah link pada CLD. Sejumlah Opposite atau O yang ganjil mengidentifikasi struktur balancing

Delay

Banyak struktur sistem, delay akan memainkan peranan penting yang tersembunyi. Delay bisa baik atau buruk, hal ini tergantung bagaimana kita manusia mengarahkannya untuk menentukan apakah mereka menyebabkan masalah atau tidak. Ada beberapa cara sehingga kita dapat mengetahui delay, kita dapat melihat feedback dalam waktu lama, menghitung proses untuk memutuskan bagaimana respon hasilnya.

Gambar 2.1 adalah contoh klasik menyangkut penggunaan causal-loop diagram ke pengkonsepkan model keseimbangan air dalam kerangka sistem dinamika. Curah hujan digolongkan dalam kelompok available water. Air yang masuk ke dalam tanah digolongkan dalam soil water storage. Kemudian air tersebut meresap ke tanah dan digolongkan dalam groundwater storage. Peningkatan kuantitas air di soil water storage akan meningkatkan kejenuhan lahan, yang kemudian akan meningkatkan evapotranspiration dan kemudian akan cenderung mengurangi kuantitas air semula dalam soil water storage. Ini adalah suatu feedback loop penetral yang akan menstabilkan soil water storage. Dengan

meningkatnya kuantitas air di soil water storage maka akan menurunkan kapasitas perembesan lahan, yang mengakibatkan bahwa sebagian kecil air akan menuju ke soil matrix. Sebaliknya, jika soil matrix jenuh, maka akan ada aliran overland, yang akan mengurangi kapasitas air untuk merembes ke lahan. Ini adalah contoh open loop, yang berlaku pada kasus kegagalan system. Hal yang patut dicatat dari model sederhana ini bahwa open loop lebih kurang bertanggungjawab untuk banjir pada system keseimbangan air di alam cenderung untuk menstabilkan dirinya sendiri.



Gambar 2.1 Contoh Causal Loop Diagram Daur Air Sederhana

2.3.4 Proses Model Berdasarkan Sistem Dinamika

2.3.4.1 Building blocks dari model Sistem Dinamika

Pemodelan berdasarkan sistem dinamika berbeda dari pendekatan model tradisional. Fokus model sistem dinamika lebih spesifik dan lebih dapat dipraktekkan pada penyelesaian masalah.

Model sistem dinamika dikomposisikan dari 5 unsur fundamental building blocks dan fungsi ini digunakan untuk membangun model rumit sebaik seperti model sederhana dengan pendekatan sistem dinamik.

Adapun 5 unsur tersebut yaitu sebagai berikut :

1. Level

Level digambarkan dengan persegi pada Tabel 2.1 menunjukkan variable yang dapat terakumulasi pada suatu waktu. Substansi ini dapat menurun menjadi nilai minimum 0. Level dapat disimbolkan dengan :

- obyek secara fisik, seperti jumlah warga atau pekerja di sebuah komunitas, kelembaban lahan, reservoir air, dan keseimbangan bank (Ford, 1999)
- obyek secara non fisik seperti emosi (e.g., kemarahan). Untuk memutuskan variabel yang dapat dinyatakan sebagai level, adalah penting untuk mengidentifikasi variabel dalam sistem berapa nilai waktu ditentukan jika arus dihentikan. Sebagai contoh, di suatu saat, ada sejumlah air dalam reservoir. Oleh karena itu, reservoir dapat diwakili oleh level dalam model sistem dinamika. Level lebih dinyatakan sebagai variabel tetap ketika mereka memiliki kemampuan reflek untuk merubah kebekuan sistem pada saat itu (Gillespie, *"Design Safe System : Using System Dynamics to Understand Complexity"*, 2004).

2. flow / aliran

Flow ditunjukkan oleh lingkaran dengan keran kecil (awan) panah yang dihubungkan ke dan keluar level. Flow menyatakan tindakan yang meningkatkan atau mengurangi nilai stock. Dengan kata lain, flow menandakan beberapa aktivitas berkelanjutan dalam sistem yang menentukan muatan stock dari waktu ke waktu. Jika suatu simulasi stop, flow, yang menyatakan proses, secara otomatis lenyap. awan pada flow menyatakan source atau sink. Jika panah menunjukkan ke awan, maka itu adalah sink. Dan sebaliknya, panah yang menunjuk menjauh dari awan menyatakan awan adalah source. Sebagai contoh, di Gambar 2.1, jika simulasi berhenti, flow seperti rainfall, evapotranspiration, percolation, dan overland flow akan berhenti. aimanapun, akan ada nilai tertentu pada level seperti available water, soil water storage, dan groundwater storage.

3. Auxiliary

Auxiliary dilukiskan oleh lingkaran dan menyatakan tiap modifikasi atau penambahan yang dilakukan pada level dan flow. Mereka seperti kata sifat dalam kalimat, menambahkan klarifikasi dan perbaikan lebih lanjut pada gambar itu. Aturan yang lebih signifikan adalah menentukan tingkat ketika proses dalam system beroperasi. auxiliary adalah unit kalkulasi yang dapat menyatakan variabel sebagai fungsi waktu atau dapat digunakan untuk memasukkan

nilai atau suatu statemen logis. Sebagai contoh, Gambar 2.1 mempunyai satu auxiliary yang bernama infiltration capacity, yang membantu menggambarkan tingkat flow antara available water dan soil water storage.

4. Constanta


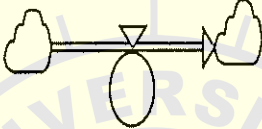

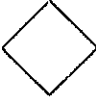
Constanta umumnya merupakan nilai tetap yang menunjukkan suatu input dari level, auxiliary yang dihubungkan dengan link.

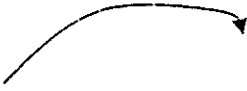
5. Link

Link menyatakan koneksi antar semua komponen (stock, arus, dan auxiliary) dari suatu sistem. Hubungan ini pada umumnya dinyatakan dalam kaidah matematis. Arrowheads menandai arah mata rantai. Di Gambar 2.1, auxiliary (infiltration capacity) dihubungkan ke flow (infiltration) dan level (soil water storage) dengan konektor. Arah arrowheads menunjukkan bahwa pada setiap waktu selama simulasi, soil water storage mempengaruhi kapasitas infiltration, yang kemudian mempengaruhi proses infiltration. Detil lebih lanjut tentang operasi dari fungsi dapat ditemukan di Ford (1999).

5 (lima) unsur fundamental tersebut memiliki simbol tersendiri dalam penggambaran sehingga mudah untuk dipahami, yaitu dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1. Building Blocks dari Model Sistem Dinamika

Nama	Deskripsi	Simbol	Keterangan
Level	komponen sistem dimana sesuatu terakumulasi. Isi dari reservoir atau level mungkin naik atau Turun seiring waktu.		Level adalah penghimpun, menerima arus masukan dan/atau arus pengiriman keluaran dari waktu ke waktu
Flows	Aktivitas yang menentukan nilai reservoir atau level		flow menandakan beberapa aktivitas berkelanjutan dalam sistem yang menentukan muatan stock dari waktu ke waktu
Auxiliary	sistem yang menentukan tingkat proses beroperasi dan reservoir/level berubah		nilai dari auxiliary dihitung oleh ungkapan matematik, boleh melibatkan operator, fungsi, nilai-nilai harafiah, dan acuan ke variabel pada model
Constanta	Variabel dasar yang merupakan nilai tetap atau tidak bervariasi, kecuali ada input kontrol		constanta paling sering digambarkan dengan memasuki literal/harafiah (array atau jumlah) sebagai ungkapan melukiskan variabel itu.

Link	Penentuan hubungan cause effect antara komponen yang berbeda dari sistem.		Link dihubungkan ke auxiliary yang menginformasikan POWERSIM bahwa auxiliary adalah bergantung atas variabel yang dihubungkan ke itu
------	---	---	--

2.3.4.2 Proses Modeling di Sistem Dinamika

Proses model sistem dinarnika adalah berawal pada suatu iterative di mana model dibangun menurut kompleksitas seperti perilaku nyata dari sistem sesungguhnya. Proses modeling sistem dinamika dapat dibagi menjadi empat langkah yaitu :

1. Konseptualisasi

Langkah yang menentukan sasaran dari masalah. Dasar waktu dan perspektif umum dari masalah untuk pengembangan model. Pada langkah ini, pembuat model mencoba untuk mengembangkan model mental (yaitu, suatu pemahaman dasar manapun operasi fisik di dunia nyata). Model mental adalah suatu prasyarat untuk perumusan formal model sistem dinamika manapun. Konseptualisasi dari analis dapat menyebabkan tertutupnya siklus suatu sistem.

2. Perumusan

Pada langkah ini, persepsi dijabarkan atau diterjemahkan kedalam model. Hal ini penting untuk menentukan parameter dari model. Beberapa parameter mungkin telah mempunyai standar terukur atau nilai-nilai didalam sistem yang tetap, walaupun dimungkinkan ada beberapa parameter yang boleh berbeda.

3. Pengujian

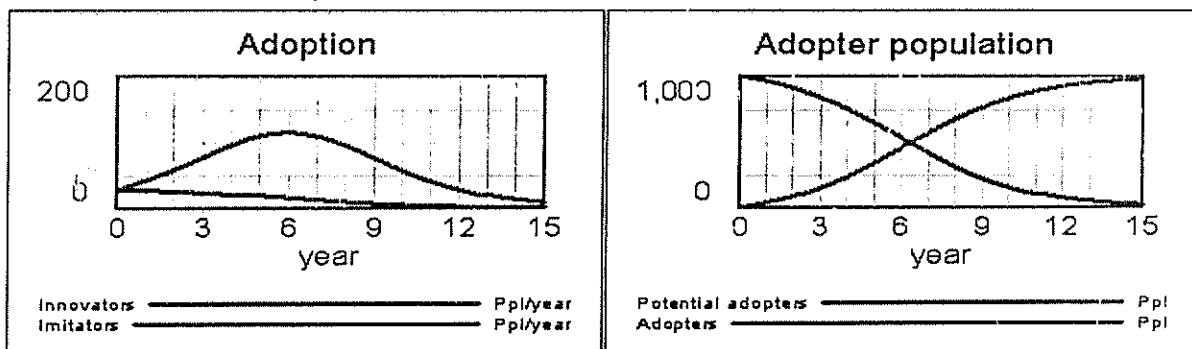
Setelah identifikasi parameter model maka langkah selanjutnya adalah menetapkan mutu dari model dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari model dengan data riil. Prosedur ini adalah juga dikenal sebagai kalibrasi, langkah ini akan mengidentifikasi poin-poin yang lemah didalam feedback dan kemungkinan kesalahan manafsirkan teori sistem dinamika.

4. Implementasi

Implementasi diarahkan untuk stakeholders dalam penggunaan model. Perbedaan skenario atau kebijakan dari masalah dalam pembahasan diuji di pada langkah ini.

2.3.4.3 Hasil Simulasi Sistem Dinamika

Hasil simulasi pada contoh di bawah ini menunjukkan bahwa perilaku dari sistem akan mempunyai pertumbuhan pada pengadopsi yang mengijinkan gambaran kurva klasik peningkatan pengadopsi.



Sumber : <http://ww.wikipedia.org>, "about system dynamics"

Gambar 2.2 Hasil simulasi dari produk baru yang diadopsi

2.4 STUDI KELAYAKAN

Studi kelayakan proyek merupakan suatu studi untuk menilai proyek yang akan dikerjakan di masa mendatang. Penilaian di sini tidak lain adalah memberikan rekomendasi apakah sebaiknya proyek yang bersangkutan layak dikerjakan ataukah sebaiknya ditunda dulu. Mengingat kondisi di masa mendatang penuh ketidakpastian, maka studi yang dilakukan tentunya meliputi berbagai aspek dan membutuhkan pertimbangan-pertimbangan tertentu untuk memutuskannya.

Jika proyek yang akan dilakukan merupakan proyek investasi yang berorientasi laba, maka studi kelayakan proyek yang dimaksud adalah studi atau penelitian dalam rangka untuk menilai layak tidaknya proyek investasi yang bersangkutan dilakukan dengan berhasil dan menguntungkan secara ekonomis. Sementara itu jika proyek yang akan dilakukan merupakan proyek investasi yang tidak berorientasi laba seperti proyek investasi untuk lembaga-lembaga social maka studi kelayakan proyek yang dilakukan adalah suatu studi tentang layak tidaknya proyek

tersebut dikerjakan dan dilaksanakan tanpa mempertimbangkan keuntungan secara ekonomis. Semakin sederhana proyek yang akan dilaksanakan, semakin sederhana pula lingkup penelitian yang akan dilakukan.

Pada umumnya studi kelayakan akan menyangkut tiga aspek, yaitu:

1. Manfaat ekonomis proyek tersebut bagi proyek itu sendiri (sering juga disebut sebagai manfaat finansial). Yang berarti apakah proyek itu dipandang cukup menguntungkan apabila dibandingkan dengan risiko proyek tersebut.
2. Manfaat ekonomis proyek tersebut bagi negara tempat proyek itu dilaksanakan (sering disebut manfaat ekonomi nasional). Yang menunjukkan manfaat proyek tersebut bagi ekonomi makro suatu Negara.
3. Manfaat sosial proyek tersebut bagi masyarakat sekitar proyek tersebut. Ini merupakan studi yang relative paling sulit untuk dilakukan.

Dalam studi kelayakan, hal-hal yang perlu diketahui adalah :

1. Ruang lingkup kegiatan proyek, di sini perlu dijelaskan/ditentukan bidang-bidang apa saja proyek akan beroperasi.
2. Cara kegiatan proyek dilakukan, di sini ditentukan apakah proyek akan ditangani sendiri atau akan diserahkan pada pihak lain. Siapa yang akan menangani proyek tersebut

3. Evaluasi terhadap aspek-aspek yang menentukan berhasilnya seluruh proyek, di sini perlu diidentifikasi faktor-faktor kunci keberhasilan usaha semacam ini.
4. Sarana yang diperlukan oleh proyek.
5. Hasil kegiatan proyek tersebut, serta biaya-biaya yang harus ditanggung untuk memperoleh hasil tersebut.
6. Akibat-akibat yang bermanfaat maupun yang tidak dari adanya proyek tersebut.
7. Langkah-langkah rencana untuk mendirikan proyek, beserta jadwal dari masing-masing kegiatan tersebut, sampai dengan proyek investasi siap berjalan.

Tujuan dan manfaat Studi Kelayakan :

Tujuan utama dilakukan studi kelayakan proyek adalah untuk menghindari keterlanjuran investasi yang memakan dana relatif besar yang ternyata justru tidak memberikan keuntungan secara ekonomi.

Adapun manfaat yang diharapkan dengan dilakukannya studi kelayakan proyek adalah memberikan masukan informasi kepada decision maker dalam rangka untuk memutuskan dan menilai alternatif proyek investasi yang akan dilakukan. Disamping itu studi kelayakan diperlukan oleh investor, kreditur dan pemerintah yang memiliki kepentingan berbeda.

Dari sudut pandang ilmu ekonomi, suatu proyek dapat dianalisis untuk ditentukan kelayakannya dengan kelayakan finansial (analisis biaya dan manfaat). Kelayakan finansial dilakukan berdasarkan atas perhitungan laba rugi pemrakarsa kegiatan. Analisis ini lebih populer disebut dengan analisis Benefit Cost Ratio (BCR) yang sangat umum digunakan oleh pemerintah untuk mengevaluasi proyek-proyek pemerintah dan menaksir kemanfaatan proyek terhadap masyarakat umum atau untuk pemerintah sendiri .

Cara ini dilakukan dengan membandingkan total manfaat proyek terhadap total biaya operasi atau ongkos pelaksanaan proyek. Adapun perumusan mencari BCR tersebut adalah:

$$BCR \text{ atau } RMB = \frac{\text{Manfaat Terhadap Umum dan Pemerintah}}{\text{Ongkos yang dikeluarkan Pemerintah}}$$

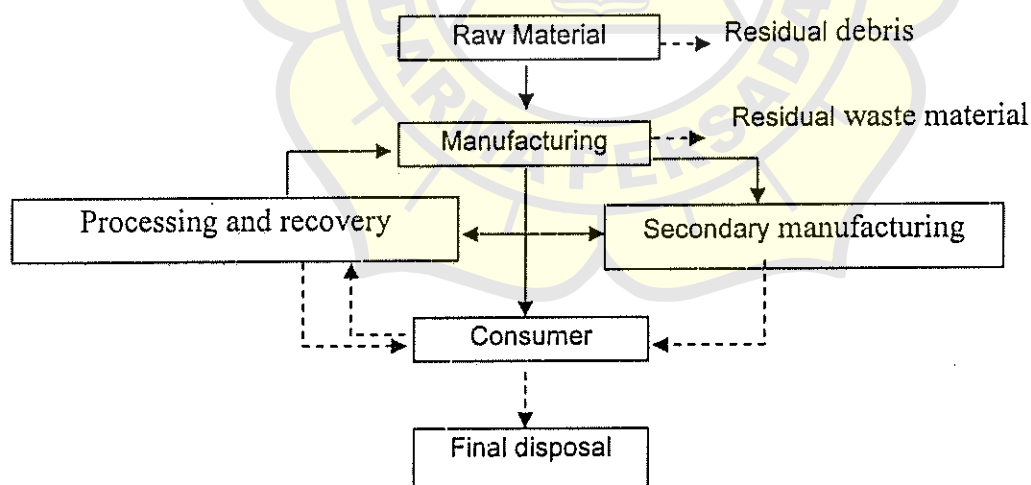
Kriteria Penilaian :

- 1) jika B/C ratio > 1, hal ini berarti bahwa total penerimaan yang akan diperoleh selama umur teknis ekonomis proyek lebih besar dari total biaya + total investasi, sehingga proyek tersebut layak.
- 2) Jika B/C ratio = 1, hal ini berarti bahwa total penerimaan selama umur teknis proyek yang bersangkutan hanya cukup untuk menutupi total biaya + total investasi, sehingga proyek tidak perlu dipertimbangkan untuk dilaksanakan.

- 3) Jika B/C ratio < 1 , hal ini berarti bahwa total penerimaan yang diperoleh selama umur teknis ekonomis proyek yang bersangkutan tidak cukup untuk menutupi total biaya + total investasi selama umur proyek yang bersangkutan, sehingga proyek tersebut tidak layak.

2.5 PERSAMPAHAN

Sampah adalah semua barang atau material sisa yang timbul dari aktivitas industri, manusia dan hewan, yang berbentuk padat, liquid dan gas, dan telah dibuang sebagai sesuatu yang tidak berguna atau dikehendaki lagi (George Tchobanoglous, *Solid Waste*, hal 3). Adapun proses terjadinya sampah digambarkan oleh George Tchobanoglous sebagai berikut :



Gambar 2.3 Proses aliran material dan pertumbuhan sampah

Sampah dapat digolongkan menjadi beberapa jenis berdasarkan sifat sampah yaitu sebagai berikut :

1. Sampah Anorganik (kering dan tidak terurai/undegradable)
Contoh : logam, besi, kaleng, plastik, karet, botol, dan lain - lain yang tidak dapat mengalami pembusukan secara alami.
2. Sampah organik/basah dapat diurai/ degradable
Contoh : Sampah dapur, sampah restoran, sisa sayuran, rempah-rempah atau sisa buah dan lain - lain yang dapat mengalami pembusukan secara alami.

2.4.1 PENGELOLAAN SAMPAH

Pengelolaan sampah dapat didefinisikan sebagai suatu disiplin yang berkaitan dengan pengendalian timbunan, penyimpanan, pengumpulan, pemindahan, pengangkutan, pengolahan dan pembuangan sampah, sedemikian rupa sehingga sesuai dengan prinsip-prinsip dalam kesehatan masyarakat, ekonomi, keteknikan, konservasi, estetika, dan pertimbangan-pertimbangan lingkungan lainnya termasuk tanggap terhadap sikap masyarakat.

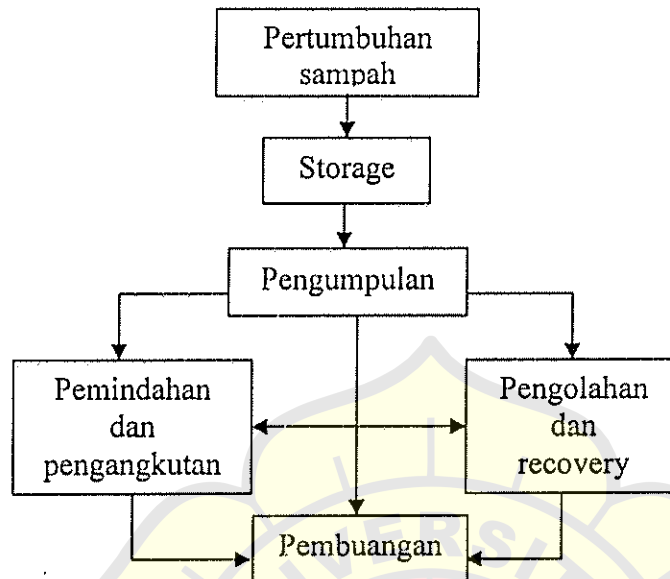
Dari paparan Tchobanoglous mengenai pengelolaan sampah tersebut menjelaskan bahwa ruang lingkup pengelolaan itu mencakup semua aspek yang terlibat dalam keseluruhan spectrum kehidupan masyarakat. Berbagai aspek dimaksud adalah seperti fungsi administrasi, financial, hukum, perencanaan dan fungsi-fungsi keteknikan yang

digunakan untuk menyelesaikan masalah sampah (George Tchobanoglous, *Solid Waste* hal. 20). Penyelesaian masalah sampah juga dapat melibatkan hubungan lintas disiplin yang kompleks antar bidang-bidang ilmu yang politik, perencanaan kota dan regional, geografi, ekonomi, kesehatan masyarakat, sosiologi demografi, komunikasi, konservasi, serta teknik dan ilmu bahan. Selain hal diatas system pengelolaan sampah perkotaan juga dipengaruhi oleh beberapa factor, seperti pada Standar Tata Cara Pengelolaan Sampah Perkotaan, yaitu :

1. Rencana penggunaan lahan.
2. Kepadatan dan penyebaran penduduk.
3. Karakteristik lingkungan fisik, biologi dan social ekonomi
4. Kebiasaan Masyarakat
5. Karakteritik sampah
6. Peraturan-peraturan atau aspek legal nasional dan daerah setempat.
7. Sarana pengumpulan, pengangkutan, pengolahan dan pembuangan
8. Lokasi pembuangan akhir
9. Biaya yang tersedia
10. Rencana tata ruang dan pengembangan kota
11. Iklim dan musim

Tchobanoglous juga berpendapat bahwa pengelolaan sampah terbagi menjadi 6 elemen fungsional, mulai dari timbunan sampah hingga

pembuangan akhir. Hubungan antara elemen-elemen tersebut secara umum dapat dilihat sebagai berikut



Gambar 2.4 Diagram elemen-elemen fungsional dalam system pengelolaan sampah

Karena itu pemanfaatan barang sisa dan juga pengelolaan sampah yang baik akan memberikan dampak positif seperti :

1. Menghemat sumber daya alam
2. Menghemat Energi
3. Mengurangi uang belanja
4. Menghemat lahan TPA
5. Lingkungan asri (bersih, sehat, nyaman)

5.1.2 Pengolahan Sampah

Sampah yang dikumpulkan akan terus terakumulasi, tidak terolah, dan tidak memenuhi syarat kesehatan lingkungan dapat mengakibatkan:

1. Tempat berkembang dan sarang dari serangga dan tikus
2. Menjadi sumber polusi dan pencemaran tanah, air dan udara
3. Menjadi sumber dan tempat hidup kuman-kuman yang membahayakan kesehatan.

Permasalahan yang diakibatkan tersebut perlu dimusnahkan dengan baik. Adapun cara pengelolaan akhir sampah secara sederhana adalah sebagai berikut :

1. Penumpukan

Metode ini merupakan metode paling sederhana diantara yang lain. Pada metode ini sampah tidak dimusnahkan secara langsung namun dibiarkan membusuk menjadi bahan organik. Metode ini paling murah, tetapi menimbulkan penyakit menular, menyebabkan pencemaran terutama bau, kotoran dan sumber penyakit lainnya.

2. Daur Ulang

Untuk mudah didaur-ulang; perlu dirancang ulang agar sesuai dengan sistem daur-ulang atau tahapan penghapusan penggunaan.

Material yang dapat didaur ulang :

- 1) Botol Bekas wadah kecap, saos, sirup, creamer dan lain - lain baik yang putih bening maupun yang berwarna terutama gelas atau kaca yang tebal.
- 2) Kertas, terutama kertas bekas di kantor, koran, majalah, kardus kecuali kertas yang berlapis minyak.

- 3) Aluminium bekas wadah minuman ringan, bekas kemasan kue dan lain - lain.
- 4) Besi bekas rangka meja, besi rangka beton dan lain - lain
- 5) Plastik bekas wadah shampoo, air mineral, jerigen, ember dan lain - lain.
- 6) Sampah basah dapat diolah menjadi kompos

3. Kompos

Cara pengkomposan merupakan cara sederhana dan dapat menghasilkan pupuk yang mempunyai nilai ekonomi. Peneliti dan ahli lingkungan Badan Pengkajian dan Pengembangan Teknologi (BPPT) Henky Sutanto mengatakan sebenarnya sampah rumah tangga bisa diubah menjadi kompos yang berguna untuk tumbuh-tumbuhan di pekarangan rumah sendiri. Sampah basah (organik) bekas makanan-atau minuman sehari-hari dipisahkan dari sampah kering (anorganik) seperti kaleng, plastik, kertas. Sampah basah itu kemudian ditumpuk dalam sebuah lubang kecil di pekarangan rumah. Dalam jangka waktu tertentu bagian paling bawah dalam tumpukan tersebut bisa diangkat kemudian ditebarkan ke tanaman sebagai pupuk kompos. Pengolahan sampah menjadi kompos, yang bisa dimanfaatkan memperbaiki struktur tanah, untuk meningkatkan permeabilitas tanah, dan dapat mengurangi ketergantungan pada pemakaian pupuk mineral (anorganik) seperti urea. Selain mahal, urea juga dikhawatirkan menambah tingkat polusi tanah.