

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam kehidupan saat ini, tempat permukiman lebih terpusat pada sebuah kawasan perumahan. Hal ini menimbulkan masalah baru terutama pada sistem saluran pembuangan limbah cair. Cara pembuangan limbah cair secara alamiah sebelumnya yaitu mengalirkannya ke sungai pernah dianggap berhasil dan mula-mula tidak menimbulkan permasalahan, karena jumlah limbah cair tersebut kecil dibandingkan dengan aliran sungai. Namun dengan meningkatnya pembuangan limbah cair, maka pencemaran makin meningkat sehingga mencemari lingkungan. Permukiman yang terpusat menjadikan pengumpulan air limbah domestik dalam aliran pembuangan sangat tinggi. Hal itu dapat menurunkan kualitas air sungai bila limbah tersebut dialirkan tanpa pengolahan lebih dahulu. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, air limbah perlu mengalami proses pengolahan lebih dahulu sebelum dialirkan masuk ke sistem perairan. Salah satu proses pengolahannya adalah menggunakan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terpusat.

Permasalahan kualitas lingkungan binaan pada permukiman masyarakat hampir di semua kota-kota besar di Indonesia merupakan masalah yang multi dimensi. Perkembangan perkotaan yang cukup pesat ditandai oleh semakin bertambahnya jumlah penduduk yang tinggal di kawasan permukiman kota. Pertambahan jumlah penduduk membawa implikasi terhadap volume sampah yang diproduksi oleh masyarakat baik padat maupun cair, oleh karena itu produksi limbah persatuan luas juga bertambah (Soemarwoto, 1983). Jika tidak ada tindakan yang tepat untuk menangani masalah ini, maka akan menyebabkan masalah yang serius. Semakin padat suatu kawasan, maka masalah pencemaran akan semakin kompleks terutama adalah limbah rumah tangga atau limbah domestik. Limbah domestik

yang tidak terkontrol telah menimbulkan pencemaran hampir di seluruh sungai di Indonesia terutama Jawa (Sudharto P. Hadi dan Adjie Samekto, 2007).

Limbah domestik atau limbah rumah tangga terdiri dari pembuangan air kotor dari kamar mandi, kakus dan dapur. Kotoran-kotoran itu merupakan campuran dari zat-zat bahan mineral dan organik dalam banyak bentuk, termasuk partikel-partikel besar dan kecil, benda padat, sisa-sisa bahan-bahan larutan dalam keadaan terapung dan dalam bentuk koloid dan setengah koloid (Martopo, 1987).

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003 yang dimaksud dengan air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restauran), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama. Karakteristik air limbah perkotaan yang menonjol adalah kandungan bahan organik yang tinggi. Walaupun tidak mengandung bahan kimia yang berbahaya, dalam pengolahannya pada umumnya tidak menggunakan penambahan bahan kimia khusus, sehingga proses pengolahan air limbah diutamakan secara biologi.

Pada umumnya pengolahan secara biologi dipergunakan untuk mereduksi atau menurunkan kadar pencemaran organik dalam air limbah dengan menggunakan dan memanfaatkan keaktifan mikroorganisma (Mahida, 1993), misalnya dengan lumpur aktif (*activated sludge*), saringan menetes (*trickling filter*) dan kolam stabilisasi limbah.

Kolam stabilisasi limbah (*Waste Stabilization Ponds*) digunakan untuk memperbaiki kualitas air limbah dengan mengandalkan proses-proses alamiah yang mengolah air limbah dengan memanfaatkan keberadaan bakteri, alga, dan zooplankton untuk mereduksi bahan pencemar organik yang terkandung dalam air limbah (Kayombo *et al.*, 2002; Beran and Kargi, 2005; Lani Puspita, *et al.*, 2005).

Sistem pembuangan air limbah yang umum digunakan masyarakat yakni air limbah yang berasal dari *toilet* dialirkan ke dalam tangki septik dan air limpasan dari tangki septik

diresapkan ke dalam tanah atau dibuang ke saluran umum, sedangkan air limbah *non toilet* yakni yang berasal dari mandi, cuci serta buangan dapur dibuang langsung ke saluran umum.

Untuk mengendalikan pencemaran air limbah domestik di kota-kota besar seperti (Jakarta, Bandung, Yogyakarta) umumnya dibuang melalui jaringan riol kota untuk kemudian dialirkan menuju ke suatu Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terpusat. Esensi dari dibangunnya IPAL terpusat adalah untuk mendukung program kali bersih (Prokasih), mencegah/mengurangi pencemaran terhadap air tanah, menghemat pembuatan pengolahan pribadi dan meningkatkan perbaikan lingkungan hidup yang sehat.

Berdasarkan survai di Jakarta pada tahun 1989, tiap orang rata-rata mengeluarkan beban limbah organik sebesar 40 gram *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) per orang/hari, yakni dari limbah *toilet* 13 gram per orang/hari dan dari limbah *non toilet* 27 gram BOD per orang/hari. Jika hanya air limbah *toilet* yang diolah dengan sistem tangki septik dengan efisiensi pengolahan 65%, maka hanya 22,5% dari total beban polutan organik yang dapat dihilangkan dan sisanya 77,5% masih terbuang keluar.

Terakumulasinya bahan pencemar organik dari limbah rumah tangga dalam suatu perairan dapat memacu pertumbuhan mikrobia terutama bakteri dan fungi yang kemudian sering menaikkan BOD air dan mengurangi jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh ikan dan hewan tingkat tinggi. Sementara itu limbah juga menaikkan turbiditas air, sehingga mengurangi cahaya yang dapat digunakan untuk kelangsungan fotosintesis organisme, akibatnya oksigen yang dapat ditambahkan kembali oleh reaksi fotosintesis menjadi berkurang (Southwick, 1976).

Pengolahan biologi ditujukan untuk mengurangi kandungan bahan organik dengan memanfaatkan atau memelihara mikroorganisme yang akan mendegradasi bahan organik pada unit pengolahan air limbah seperti pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Sewon. Berdasarkan hasil penelitian awal (Sunarsih, 2010) pada IPAL Sewon, menunjukkan

bahwa prosentase tingkat penurunan bahan organik (BOD) sebesar (72,33%), COD sebesar (78,67%) dan total *coliform* sebesar (97,1%).

Permasalahan yang sering terjadi dan banyak mengganggu pada proses pengolahan air limbah adalah IPAL yang direncanakan hanya untuk mengolah air limbah domestik atau air limbah yang berasal dari rumah tangga. Namun dalam kenyataannya IPAL Sewon sering menerima air limbah non domestik khususnya yang dibawa oleh armada penyedot tinja yang menyedot air limbah dari industri kecil atau industri rumah tangga yang sebetulnya air limbahnya sebelum dibuang ke IPAL harus diolah terlebih dahulu. Hal ini akan mengganggu proses pengolahan air limbah pada IPAL tersebut. Persyaratan teknis untuk kualitas lumpur tinja yang masuk ke dalam IPAL harus memenuhi laju/kapasitas lumpur tinja (cairan dan endapan) sebesar 0,5 liter/orang/hari dan BOD₅ sebesar 5.000 mg/liter (Operasi dan Pemeliharaan Unit IPLT, 2012).

IPAL merupakan hal yang esensial untuk mengendalikan pencemaran limbah domestik di kota-kota besar di Indonesia (Jakarta, Bandung, Yogyakarta, Cirebon, Surakarta, Denpasar, Banjarmasin, Balikpapan, Tengerang, Batam dan Manado). Di Yogyakarta baru mampu melayani kurang dari 25% penduduk kota, sedangkan lainnya menggunakan sistem setempat yaitu menggunakan *septic tank* dan sumur resapan (Kimpraswil Yogyakarta, 2011). Untuk itu IPAL perlu dikenali karakteristik proses yang terjadi dengan perubahannya, hal itu untuk menentukan karakteristik air baku domestik dengan menggunakan parameter antara lain BOD. Dengan mengikuti hukum termodinamika II yang berbunyi: “*Tidak mungkin panas dapat dirubah menjadi kerja seluruhnya, tetapi sebaliknya kerja dapat dirubah menjadi panas*”, dimana memberikan batasan-batasan tentang arah yang dijalani suatu proses dan memberikan kriteria apakah proses itu *reversible* atau *irreversible*. Salah satu akibat dari hukum termodinamika II ialah perkembangan dari suatu sifat fisik alam yang disebut entropi. Pada proses pengolahan air limbah melalui IPAL dengan mengikuti hukum termodinamika II dimaksudkan yaitu meminimumkan entropi dan memaksimumkan proses. Menurut

Wikipedia, entropi adalah suatu ukuran tentang ketakteraturan suatu sistem. Perubahan entropi menentukan arah yang dijalani suatu proses dan sesuatu yang bekerja sebagai suatu siklus yang tidak dapat memindahkan kalor dari bagian yang bertemperatur rendah ke bagian yang bertemperatur lebih tinggi, tanpa menimbulkan perubahan keadaan pada sistem yang lain. Dari kedua hal tersebut dapat dinyatakan tentang arah proses perubahan energi dalam bentuk panas ke bentuk kerja yang menyatakan adanya pembatasan transformasi energi (Slamet Wahyudi, *et al*, 2003).

Pada unit pengolahan air limbah pada IPAL perlu dikenali karakteristik proses yang terjadi perubahannya, hal itu menurut (Arceivala, 1973; Nuranto, 2000) untuk menentukan karakteristik air baku domestik menggunakan parameter antara lain : laju aliran, BOD, nitrogen total, fosfor, partikel tersuspensi, kalium, chlorida dan mikrobiologi. Parameter-parameter yang digunakan untuk menentukan efisiensi degradasi bahan organik yang dominan terkandung dalam air buangan domestik adalah BOD, sehingga efisiensi degradasi bahan organik dalam kolam fakultatif tergantung pada laju penurunan nilai BOD.

Hasil temuan parameter-parameter yang akan diperbarui diimplikasikan pada disain dan pembangunan kolam stabilisasi sejenis berdasarkan atas pengalaman dan keahlian pembuatannya. Proses biologis yang terjadi di dalam fenomena fisik yang mendukungnya merupakan hal belum banyak diketahui dan kompleksnya faktor lingkungan dan cuaca yang mempengaruhinya. Oleh karenanya banyak terjadi ketidak efisienan dalam pengoperasian kolam fakultatif (Rositayanti & Suprihanto, 2004). Selain itu karakteristik hidrolis juga merupakan faktor yang mendukung kinerja suatu unit pengolahan secara optimal, misal suatu unit koagulasi membutuhkan kondisi aliran yang tercampur sempurna.

Dalam istilah teknis kolam stabilisasi dikenal juga istilah laguna limbah, yang membedakan keduanya adalah keberadaan aerator, pada laguna limbah aerator digunakan untuk membantu aerasi kolam, sedangkan pada kolam tidak menggunakan aerasi. Yang menjadi ciri khas kolam dan laguna limbah pada dasarnya adalah berupa tanah, ukurannya

yang luas, kedalamannya yang relatif dangkal, dan waktu retensi air limbahnya yang relatif lama (Metcalf and Eddy, 1991; Suryadiputra, 1994; Ramadan and Ponce, 2004, Lani Puspita *et al.*, 2005).

Prinsip dasar dari kolam stabilisasi adalah menyeimbangkan dan menjaga fluktuasi beban organik dan beban hidrolis limbah air, mengendapkan partikel padatan dari air limbah di kolam pertama, memanfaatkan proses fotosintesis yang dilakukan oleh alga sebagai sumber utama oksigen, proses degradasi bahan organik secara biologis yang dilakukan oleh mikroorganisme (baik secara aerobik maupun anaerobik), dan pengurangan organisme patogenik melalui beberapa proses interaktif (Veenstra, 2000).

Kolam stabilisasi limbah dan juga laguna limbah pada dasarnya berfungsi untuk memperbaiki kualitas air limbah agar mutu hasil olahannya memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan dan tidak mencemari badan air penerima. Baku mutu air limbah domestik adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah domestik yang akan dibuang atau dilepas ke air permukaan (Kepmen LH No. 112 Tahun 2003). Kolam stabilisasi limbah sampai saat ini diyakini sebagai cara paling ekonomis untuk mengolah air limbah (Lani Puspita *et al.*, 2005).

Kolam stabilisasi limbah ini sangat cocok diterapkan pada negara berkembang (terutama daerah tropis yang iklimnya hangat), karena pengoperasian kolam ini tidak membutuhkan biaya investasi dan biaya pengoperasian yang tinggi, serta tidak memerlukan tenaga operator khusus untuk mengoperasikannya (Mara D., *et al.*, 1992; Mashauri and Kayombo *et al.*, 2002; Beran and Kargi, 2005; Lani Puspita *et al.*, 2005).

Salah satu jenis kolam stabilisasi adalah kolam fakultatif yang didesain untuk mendegradasi air limbah yang bebannya tidak terlalu tinggi (100-400 kg BOD/ha/hari pada suhu udara antara 20 °C -25°C). Hal ini dilakukan agar jumlah populasi alga dalam perairan tetap terjaga, mengingat sumber oksigen terbesar kolam (diperlukan oleh bakteri aerob untuk mendegradasi bahan organik) berasal dari fotosintesis alga (Lani Puspita *et al.*, 2005).

Pada kolam fakultatif, bahan organik diubah menjadi CO₂, H₂O, dan sel bakteri serta alga baru; hal tersebut dilakukan dalam suasana aerobik. Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis alga dimanfaatkan oleh bakteri aerobik untuk mendegradasi limbah organik lebih lanjut. Oleh karena proses fotosintesis hanya dapat berlangsung pada kolom air yang masih menerima penetrasi cahaya matahari, maka pada kolom air bagian dasar tercipta kondisi anaerobik. Pada lapisan anaerobik ini bahan organik didegradasi oleh bakteri-bakteri anaerobik. Selain mendegradasi bahan organik, pada kolam fakultatif juga terjadi degradasi berbagai jenis mikroorganisme penyebab penyakit (Lani Puspita *et al.*, 2005).

Secara garis besar, pengendalian kualitas air limbah dilakukan dengan cara mengambil sampel air yang kemudian dilakukan pemeriksaan di laboratorium. Hanya saja hal ini akan mengakibatkan tindakan perbaikan kolam yang bersifat reaktif. Untuk itu dilakukan monitoring kualitas air limbah dengan cara lain yang bersifat efektif dan optimal, yaitu dengan melakukan prediksi berdasarkan data eksisting yang berupa sampel konsentrasi yang telah ada sebelumnya. "*Salah satu cara untuk melakukan prediksi berdasarkan data eksisting adalah dengan melihat trend yang terbentuk*". Oleh karena *trend* yang ada ditentukan melalui ekstrapolasi dari data sampel dengan cara regresi dan meskipun metode regresi ini memiliki keakuratan dan presisi yang cukup baik, akan tetapi memiliki keterbatasan yang tidak dapat ditolerir untuk dapat dipergunakan dalam proses pengembangan permodelan kualitas air (Purwanto, 2005). Metode ini hanya dapat memprediksi situasi dan kondisi yang terjadi apabila tidak ada perubahan kebijakan dari pemerintah sehubungan dengan berbagai hal yang berpotensi memberi pengaruh pada kualitas air.

Ketergantungan pada proses alami pada kolam dalam mendegradasi pada air limbah membuat sistem proses rentan terhadap faktor-faktor lingkungan seperti suhu, pH, cahaya matahari, angin dan faktor lingkungan lainnya. Untuk memahami dan mengetahui pengaruh kondisi air limbah terhadap proses degradasi bahan organik yaitu kemampuan kolam mendegradasi bahan organik, maka dikembangkan permodelan lingkungan.

Banyak peneliti telah mengembangkan model-model empiris untuk parameter yang berbeda dalam kolam stabilisasi berdasarkan pengaruh variabel independen dengan menggunakan teknik regresi berganda. Selain model empiris dikembangkan model matematika yang dalam penerapannya secara luas akan menghindari bentuk-bentuk model berdasarkan regresi korelasi atau penggunaan persamaan garis dalam berbagai penelitian laboratorium maupun lapangan (Beran and Kargi, 2005; Purwanto, 2005).

Selain model empiris, banyak penelitian yang bertujuan untuk memprediksi kualitas efluen yang berkaitan dengan sistem ekologi yaitu struktur model yang dikenal dengan model dinamik pada kolam stabilisasi seperti yang telah dilakukan oleh (Moreno-Grau *et al*, 1996) dengan menggunakan tumbuhan *macrophyta* dan tumbuhan *microphyta* untuk menjaga kondisi oksigen terlarut; (Kayombo *et al.*, 2000) untuk model harian oksigen terlarut pada kolam stabilisasi; (Situmuna *et al.*, 2002) permodelan biokimia pada *aerated lagoon* untuk limbah industri sebagai model input dan output; (Beran and Kargi, 2005) permodelan dinamik pada kolam stabilisasi, menghitung konsentrasi suatu zat secara spasial; dan (Mwegoha *et al*, 2010) dengan permodelan matematika untuk oksigen terlarut pada kolam ikan yang diselesaikan dengan program Stella, serta penelitian lain yang dilakukan pada kolam stabilisasi fakultatif seperti (Nuranto S, 2000) melakukan evaluasi terhadap laju perombakan bahan organik pada IPAL Sewon; (Rositayanti dan Suprihatno, 2004) yaitu meneliti pengaruh debit influen terhadap karakteristik hidrodinamika kolam fakultatif Bojongasong: tanpa pengaruh angin; dan (Eko Harsono, 2006) mengembangkan model transformator data penyinaran matahari menjadi informasi ramalan fluktuasi 24 jam DO air di Waduk Cirata Jawa Barat.

Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan alat prediksi yang mampu mengakomodir berbagai parameter yang berpotensi menyebabkan perubahan pada kualitas air kolam stabilisasi fakultatif direpresentasikan sebagai model biokimia dan kemudian diturunkan menjadi persamaan diferensial non linier simultan yang berupa laju perubahan/pertumbuhan

suatu zat yang berupa konsentrasi terdiri dari 13 (tiga belas) persamaan untuk model dinamik yang diselesaikan dengan metode Runge-Kutta-Fehlberg (RKF45) yang tergolong dalam keluarga metode Runge-Kutta order-4, namun memiliki ketelitian yang sampai order-5. Untuk model *steady state*, derivatif waktu adalah nol, sistem persamaan non linier simultan dan terdapat 44 (empat puluh empat) parameter yang diestimasi menggunakan “fmincon” pada program Matlab (R2008a).

Dengan permodelan lingkungan pada suatu sistem unit IPAL dapat direpresentasikan bagaimana daya dukung lingkungan dari suatu sistem kolam stabilisasi fakultatif dengan karakteristik dan beban bahan organik. Sebuah sistem adalah suatu kumpulan dari beberapa unsur yang ditinjau dan dibatasi oleh lingkungan sekitar tertentu, di dalam sistem terjadi interaksi antar unsur-unsur penyusunnya dengan lingkungan sekitar yang diilustrasikan sebagai model biokimia. Kondisi ini merupakan keadaan dinamik dimana keadaan sistem berubah terhadap waktu, yang ditandai dari keadaan tak tunak atau transisi (*unsteady state*) sampai keadaan tunak atau mantap (*steady state*) (Purwanto, 2005).

Untuk mencapai tujuan tersebut, dengan merepresentasikan adanya gradien polutan secara horizontal pada kolam stabilisasi fakultatif dipilih kondisi satu-dimensi untuk menggambarkan distribusi polutan bahan organik. Model dikembangkan untuk dapat dipakai “*untuk mengantisipasi suatu proses atau fenomena pengolahan air limbah pada kolam stabilisasi fakultatif dengan model yang lebih kompleks yaitu model matematis*”. Model ini dengan mempertimbangkan mekanisme adveksi dan dispersi dalam suatu kolam stabilisasi terhadap waktu dan jarak dalam ruang yang direpresentasikan dengan menggunakan persamaan difusi. Model diselesaikan dengan cara numerik dengan metode beda hingga.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan hal-hal tersebut, maka perumusan masalah dapat dinyatakan sebagai pertanyaan penelitian “sejauh mana model dapat digunakan sebagai alat evaluasi kinerja IPAL” dan secara lebih spesifik dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah kinerja lingkungan hasil evaluasi kondisi IPAL Sewon ?
2. Bagaimana unit IPAL dikelola dan merepresentasikan model *steady state* dan model dinamik yang dikembangkan ?
3. Bagaimanakah distribusi polutan BOD yang merepresentasikan model difusi 1-dimensi sepanjang kolam stabilisasi fakultatif ?
4. Apakah model dapat digunakan sebagai alat evaluasi terhadap kinerja IPAL dan dapat menggambarkan kondisi nyata di lapangan ?

C. Orisinalitas

Berbagai model telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan menentukan konsentrasi partikel polutan yang cenderung menggunakan metode analitik dengan rumus dari model yang telah tersedia, tanpa memperhatikan faktor-faktor lainnya yang cukup mempengaruhi. Untuk memperoleh hasil, perhitungan dilakukan cukup satu kali saja dan variabel yang digunakan dalam persamaan merupakan nilai rata-rata.

Model dikembangkan dari laju perubahan konsentrasi, persamaan pengatur *mass balance* dan laju transfer energi yang diturunkan dari hukum dasar laju reaksi biokimia menjadi model *steady state* dan model dinamik. Model dinamik menempatkan waktu sebagai variabel bebas, sehingga model menggambarkan fungsi waktu. Untuk memperoleh hasil perhitungan dilakukan secara berulang-ulang (iterasi) sampai tercapai nilai kesalahan (*error*) yang minimal. Selanjutnya model akan digunakan sebagai alat evaluasi terhadap kinerja IPAL dengan toleransi $\pm 20\%$, hal ini karena menurut teori ekonomi oleh Vibredo Pareto menempatkan aturan 80/20 untuk studi akan distribusi kekayaan. Aturan ini tetap relevan diterapkan pada berbagai bidang, termasuk dalam pengendalian kualitas air $\pm 20\%$. Dalam penelitian yang dikembangkan oleh peneliti adalah :

“Model dari peneliti adalah model lingkungan pada kolam stabilisasi fakultatif dengan pengolahan air limbah secara biologi yang mengutamakan proses alami. Proses reareasi, laju fotosintesis, laju respirasi, laju mortalitas, laju sedimentasi serta fungsi (pH) dan fungsi

(T) merupakan indikator baku mutu limbah domestik. pH dan temperatur merupakan dua faktor sangat penting terhadap proses degradasi bahan organik. Oleh karenanya reaksi biokimia menjadi tumpuan proses dalam kolam stabilisasi fakultatif, sehingga menjadi dasar pada penyederhaaan model dengan menganggap proses pada dasar kolam tidak aktif.

Berdasarkan hal tersebut, maka laju pertumbuhan terhadap suatu konsentrasi zat diturunkan menjadi sistem persamaan diferensial non linier simultan dan konsentrasi menjadi sumber polutan pada model difusi satu-dimensi yang menggambarkan distribusi polutan sepanjang kolam stabilisasi yang diselesaikan dengan metode Crank Nicholson.

Adapun kebaruan dari disertasi adalah (1) Permodelan pengolahan air limbah domestik pada kolam stabilisasi fakultatif menggunakan model yang kompleks, terdiri dari 13 (tiga belas) sistem persamaan. Model ini menggunakan fenomena fisik, kimia dan biologi serta interaksi antar variabel-variabel yang berpengaruh pada sistem pengolahan air limbah; (2) Permodelan pengolahan air limbah domestik ditemukan konstanta dan parameter model yang dapat dipergunakan sebagai acuan perancangan desain unit IPAL sejenis.

Penelitian sejenis yang telah dilakukan terkait dengan topik dapat dilihat pada Tabel 1 dan publikasi jurnal terdahulu yang terkait dengan permodelan limbah domestik pada kolam stabilisasi pada Lampiran I.

D. Tujuan Penelitian

D.1. Tujuan Umum

Tujuan umum penelitian adalah mengevaluasi upaya pengelolaan air limbah di perkotaan dan mengembangkan model *steady state* dan model dinamik pada pengolahan air limbah domestik pada unit IPAL dan memperkaya permodelan matematik dalam bidang ilmu lingkungan terutama di bidang rekayasa lingkungan. Selanjutnya model diharapkan dapat digunakan sebagai alat evaluasi terhadap kinerja suatu unit IPAL dan dapat digunakan sebagai acuan disain sejenis.

Tabel 1.
Matriks Orisinalitas Karakteristik Temuan Disertasi

Peneliti	S. Moreno-Grau, A. Garcia-Sanchez, J. Moreno-Clavel, J. Serrano-Aniorte, M.D. Moreno-Grau. (1996)	S. Kayombo, T.S.A Mbwette, A.W. Mayo, J.H.Y Katima, S.E. (2000)	Bora Beran, Fikret Kargi (2005)	Sunarsih (2013)
Judul	A mathematical model for waste water stabilization ponds with macrophytes and microphytes.	Modelling diurnal variation of dissolved oxygen in Waste Stabilization Ponds.	A dynamic mathematical model for waste water stabilization ponds.	Permodelan Kualitas Air Limbah Domestik pada Kolam Stabilisasi Fakultatif
Lokasi Penelitian	Kolam stabilisasi di University of Dar es Salaam, Tanzania.	Kolam stabilisasi di University of Dar es Salaam, Tanzania	Kolam stabilisasi fakultatif di Selcuk, Izmir, Turkey.	Kolam stabilisasi fakultatif pada IPAL Sewon Bantul, Yogyakarta dan pembanding IPAL Bojongsoang Bandung.
Metode Penelitian	<ul style="list-style-type: none"> - Eksperimen dengan prototipe karakteristik situasi seperti fasilitas pada WWTP dengan menggunakan tanaman <i>macrophytes</i> dan <i>microphytes</i>. - Fenomena biokimia sebagai proses pengolahan air limbah menjadi dasar <i>mass balance</i> untuk variabel yang berbeda. - Model aliran limbah pada kolam dianggap 1-dimensi. - Penyelesaian model menggunakan metode numerik, pemrograman BASIC 4.0 dan dijalankan pada computer HP-900, seri 300. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengukuran pada kolam stabilisasi (F1, F2, F3, F4, F5 dan F6) dengan titik sampel S1, S2, S3, S4, S5, dan S6. - Produksi dissolved oxygen (DO) pada kolam stabilisasi fakultatif sekunder sebagai dasar penurunan model. - Penyelesaian model dengan menggunakan software Stella 11 dengan metode integrasi Runge-Kutta orde-4. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengukuran pada influen dan effluen kolam stabilisasi fakultatif selama 2 bulan dan ekstra sampling pada hari pertama sepanjang kolam 0, 20, 40, 60 dan 80 m untuk nilai awal penyelesaian numerik. - Model dinamik pada kolam stabilisasi dengan pertimbangkan biomassa parameter-parameter : alga, bakteri, DO, nutrient termasuk nitrogen (NH_4, NO_3 dan organik) dan fosfor (PO_4 dan organik) dan COD. - Persamaan diferensial untuk setiap konsentrasi zat menggunakan Persamaan Diferensial Parsial (PDP). 	<ul style="list-style-type: none"> - Data pengendalian kualitas air limbah selama 1,5 tahun untuk debit air limbah dan pH, suhu, DO, BOD, COD (sebagai parameter baku mutu air limbah domestik). - Debit air limbah digunakan untuk menentukan waktu tinggal. - Pengukuran pada sepanjang kolam fakultatif dengan titik sampel pada 0 m, 25 m, 50 m dan 75 m dengan nilai awal pada titik 75 m dan penyelesaian secara numerik. - Pengukuran data inlet dan outlet dengan periode waktu setiap 2 jam (08.00, 10.00, 12.00, 14.00 dan 16.00) sebagai data observasi. - Permodelan dinamik kualitas air limbah pada kolam stabilisasi dengan variabel konsentrasi : bakteri biomassa, alga, zooplankton, COD, detritus, organik nitrogen, NH_3, organik fosfor, soluble fosfor, DO, total coliform, faecal coliform dan BOD. - Persamaan diferensial pada setiap konsentrasi menggunakan sistem persamaan diferensial non linier diselesaikan secara simultan.

	-	-	<ul style="list-style-type: none"> - Penyelesaian persamaan diferensial pada setiap titik dengan metode Runge-Kutta orde-4 menggunakan Program Mathematica 4.0. untuk solusi numeriknya. - Distribusi air limbah dari pipa inlet sepanjang kolam dianggap sebagai aliran dispersi dan difusi 2-dimensi. - Penyelesaian model dengan metode implicit Crank-Nicholson orde-2. 	<ul style="list-style-type: none"> - Penyelesaian persamaan dengan metode Runge- Kutta-Fehlberg (RKF45) yang tergolong dalam keluarga metode Runge-Kutta order-4, namun memiliki ketelitian yang sampai order-5, dengan program M-File Matlab (R2008a). - Estimasi parameter non linear dengan “fmincon” pada Matlab(R2008a), menghasilkan ϵ (error) yang minimum. - Distribusi polutan pada kolam dianggap sebagai aliran dispersi dan difusi 2-dimensi. - Penyelesaian model dengan metode beda hingga <i>Crank Nicholson</i>). - Kecocokan model ditunjukkan dengan grafik antara garis prediksi dan data observasi dan hitung dengan toleransi $\pm 20\%$.
Hasil Penelitian	<ul style="list-style-type: none"> - Simulasi model digunakan untuk memprediksi pengolahan air limbah pada kolam stabilisasi menggunakan tanaman <i>macrophytes</i> dan <i>microphytes</i>. - Model dapat digunakan sebagai pembuktian hipotesis, dengan cara pengukuran data observasi pada kolam stabilisasi 	<ul style="list-style-type: none"> - Sub model DO dikembangkan dan divalidasi yang dinyatakan sebagai kekuatan fungsi simultan untuk efek laju fotosintesis berdasarkan fungsi perkalian. - Model merepresentasikan proses respirasi menggunakan oksigen. - Model menunjukkan laju, dengan kontrol fungsi yang berfluktuasi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Model dinamik matematika dapat untuk memprediksi kualitas air limbah pada efluen dari kolam stabilisasi fakultatif. - Model dapat digunakan untuk memperbaiki desain kolam stabilisasi untuk memperbaiki kualitas efluen dari kolam yang ada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Model pembuktian hipotesis, dengan membandingkan antara data observasi dan hitung serta besarnya tingkat error relatif. - Model distribusi polutan 2-dimensi merepresentasikan proses pencampuran sepanjang kolam fakultatif. - Modelsesuai dengan kondisi di lapangan yang ditunjukkan dengan grafik garis prediksi antara data observasi dan hitung dengan toleransi $\pm 20\%$, sebagai alat evaluasi kinerja IPAL.
Karakteristik Temuan Model	<ul style="list-style-type: none"> - Fenomena model biokimia merupakan sistem persamaan linear simultan - Simulasi model dengan parameter temperatur, bakteri biomassa, fitoplankton, zooplankton, DO, COD dan nutrisi. - Model 1-dimensi merepresentasikan proses pengolahan air limbah. 	<ul style="list-style-type: none"> - Besarnya DO oleh proses fotosintesis cukup dapat memelihara sistem pengolahan air limbah yang sehat. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fenomena model biokimia direpresentasikan sebagai persamaan diferensial parsial. - Model dikalibrasi berdasarkan koleksi data dari kolam stabilisasi fakultatif : COD, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, DO, bakteri dan alga dengan dimensi dan waktu pada kolam yang diprediksi menggunakan model dinamik. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mengetahui beban limbah organik pada sistem pengolahan air limbah unit IPAL - Model dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi limbah pada waktu yang sama - Sebagai alat evaluasi terhadap kinerja pada IPAL terhadap baku mutu yang telah ditetapkan. - Model dapat digunakan untuk memperbaiki desain IPAL sejenis berdasarkan temuan parameter kinetiknya

D.2. Tujuan Khusus

1. Mengevaluasi upaya pengelolaan air limbah domestik melalui unit IPAL dalam upaya mengurangi pencemaran air di perkotaan.
2. Mengembangkan model *steady state* dan model dinamik pada proses pengolahan air limbah melalui IPAL dengan parameter kinetika dan konstanta model.
3. Mengkaji distribusi polutan bahan organik dengan model difusi satu-dimensi sepanjang kolam stabilisasi fakultatif.
4. Melakukan evaluasi terhadap kinerja IPAL berdasarkan model *steady state* dan model dinamik pada sistem proses pengolahan air limbah sesuai dengan kondisi lapangan.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat kepada berbagai pihak terutama :

- 1) Bagi dunia ilmu pengetahuan dan teknologi, akan memberikan kontribusi ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang permodelan rekayasa lingkungan.
- 2) Bagi Pemerintah Daerah, informasi ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan atau acuan dalam memformulasikan kebijakan dan pengendalian kualitas pada sistem pengolahan air limbah domestik pada unit IPAL.
- 3) Bagi pengelola air limbah, bermanfaat dalam pengendalian kualitas`air limbah kolam stabilisasi fakultatif dan dapat digunakan sebagai acuan desain kolam sejenis.