

BAB 2 DASAR TEORI

2.1. Pemodelan *Inventory*

Telah banyak literatur yang menjelaskan penelitian tentang pemodelan *inventory* yang berhubungan dengan pengadaan, perencanaan produksi, pengaruh permintaan dan kaitannya dalam rantai pasok. Tetapi kebanyakan dari penelitian tersebut lebih memfokuskan pada industri manufaktur dengan karakteristik permintaan yang berlaku umum atau karakteristik permintaan yang bersifat konstan seperti pada literatur dibawah ini. Perancangan model *inventory* yang penulis buat dalam tesis ini adalah mengacu pada permintaan yang berhubungan dengan epidemi penyakit khususnya penyakit HIV/AIDS dan pengelolaan logistik obat yang berhubungan dengan kebijakan kesehatan masyarakat yang dilakukan oleh pemerintah.

2.1.1 *Inventory* dan Pengadaan

Pemodelan *inventory* telah dikembangkan oleh (Van der laan, Dekker and Salomon, 1996) untuk membandingkan antara pengadaan dan strategi pengendalian *inventory* dalam menentukan pendekatan yang optimal berdasarkan biaya minimal. Ruang lingkup penelitiannya adalah membandingkan pengadaan yang berbeda dan strategi pengendalian *inventory* untuk menemukan sesuatu yang optimal berdasarkan biaya minimal melalui parameter skenario yang bervariasi. Van der laan et al. (1996) mengadakan penelitian serupa dengan menganalisis model dalam menemukan tingkat persediaan yang optimal dengan meminimalkan total *inventory* atau biaya produksi.

2.1.2 *Inventory* dan Perencanaan Produksi

Poles dan Cheong (2009) menggunakan pemodelan sistem dinamis untuk menjelaskan kegiatan *reverse* logistik dalam proses daur ulang. Beberapa faktor yang menyebabkan *reverse* logistik menjadi sulit adalah *quantity*, *quality* dan waktu pengembalian yang tidak menentu mempengaruhi kegiatan proses daur ulang seperti perencanaan produksi dan *inventory control*. Penelitiannya memfokuskan pada faktor yang sensitif mempengaruhi ketidakpastian *return rate* seperti *residence time* dan *return index*.

Poles dan Cheong (2009) juga melakukan penelitian dengan metode sistem dinamis dalam kegiatan yang sama yaitu kegiatan proses daur ulang. Tujuan penelitiannya adalah membuat model *inventory* dalam proses daur ulang dalam kerangka *closed loop supply chain*. Dalam penelitiannya, mereka menemukan bahwa menurunkan *residence time* dan meningkatkan *service agreement* dengan customer akan meningkatkan perilaku customer dalam mengembalikan produk bekas.

Lukszo dan Christina (2005) menjelaskan penggunaan sistem dinamis untuk meningkatkan manajemen *inventory* yang kompleks dalam *batch-wise plant*. Penelitiannya memfokuskan pada masalah penerimaan dan pemrosesan order. Hasil dari simulasinya dapat digunakan untuk pabrik kimia multi produk.

Penelitian Van der laan dan Salomon (1997) memfokuskan pada pengembangan perencanaan produksi dan sistem *inventory* kontrol dalam menangani sistem *inventory push* dan *pull* kegiatan daur ulang produksi dan *disposal*. Perbandingan strategi *inventory* antara *push* dan *pull* berdasarkan biaya total sistem yang optimal dianalisis dalam model mereka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi *inventory pull* lebih dipilih dari pada strategi *inventory push* jika *recoverable inventory* lebih rendah dari pada *serviceable inventory*. Hal ini disebabkan karena *holding cost* untuk *serviceable inventory* lebih tinggi daripada *holding cost* untuk *recoverable inventory* dan strategi *inventory pull* menyimpan item daur ulang dalam *recoverable inventory*.

Pengaruh durasi *lead time* dan variabilitas pada total biaya dalam pembuatan hibrida dan sistem daur ulang produksi adalah topik model lain penelitian *inventory control* (Van der Laan, Salomon and Dekker, 1999). Mereka menggunakan model yang sama dengan total biaya sistem dalam penelitian Van der laan dan Salomon (1997) tapi tidak mempertimbangkan penggunaan *recoverable inventory* sebagai kemungkinan strategi *inventory*. Analisis mereka menunjukkan bahwa peningkatan kegiatan produksi dan *lead time* daur ulang produksi menyebabkan kenaikan biaya total untuk kedua strategi *inventory push* dan *pull*. Hal ini disebabkan oleh kegiatan operasi produksi yang menyebabkan peningkatan *leadtime* yang tanpa mengubah *reorder point* atau *batch order*, akan meningkatkan kemungkinan *backorder* dan akibatnya akan menghasilkan jumlah *safety stock* yang digunakan lebih besar. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa strategi *inventory pull* lebih difavoritkan daripada strategi *inventory push* karena *holding cost* dari *serviceable inventory* yang lebih rendah.

Penelitian lainnya tentang *serviceable inventory* dilakukan oleh (Kiesmuller and Minner, 2003). Penelitian ini memfokuskan pada model *inventory* dimana *serviceable inventory* berguna sebagai supply oleh kegiatan produksi dan daur ulang tanpa mempertimbangkan pengadaan dan opsi pembuangan dan tanpa mempertimbangkan strategi *inventory pull* atau *push*. Melalui pendekatan *stochastic product recovery inventory system*, penelitian ini mengembangkan model dengan pendekatan formula tipe berita vendor (*news vendor*) yang bertujuan untuk menemukan tingkat produksi dan kegiatan produksi yang optimal dengan meminimalkan total biaya *inventory*. Sebuah model serupa dikembangkan pada periode yang sama dengan tujuan yang hampir sama oleh (Kiesmuller, 2003). Namun, dalam hal ini strategi *inventory push* dan *pull* dipelajari.

Penelitian (Tang, Grubbström dan Zanoni, 2007) memfokuskan pada perencanaan produksi dan *inventory control* di kegiatan remanufaktur mesin untuk kendaraan dan menganggap perencanaan *lead time* sebagai variabel keputusan. Dalam hal ini pendekatan yang berbeda dilakukan dengan memfokuskan kegiatan pada *diassembly* dan *reassembly* tanpa mempertimbangkan proses *remanufacturable* atau *serviceable inventory*.

Penelitian model *inventory* lainnya dikembangkan oleh (Andreas,) yang memfokuskan pada penerapan sistem dinamis dalam mendukung pengambilan keputusan operasional dalam perencanaan produksi mobil BMW seperti jadwal produksi, *inventory control* dan gabungan jadwal produksi dan *inventory control*. Perencanaan produksi di manufaktur mobil dicirikan oleh kompleksitas tinggi dan ketidakpastian karena berbagai parameter yang mempengaruhi level *inventory* dan kemajuan produksi. Dalam situasi ini pemantauan yang statis terhadap level *inventory* tidak cukup, karena tingkat persediaan sangat penting terhadap proses produksi mobil agar berjalan dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan alat pengontrolan yang bersifat dinamis berdasarkan struktur yang relatif sederhana, kemudahan penggunaan, dan pertukaran data secara online. Pengembangan model sistem dinamis dalam penelitian ini menawarkan alat pengontrolan untuk menilai resiko yang berhubungan dengan kebijakan *inventory* yang berbeda dan meningkatkan manajemen *inventory* dan jadwal produksi.

Penelitian tentang *inventory* yang berhubungan dengan sistem produksi juga dilakukan oleh (Jayedran and Cayu, 2007) yang membahas kestabilan sistem

pengendalian inventory dan produksi dengan mempertimbangkan kekurangan inventory.

2.1.3 Inventory dalam Supply Chain

(Bernd et al, 2007) mengembangkan kebijakan *inventory* dalam supply chain, *shop floor* dan jaringan produksi dengan pendekatan sistem dinamis. Penelitiannya dengan mengembangkan 3 model *shop floor* dan jaringan produksi dengan berbagai kebijakan *inventory* dengan tujuan mendapatkan *inventory control* yang optimal. Untuk tujuan tersebut performance dan *behaviour dynamics* pada tiga level *shop floor*, jaringan produksi dan supply chain dianalisa. Penggunaan kebijakan *inventory control* yang tepat adalah suatu keharusan dalam sistem produksi. Sistem Produksi bercirikan kompleksitas struktur dan dinamis. Penundaan material dan informasi yang terjadi akan menyebabkan *inventory oscillation*. Hasil dari penelitiannya menunjukkan untuk level *shop floor*, kebijakan keputusan berbasis *feromon* diperlukan untuk menghasilkan strategi pengendalian yang fleksibel dan otonom. Untuk level jaringan produksi, diperlukan penggabungan kebijakan *inventory control* kontinyu dan periodik. Sedangkan untuk level supply chain, kebijakan *adaptif order-up* dikembangkan dengan pembobotan pekerjaan *in progress* dan *inventory*. Penelitian ini menyajikan pandangan terintegrasi pada pengendalian *inventory* pada *shop floor*, jaringan produksi dan supply chain dalam rangka mengatasi kurangnya fleksibilitas yang timbul dari lamanya penundaan strategi supply chain.

Angerhofer dan Angelides (2000) mengembangkan sistem dinamis modeling dalam supply chain managemen yang memfokuskan pada keputusan *inventory*, dampak permintaan dan bentuk model *supply chain*.

2.1.4 Inventory dan Permintaan

(Deif and Almaraghy, 2007) menyajikan sebuah model untuk menguji kebijakan skala prioritas yang berbeda dalam *Reconfigurable Sistem Manufactur (RMS)* untuk berbagai skenario permintaan yang berbeda. Pendekatan yang pertama adalah dengan mengeksplorasi kebijakan skala prioritas kapasitas yang berbeda dalam RMS berdasarkan performa beberapa tindakan, terutama tingkat prioritasnya pada level proses kerja, *inventory level* dan level *backlog*. Pendekatan yang kedua adalah pendekatan sistem dinamis dalam memodelkan skala prioritas RMS. Kebijakan yang berbeda untuk skenario skala prioritas berbagai permintaan diuji. Hasil simulasi

numerik yang diperoleh menggunakan pengembangan model skala prioritas kapasitas menunjukkan bahwa kebijakan skala prioritas yang terbaik yang dapat digunakan untuk RMS tergantung pada pola antisipasi permintaan serta tujuan berbagai manufaktur.

Pasar dan permintaan yang semakin kompetitif memerlukan pengembangan sistem tanggapan yang cepat terhadap perubahan permintaan pasar dan menjaga tingkat *inventory* yang rendah. Barlas dan Aksogan (1997) menggunakan studi kasus di industri pakaian untuk mengembangkan sebuah model simulasi sistem dinamis pada rantai pasok industri ritel yang terdiri dari produsen, grosir, retailer dan konsumen akhir. Tujuan penelitian dari Barlas dan Aksogan adalah untuk mensimulasikan suatu kebijakan persediaan yang meningkatkan pendapatan retailer dan pada saat yang sama mengurangi biaya. Barlas dan Aksogan mengembangkan sebuah model simulasi rantai supply pakaian. Model merepresentasikan struktur fisik sistem dan juga menggabungkan pemesanan dan aturan-aturan keputusan produksi.

Penelitian Anderson, Fine and Parker (1997) adalah penelitian tentang pengaruh permintaan dalam rantai pasokan. Meskipun fluktuasi siklus permintaan dalam pasar yang mengendalikan ekonomi adalah hal yang diteliti secara luas dan dipahami dengan baik, namun pengaruh permintaan dalam industri hulu rantai pasok masih kurang. Studi kasus penelitiannya dilakukan pada industri peralatan mesin dengan menganalisa dampak pengaruh permintaan terhadap *lead time*, *inventory*, produksi, produktivitas, dan tenaga kerja. Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian mereka adalah menggunakan model sistem dinamis untuk menjelaskan pengaruh permintaan terhadap rantai pasokan barang model dan menguji berbagai strategi yang dapat meningkatkan fungsi industri. Metodologi sistem dinamis memungkinkan penelitian mereka untuk memasukkan variabel model industri barang, seperti loop umpan balik, penundaan dan non-linearities. Meskipun representasi diskrit lebih realistis untuk beberapa bagian model, formulasi sistem dinamis tetap dipilih untuk waktu dan stok dan ditemukan tidak terlalu terjadi penyimpangan. Tetapi yang paling penting dalam penelitian ini adalah dinamika industri telah ditunjukkan dengan baik. Anderson, Fine and Parker (1997) mengembangkan model industri alat mesin, yang terdiri dari tiga perusahaan: pembuat produk, pembuat mesin, dan pemasok bahan baku produk pemasok. Setiap perusahaan dalam model ini adalah diwakili oleh sebuah versi sederhana dari model standar sistem dinamis perusahaan (Lyneis, 1980). beberapa faktor, termasuk pembatalan pesanan, kebijakan

harga, rasio pangsa pasar nasional terhadap pasar internasional tidak dimasukkan dalam model karena tidak memiliki dampak negatif pada akurasi model dalam kaitannya dengan masalah yang diteliti. Selanjutnya, dilakukan perbandingan hasil simulasi dengan data yang sebenarnya, dan dengan menggunakan data statistik sebagai masukan order rate.

Yang et al (2003) menjelaskan penggunaan sistem dinamis dalam manajemen supply chain dengan studi kasus di rantai supermarket di Inggris. Analisa sistem dinamis digunakan untuk menganalisa dampak permintaan yang menyebabkan timbulnya *bullwill effect*. Dampak keterlambatan informasi, perkiraan permintaan dan pertukaran informasi dianalisa dalam kaitannya dengan *supply chain multi echelon*

2.2 Pemodelan Epidemi HIV/AIDS

Pemodelan epidemi HIV/AIDS dapat ditelusuri kembali ke tahun 1980-an saat epidemi AIDS terjadi. Beberapa pendekatan statistik dan epidemiologi telah digunakan untuk proyeksi epidemi HIV/AIDS. Begitu juga model sistem dinamis dan simulasi komputer telah berguna dalam menganalisa penyebaran dan pengendalian penyakit menular seperti HIV/AIDS.

2.2.1 Metode Statistik

Yujiang (2008) menggunakan metode statistik, HIV Prevalance dapat diperkirakan dengan mensintesis hasil dari beberapa sumber data (Laporan kasus HIV/AIDS, hasil survey, kegiatan surveillance dan studi epidemiologi). Metode statistik telah digunakan untuk memperkirakan HIV Prevalance di daerah endemi HIV tinggi di Dehong, Propinsi Yunan, China. Hogg et al (1997) menggunakan metode statistis untuk menjelaskan dampak penyakit HIV terhadap kematian pada kelompok gay dan bisexual.

2.2.2 Metode Ekstrapolasi (Pendamallu,2009)

Yang pertama dan pendekatan paling langsung proyeksi kasus AIDS adalah metode ekstrapolasi (Morgan and Curran, 1986; Karon et al., 1988, 1989). Metode ini berbentuk kurva kejadian AIDS dengan data kejadian AIDS dalam beberapa tahun terakhir dan kemudian memperpanjang kurva ini selama beberapa tahun sebagai prediksi kasus AIDS di masa mendatang. Metode ini mengasumsikan bahwa trend

saat ini akan berlanjut selama setidaknya beberapa tahun ke depan. Seringkali kurva terpisah dan ekstrapolasi dilakukan untuk berbagai kelompok risiko.

Keuntungan dari metode ekstrapolasi ini adalah kesederhanaan dan kemudahan penggunaan. Metode ekstrapolasi ini telah menjadi alat proyeksi kasus AIDS untuk beberapa tahun, tetapi tidak tepat lagi digunakan sebagai proyeksi kasus AIDS karena tidak mempertimbangkan faktor –faktor perubahan epidemi HIV/AIDS seperti perubahan perilaku pada kelompok berisiko. Kerugian lain adalah pendekatan ini tidak memberikan informasi tentang kejadian HIV atau pemahaman tentang mekanisme penularan HIV dengan mengabaikan struktur dasar yang menghasilkan perilaku penyakit tersebut (Focus, 2008). Ekstrapolasi telah digunakan sebagai data di Inggris (Healy and Tillett, 1988) dan data di Eropa (Downs et al., 1987).

2.2.3 Metode Perhitungan Mundur (Ong et al., 2006)

Metode perhitungan mundur digunakan untuk memperkirakan tingkat infeksi HIV di masa lalu dari data kasus AIDS yang tersedia dan juga memperkirakan distribusi periode inkubasi. (Ong, 2006). Metode ini diperkenalkan oleh (Brookmeyer and Gail, 1986, 1988; Gail and Brookmeyer, 1988; Brookmeyer and Damiano, 1989). Dengan menggunakan pendekatan ini, jumlah kasus AIDS pada waktu t adalah penjumlahan sampai waktu t dari insiden HIV pada saat r dan probabilitas berkembang AIDS dalam waktu $(t-r)$ tahun setelah infeksi. Jadi jika kejadian HIV dan distribusi masa inkubasi ke AIDS diketahui sampai waktu t , maka kasus kumulatif AIDS akan dihitung dengan cara yang lurus ke depan dengan menggunakan penjumlahan kompleksitas di atas. Kejadian HIV sampai waktu t ini dan ekstrapolasi untuk beberapa tahun kemudian digunakan untuk meramalkan kejadian AIDS selama beberapa tahun. (Focus, 2008).

Distribusi periode inkubasi untuk AIDS dapat diperkirakan secara *parametrically* atau *non-parametrically*. Prosedur perhitungan mundur sering digunakan terpisah untuk kelompok berisiko. Perhitungan mundur telah digunakan untuk peramalan kejadian AIDS selama beberapa tahun tetapi terdapat kelemahan yaitu tidak dapat menghasilkan perkiraan insiden HIV. Kelemahan lainnya yaitu tidak menghasilkan informasi apapun tentang dinamika penularan HIV atau perkiraan nilai parameter. Estimasi distribusi untuk periode inkubasi AIDS bersifat konstan dan prosedur perhitungan mundur sangat sensitif terhadap distribusi yang digunakan (Brookmeyer and Damiano, 1988; and Hyman and Stanley, 1988). Untuk pemodelan

epidemi HIV di negara- negara berkembang, metode perhitungan mundur tidak dapat digunakan dalam banyak kasus, karena kurangnya informasi yang dapat dipercaya tentang kejadian AIDS.(Joshua, et al ; GPE Discussion Paper Series: No. 3).

2.2.4 Model Matematika

Pada tahun 2004, UNAIDS/WHO merilis sebuah model matematis untuk epidemi AIDS di Tanzania (NACP, 2005) dan Indonesia menggunakan Asian Epidemic Modelling ,EPP dan SPEKTRUM untuk pemodelan HIV/AIDS dari tahun 2008-2014. Model ini terdiri dari dua perangkat lunak komputer; paket estimasi dan proyeksi (EPP) dan SPEKTRUM. Proyeksi prevalensi yang dihasilkan oleh EPP dapat ditransfer ke SPEKTRUM. Sedangkan model proyeksi demografis, digunakan untuk menghitung jumlah kematian AIDS. Model ini tidak menunjukkan dampak kebijakan yang berbeda maupun sifat biologi dan perilaku kompleks epidemi. Pemilihan parameter dalam model (EPP) tidak memungkinkan untuk menangani masalah-masalah seperti perubahan perilaku sebagai respon terhadap intervensi (misalnya peningkatan penggunaan kondom, penggunaan ART dan nevirapine untuk anak HIV-positif, dan kemungkinan perubahan dalam jumlah populasi berisiko sebagai hasil dari pengenalan vaksin).

Kimbir dan Oduwale (2008) mengembangkan model matematika untuk menjelaskan transmisi dinamis dari penyakit HIV/AIDS dan mengusulkan penggunaan konseling dan ART sebagai faktor utama untuk pengontrolan infeksi HIV.

2.2.5 Model Sistem Dinamis

Focus (2008) menjelaskan tentang beberapa tinjauan literature tentang pemodelan sistem dinamis HIV/AIDS yaitu sebagai berikut:

1. Menggunakan model sistem dinamis penularan HIV dan pengembangan untuk AIDS menggunakan populasi yang dibagi menjadi kelompok yang berbeda. Hethcote et al., (1982), dan Hethcote and Yorke, (1984), menggunakan metode ini dalam mempelajari tingkat aktivitas seksual dalam populasi. Yang dimaksud populasi di sini terdiri dari pria homoseksual yang sering berubah pasangan seks laki-laki, yaitu setidaknya sekali setiap beberapa tahun. Kelompok ini dibagi menjadi orang yang memiliki banyak pelanggan seks laki-laki yang berbeda

(sangat-aktif) dan mereka yang hanya memiliki beberapa pelanggan seks laki-laki yang berbeda (aktif).

2. Ahlgren et al., (1990), mengembangkan model transmisi dinamis dan menemukan nilai-nilai parameter sesuai yang optimal untuk data sero-konversi dan insiden AIDS pada pria homoseksual di San Francisco selama 1978-1986. Eksperimen pemodelan mereka menyarankan bahwa level infektifitas tinggi dapat menyebabkan peningkatan pesat di awal epidemi di San Francisco. Tapi metode ini tidak menghasilkan informasi lebih lanjut tentang dinamika penularan HIV pada tahap lain epidemi.
3. Anderson dan May (e.g., Anderson, 1988; Anderson and May, 1988; May, 1988) telah mengembangkan pemodelan dinamis yang menggunakan model penularan HIV dan pengembangannya menjadi AIDS. Model yang dikembangkan telah membahas tidak hanya populasi homoseksual dan heteroseksual di Amerika Serikat dan Inggris, namun juga populasi heteroseksual di Afrika. Mereka telah memperkirakan angka reproduksi dua kali lipat dan juga dampak demografis. Tapi karena kurangnya data yang baik selama waktu itu, model ini tidak mencerminkan dinamika penularan HIV di Sub-Sahara Afrika, dan di samping itu terdapat trend baru pengembangan AIDS membuat model ini sedikit yang menggunakannya.
4. Dengan menggunakan metode sistem Dinamis, Dangerfield dan Roberts, (1990), mengembangkan model penyebaran AIDS di populasi homoseksual Inggris. Tujuan dari model ini adalah untuk mendukung pengambilan keputusan. Model ini tidak ditujukan hanya untuk peramalan, melainkan juga mengkaji kemajuan dalam kelompok berisiko dari satu juta laki-laki homoseksual, yang memungkinkan peneliti dengan mudah membandingkan konsekuensi epidemiologi terhadap aspek virologi dan perilaku penting dari infeksi. Keuntungan dari model ini adalah sesuai dengan data historis . Tapi kerugiannya adalah bahwa model ini tidak dapat diterapkan pada dinamika transmisi heteroseksual di Sub-Sahara Afrika karena perbedaan dalam infektifitas dan frekuensi kontak.
5. David dan Ralph, (2002), mengembangkan metode sistem dinamis dengan tujuan untuk mendorong pemahaman yang lebih tentang dinamika psikososial HIV/AIDS dan perawatan di masyarakat selama horison waktu dua puluh tahun dari awal epidemi (sekitar 1981-2002). Booz Allen, (2005), dalam kemitraan dengan akademisi terkemuka dari Brown, Emory, dan Universitas Wayne State,

mengembangkan model sistem dinamik yang terpadu tentang gabungan penyakit epidemiologi dan ekonomi dengan berbagai kebijakan dan pilihan program. Model ini didasarkan pada *peer-review* literatur ilmiah dan prediksi yang telah divalidasi terhadap data prevalensi dan ekonomi dari India antara 1987 dan 2003. Model ini dirancang untuk menumbuhkan pemahaman dari kedua dinamika epidemiologi dan ekonomi dari HIV / AIDS di India.

6. James Chin dan F. Sonnenberg (1990), menggunakan data saat ini (data 1990) pada tingkat infeksi HIV untuk memperkirakan jumlah kasus AIDS masa lalu dan proyeksi pertumbuhan infeksi HIV dan AIDS dimasa depan. Model tersebut memproyeksikan dampak HIV / AIDS selama 10 tahun sampai tahun 2000.
7. Heidenberger dan Flessa (1993) mengembangkan model sistem dinamis pertama untuk epidemi AIDS di Tanzania daratan . Tujuan dari model ini adalah untuk memberikan dukungan kebijakan kepada Gereja Lutheran, salah satu penyedia utama layanan kesehatan di Tanzania daratan. Model ini mengasumsikan dua kebijakan; penggunaan kondom dan vaksin sebagai penghambat infeksi HIV/AIDS. Model ini, kemudian direvisi oleh Flessa pada tahun 1996 dalam rangka menyediakan jawaban atas perencanaan kontemporer kebutuhan perawatan kesehatan gereja di Tanzania . Data yang digunakan dalam model ini diperoleh dari rumah sakit yang dikelola oleh gereja Lutheran.

Dangerfield et al., (2001) mengembangkan metode sistem dinamis lainnya dari epidemiologi HIV / AIDS yang dirancang untuk mensimulasikan efek dari kombinasi tiga terapi antiretroviral dalam pengobatan HIV/AIDS. Mereka menggunakan data epidemi pada pria homoseksual di Inggris (1981-1998) sesuai dengan model baseline. Mereka menarik kesimpulan bahwa terapi kombinasi baru, yang menggantikan terapi mono dan dual ARV pada tahun 1996, terbukti menjadi profilaksis yang paling efektif untuk menghentikan replikasi virus HIV, tetapi masih banyak ketidakpastian terhadap penggunaan metode ini. metode ini memerlukan berbagai skenario model sebagai alat untuk mempertimbangkan ketidakpastian ini.

Jennifer (2008) mengembangkan pemodelan sistem dinamis untuk mengetahui hubungan antara infeksi HIV, kelompok beresiko, kesejahteraan ekonomi dan dampak potensial yang ditimbulkan akibat peningkatan jangkauan pelayanan ART. Penelitiannya dilakukan di Malawi khususnya untuk kelompok wanita muda. Hasil

penelitiannya menunjukkan dampak yang *significant* dalam penggunaan ART terhadap kesejahteraan masyarakat.

Yamuna (1991) menggunakan sistem dinamis untuk menganalisa struktur dan perilaku sistem epidemi penyakit HIV/AIDS dan melakukan pengujian model dengan beberapa parameter untuk mengevaluasi sistem dan pengambilan kebijakan.

Robert, *et all* (2009) menjelaskan penggunaan sistem dinamis dalam menganalisa kebijakan kapan penderita HIV/AIDS dapat menerima pengobatan ARV dan kapan harus menggantinya dengan regimen obat yang lain pada kondisi persediaan yang minim. Kesimpulan penelitiannya menyimpulkan bahwa persediaan yang minim membawa dampak yang *significant* terhadap kebijakan pengobatan ARV.

Pedamallu (2009) menjelaskan fenomena penularan infeksi HIV yang disengaja dengan sistem dinamis. Model kemudian dianalisa dengan menggunakan *cross impact analysis* terhadap variabel-variabel yang beresiko terhadap penularan HIV.

2.3 Pengobatan HIV/AIDS (Depkes, 2009)

Pasien HIV/AIDS memerlukan regimen pengobatan seumur hidup yang disebut HAART (*highly active antiretroviral therapy*). Pengobatan ini meliputi *single dose* dan *fixed dose* kombinasi dari dua atau tiga obat antiretroviral (ARV) dari kategori pengobatan yang berbeda. Berikut ini adalah kategori obat ARV :

1. *Protease Inhibitors* (PI)
2. *Nucleoside /Nucleotide reverse Transcriptase Inhibitors* (NRTIs)
3. *Non- Nucleoside /Nucleotide reverse Transcriptase Inhibitors* (NNRTIs)
4. *Entry Inhibitors* (*Excluding Fusion Inhibitors*)

Obat ARV sangat efektif untuk pencegahan. Dengan ARV, prevelensi pasangan turun dari 10.3% (1991-1995) menjadi 1.9% (1999-2003) , $P=0,00061$ (Castilla J.del remero j, Hernando V, Morincovich B, Garcia S, Rodriguez C; *Efektiviness of highly active antiretroviral therapy in reducing heterosexual transmission of HIV*; J Acquir Defic Syndr 2005;40:96-101) sedangkan menurut penelitian (Barreiro P, del Remero J, Leal M, et al : *Natural pregnancies in HIV serodiscordant couples receiving successfull antiretroviral therapy* ; J Acquir

Immune Defic Syndr 2006 : 43: 324-326) menyebutkan bahwa kelompok yang minum ARV, tidak ada pasangannya yang tertular HIV (Zubairdi Zurban, 2009).

Pasien dengan HIV/AIDS harus mengkonsumsi obat ARV dua kali dalam sehari. Tingkat kepatuhan (adherence) 90-95% diperlukan oleh pasien untuk efektifitas pengobatan jangka panjang. HIV/AIDS adalah adaptasi biological. Pasien HIV/AIDS yang tidak mengkonsumsi obat ARV lebih dari 1 dosis dalam 2 minggu akan menyebabkan resistensi obat yang dipakai. Pasien HIV/AIDS awalnya akan diberikan pengobatan dengan menggunakan regimen lini ke-1 . Jika ditemukan respon pengobatan yang tidak baik atau terjadi resistensi obat ,maka harus berpindah ke regimen lini ke-2. Pasien dengan regimen lini ke-2 memerlukan dosis yang lebih tinggi dan pemantauan yang lebih sering terhadap pengobatan yang dilakukan. Harga obat ARV regimen lini ke-2 saat ini 10 – 50 kali lebih mahal dari pada regimen lini ke-1. Sekali diberikan ARV, maka ketersediaan ARV harus dijaga dan terus diberikan ke pasien HIV seumur hidup untuk menjaga efektifitas pengobatan. Hal tersebut merupakan suatu tantangan bagi fungsi supply chain karena resiko *stock out* yang tinggi dan variasi regimen yang tergantung pada kebutuhan pengobatan pasien.

2.3.1 Mulai Pengobatan ARV

WHO sebelumnya merekomendasikan pengobatan ARV oleh dokter sampai pasien mempunyai level CD4 dibawah 200, tetapi mulai 30 november 2009 WHO membuat rekomendasi baru untuk memulai pengobatan ARV bagi pasien yang mempunyai level CD4 masih dikisaran 350. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa orang dengan HIV yang memulai pengobatan ARV lebih awal dari yang direkomendasikan mempunyai harapan hidup yang lebih baik. Di negara-negara barat , dokter telah memulai pengobatan HIV ketika CD4 pasien masih berkisar di angka 500. Morbiditas dan Mortalitas turun drastis ketika ARV dimulai sewaktu CD4 sekitar 200-350 celss/mm² (interscience cont antimicrobical agents and chemotherapy ,sept 2009), mortality turun 75% dan incident tuberculosis turun 50%.

2.3.2 Rekomendasi WHO (WHO,2009)

Selain merekomendasikan waktu memulai pengobatan ARV, WHO juga merekomendasikan untuk menghentikan penggunaan *Stavudin* karena efek lipoatrofi dan saraf tepi ,sehingga secara bertahap stavudin perlu diganti dan ditarik dari peredaran. *Stavudin* diganti dengan *Zidovudin (ZDV)* atau *Tenofavir (TDF)*. Untuk

regimen lini 1 sebaiknya memakai *zidovudin* atau *tenofovir* di regimen lini 2 ditambah 2 obat ARV lainnya. Untuk ibu hamil pasien HIV/AIDS harus segera memulai ARV pada trimester kedua untuk mencegah penularan ke bayi dan melanjutkan minum ARV selama menyusui.

Regimen lini ke 2 yang direkomendasikan WHO per 30 November 2009 adalah *LPV/r (Lopi/rito)*, *Lopi/Atazanavir* ditambah 2 obat ARV lainnya. Sedangkan untuk pasien HIV/AIDS dengan koinfeksi TBC, harus mulai ARV segera setelah mulai minum obat TBC, berapapun jumlah CD4. ODHA dengan koinfeksi hepatitis B yang sudah mulai terapi hepatitisnya, perlu segera mulai ARV lini 1 sebaiknya dengan menggunakan tenofovir (*viread*) atau lamivudine (*Hiviral*).

Panduan US Department of Health and Human Services per 1 Desember 2009 menyebutkan tujuan pengobatan HIV / AIDS adalah :

1. Menekan *Viral Load* secara maksimal dan selama mungkin.
2. Mengurangi morbiditas dan memperpanjang harapan hidup.
3. Memperbaiki kualitas hidup.
4. Memulihkan dan mempertahankan fungsi kekebalan.
5. Mencegah penularan HIV ” Treatment vs prevention”

Sedangkan strategi mencapai tujuan pengobatan yaitu dengan melakukan :

1. Menseleksi kombinasi obat-obat ARV awal
2. Tes resistensi menjelang mulai terapi
3. Memperbaiki adherence

2.4 Kompleksitas Supply Chain HIV/AIDS (Cao, 2003)

Supply Chain HIV/AIDS berbeda dari operasi tradisional karena karakteristik pengobatan dan infrastruktur pengobatan yang masih kurang baik khususnya di negara-negara berkembang. Hal ini disebabkan karena masalah pendanaan, *shrinkage*, sumberdaya manusia dan tingkah laku pasien HIV/AIDS sendiri. Di beberapa negara berkembang termasuk Indonesia terdapat kendala dan tantangan yang berkaitan dengan program pengendalian HIV/AIDS yaitu pendanaan, sumberdaya manusia, tingkah laku pasien dan penyusutan pengiriman (*shrinkage shipment*).

2.4.1 Pendanaan

Selain karakteristik pengobatan pasien HIV/AIDS yang unik, salah satu faktor yang membuat supply chain ARV untuk pasien HIV/AIDS menjadi sulit adalah

masalah pendanaan. Pendanaan berhubungan dengan anggaran pemerintah dan bantuan donor. Karena melibatkan pendanaan yang berasal dari berbagai sumber, maka proses pembelian di negara berkembang biasanya dilakukan 3 sampai 4 kali dalam satu tahun. Akurasi forecasting untuk jangka waktu yang lama adalah sulit dan koordinasi antara donor yang banyak menyebabkan tumpang tindih anggaran. Hal tersebut berpengaruh terhadap operasional logistik dan juga supplier ARV. Disamping itu menjalin kerjasama dengan birokrasi non profit organisasi adalah sulit bagi produsen untuk memanager siklus pendapatan mereka. Produsen tersebut sangat bergantung pada pendapatan sehingga dapat membangun kapasitas tambahan untuk memenuhi peningkatan permintaan melalui pendanaan non profit.

2.4.2 Penyusutan Umur Obat (*Shrinkage*)

Tantangan untuk pengobatan ARV seumur hidup adalah berhubungan dengan waktu penerimaan obat dari dipesan sampai diterima (*lead time*). Proses custom clearance dan perijinan yang lama membuat variasi *lead time* yang lama. Hal tersebut merupakan tantangan yang harus diselesaikan oleh supply chain manajemen. Obat ARV umumnya mempunyai masa kadaluarsa 12 sampai 24 bulan dan biasanya 25% sampai 30% dari shipment ARV akan menjadi expire setelah obat tersebut sampai di tujuan. Selain dari itu, proses distribusinya juga sulit karena obat tersebut harus dikirim ke unit pengobatan yang mempunyai kendala dengan masalah transportasi.

2.4.3 Sumberdaya Manusia

Disamping faktor yang berhubungan dengan kebijakan supply chain dan ketersediaan obat, ada juga faktor yang sangat penting yang perlu diperbaiki untuk efektifitas supply chain manajemen yaitu faktor sumberdaya manusia. Sangat sulit untuk negara berkembang untuk merekrut personil dan membuat manajemen yang kuat untuk mengelola supply chain obat ARV dengan efisien dan efektif. Salah satu yang sering terjadi adalah pesanan obat atau laporan perawatan tidak dibuat, yang berakibat pasien kehilangan dosis pengobatan ARV.

2.4.4 Tingkah Laku Pasien

Tingkah laku pasien HIV/AIDS merupakan tantangan untuk manajemen permintaan dan kualitas pengobatan pasien. Kualitas pengobatan pasien HIV & AIDS memerlukan komitmen yang sangat besar oleh pasien untuk patuh pada dosis ARV 2

kali dalam sehari. Pasien di negara berkembang sering mengalami kendala transportasi dan kesulitan keuangan. Mereka tidak mampu untuk mengunjungi klinik pengobatan secara reguler dalam 1 bulan sekali.

2.5. Lingkup Supply Chain Managemen dalam pengendalian HIV/AIDS (Cao,2003)

2.5.1 Pengadaan

Pengadaan dapat dilakukan secara terpusat atau desentralisasi atau kombinasi dari keduanya. Secara ideal, di tingkat nasional, pemerintah sebaiknya melakukan proses pengadaan secara terpusat untuk mempunyai kontrol yang kuat terhadap kedatangan obat di dalam negeri. Umumnya ,negara-negara harus membeli melalui sejumlah organisasi donor yang mempunyai rekomendasi supplier. Order dalam jumlah banyak biasanya dibuat dengan 3 atau 4 schedule pengiriman. Pengiriman ini biasanya memerlukan waktu 4 sampai 8 minggu sampai di negara tujuan , untuk beberapa negara seperti indonesia import obat ARV memerlukan waktu 4- 5 bulan sampai obat tersebut tiba.

2.5.2 Distribusi

Jaringan distribusi obat ARV juga berbeda dengan yang umumnya dilakukan. Biasanya terdapat nasional warehouse dan warehouse propinsi yang mensupply rumah sakit besar dan unit / site pengobatan dengan obat regimen ARV lini 1. Permintaan untuk pengobatan lini ke 2 adalah dalam jumlah yang lebih kecil sehingga lebih mudah untuk melakukan proses distribusi. Pemesanan obat ARV dan transportasi dapat dilakukan pada tingkat warehouse atau oleh fasilitas administrasi.

2.5.3. Kebijakan Inventory

Lokasi menentukan jumlah pesanan berdasarkan kebijakan manajemen *inventory*. Hal ini sama dengan praktek dalam supply chain tradisional. Seperti halnya pengadaan dan distribusi, *inventory management* juga dapat dikontrol baik secara sentralisasi , desentralisasi maupun kombinasi dari sentralisasi dan desentralisasi. Kebijakan standar yang dipertimbangkan oleh USAID adalah sistem (R,s,S). Dengan sistem ini, setiap masing –masing unit melakukan review setiap R period, Setiap *inventory level* mencapai titik s, maka akan dilakukan pemesanan sampai point S.

$$S = X (1+r) + K \alpha (1+r) \quad (2.1)$$

Dimana :

L = Lead Time (hari)

R = Periode review (hari)

$\alpha(1+r)$ = Demand selama lead time dan periode review

K = safety Faktor

$\alpha (1+r)$ = Standard Deviation dalam demand selama lead time dan periode review

2.6 Metodologi Sistem Dinamis (Darmono, 2005)

Struktur sistem di metodologi sistem dinamis ditunjukkan oleh *Causal Loop Diagram*. *Causal Loop Diagram* menangkap mekanisme umpan balik baik loop umpan balik negatif (menyeimbangkan) atau loop umpan balik positif (memperkuat). Loop umpan balik negatif menitikberatkan pada tujuan pencarian tingkah laku sistem. Setelah terjadi gangguan pada sistem, maka kemudian sistem berusaha untuk kembali ke keadaan keseimbangan. Dalam loop umpan balik positif, gangguan awal menyebabkan perubahan lebih lanjut dan menunjukkan adanya suatu keseimbangan yang tidak stabil.

Metodologi Sistem Dinamis (*System Dynamics*, selanjutnya disingkat SD) mula-mula berkembang di *Massachusetts Institute of Technology* pada tahun 1956, dikembangkan oleh Jay W. Forrester (Forrester, 2002). Dasar pemikiran metodologi SD adalah berpikir sistem atau *systems thinking*, yaitu cara berpikir di mana setiap masalah dipandang sebagai sebuah sistem, yaitu keseluruhan interaksi antar unsur-unsur dari sebuah objek dalam batas lingkungan tertentu yang bekerja mencapai tujuan. Kriteria persoalan yang tepat untuk dimodelkan menggunakan metodologi SD (Tasrif, 2005):

1. Mempunyai sifat dinamis (berubah terhadap waktu)
2. Mengandung minimal satu struktur umpan balik.

Sesuai dengan namanya, penggunaan metode ini erat berhubungan dengan pertanyaan tentang tendensi sistem dinamis yang kompleks, yaitu pola-pola tingkah laku yang dibangkitkan oleh sistem itu dengan bertambahnya waktu. Asumsi utama dalam paradigma sistem dinamis adalah bahwa tendensi-tendensi dinamis yang persistent (terjadi terus menerus) pada setiap sistem yang kompleks bersumber dari struktur kausal yang membentuk sistem itu. Oleh karena itulah model-model sistem dinamis diklasifikasikan ke dalam model matematik kausal (*theory-like*). Metodologi

sistem dinamis pada dasarnya menggunakan hubungan sebab-akibat (causal) dalam menyusun model suatu sistem yang kompleks, sebagai dasar dalam mengenali dan memahami tingkah laku sistem dinamis tersebut. Dengan perkataan lain, penggunaan metodologi sistem dinamis lebih ditekankan kepada tujuan-tujuan peningkatan pengertian kita tentang bagaimana tingkah laku sistem muncul dari strukturnya.

Metodologi SD terdiri atas enam tahapan yang terdiri dari formulasi model, simulasi model, validasi model, analisis kebijakan dan pengembangan skenario dan implementasi kebijakan. Berikut ini adalah unsur-unsur SD:

1. *Feedback loops*: Struktur elemen utama dari suatu sistem. Ada dua jenis *feedback* yakni positif dan negatif.
2. Variabel *Stock* dan *Flow*: Elemen fundamental dari *loop*. *Stock* adalah kondisi/akumulasi dari sistem pada waktu tertentu, sedangkan *flow* adalah aliran (masukan dan keluaran) yang mengatur 'kuantitas' dalam *stock*. Variabel lain yang tersedia di Powersim adalah *auxiliary* dan *constant* (Davidson, 2000) dan Delay (penundaan). *Auxiliary* merupakan variabel yang bisa berubah seiring dengan waktu, perubahannya dapat disebabkan atas hubungan-hubungan sebab-akibat yang terjadi antara variabel dalam model atau pun akibat variabel dari luar secara independen. *Constant* merupakan variabel dengan nilai tetap yang tidak berubah sepanjang waktu. Sedangkan Delay adalah variabel waktu pada perilaku perubahan yang tidak serta-merta (tertunda) atas proses yang terjadi dalam hubungan-hubungan antar struktur hingga mempengaruhi perilaku model.
3. *Close-loop*: Sistem yang dijadikan model adalah sebagai sistem lingkaran tertutup.
4. Rate mengontrol kebijakan atau perilaku dari sistem.

Menurut Sterman (1981) prinsip-prinsip untuk membuat model dinamis dengan ciri-ciri seperti yang diuraikan di atas adalah sebagai berikut:

1. Keadaan yang diinginkan dan keadaan yang sebenarnya terjadi harus dibedakan di dalam model.
2. Adanya struktur *stock dan flow* dalam kehidupan nyata harus dapat direpresentasikan di dalam model.
3. Aliran-aliran yang berbeda secara konseptual, di dalam model harus dibedakan;

4. Hanya informasi yang benar-benar tersedia bagi variabel di dalam sistem yang harus digunakan dalam pemodelan keputusannya;
5. Struktur kaidah pembuatan keputusan di dalam model haruslah sesuai (cocok) dengan praktek-praktek manajerial; dan
6. Model haruslah robust dalam kondisi-kondisi ekstrim.

Mengenai *robust*-nya sebuah model, menurut Sterman (1981) sejumlah pengujian tertentu perlu dilakukan terhadap model sehingga pada gilirannya akan meningkatkan keyakinan pengguna terhadap kemampuan model di dalam mengungkapkan sistem yang diwakilinya. Keyakinan ini menjadi dasar bagi kesahihan model. Bila kesahihan model telah dapat dicapai, simulasi selanjutnya dapat digunakan untuk merancang kebijakan-kebijakan yang efektif.

Simulasi sistem dinamis umumnya menggunakan *software powersim*, Vensim, Stella, dan Dynamo. Dengan software tersebut model dibuat secara grafis dengan simbol-simbol atas variabel dan hubungannya. Namun demikian tidak menutup kemungkinan sebuah software yang dapat mengolah operasi matematis jenis *spreadsheet* seperti *Microsoft Excel* atau *Lotus* juga bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan pembuatan model sistem dinamis.