

PEMODELAN *SYSTEM DYNAMICS* PADA PERENCANAAN PENATAAN RUANG KOTA

Raden Darmono

Jurusan Arsitektur Unika Soegijapranata
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan - Semarang 50234
E-mail: rd_drmn@yahoo.com; r-drm@unika.ac.id

Abstrak

Pemodelan system dynamics merupakan salah satu pendekatan untuk proses-proses dalam perencanaan tata ruang kota.

Sebagai bagian dari CBUIM (Capacity Building for Urban Infrastructure Management), mencoba untuk menghasilkan sebuah teknik/sarana baru untuk melakukan analisis kebijakan penataan ruang, dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan instrumen penataan ruang dalam memberikan peringatan dini (early warning), terhadap dampak dari perubahan suatu kota. Teknis/sarana analisis kebijakan penataan ruang tersebut, didekati melalui model dinamika kota.

Permodelan penataan ruang disini, mencoba menawarkan suatu cara pandang yang melihat interaksi antara komponen-komponen perkotaan (penduduk dan sektor-sektor kegiatan yang ada di suatu kota), yang saling berpengaruh satu sama lain dan melahirkan suatu dinamika tertentu, disamping tentunya memiliki dampak terhadap ruang.

Salah satu harapan dalam pengembangan model tersebut, adalah untuk menunjang kegiatan penataan ruang dan memahami kota sebagai suatu yang dinamis dan terkait dengan sistem kota lainnya.

Kata kunci: *pemodelan, system dynamics, penataan ruang kota, interaksi antara komponen perkotaan*

1. Pendahuluan

Sebagai salah satu pendekatan dalam dalam permodelan kebijakan, *methodology system dynamics* telah dan sedang berkembang sejak diperkenalkan pertama kali oleh Jay.W.Forrester pada dekade 50-an. Metodologi ini muncul sewaktu kelompok Jay Forrester melakukan riset di MIT dengan mencoba mengembangkan manajemen industri guna mendesain dan mengendalikan sistem industri (yang merupakan sebuah sistem sosial yang kompleks). Mereka mencoba mengembangkan metode manajemen untuk perencanaan industri jangka panjang. Kemudian mereka mengembangkan suatu sistem yang terdiri atas enam jaringan "flow" yang saling berinteraksi, yaitu: material, order, uang, personil, kapital dan informasi. Sistem ini kemudian diterbitkan dalam bentuk buku pada tahun 1961 dengan judul "*Industrial Dynamics*".

Proyek penelitian besar kedua setelah "*Industrial Dynamics*" yang dilakukan Jay Forrester adalah upaya menjelaskan perkembangan kota yang dipublikasikan dalam buku *Urban Dynamics* (1969). Buku ini mencoba menjelaskan siklus suatu kota melalui model yang dikembangkannya, serta menganalisis beberapa penyebab pertumbuhan dan penurunan dalam perkembangan kota serta menguji efek dari suatu program perbaikan kota, termasuk membangun perumahan untuk masyarakat berpenghasilan rendah, pelatihan kerja serta pembangunan perusahaan-perusahaan baru terhadap pertumbuhan kota.

Bersamaan dengan perkembangan fundasi teoritis, berkembang pula sejumlah *software* yang

ikut mendukung sehingga penggunaan metodologi *System Dynamics* sebagai salah satu pemodelan menjadi lebih efisien. Saat ini berkembang *software-software* yang bukan cuma memudahkan pemakai untuk membangun model, tetapi juga untuk melakukan simulasi dan berbagai uji sensitivitas model, antara lain *ithink/Stella*, *PowerSim* dan *Vensim*.

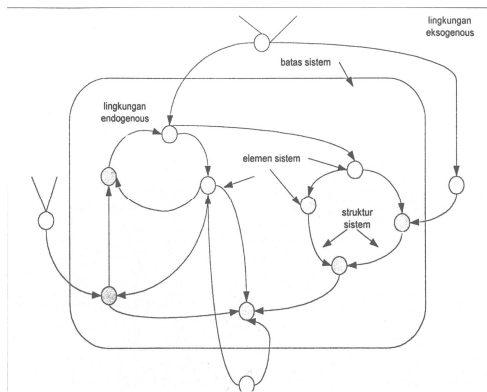
2. Prinsip Dasar *System Dynamics*

a. Analisis Sistem

Dasar metodologi *System Dynamics* adalah analisis sistem. Suatu sistem, diartikan sebagai seperangkat elemen yang saling berinteraksi satu sama lain. Komponen suatu sistem saling berkaitan dengan pola hubungan yang berbeda, sedangkan antara sistem dengan lingkungannya (*system environment*), pola hubungannya sangat terbatas. Suatu sistem dapat terdiri atas beberapa sub-sistem, dimana definisi sistem juga berlaku di dalamnya. Interaksi yang terjadi di dalamnya sepanjang waktu akan mempengaruhi keadaan komponen-komponen sistem. Struktur sistem (*structure system*) ditentukan oleh hubungan antara elemen-elemennya. Batas sistem (*system boundary*), akan memisahkan sistem dari lingkungannya

System Dynamics mencoba untuk menjelaskan perilaku dari berbagai tindakan dalam sebagian sistem. Sistem semacam ini disebut sebagai sistem tertutup (*inherent/closed system*). Hal ini bukan berarti mengabaikan hubungan antara sistem dan lingkungannya, melainkan bahwa setiap variable

eksternal yang tidak memiliki efek terhadap sistem juga tidak akan dipengaruhi oleh sistem itu kembali (ASTRA,1998). Gambar berikut memperlihatkan komponen utama sistem:



Gambar 2.1. Lingkungan Endogeneous dan Eksogeneous dalam Teori Sistem

Dinamika perilaku suatu sistem sangat ditentukan oleh struktur lingkaran umpan balik (*feedback loops*). Pada sistem tertutup terlihat adanya ciri-ciri sifat dinamis dari suatu sistem, oleh karena itu dalam metode *System Dynamics* arah perhatian lebih ditujukan pada sistem tertutup atau sistem umpan balik. Sistem umpan balik ini merupakan blok pembentuk model yang diungkapkan melalui lingkaran-lingkaran tertutup. Lingkaran umpan balik tersebut menyatakan hubungan sebab akibat variabel-variabel yang melingkar, bukan menyatakan hubungan karena adanya koreksi-koreksi statistik

Dalam hubungannya dengan pembentukan struktur model mengikuti metode ilmiah terdahulu, model yang dibangun melalui analisis struktural (berdasarkan pendekatan *system thinking*) dimungkinkan untuk mempunyai titik kontak yang banyak. Dalam paradigma *system thinking*, struktur fisik maupun struktur pengambilan keputusan di atas diyakini dibangun oleh unsur-2 yang saling bergantung dan membentuk suatu lingkaran tertutup (*closed-loop* atau *feedback-loop*). Hubungan unsur-2 yang saling bergantung itu merupakan hubungan sebab-akibat umpan balik dan bukan hubungan sebab-akibat searah (Senge,1990). Lingkaran umpan-balik ini merupakan blok pembangun (*building block*) model yang utama, dan konsep ini telah melekat dalam sebagian besar dasar-2 ilmu sosial dan teori sistem (Richardson,1991)

Terdapat dua macam hubungan kausal, yaitu hubungan kausal “positif” dan hubungan kausal “negatif”. *Umpan balik negatif* merupakan suatu proses untuk mencapai tujuan (*goal seeking*). Feedback ini cenderung menjadi penyeimbang terhadap setiap gangguan dan selalu membawa sistem dalam keadaan yang stabil. Alat pengatur suhu ruangan dengan menggunakan thermostat,

merupakan salah satu contoh umpan balik negatif. Jika temperatur berbeda dengan temperatur optimal, pemanas akan bekerja hingga perbedaan antara temperatur aktual dan yang dikehendaki menjadi nol. *Umpan balik positif* terjadi jika perubahan dalam komponen sistem akan menyebabkan terjadinya perubahan di dalam komponen lainnya yang akan memperkuat proses awalnya. Umpan balik positif merupakan proses yang sifatnya tumbuh. Contohnya adalah antara upah dan harga, merupakan suatu hubungan umpan balik positif. Upah yang tinggi akan menyebabkan kenaikan inflasi, dan inflasi akan menyebabkan kenaikan harga yang pada gilirannya, kenaikan harga akan menyebabkan naiknya upah. Berbeda dengan kebanyakan sistem fisik, sistem sosial merupakan sistem yang sangat kompleks

b. Prinsip Pendekatan Pemodelan System Dynamics

Asumsi utama dalam paradigma *System Dynamics* adalah bahwa tendensi-tendensi yang bersifat *persistent* pada setiap sistem yang kompleks bersumber dari struktur kausal yang membentuk system itu. Keberadaan struktur itu merupakan konsekuensi dari adanya interaksi antara kendala-2 fisik dan tujuan-2 sosial, penghargaan (pujian) dan tekanan yang menyebabkan manusia bertindak laku dan membangkitkan secara kumulatif tendensi-2 dinamik yang dominan dari sistem total secara keseluruhan. *System Dynamics* sendiri memiliki empat fondasi teoritis: teori informasi-feedback, teori keputusan, eksperimen simulasi komputer dan proses penyelesaian model mental. Sebagai Metode yang *computer-oriented*, *System Dynamics* ingin memberikan pemahaman yang lebih baik dan meramalkan berbagai kemungkinan yang akan terjadi pada berbagai jenis sistem sosial. Suatu sistem dipelajari guna mengetahui dinamika non-linier dari perubahan perilaku di dalam sistem. Sebagian besar unsur model merupakan elemen realita dan interrelasi di dalamnya. Pembuatan model *System Dynamics* mengasumsikan bahwa perilaku sistem terutama ditentukan oleh mekanisme *feedback*. Oleh karena itu, setelah mendefinisikan batas sistem (yang dibedakan antara variabel eksternal dan internal), deskripsi *feedback loops* merupakan langkah selanjutnya dalam proses pemodelan *System Dynamics*. Ada lima elemen yang digunakan untuk menggambarkan model *System Dynamics*; dua elemen yang merupakan bangunan *feedback loops*: variabel *level* dan variabel *flow*. Yang lainnya merupakan variabel pelengkap berupa parameter, variabel-2 eksogeneous dan variable antara (*intermediate variables*).

bagaimana perilaku variabel dalam model terhadap waktu.

3.5 Pengujian dan Pengembangan Model

a. Pengujian Model

Setelah model eksplisit suatu persoalan telah dapat diformulasikan, pada langkah ini suatu kumpulan pengujian dilakukan terhadap model untuk menegakkan keyakinan terhadap kesahihan model dan sekaligus pula mendapatkan pemahaman terhadap tendensi-2 internal sistem. Hal ini diperlukan dalam upaya untuk membandingkannya dengan pola referensi dan secara terus menerus memodifikasi dan memperbaiki struktur model. Sensitivitas model terhadap perubahan nilai parameter-2 perlu dilakukan pula dalam langkah ini.

Suatu model secara struktur dapat dikatakan valid, jika model tidak hanya dapat membuat reproduksi perilaku system, akan tetapi juga dapat mengungkapkan bagaimana sistem bekerja menghasilkan perilaku tersebut. Oleh karena itu model dapat dikatakan baik jika model dapat menambah pemahaman terhadap perilaku sistem yang dimaksud, mudah dikomunikasikan dan dapat menolong perbaikan pada sistem tersebut. Dan kadang-2 suatu model dapat juga dikatakan baik jika masih terbuka untuk perbaikan-2.

b. Pengembangan Model

Dalam proses pemodelan melalui tahap-2 konseptualisasi, perumusan, simulasi, dan evaluasi, dalam setiap tahap yang ber-turut-2 tersebut mungkin saja terjadi perumusan kembali dan perbaikan model, dengan cara menghilangkan atau menambah struktur. Tujuan yang utama dari tahap ini adalah untuk memperoleh suatu model yang sesuai dengan sistem yang sebenarnya, sesuai dengan tujuan-2 yang ingin dicapai, dan dapat dimengerti dengan baik. Terdapat beberapa pertimbangan dalam pengembangan dan perumusan kembali model ini, termasuk pengurangan dan pengkayaan hipotesis dinamis, penambahan struktur *feedback*, mengubah konstanta menjadi variabel, menambah kriteria pengujian, dan yang paling penting, kapan untuk berhenti.

3.6 Analisis Kebijakan dan Penggunaan Model

Pada fase keenam proses pemodelan, model yang dapat digunakan untuk menguji berbagai alternatif kebijakan yang mungkin bisa diterapkan dalam sistem yang tengah dikaji. Lebih jauh lagi, analisis mungkin bisa menyelidiki kemungkinan dampak dari berbagai kebijakan yang dipilih. Alternatif kebijakan dalam sistem yang sebenarnya berkaitan dengan salah satu atau kombinasi dari dua jenis manipulasi model, yaitu:

- Perubahan Parameter (termasuk perubahan kecil dalam fungsi tabel)

- Perubahan Struktur (perubahan dalam bentuk atau jumlah persamaan), dan
- Rekomendasi Kebijakan dan Persoalan Validitas. Tujuan akhir dari proses pemodelan adalah menerapkan pandangan yang ada pada model terhadap problem di dunia nyata. Yang diharapkan dari proses pemodelan itu adalah, orang bisa melakukan aktivitasnya dengan baik di masa yang akan datang. Dalam memberikan rekomendasi ada dua persoalan yang perlu dipertimbangkan, yaitu bagaimana *validitas rekomendasi* yang diberikan dan seberapa jauh *rekomendasi kebijakan tersebut bisa diterapkan/diimplementasikan*.

4. Dinamika Kota (*Urban Dynamics*)

Model yang pertama kali muncul untuk menggambarkan dinamika kota dengan menggunakan *system dynamics*, adalah urban dynamics yang disusun oleh Jay W. Forrester. Model ini lebih terfokus kepada komponen-2 yang selalu ditemukan dalam perkembangan dan kemandekan wilayah Perkotaan. Model hanya memasukkan proses-2 yang penting saja dalam penciptaan dan perbaikan kerusakan wilayah Perkotaan. Terdapat tiga subsistem yang dikembangkan dalam *Urban Dynamics*, yaitu: bisnis (industri), perumahan, dan penduduk. Ketiga subsistem tersebut dipilih karena ketiganya muncul menjadi kerangka dinamis dari struktur Perkotaan. Perubahan-2 dalam perumahan, penduduk dan industri adalah proses utama yang terlibat dalam pertumbuhan dan kemandegan. Ketiga variabel tersebut lebih mendasar dibandingkan dengan pemerintahan kota, sosial budaya, atau kebijakan fiskal. Observasi sebuah kota menganjurkan bahwa perubahan-2 yang penting meliputi perubahan penduduk seperti halnya umur struktur perumahan dan penurunan industri.

Pengujian terhadap sistem dan lingkungan yang berdiri sendiri, dapat dikemukakan sebagai berikut: Mekanisasi pertanian dalam sebuah lingkungan dapat meningkatkan tekanan pada kota, tetapi apakah pembangunan kota kumuh mempengaruhi mekanisasi pertanian secara langsung?

Mungkin saja tidak. Sama halnya, cuaca dapat mempengaruhi migrasi, tetapi migrasi tidak mempengaruhi cuaca.

Pada model *Urban Dynamics* ditegaskan bahwa batas dinamis yang tertutup bukan berarti bahwa wilayah perkotaan di-isolasi. Orang-2 datang dan pergi, terjadi perdagangan. Tetapi ini berarti bahwa lingkaran sebab dan akibat tidak mencapai luar dari batas dan kembali. Contohnya: migrasi ke suatu wilayah mempunyai pengaruh dengan terisinya dan berubahnya wilayah tersebut, bukan pengaruh dari wilayah luarnya yang menjadi kosong.

Dengan demikian wilayah perkotaan digambarkan sebagai sebuah kehidupan, sistem kontrol sendiri yang mengatur pergerakan penduduknya ke dan dari lingkungan luar. Yang menjadi perhatian utama adalah bagaimana wilayah Perkotaan berperan relatif terhadap lingkungan luarnya. Jika wilayah tersebut lebih menarik bagi sekelompok orang, terjadilah migrasi masuk. Jika wilayah tersebut kurang menarik, maka terjadilah migrasi keluar.

5. Pengalaman Aplikasi *Urban Dynamics*

Pengalaman penerapan ini ditulis oleh Louis Edward Alfeld (1995) di lima tempat dengan permasalahan yang ber-beda-2:

a. Lowell 1971

Tujuan pemodelan adalah ingin memperlihatkan pentingnya masalah sumber lahan yang terbatas, dalam membuat kebijakan-2 perkotaan. Lowell yang sebagian besar lahannya ditempati oleh bangunan pabrik tua, kota tersebut tidak mungkin dibangun kembali menjadi berbasis industri baru tanpa terlebih dahulu menghancurkan bangunan-2 yang kosong. Pekerjaan baru membutuhkan lahan terbuka dan di Lowell sudah tidak ada lagi lahan yang demikian. Dinamika Perkotaan menekankan kebutuhan untuk menjadikan setiap sisa lahan berpotensi menghasilkan pekerjaan. *Urban Dynamics* mengusulkan hal-2 berikut untuk menghadapi masalah Lowell:

- Dewan Kota, hendaknya memberikan insentif agar mendorong industri yang ada untuk memperbaharui dan memperluas usahanya
- Pada saat yang sama, Lowell harus bisa memperlambat penurunan stok perumahan di kota itu, karena arus keluar penduduk berpengaruh pada kosongnya perumahan di pusat kota dan diisi dengan penduduk berpendapatan rendah yang jumlahnya meningkat

b. Boston 1974

Tujuan pemodelan adalah ingin memperlihatkan bagaimana menuanya suatu kota bisa memperluas jurang antara lapangan kerja dan stok perumahan murah. Adanya ketidakserasian antara lapangan kerja dan perumahan. Sementara bangunan perumahan dan komersial menua. Pada saat bangunan menua, perumahan ini ditempati oleh kelompok berstatus sosial-ekonomi rendah karena rata-2 bangunan tua kurang disukai dan tidak terlalu mahal. Karena penduduk berpendapatan rendah kurang mampu mencari ruang baru, perumahan tua menjadi lebih berdesakan, karena makin banyak orang dalam setiap bangunan. Yang tinggal di rumah bukan keluarga inti, melainkan keluarga besar.

Urban Dynamics menawarkan hal berikut:

- Pekerjaan berpendapatan rendah perlu distabilkan
- Stok perumahan perlu ditingkatkan melalui program konservasi dan rehabilitasi yang efektif

c. Concord 1975

Tujuan permodelan adalah ingin memperlihatkan kekuatan-2 feedback yang mendorong migrasi dan pertumbuhan.

Kota ini menjadi perhatian karena punya nilai sejarah yang tinggi, antara lain sebagai **tempat kelahiran Revolusi Amerika 1776**. Perkembangan yang dikhawatirkan adalah pertumbuhan suburban yang terus menerus, dicemaskan akan menghancurkan keunikan karakter kota pra-revolusi. Jumlah populasi sebanyak 15.000 dipandang sudah terlalu besar untuk kota seperti Concord sehingga akan berkembang komersialisasi dan pertumbuhan apartemen-2

d. Marlborough 1976

Pemodelan ditujukan untuk mencari keseimbangan antara populasi dan lapangan kerja.

Memotong cara formal pemodelan, menggunakan Teori yang ada untuk membentuk logika verbal yang mendukung tindakan politis untuk melestarikan bangunan tua di bagian tengah kota dalam keseimbangan yang dinamis.

Marlborough mengalami masalah penuaan kota, seperti halnya Lowell, tapi kota ini memiliki banyak lahan tak terpakai. Bangunan tua terletak di pusat kota, kebanyakan kosong dan tengah menunggu penghancuran, sesuai dengan program peremajaan kota yang menjadi salah satu kebijakan para politisi lokal. Daerah-2 baru yang tersebar secara acak mulai menggantikan wilayah-2 hutan kayu dan proyek pembangunan apartemen meluas di sepanjang jalan raya. Penduduk Marlborough sedang berupaya menghindari kemunduran perekonomian tetapi pada saat yang sama telah terjadi perkembangan permukiman yang tidak terkendali bagi para pendatang. Singkatnya, kebijakan jangka pendek yang mendorong pertumbuhan permukiman melemahkan kapasitas kota jangka panjang untuk memberikan pelayanan, perumahan, pendidikan dan lapangan kerja yang sangat dibutuhkan oleh kelompok penduduk menengah ke bawah.

e. Palm Coast 1980

Pemodelan dilakukan untuk memberikan arahan mengenai proyek pertumbuhan 80 tahun Palm Coast dari suatu masyarakat kecil yang berukuran 3.000 jiwa menjadi kota baru berpenduduk 224.000 jiwa.

Palm Coast merupakan salah satu komunitas besar di AS. ICDC adalah pihak yang berkepentingan merencanakan dan mengarahkan pertumbuhannya. ICDC meyakini, model simulasi

bisa menawarkan logika kurva proyeksi pertumbuhan, dan bisa meyakinkan pada pejabat Florida bahwa perumahan memadai dan terjangkau harganya, merupakan hasil dari upaya membatasi stok perumahan selama lebih dari 50 tahun. Jadi tidak perlu semua rumah yang terjangkau harganya yang diperlukan, dibangun sejak awal. Jika hal tersebut dilakukan, maka pada saat penduduk tumbuh cepat, maka penduduk akan didominasi oleh penduduk berpenghasilan rendah.

Apabila Palm Coast perkembangannya ditujukan untuk membentuk masyarakat yang agak kecil, upaya ini bisa dipastikan akan menyebabkan Palm Coast menjadi salah satu daerah *slum* terbesar di Miami Utara.

6. Kesimpulan

Untuk melihat hubungan sebab akibat (*causal loops*) ini, pemanfaatan/penggunaan Pemodelan *System Dynamics* pada Perencanaan Penataan Ruang Kota menawarkan suatu cara pandang yang melihat interaksi antara komponen-komponen perkotaan (penduduk dan sektor-sektor kegiatan yang ada di suatu kota), yang saling berpengaruh satu sama lain dan melahirkan suatu dinamika tertentu, disamping tentunya memiliki dampak terhadap ruang.

Pertumbuhan ekonomi dari sisi positif mambawa kemakmuran, peningkatan pendapatan per kapita dan standar kehidupan, tetapi dari sisi negatif, pertumbuhan menyebabkan kesenjangan pemba-ngunan di antara wilayah. Agar kebijakan pembangunan wilayah menjadi efektif, ditemukan bahwa transportasi berperan penting dalam pembangunan di antara wilayah, tetapi bukan satu-2 nya stimulator pertumbuhan. Hanya investasi langsung dalam kegiatan ekonomi yang dapat memulai pertumbuhan ekonomi.

- a. Prioritas pembangunan di wilayah kurang berkembang, harus diserahkan kepada industri yang mempunyai multiplier efek yang tinggi.
- b. Infrastruktur (transportasi, lokasi industri, *public utilities*, dsb) harus diperbaiki untuk mengurangi ketimpangan di antara lingkungan investasi di wilayah berkembang dan kurang berkembang.
- c. Di wilayah berkembang, sumber daya lokal dan industri yang berhubungan harus dikembangkan
- d. Industri-2 yang memproduksi barang-2 yang sangat diperlukan wilayah kurang berkembang harus didorong secara aktif, melalui penyediaan lingkungan investasi yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- [1] Dep. KimPrasWil-DitJen Penataan Ruang, *Pelatihan Simulasi Perkotaan, Study on New and Improved Techniques for Spatial Planning in Metropolitan Areas*, Bandung, 2001
- [2] _____, *Model Dinamika Perkotaan*, _____
- [3] Forrester, Jay W & Senge, Peter M, *Test for Building Confidence in System Dynamics*

Model, in TIMS Studies in Management Science 14 (209-228), North-Holland Publishing, 1980.

- [4] Richmond Barry, *System Thinking: Critical Thinking Skills for the 1990s and Beyond*, in System Dynamics Review 9 (2): 113-133, John Wiley & Sons Ltd., UK, 1993.
- [5] Saeed, K., *Mechanics of the System Dynamics Method*, Industrial Engineering & Management Division, Asian Institute of Technology – Bangkok, 1981.
- [6] Senge, Peter M., *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, Doubleday/Currency, New York, 1990.
- [7] Sterman, John D., *The Energy Transition and The Economy: A System Dynamics Approach*, Ph.D. Dissertation, Department of Management MIT, Cambridge, MA, 1981
- [8] www.hps-inc.com
- [9] www.creithb.or.id