

III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di perairan Danau Maninjau, Kecamatan Tanjung Raya Kabupaten Agam Sumatera Barat. Lokasi penelitian berjarak ± 140 km dari Kota Padang. Secara geografis Danau Maninjau terletak antara $0^{\circ} 17' - 07.04''$ lintang selatan dan $100^{\circ} - 09'58.0''$ bujur timur. Danau Maninjau merupakan danau kaldera yang terbentuk dari aktivitas gunung berapi, terletak pada ketinggian muka air danau sekitar 264,5 m di atas permukaan laut (dpl) yang mempunyai luas permukaan air sekitar 9.737,50 ha, dengan volume air sebesar $10.226.001.629,2 \text{ m}^3$. Penelitian ini dilakukan selama 7 (tujuh) bulan, dimulai dari bulan Januari sampai dengan Juli 2006. Beberapa pengambilan data juga dilakukan di luar jadwal tersebut.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air, tiosulfat, KI, H_2SO_4 pekat, MnSO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, FeSO_4 , indikator ferroin, pereaksi Nessler, larutan standar ammonia, brusin, larutan NaCl, larutan standar nitrat, larutan sulfanilamid, larutan N-(1-naftil)-etilendiamin dihidroklorida, larutan standar nitrit, amonium molibdat, stano klorida, larutan baku fosfat, Na_2CO_2 dan indikator fenolptalein. Sedangkan alat-alat yang digunakan meliputi: pH meter, thermometer, *secchi disk*, *kemmerer water sampler* dan *water quality checker*, kuesioner, program *powersim versi 2,5c* dan program prospektif.

3.3. Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer yang berupa pengukuran kondisi fisik, kimia dan biologi perairan danau diperoleh di lapangan dan sebagian dari hasil analisis di laboratorium. Data persepsi masyarakat di sekitar perairan Danau Maninjau diperoleh dengan cara pengisian kuesioner oleh responden penduduk. Data primer tentang prospek pengendalian pencemaran dimasa depan diperoleh dari hasil kuesioner dari seluruh pelaku dan para pakar. Data sekunder diperoleh dari

berbagai sumber seperti hasil penelitian terdahulu, hasil studi pustaka, laporan serta dokumen dari berbagai instansi yang berhubungan dengan topik yang dikaji.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

A. Pengambilan Sampel Kualitas Air

Tujuan dari pengambilan data ini adalah untuk mendapatkan gambaran tentang sifat fisika, kimia dan mikrobiologi perairan danau. Penentuan lokasi pengambilan sampel parameter fisika, kimia dan mikrobiologi perairan danau ditetapkan secara *purposive* (sengaja). Pengambilan sampel air lebih diarahkan pada pusat-pusat kegiatan penduduk sebagai sumber aliran limbah yang masuk ke perairan danau seperti permukiman, pertanian dan hotel (pariwisata) serta lokasi kegiatan keramba jaring apung. Penentuan titik-titik pengambilan contoh air di sungai dengan pertimbangan bahwa lokasi pengambilan sampel air diduga sebagai aliran limbah cair dari berbagai kegiatan aktivitas penduduk yang mengalir ke perairan danau.

Selanjutnya ditentukan titik (stasiun) pengambilan contoh air, yaitu satu di muara sungai dan satu lagi di perairan danau dengan jarak 100 meter dari muara sungai. Pengambilan contoh air di danau dilakukan sebanyak 7 (tujuh) kali dengan interval waktu sebulan. Pengambilan contoh air dilakukan pada kedalaman 0 m (permukaan), 2 m dan 10 m dan dilakukan secara komposit. Lokasi penelitian dan pengambilan sampel contoh air ditunjukkan pada Gambar 4. Lokasi pengambilan contoh air dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Muara Batang Limau Sundai, terletak di Nagari Maninjau. Kawasan daerah ini merupakan daerah permukiman, perhotelan, pasar dan kegiatan *home stay*.
2. Muara Batang Maransi, terletak di Nagari Bayur. Kawasan ini merupakan daerah pertanian lahan basah, peternakan, perhotelan, permukiman dan pasar.
3. Muara Bandar Ligin, terletak di Nagari Sungai Batang. Kawasan ini merupakan daerah pertanian, peternakan, permukiman dan pasar.
4. Muara Sungai Jembatan Ampang, terletak di Nagari II Koto. Kawasan ini merupakan daerah lahan pertanian dan permukiman.
5. Muara Sungai Kalarian, terletak di Nagari Koto Kaciak. Kawasan ini merupakan daerah lahan pertanian, permukiman, pasar dan peternakan.

Gambar 4

6. Muara Sungai Tembok Asam, terletak di Nagari III Koto. Kawasan ini merupakan daerah pertanian lahan basah dan perkebunan, permukiman dan peternakan.

Parameter fisika, kimia dan biologi perairan yang diukur terutama didasarkan pada parameter kualitas air kelas 1 yaitu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Lampiran 1). Parameter fisika, kimia dan mikrobiologi perairan danau yang diukur, metode serta peralatan yang digunakan, mengikuti pedoman *standar methods for examination of water and waste water* (APHA, 1995), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Parameter kualitas air dan metode analisis serta alat yang digunakan

Parameter	Satuan	Metode Analisis	Peralatan
I. Fisika			
1. Suhu	$^{\circ}\text{C}$	Pemuaian	Termometer
2. TSS	mg/l	Gravimetri	Timbangan analitik
3. TDS	mg/l	Gravimetri	Timbangan analitik
4. Kekeruhan	JTU	Turbidimetri	Turbidimeter
5. Warna	Unit PtCo	VCM	Skala PtCO
6. Kecerahan	cm	Visual	Secchi Disc
II. Kimia			
1. pH	-	Potensiometri	pH meter
2. CO_2	mg/l	Titrimetrik	Peralatan titrasi
3. DO	mg/l	Titrimetri winkler	DO meter
4. BOD_5	mg/l	Titrimetrik	Peralatan titrasi
5. COD	mg/l	Spektrofotometrik	Spektrofotometer, titrasi
6. N- NO_3	mg/l	Spektrofotometrik	Spektrofotometer
7. N- NO_2	mg/l	Spektrofotometrik	Spektrofotometer
8. Ammonia	mg/l	Spektrofotometrik	Spektrofotometer
9. Ortofosfat	mg/l	Spektrofotometrik	Spektrofotometer
10. Pestisida	mg/l	Spektrofotometrik	Spektrofotometer
III. Mikrobiologi			
1. <i>Fecal coliform</i>	MPN/100 ml	Metode MPN	Tabel MPN, filter
2. <i>Total coliform</i>	MPN/100 ml	Metode MPN	Tabel MPN, filter

B. Sumber dan Beban Pencemaran Perairan Danau

Pengumpulan data untuk mengidentifikasi sumber-sumber limbah yang masuk ke perairan danau dilakukan melalui wawancara dan dari data sekunder. Data beban limbah yang masuk ke perairan danau melalui sungai diperoleh melalui pengukuran konsentrasi parameter beban limbah pada setiap stasiun atau sungai yang mengalir ke danau, sedangkan pengumpulan data beban limbah dari KJA, peternakan dan hotel diperoleh melalui wawancara dan data sekunder. Disamping itu, data untuk menentukan kapasitas asimilasi terhadap beban limbah di perairan danau diperoleh melalui pengukuran parameter pencemaran pada jarak 100 meter dari muara sungai ke arah danau.

C. Persepsi Masyarakat

Pengumpulan data untuk mengetahui persepsi masyarakat tentang pengendalian pencemaran (pencegahan, penanggulangan dan partisipasi pada pencegahan dan pananggulangan) perairan danau menggunakan kuesioner terstruktur yang disebarkan pada responden. Penentuan responden dilakukan dengan metode *multiple stage random sampling* (Nazir, 1999) pada tiga jorong (kampung) terpilih dari tujuh nagari yang ada di sekitar Danau Maninjau. Jumlah responden yang diambil adalah 150 kk yang terdiri dari 50 kk setiap jorong terpilih.

D. Membangun Model Pengendalian Pencemaran Perairan

Data yang diperlukan untuk membangun model pengendalian pencemaran di perairan danau adalah merupakan beban pencemaran yang berasal dari luar danau dan dari dalam danau (KJA). Pengumpulan data tentang sumber-sumber pencemaran yang masuk ke perairan danau dilakukan melalui wawancara dan data sekunder. Data beban pencemaran yang berasal dari luar danau diperoleh melalui pengukuran debit sungai dan konsentrasi parameter beban limbah di muara sungai pada setiap stasiun penelitian. Data beban pencemaran yang berasal dari kegiatan di danau (KJA) diperoleh melalui penghitungan jumlah pakan yang diberikan dan jumlah pakan yang tidak dikonsumsi oleh ikan. Pada Tabel 9 disajikan secara rinci sumber-sumber pencemar yang masuk ke perairan danau. Adapun jenis dan

sumber data serta cara memperolehnya dalam penelitian ini terangkum dalam Tabel 10.

Tabel 9. Sumber pencemar, parameter dan jenis data

No	Sumber Pencemar	Parameter	Jenis Data	
			Primer	Sekunder
1	Permukiman	1. Jumlah rumah tangga dan penduduk		Statistik Kecamatan
		2. Jumlah pemakaian air	Responden KK	
		3. Volume limbah padat	Responden KK	Dinas Pertamanan dan
		4. Sarana pembuangan dan pengolahan limbah domestik (tinja, limbah padat, limbah cair)	Responden KK, perangkat nagari/ kecamatan dan pengamatan	LH
2	Restoran	1. Jumlah pemakaian air	Pengusaha restoran dan pengamatan	PHRI dan statistik kecamatan
		2. Volume limbah padat	Pengusaha restoran	Dinas Pertamanan dan
		3. Sarana pembuangan dan pengolahan limbah yang digunakan (tinja, limbah cair dan padat)	Pengusaha restoran	LH Kabupaten
3	Hotel	1. Jumlah kamar dan ranjang	Pengusaha hotel	Dinas Pariwisata Seni dan Budaya Kabupaten
		2. Tingkat hunian	Pengusaha hotel	Agam
		3. Jumlah pemakaian air	Pengusaha hotel	
		4. Volume limbah padat	Pengusaha hotel	
		5. Sarana pembuangan dan pengolahan limbah yang digunakan (tinja, limbah cair dan padat)	Pengusaha hotel dan pengamatan	
4	Perikanan	1. Jumlah KJA	Responden petani	Statistik nagari dan kecamatan
		2. Lokasi KJA	KJA, Pengamatan dan wawancara perangkat nagari/ kecamatan	
		3. Jumlah pakan per hari		
5	Pertanian	1. Jumlah pemakaian pupuk	Penyuluh pertanian	Statistik nagari dan kecamatan
		2. Jenis pupuk		

Tabel 10. Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian

No	Data yang diambil	Sumber data					Digunakan untuk	
		Lapangan	Laboratorium	Penelitian terdahulu	Instansi	Wawancara	Kondisi danau	Model
1	Suhu	√					√	
2	TSS		√				√	
3	TDS		√				√	
4	Kekeruhan		√				√	
5	Sedimen		√				√	
6	Warna		√				√	
7	Kecerahan	√					√	
8	pH	√					√	
9	CO ₂ -bebas		√				√	
10	DO	√					√	
11	BOD ₅		√				√	
12	COD		√				√	
13	Ammonia		√				√	
14	Ortofosfat		√				√	
15	Nitrat		√				√	
16	Nitrit		√				√	
17	Pestisida		√				√	
18	Fecal <i>Coliform</i>		√				√	
19	Total <i>Coliform</i>		√				√	
20	Jumlah pakan					√		√
21	P yang diperbolehkan			√				√
22	Rasio pakan			√				√
23	P pakan			√				√
24	Jumlah ikan tebar					√		√
25	Lama pemeliharaan					√		√
26	Jumlah KJA				√			√
27	Jumlah RT KJA				√			√
28	Jumlah sapi potong				√	√		√
29	Jumlah limbah sapi			√				√
30	Jumlah penduduk				√			√
31	Persepsi masyarakat					√		√
32	Kebutuhan sistem					√		√
33	Identifikasi faktor penting					√		√

3.5. Analisis Data

3.5.1. Analisis Fisika, kimia dan mikrobiologi Perairan Danau

Analisis parameter fisika, kimia dan mikrobiologi perairan danau dilakukan berdasarkan *standard methods* 1995 dan membandingkan dengan PP Nomor 82 tahun 2001 tentang baku mutu air kelas 1 (KLH, 2004). Analisis dilaksanakan di Laboratorium Kimia Lingkungan FMIPA Universitas Andalas dan Balai Laboratorium Kesehatan Propinsi Sumatera Barat Padang. Selanjutnya analisis indeks mutu lingkungan perairan (IMLP) berdasarkan metode *National*

Sanitation Foundation Water Quality Indeks (NSF-WQI) (Ott, 1978 dan Mahbud, 1990), dengan persamaan:

$$IMLP = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot I_i)$$

Keterangan: IMLP = Indeks mutu lingkungan perairan danau, skala 0 – 100

W_i = Konstanta pembobotan ke-i, skala 0 – 1

I_i = Nilai dari kurva baku subindeks ke-i, skala 0 - 100

Tabel 11. Kriteria indeks mutu lingkungan perairan

Nilai IMLP-NSF	Mutu Lingkungan
91 – 100	Sangat baik
71 – 90	Baik
51 – 70	Sedang
26 – 50	Buruk
0 – 25	Sangat buruk

3.5.2. Analisis Beban Pencemar

1. Analisis beban pencemaran yang berasal dari luar danau (darat) dilakukan dengan perhitungan secara langsung di muara-muara sungai yang menuju Danau Maninjau. Cara penghitungan beban pencemaran ini didasarkan atas pengukuran debit sungai dan konsentrasi limbah di muara sungai berdasarkan persamaan (Mitsch & Goesselink, 1993):

$$BP = Q \times C$$

Keterangan: BP = beban pencemaran (ton/tahun)

Q = debit sungai (m³/detik)

C = konsentrasi limbah (mg/liter)

Total beban pencemaran dari seluruh sungai yang bermuara di perairan danau dihitung dengan persamaan:

$$TBP = \sum_{i=1}^n BP$$

Keterangan : TBP = Total beban pencemaran

n = Jumlah sungai

i = Beban limbah sungai ke-i

Untuk mengkonversi beban limbah ke dalam ton/tahun dikalikan dengan $10^{-6} \times 3600 \times 24 \times 360$.

2. Untuk estimasi besarnya beban pencemaran yang berasal dari aktivitas penduduk di sekitar perairan danau dilakukan berdasarkan pendekatan *Rapid Assesment* (Kositranata *et al.*, 1989; WHO, 1993) dengan persamaan:

$$BP = a \times f$$

Keterangan: BP = beban pencemaran dinyatakan dalam ton/tahun
 a = jumlah unit penghasil limbah
 f = faktor konstanta beban limbah organik

Tabel 12. Faktor konstanta beban limbah organik

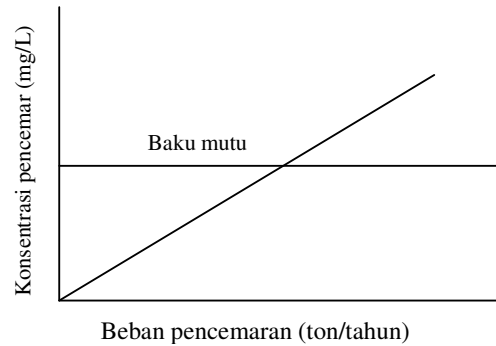
Aktivitas	Konversi			
	BOD	COD	TP	TN
Permukiman	53	101,6	22,7	3,8
Peternakan	694,4	1620	223,1	8,6
Hotel	12	24,2	5,4	0,9
Pertanian	-	-	0,04	1,68

3. Untuk menghitung besarnya beban limbah yang berasal dari kegiatan KJA dilakukan dengan metode pendugaan total bahan organik (Iwana, 1991 *dalam* Barg, 1992) dengan persamaan :

$$O = TU + TFW$$

Keterangan : O = total output bahan organik partikel
 TU = total pakan yang tidak dikonsumsi
 TFW = total limbah feses

4. Untuk menghitung kapasitas asimilasi perairan danau terhadap beban pencemaran dilakukan dengan menggunakan metode hubungan antara konsentrasi parameter limbah di perairan danau dengan total beban limbah tersebut di muara sungai. Nilai kapasitas asimilasi didapatkan dengan cara membuat grafik hubungan anatara nilai konsentrasi masing-masing parameter limbah di perairan danau dengan parameter limbah tersebut di muara sungai. Selanjutnya dianalisis dengan memotongkan dengan garis nilai baku mutu air kelas 1 seperti diperlihatkan pada (Gambar 5).



Gambar 5. Hubungan antara beban pencemaran dan konsentrasi pencemar.

3.5.3. Validasi Model

Validasi merupakan usaha untuk menyimpulkan model apakah model sistem yang dibangun merupakan perwakilan yang sah dari realitas yang dikaji, yang dapat menghasilkan kesimpulan yang menyakinkan (Eriyatno, 1999). Validasi yang dilakukan adalah terhadap struktur model dan keluaran model (*output model*). Validasi struktur dilakukan melalui studi pustaka, sedangkan validasi output dilakukan dengan membandingkan dengan data empirik. Untuk memverifikasi penyimpangan keluaran model dengan data empirik dilakukan dengan uji KF (Kalman Filter). Tingkat kecocokan hasil simulasi model dengan nilai aktual adalah 47,25-52,3% dengan menggunakan perasamaan:

$$KF = \frac{Vs}{(Vs + Va)}$$

Keterangan: KF = Kalman filter
 Vs = Varian nilai simulasi
 Va = Varian nilai aktual

3.5.4. Analisis Persepsi Masyarakat

Data karakteristik masyarakat di sekitar perairan danau dianalisis dengan menggunakan distribusi frekuensi. Untuk mengetahui persepsi atau pandangan masyarakat di sekitar perairan danau terhadap pengendalian pencemaran dilakukan melalui analisis deskriptif menggunakan tabel.

3.5.5. Pendekatan Sistem dalam Pengendalian Pencemaran Perairan Danau

Pendekatan sistem merupakan suatu metodologi pemecahan masalah yang dimulai dengan mengidentifikasi serangkaian kebutuhan sehingga dapat

menghasilkan suatu operasi dari sistem yang dianggap efektif. Pendekatan sistem ini dilakukan untuk menunjukkan kinerja intelektual berdasarkan perspektif, pedoman, model, metodologi dan sebagainya yang diformulasikan untuk perbaikan secara terorganisir dari tingkah laku dan perbuatan manusia (Winardi, 1989; Zhu, 1998). Oleh karena itu, menurut Eriyatno (2007) pada pendekatan kesisteman dalam penyelesaian suatu permasalahan selalu ditandai dengan: (1) pengkajian terhadap semua faktor penting yang berpengaruh dalam rangka mendapatkan solusi untuk pencapaian tujuan, dan (2) adanya model-model untuk membantu pengambilan keputusan lintas disiplin, sehingga permasalahan yang kompleks dapat diselesaikan secara komprehensif.

a. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan pada dasarnya merupakan tahap awal pengkajian dalam pendekatan sistem, dan sangat menentukan kelaikan sistem yang dibangun. Analisis kebutuhan juga merupakan kajian terhadap faktor-faktor yang berkaitan dengan sistem yang dianalisis (Pramudya, 1989). Oleh karena itu, dalam penelitian ini analisis kebutuhan diarahkan pada pihak-pihak yang mempunyai kepentingan dan keterkaitan baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap pengendalian pencemaran perairan danau. Dalam pengendalian pencemaran perairan danau, pihak yang mempunyai kepentingan dan terkait secara langsung adalah (1) masyarakat lokal yaitu masyarakat yang tinggal di sekitar danau yang memanfaatkan perairan danau untuk berbagai kepentingan, (2) dinas instansi terkait yaitu semua dinas instansi pemerintah daerah yang mempunyai hubungan keterkaitan dengan perairan danau baik langsung maupun tidak, (3) akademisi (peneliti) yaitu orang yang melakukan penelitian pada perairan danau, (4) Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) yaitu lembaga yang dibentuk masyarakat setempat yang mempunyai kepedulian terhadap kelestarian perairan danau, dan (5) badan usaha milik negara yaitu perusahaan yang melakukan kegiatan usaha di perairan danau.

Dalam analisis kebutuhan dilakukan inventarisasi kebutuhan setiap pelaku yang terlibat dalam sistem. Inventarisasi ini dilakukan dengan wawancara secara terbatas. Berdasarkan hasil wawancara dihasilkan analisis kebutuhan pelaku seperti disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Analisis kebutuhan *stakeholder* (pelaku)

No.	Pelaku	Kebutuhan
1	Masyarakat lokal	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas dan kuantitas air tidak menurun • Penyediaan lapangan kerja • Pendapatan meningkat • Hasil tangkapan masyarakat tidak menurun • Kegiatan usaha budidaya perikanan tetap jalan • Kebersihan dan keindahan danau terjaga
2	Dinas Instansi terkait (Perikanan, Pertanian, Pertamanan dan Lingkungan Hidup, Kimpraswil dan Pariwisata)	<ul style="list-style-type: none"> • Elevasi air danau tidak menurun • Penyediaan lapangan kerja • Peningkatan PAD • Kebersihan dan keindahan danau tetap terjaga • Peningkatan perekonomian masyarakat • Kualitas dan kuantitas air danau tetap baik
3	Akademisi (peneliti)	<ul style="list-style-type: none"> • Biodeversiti danau tetap terjaga • Kualitas dan kuantitas air danau tetap baik
4	Lembaga Sosial Masyarakat (LSM)	<ul style="list-style-type: none"> • Kelestarian danau terjamin • Pendapatan masyarakat meningkat
5	PLN	<ul style="list-style-type: none"> • Ketinggian muaka air danau tetap stabil • Kualitas air danau baik

b. Formulasi Permasalahan Sistem

Permasalahan sistem pada dasarnya adalah terdapatnya *gap* antara kebutuhan pelaku dengan kondisi yang ada (*reel*). Pada kondisi nyata di lapangan, permasalahan sistem ditunjukkan oleh adanya isu yang berkembang sehubungan dengan terjadinya pencemaran di perairan danau. Formulasi sistem di sini adalah merupakan aktivitas merumuskan permasalahan dalam pengendalian pencemaran di perairan danau yang berkaitan dengan adanya perbedaan antara kebutuhan pelaku dengan kondisi yang ada.

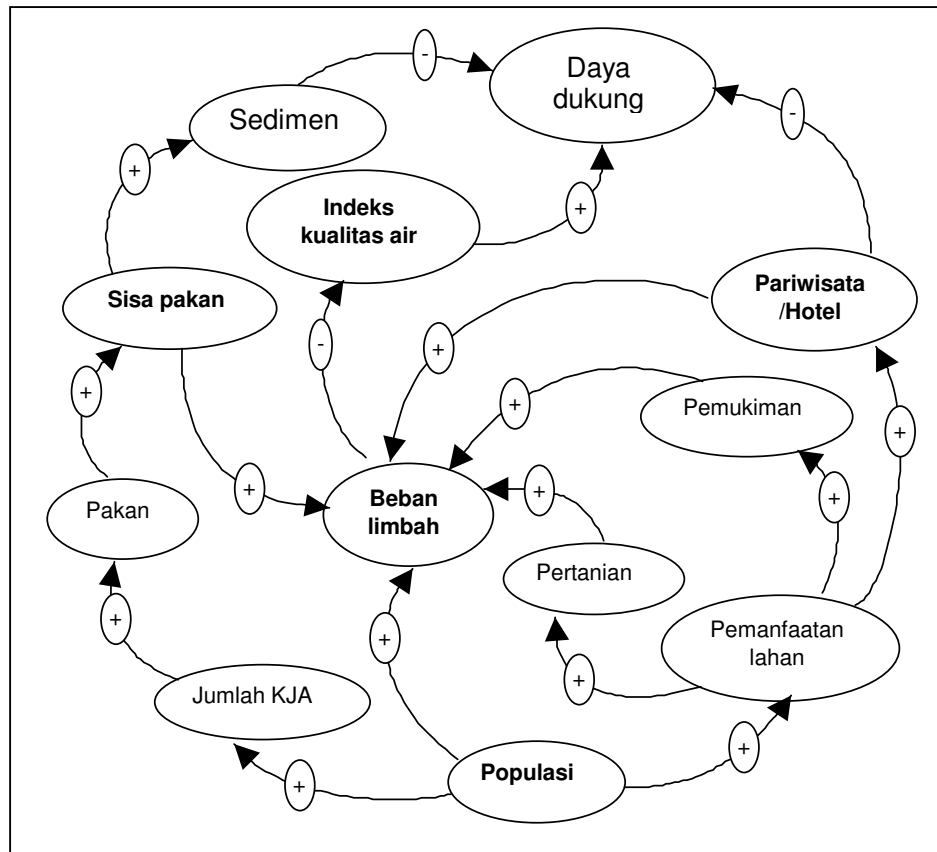
Berdasarkan pada analisis kebutuhan para pelaku yang terlibat dalam pemanfaatan perairan danau dan kondisi yang dijumpai di perairan danau saat ini, maka permasalahan pengendalian pencemaran di perairan danau dapat diformulasikan sebagai berikut:

1. Tidak diperhatikannya limbah dari aktivitas KJA yang ditunjukkan dengan tidak adanya pemahaman mengenai dampak dari limbah KJA terhadap kualitas air.
2. Tidak tersedianya sistem pengolahan limbah penduduk, menyebabkan buangan limbah dari permukiman akan langsung mengalir ke perairan danau, sehingga kualitas perairan danau menjadi turun.

3. Tidak diperhatikannya pemanfaatan tata guna lahan di kawasan sempadan danau yaitu banyaknya pengembangan permukiman, hotel, restoran, dan *home stay* serta pembukaan lahan pertanian yang tercermin dari tingginya padatan tersuspensi di perairan danau.
4. Tidak diperhatikannya persepsi masyarakat di sekitar perairan danau dalam upaya pengendalian pencemaran yang terjadi di perairan danau.
5. Tidak adanya zonasi (penataan ruang) kawasan danau yang tercermin dari penyebaran atau letak keramba jaring apung yang tersebar hampir di seluruh tepian atau keliling perairan danau.

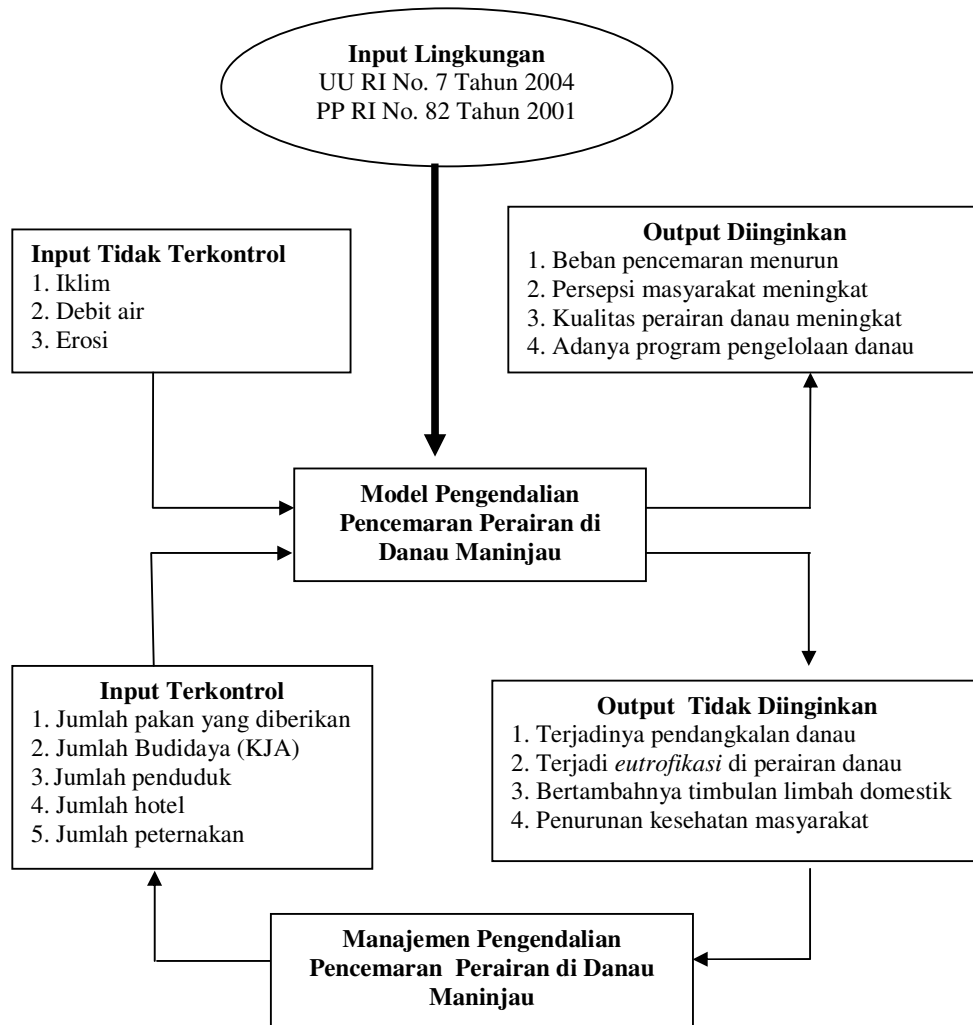
c. Identifikasi Sistem

Identifikasi sistem merupakan suatu rantai hubungan antara pernyataan dari kebutuhan dengan pernyataan khusus dari masalah yang harus dipecahkan untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan tersebut (Eriyatno, 2003). Hal ini sering digambarkan dalam bentuk diagram lingkaran sebab-akibat (causal loop diagram) . Diagram tersebut merupakan pengungkapan interaksi antara komponen di dalam sistem yang saling berinteraksi dan mempengaruhi dalam kinerja sistem, seperti disajikan pada Gambar 6. Disamping itu, hubungan antara *input* (masukan) dan *output* (keluaran) dalam suatu sistem digambarkan dalam sebuah diagram *input-output* (masukan-keluaran) seperti disajikan pada Gambar 7. Diagram lingkaran sebab-akibat merupakan gambaran dari struktur model pengendalian pencemaran di perairan danau yang dibuat berdasarkan diagram *input-output*.



Gambar 6. Diagram lingkaran sebab-akibat (*causal-loop diagram*) sistem pengendalian pencemaran perairan danau.

Menurut Manetsch dan Park (1977), secara garis besarnya variabel yang mempengaruhi kinerja sistem ada 6 variabel yakni: (1) variabel *output* yang dikehendaki; ditentukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan, (2) variabel input terkontrol, variabel yang dapat dikelola untuk menghasilkan perilaku sistem sesuai dengan yang diharapkan, (3) variabel *output* yang tidak dikehendaki; merupakan hasil sampingan atau dampak yang ditimbulkan bersama-sama dengan *output* yang diharapkan, (4) variabel input tak terkontrol, (5) variabel *input* lingkungan; variabel yang berasal dari luar sistem yang mempengaruhi sistem tetapi tidak dipengaruhi oleh sistem, dan (6) variabel kontrol sistem; merupakan pengendali terhadap pengoperasian sistem dalam menghasilkan *output* yang dikehendaki. Variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja sistem disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram masukan-keluaran (*input-output diagram*) sistem pengendalian pencemaran perairan danau.

3.6. Model Pengendalian Pencemaran

Model pengendalian pencemaran perairan di Danau Maninjau yang dibangun didasarkan pada kondisi faktual yang terjadi di lapangan yang dikombinasikan dengan studi literatur. Perangkat lunak yang digunakan sebagai alat bantu dalam pemodelan sistem ini adalah *Powersim version 2,5 c*. Konsep dasar dalam membangun model pengendalian pencemaran perairan danau bersumber dari beban pencemaran yang berasal dari luar danau dan dari dalam danau. Model dinamik yang dibangun melibatkan lima sub-model, yaitu: 1) sub-

model limbah penduduk yang berdomisili di sekitar perairan danau, 2) sub-model limbah hotel (pariwisata), 3) sub-model limbah peternakan, 4) sub-model limbah pertanian, dan 5) sub-model limbah budidaya perikanan (KJA).

3.7. Asumsi yang Digunakan

Pembangunan model yang akan dirumuskan menggunakan beberapa batasan, guna untuk menyederhanakan dan memahami pengertian hubungan-hubungan antar peubah dalam model yang akan membatasi keberhasilan model. Beberapa batasan yang dijadikan sebagai asumsi dalam model ini adalah :

- (a). Laju pertambahan limbah dari permukiman yang ada di sekitar perairan danau mengikuti pola pertumbuhan penduduk yang berdomisili di lokasi tersebut.
- (b). Nilai parameter hasil pengamatan di perairan danau dan sungai merupakan pencerminan dari dinamika yang ada di perairan tersebut.
- (c). Parameter limbah yang diacu adalah ortofosfat sebagai P dengan nilai baku mutu sebesar 0,2 mg/l.
- (d). Konstruksi dan tipe KJA di daerah penelitian dianggap homogen untuk semua unit KJA yang tersebar di seluruh perairan danau.

3.8. Analisis Pengembangan Skenario Pengendalian Pencemaran Perairan

Pengembangan skenario pengendalian pencemaran perairan danau dilakukan dengan menggunakan analisis prospektif. Analisis prospektif merupakan suatu analisis yang digunakan untuk mengeksplorasi kemungkinan yang akan terjadi di masa yang akan datang. Dari analisis ini akan didapatkan informasi mengenai faktor kunci yang berperan dalam pengendalian pencemaran di perairan danau sesuai dengan kebutuhan dari para pelaku yang terlibat dalam sistem. Selanjutnya faktor kunci tersebut digunakan untuk mendeskripsikan perubahan kemungkinan masa depan bagi pengendalian pencemaran perairan danau. Penentuan faktor kunci ini sepenuhnya adalah merupakan pendapat dari pihak yang berkompeten sebagai pelaku dan pakar mengenai pengendalian pencemaran perairan. Penentuan faktor kunci menggunakan kuesioner dan wawancara. Responden pakar yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat

pada Lampiran 7. Tahapan-tahapan dalam melakukan analisis prospektif menurut Hardjomidjojo (2002) adalah sebagai berikut:

1. Menentukan tujuan studi
2. Identifikasi faktor-faktor penting
3. Analisis pengaruh antar faktor
4. Membuat suatu keadaan (*state*) suatu faktor
5. Membangun skenario yang mungkin terjadi
6. Implikasi dari skenario yang diinginkan

Untuk melihat pengaruh langsung hubungan timbal balik antar faktor dalam sistem, dilakukan penilaian dengan skor antara 0–3. Kriteria pedoman penilaian dapat dilihat pada Tabel 14. Untuk melihat pengaruh langsung antar faktor dalam sistem yang dikaji dilakukan dengan cara matriks, seperti disajikan pada Tabel 15.

Tabel 14. Pedoman penilaian keterkaitan antar faktor

Skor (nilai)	Keterangan
0	Tidak berpengaruh
1	Berpengaruh kecil
2	Berpengaruh sedang
3	Berpengaruh sangat kuat

Tabel 15. Matriks pengaruh langsung antar faktor dalam analisis prospektif

Dari ↓ Terhadap →	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A											
B											
C											
D											
E											
F											
G											
H											
I											
J											
K											

Keterangan: A – K merupakan faktor penting atau kunci dalam sistem

Pedoman pengisian pengaruh langsung antar faktor :

1. Apakah faktor X berpengaruh terhadap Y ?

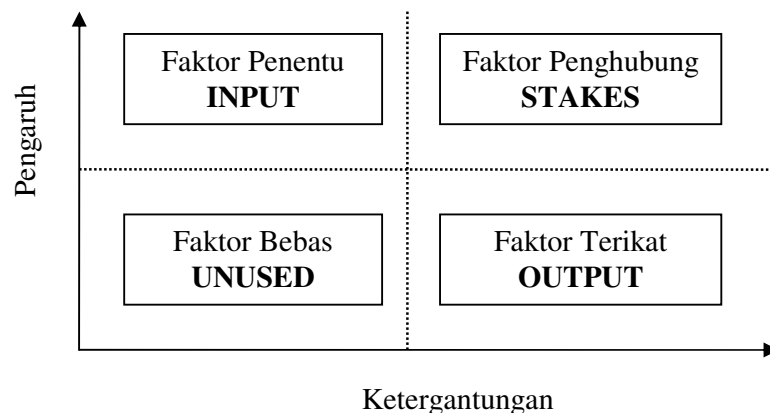
Jika tidak berpengaruh bernilai 0

2. Jika ada pengaruh, apakah pengaruhnya sangat kuat? jika ya bernilai 3, jika pengaruhnya sedang bernilai 2 dan jika pengaruhnya kecil bernilai 1.

Jika nilai faktor yang diberikan oleh responden lebih dari 1 (misalnya sebanyak N), maka dilakukan analisis matriks gabungan dengan cara:

- a) Apabila pengaruh antar satu faktor dengan faktor lainnya mempunyai nilai 0 dengan jumlah $> \frac{1}{2} N$, maka nilai dari sel tersebut adalah 0. Jika nilai 1,2 dan 3 bersama-sama berjumlah $> \frac{1}{2} N$, nilai sel tersebut ditentukan berdasarkan yang paling banyak dipilih antara 1,2 dan 3.
- b) Jika jumlah faktor adalah genap dan diperoleh dalam satu sel jumlah nilai 0 sama banyak dengan jumlah nilai 1,2 dan 3, maka dilakukan diskusi lebih lanjut dengan pakar untuk menentukan nilai sel tersebut.

Selanjutnya untuk menentukan tingkat kepentingan faktor-faktor kunci (penting) yang berpengaruh pada sistem yang dikaji digunakan *software* analisis prospektif. Hasil analisis ini akan didapatkan gambaran pada kuadran I adalah terdiri dari faktor penentu (*input factor*), kuadran II terdiri dari faktor penghubung (*stakes factor*), kuadran III terdiri dari faktor terikat (*output factor*), dan kuadran IV terdiri dari faktor autonomous (*unused factor*) seperti disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Tingkat pengaruh dan ketergantungan antar faktor dalam sistem

3.9. Definisi Operasional

1. Pengendalian pencemaran adalah upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air
2. Umur adalah usia responden pada saat penelitian. Data yang diperoleh merupakan skala ordinal dengan pengkategorian ke dalam umur muda (< 19 tahun), dewasa (19-55 tahun) dan tua atau tidak produktif (> 55 tahun).
3. Pendidikan adalah tingkat pendidikan secara formal yang pernah diperoleh responden. Indikatornya adalah status pendidikan formal yang pernah diikuti responden. Parameter dan pengukurannya adalah tingkat pendidikan secara formal yang pernah diikuti responden dengan kategori rendah (tidak tamat SD atau lulus SD), sedang (lulus SLTP dan SMU) dan tinggi (lulus perguruan tinggi, D2, D3 dan S1).
4. Pendapatan adalah jumlah penghasilan secara keseluruhan yang diperoleh dalam satu bulan, kemudian diperhitungkan berdasarkan nilai tukar uang. Pendapatan dikategorikan dalam skala ordinal, yaitu rendah (< Rp 500.000,-), sedang (Rp 500.000 – Rp 1.000.000,-) dan tinggi (> Rp 1.000.000,-)
5. Persepsi masyarakat adalah pandangan responden tentang kegiatan pengendalian pencemaran perairan danau. Cara untuk mengetahuinya adalah melalui beberapa indikator pertanyaan yang menjelaskan pandangan responden terhadap (a) kegiatan pencegahan pencemaran danau, (b) kegiatan penanggulangan pencemaran danau dan (c) kegiatan dalam berpartisipasi pada pencegahan dan penanggulangan pencemaran danau. Tiap indikator dikembangkan menjadi beberapa pertanyaan yang dinilai responden dengan menggunakan skala berjenjang dengan ketentuan; setuju bernilai 3, ragu-ragu bernilai 2 dan tidak setuju bernilai 1.