

# STUDI OPTIMASI IPAL KOMUNAL KOTA MALANG DENGAN PENDEKATAN MODEL STELLA

## *OPTIMIZATION STUDY OF WASTEWATER TREATMENT PLANT AT MALANG CITY WITH APPROACHMENT STELLA MODELLING*

Fina Binazir Maziya<sup>1\*)</sup>, Evy Hendriarianti<sup>1)</sup> dan Nieke Karnaningroem<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Magister Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

<sup>\*)</sup>Email : [finabinazir@gmail.com](mailto:finabinazir@gmail.com)

### Abstrak

Kinerja IPAL Komunal yang belum optimum merupakan salah satu penyebab tingginya kandungan organik pada efluen yang dibuang ke badan air. Hasil analisa BOD dan COD badan air Sungai Brantas 92 mg/L dan 192 mg/L di sekitar IPAL Komunal. Salah satu cara untuk mengoptimasi kinerja IPAL dapat dilakukan dengan menggunakan Stella, dimana akan dioptimasi beberapa konfigurasi unit proses pengolahan air limbah (IPAL). Konfigurasi IPAL Kota Malang dibuat untuk tangki septik dan Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dengan media filter pada waktu tinggal 28 jam. Hasil simulasi dengan menggunakan Stella diperoleh jika menggunakan IPAL maka efisiensi penyisihan BOD dan COD mencapai 100%, TSS 99% pada debit influen sebesar 0.83 L/det.

**Kata kunci:** efluen, IPAL Komunal, Model Stella, ABR

### *Abstract*

*Results of analysis of Biological Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) in the Brantas River by 92 mg / L and 192 mg / L showed that pollution on water surface around wastewater treatment plant (WWTP). Bad performance of WWTP was the factors of making high of organic content. These factors can be optimized using a model Stella on WWTP effluent with influent quality data as well as the fraction removal processing unit. The most optimal configuration unit among the entire configuration of wastewater unit in the Malang city, a septic tank and Anaerobic Baffle Reactor (ABR) with filter media with Hydraulic Loading Rate (HRT) of 28 hours. Results of simulation models Stella WWTP has a removal efficiency for BOD and COD of 100%, and 99% TSS with the influent flow is 0.83 liters / sec*

**Keywords:** effluent, WWTP, Model Stella, ABR

## 1. PENDAHULUAN

Laporan Rencana Induk Air Limbah Kota Malang tahun 2011 menyatakan besar kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada badan air Sungai Brantas dekat efluen IPAL Komunal Mergosono sebesar 92 mg/L dan 192 mg/L. BOD dianalisis untuk menentukan tingkat pencemaran. Penentuan BOD merupakan bentuk *bioassay* pengukuran jumlah oksigen yang digunakan organisme dalam menguraikan bahan organik didalam perairan (Salmin, 2005). Penggunaan oksigen oleh mikroorganisme merupakan jumlah oksigen yang digunakan untuk menguraikan bahan organik sebagai sumber makanan, bukan untuk mengukur kandungan bahan organik. Semakin banyak oksigen yang dikonsumsi, semakin banyak kandungan organik yang terdapat didalamnya. Pemecahan bahan organik didefinisikan bahwa bahan organik digunakan oleh mikroorganisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi. Parameter BOD secara umum banyak dipakai untuk penentuan tingkat pencemaran air. Nilai BOD tidak menunjukkan bahan organik, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut. Konsumsi oksigen tinggi yang ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa Oksigen terlarut, menandakan bahwa kandungan dalam air objek penelitian, baik itu air baku maupun air buangan, membutuhkan oksigen yang tinggi.

Nilai BOD yang tinggi menandakan adanya penurunan kualitas air. Hal tersebut juga sebagai indikasi bahwa efluen IPAL masih memberikan beban polutan organik pada air permukaan. Di sepanjang Sungai Brantas terdapat beberapa IPAL Komunal yang efluennya langsung ke sungai dengan beberapa konfigurasi unit yang digunakan.

Penurunan kualitas air juga dipengaruhi oleh penggunaan lahan dan variabel hidrologi. Lahan industri mempengaruhi kualitas air dalam skala yang lebih kecil dibandingkan dengan perkotaan.

Karena baik dalam komposisi dan konfigurasi penggunaan lahan, serta kondisi hidrologi, kontribusinya sangat signifikan terhadap kualitas air sungai. Limbah perkotaan yang besar dalam mempengaruhi kualitas air sungai adalah limbah domestik yang membentuk sumber garis. Kondisi tersebut tidak dapat dicegah karena adanya pengaruh run off air hujan pada musin penghujan, sehingga seluruh limbah di air permukaan akan tersalurkan menuju badan air (Jiake *et al.*, 2011). Oleh karenanya, pengolahan limbah domestik secara terintegrasi (komunal) sangat disarankan untuk meminimalisir pencemaran tersebut.

Penelitian ini mengoptimalkan 10 (sepuluh) IPAL Komunal supaya dapat menghasilkan kualitas efluen yang aman dibuang ke lingkungan. IPAL Komunal tersebut terdiri dari unit Sedimentasi, *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), dan filtrasi. Optimalisasi IPAL Komunal dilakukan dengan memperhitungkan faktor debit influen, kualitas influen IPAL, waktu tinggal, serta kemampuan removal unit IPAL tersebut. Objek penelitian IPAL Komunal yang diamati adalah yang berlokasi di sepanjang Sungai Brantas dan mengalirkan efluennya langsung ke Sungai Brantas.

Faktor-faktor tersebut dapat dioptimalkan melalui model dinamis yang menghubungkan berbagai kondisi dengan efluen yang dihasilkan dari unit pengolah limbah. Penggunaan model dinamis dipakai karena mampu memahami perilaku sistem dan mendeteksi adanya perubahan didalamnya. Simulasi dengan model dinamis Stella dilakukan untuk mengetahui berbagai pilihan dalam pengambilan keputusan untuk optimalisasi kinerja IPAL Komunal. Model Stella dapat mensimulasikan perubahan yang terjadi dan hasilnya dapat menggambarkan hubungan antar parameter atau variabel dalam bentuk grafik (Indriatmoko, 2009). Model Stella juga memiliki kelebihan dalam berpikir yang lebih dinamis, tersistem, dan lebih ilmiah. Hasil penerjemahan Stella lebih mudah dipahami dan selanjutnya dapat dikembangkan menjadi model mental yang lebih akurat.

## 2. METODA

Penelitian dilakukan dengan melakukan beberapa tahapan, yaitu : (i) studi pustaka; (ii) penyusunan model; (iii) pengambilan data; (iv) formulasi model; (v) simulasi model (vi) analisa hasil. Penyusunan model menggunakan Model STELLA 9.1.3 dengan perhitungan kesetimbangan massa dari kualitas influen dan efluen IPAL Komunal. STELLA (*Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation*) memiliki empat objek untuk menyusun struktur model, yaitu *stocks, flow, converter, dan connector*. *Stocks*, yang merupakan hasil atau akumulasi. Fungsinya untuk menyimpan informasi berupa nilai suatu parameter yang masuk kedalamnya. *Flows*, berfungsi seperti aliran yang akan mengisi dan mengalirkan stock. Arah anak panah menunjukkan arah aliran tersebut, aliran bisa satu atau dua arah. *Converters*, berfungsi luas. Ikon ini dapat digunakan untuk menyimpan konstanta, input bagi persamaan, mengkalkulasi dan menyimpan data dalam bentuk grafis, secara umum fungsinya adalah untuk mengubah suatu input menjadi output. *Connectors*, berfungsi menghubungkan elemen-elemen dari suatu model. Penelitian ini menggunakan *converter* dengan input data debit influen, waktu tinggal, fraksi removal serta kualitas influen. Cara program Stella bekerja adalah melalui tahap-tahap : (i) *mapping* dan *numerating*; (ii) *simulating*; (iii) *analyzing*; (4) *communicating*.

*Mapping* dan *Numerating* adalah tahap penerjemahan pola pikir ke dalam bentuk yang disebut level peta/model, selanjutnya merupakan proses pengurutan dan penghitungan angka-angka masukan. *Simulating* adalah suatu tahap dimana program melakukan proses terpola dalam bentuk grafik dan tabel setelah dilakukan intervensi pada angka dalam tabel-tabel atau pada grafik yang ada. *Analyzing* adalah tahap dimana program menunjukkan alternatif hasil perubahan dari adanya intervensi simulasi data masukan atau grafik. *Communicating* adalah suatu proses transformasi hasil kerja program secara informatif dan menggambarkan secara sederhana pada *user*.

Stella memiliki pemikiran yang menghasilkan berbagai kemajuan dalam hal : cara berpikir lebih dinamis, cara pandang yang lebih komperhensif, cara berpikir tersistem, cara berpikir operasional, cara berpikir ilmiah. Stella akan menerjemahkan perkiraan hubungan antar variabel ke dalam suatu set peralatan yang menggambarkan keseluruhan sistem berpikir yang ada, sehingga dapat dengan mudah dipahami, disempurnakan dan selanjutnya dikembangkan menjadi suatu model mental yang lebih akurat. Fungsi model stella adalah menciptakan suatu model, dan dari model tersebut dapat dilakukan simulasi, analisis dan komunikasi.

Model optimasi efluen IPAL Komunal merupakan penelitian untuk menentukan kualitas optimum IPAL Komunal. Hal tersebut supaya beban organik yang dikeluarkan menuju badan air tidak melebihi kapasitas atau sesuai dengan daya tampung dan daya dukung lingkungan dari badan penerima. Pelaksanaannya ditentukan berdasarkan model optimasi kinetika DO sungai. Besar DO optimum sungai sesuai daya tampungnya disesuaikan dengan konfigurasi unit IPAL sehingga dapat diketahui waktu operasional yang terbaik. Data yang diperlukan untuk simulasi adalah kualitas influen berdasarkan data primer. Hasil simulasi diharapkan diperoleh rumus pembuangan, konfigurasi unit pengolahan IPAL Komunal yang sesuai dengan daya tampung dan daya dukung sungai.

### a. Pengambilan data

Pengambilan sampel efluen IPAL untuk analisa kualitas influen dan efluen dilakukan dengan metode pengambilan sampel sesaat (*grab sampling*). Sampling dilakukan di 10 (sepuluh) unit IPAL Komunal di sepanjang Sungai Brantas. Sampling diambil pada saat jam puncak sesuai dengan SNI 6989.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Hasil pengambilan diuji pada laboratorium, maka perlu adanya penanganan sampel sesuai standar yang ditetapkan.

Penanganan sampel air berupa pengamanan sampel di lapangan (pemberian label pada setiap

wadah sampel), pengawetan sampel (pendinginan dan penambahan bahan kimia) dan transportasi sampel (dari lokasi pengambilan sampel ke laboratorium). Pengawetan sampel dimaksudkan agar tidak terjadi perubahan secara fisika dan kimia (Ali dkk., 2013). Analisa kualitas sampel air limbah yang diuji adalah kandungan BOD, COD, dan TSS, dengan alat uji seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode Analisa Sampel

Parameter	Satuan	Metode Analisa
COD	mg/L	QI/LKA/19 (Spektrofotometri)
BOD	mg/L	APHA.5210 B-1998
TSS	mg/L	APHA.2540 D-2005

Data karakteristik influen IPAL Komunal di Kota Malang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Eksisting IPAL Komunal

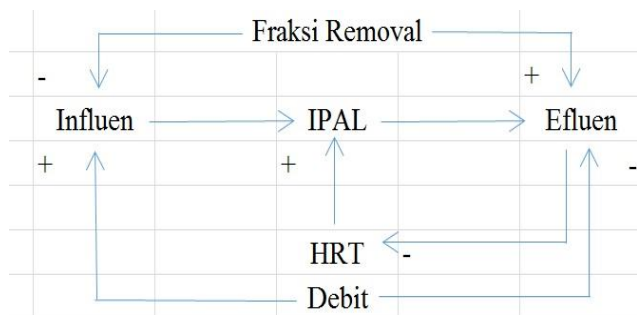
IPAL Komunal	Konsentrasi Influen (mg/L)			Fraksi Removal			Debit (L/det)	HRT (jam)
	COD	BOD	TSS	COD(%)	BOD(%)	TSS(%)		
Tlogomas	224	128	170	71	72	85	0.351	15
Jodipan	392	226	290	92	92	93	0.394	15
Kota Lama	3220	1860	2190	97	97	98	0.394	15
Mergosono	3921	220	270	98	85	89	0.342	26
Gadang	192	110	140	85	85	87	0.593	15
Balearjosari	261.8	80.8	86.6	71	67	77	0.316	28
Pisang Candi	3210	1177	700.5	100	100	97	0.301	29
Janti	262.5	77.1	99.2	37	49	51	0.598	15
Kota Lama	39002	134000	3667	100	100	99	0.826	11

b. Input data

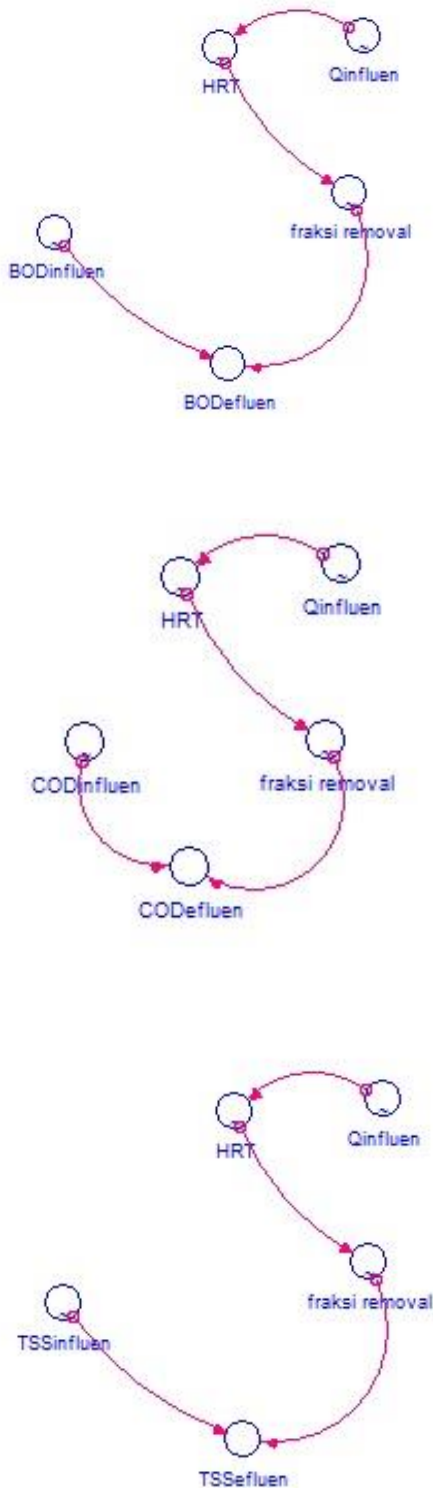
Data yang dimasukkan pada model adalah data debit influen IPAL dan *Hidraulic Retention Time* (HRT) dari masing-masing unit IPAL, konsentrasi influen IPAL, fraksi removal unit IPAL (Tabel 1) terhadap masing-masing parameter uji, serta kualitas influen dari limbah domestik yang diterima.

c. Simulasi model

Simulasi model Stella 9.1.3 dilakukan dengan membentuk kerangka atau struktur model. Kerangka disusun berdasarkan hubungan kausalitas antara masing-masing elemen. Elemen model terdiri dari debit influen, *Hidraulic Retention Time* (HRT), fraksi removal unit IPAL Komunal dan kualitas influen IPAL. Selanjutnya dicari elemen hasil berupa Kualitas effluent yang optimum diantara hasil simulasi model yang dilakukan. Penelitian studi optimalisasi 10 (sepuluh) IPAL Komunal dibagi menjadi 2 segmen unit konfigurasi IPAL, yaitu : (i) Sedimentasi – ABR – Filter, (ii) Tangki septik – ABR dengan media filter. Data dari kedua konfigurasi unit IPAL disimulasikan untuk diperoleh konfigurasi yang optimum untuk dijadikan acuan pengelolaan IPAL Komunal selanjutnya, baik dari segi spesifikasi teknis maupun unit yang digunakan.



Gambar 1. Causal Loop Pemodelan



**Gambar 2.** Struktur Model Optimalisasi BOD, COD, dan TSS

Kalibrasi model dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap hasil simulasi model yang dicocokkan dengan data eksisting yang tersedia. Metode yang digunakan adalah Mean Absolute Percentage Error (MAPE) berdasarkan

konsentrasi efluen yang telah dianalisa dan yang diprediksi oleh model.

MAPE merupakan rata-rata absolut dari kesalahan dalam melakukan prakiraan pada model, dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Nilai optimum parameter pada model dipilih berdasarkan nilai MARE terendah dan hasil model yang dapat diterima. Pengujian MAPE juga dipakai untuk mengetahui kesesuaian data hasil simulasi model dengan data eksisting di lapangan. Kriteria ketepatan pengujian MAPE adalah :

- MAPE < 5% : sangat tepat
- 5% < MAPE < 10% : tepat
- MAPE > 10% : tidak tepat

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|X_m - X_d|}{X_d} \times 100\% \text{ - Persamaan (1)}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut Salmin (2005), pencemaran air ialah penambahan unsur atau organisme kedalam air, sehingga pemanfaatannya terganggu. Pencemaran air dapat menyebabkan kerugian ekonomi dan sosial, karena adanya gangguan oleh adanya zat-zat beracun atau muatan bahan organik dalam jumlah besar. Pencemaran air menurut Peraturan Pemerintah nomor 82 Tahun 2001 adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Kualitas air sungai di Indonesia sebagian besar dalam kondisi tercemar, terutama setelah melewati daerah pemukiman, industri dan pertanian (Simon dan Hidayat, 2008). Peningkatan aktivitas domestik, pertanian dan industri mempengaruhi dan memberikan dampak terhadap kondisi kualitas air sungai terutama masukan konsentrasi *Biological Oxygen Demand*

(BOD) dari kegiatan domestik yang merupakan beban terbesar pada badan air penerima (Priyambada dkk., 2008). Nilai BOD yang tinggi mengindikasikan bahwa pada air tersebut terdapat aktivitas mikroorganisme yang besar dengan kandungan oksigen yang rendah.

Limbah yang mencemari suatu lokasi perairan sungai menyebabkan terjadinya perubahan. Perubahan dapat terjadi pada organisme yang hidup di lokasi tersebut ataupun pada kualitas perairan itu sendiri. Dampak dari pencemaran tersebut dapat berupa perubahan struktur komunitas, penurunan biomassa atau produktivitas, perubahan tingkah laku, penurunan laju pertumbuhan, terganggunya sistem reproduksi, hilangnya jenis-jenis langka, perubahan daya tampung dan daya dukung atas kemampuan hidup dan lain-lain (Zairion, 2003).

Limbah domestik merupakan jenis limbah terbesar yang mencemari badan air di Indonesia. Sumbernya berasal dari kegiatan sehari-hari rumah tangga meliputi mandi, cuci, memasak, dan kegiatan lain yang menggunakan air. Air limbah domestik menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 112 tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restaurant), perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama.

Kandungan air limbah domestik meliputi 99,1% air, sejumlah kecil padatan organik dan anorganik, material tersuspensi dan terlarut. Pemisahan berbagai kontaminan dari air tergantung pada kemurnian alami dan konsentrasinya. Padatan organik dan anorganik yang kasar dan mudah mengendap umumnya dipisahkan pada unit pengolahan primer dengan unit operasi bar screen, grit removal dan sedimentasi. Pemisahan organik terlarut dilakukan pada proses pengolahan biologi atau kimia bisa ditambahkan pada pengolahan primer. Kombinasi sistem pengolahan tersebut disebut instalasi pengolahan sekunder. Banyak unit operasi dan proses bisa ditambahkan pula pada sistem pengolahan primer atau sekunder untuk memisahkan nutrisi dan kontaminan lainnya.

Sistem ini disebut sebagai sistem pengolahan tersier atau tingkat lanjut (*advanced treatment*).

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal atau pengolahan air limbah domestik terpadu menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 112 Tahun 2003 adalah sistem pengolahan air limbah yang dilakukan secara bersama-sama (kolektif) sebelum dibuang ke air permukaan.

Prihandrijanti dan Firdayati (2011) menyatakan bahwa sistem pengelolaan terpusat/komunal lebih sesuai untuk kota-kota di Indonesia karena lebih menguntungkan dari sisi pengoperasian dan perawatan, selain itu juga menjadi solusi untuk daerah dengan tingkat kepadatan tinggi.

IPAL Komunal di Kota Malang dibangun berdasarkan bantuan Pemerintah maupun swasta. Pemerintah setempat telah memberikan fasilitas IPAL Komunal pada sebagian masyarakat di Kota Malang, tetapi target pelayanan berdasarkan kriteria dan kapasitas desain IPAL belum memenuhi. Hal tersebut karena tidak seluruh warga disekitar IPAL yang bersedia untuk berpartisipasi menyambungkan pipa air limbahnya pada IPAL tersebut. Sebagian warga yang tidak bersedia masih menyalurkan limbah domestiknya ke badan air terdekat yang dalam hal ini Sungai Brantas. Keberhasilan pemberian fasilitas IPAL Komunal dipengaruhi beberapa faktor. Faktor sumber daya manusia yang meliputi kemauan dan kemampuan masyarakat, faktor ekonomi serta komitmen. Kebijakan politik suatu daerah juga mempengaruhi efektifitas pengolahan air limbah sistem terpusat/komunal (Massoud *et al.*, 2010).

Sistem pemasangan dan retribusi yang diberlakukan adalah biaya pemasangan sambungan pipa dari tiap rumah yang dibebankan kepada pengguna. Pemerintah menyediakan fasilitas pengolahan limbah komunal untuk selanjutnya dikelola oleh masyarakat secara mandiri. Biaya operasional juga ditanggung oleh masyarakat pengguna IPAL yang setiap bulan sebesar Rp 3.000,- sampai Rp 5.000,-. Nominal tersebut efektif dan efisien bagi masyarakat karena mereka tidak perlu

membangun tangki septik secara individu dan tidak perlu melakukan pemeliharaan mandiri secara berkala. Fasilitas IPAL Komunal dibangun untuk masyarakat dengan sistem operasional mandiri. Kesediaan masyarakat tidak sepenuhnya memanfaatkan fasilitas tersebut.

Pengelolaan IPAL dilaksanakan berdasarkan kesepakatan warga dalam lingkup Rukun Tetangga (RT) maupun Rukun Warga (RW) dengan menugaskan salah satu warga setempat sebagai penjaga. Tanggung jawab petugas adalah memastikan IPAL beroperasi dengan lancar dan apabila terdapat penyumbatan atau masalah lain yang dikeluhkan warga dapat segera diatasi. Pengoperasian keseluruhan IPAL pada umumnya berjalan lancar dan tidak terdapat keluhan dari masyarakat. Besar retribusi sesuai dan ekonomis bagi pengguna dengan manfaat yang sangat besar baik bagi masyarakat serta bagi lingkungan sekitar. Objek studi pada penelitian ini berjumlah 10 (sepuluh) unit IPAL Komunal di Kota Malang. Seluruh Instalasi menggunakan konfigurasi *Anaerobic Baffle Reactor* sebagai unit pengolahnya. ABR merupakan salah satu jenis teknologi *suspended growth* dalam pengolahan limbah yang memanfaatkan sekat (*baffle*) sebagai fungsi pengadukan dengan tujuan untuk menciptakan kontak antara air limbah dengan biomassa. Pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) lebih menguntungkan dibandingkan dengan pertumbuhan melekat (*attached growth*) karena tidak memerlukan media pendukung serta tidak mudah tersumbat (Mardianto dkk., 2007).

Pengolahan menggunakan ABR cukup efisien dalam hal biaya, karena tidak menggunakan energi listrik selama operasionalnya dan memiliki kemampuan removal yang baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas reaktor ABR adalah waktu tinggal hidrolis substrat didalam reaktor, laju pembebanan reaktor yang menyatakan jumlah material organik dalam reaktor per unit volume reaktor per hari, dan nilai pH sebagai habitat pertumbuhan mikroorganisme (Indriyati, 2002).

Proses anaerob adalah proses memanfaatkan aktivitas mikroorganisme tanpa oksigen dalam

mendegradasi bahan-bahan organik dan dikonversi menjadi gas metan. Keuntungan pengolahan limbah secara anaerob adalah menghasilkan energi dalam bentuk biogas, lumpur yang dihasilkan sedikit, tidak membutuhkan lahan yang luas maupun energi untuk operasionalnya (Indriyati, 2002).

Proses anaerobik melalui beberapa tahapan antara lain : Hidrolisis, Asidogenesis, dan Methanogenesis. Proses hidrolisis merupakan proses dimana aktivitas kelompok bakteri saprofilik menguraikan bahan kompleks. Proses Asidogenesis mengubah bahan organik menjadi asam organik rantai pendek seperti asam butirat, asam propionate, asam amino, asam asetat, dan asam lain oleh bakteri asidogenik. Proses Metanogenesis ialah proses bakteri Metanogenik mengkonversi asam organik volatil menjadi gas metan dan karbondioksida (Indriyati, 2002). Proses asidogenesis dan metanogenesis pada ABR dapat terpisah secara longitudinal sehingga reaktor dapat memiliki sistem dua fase tanpa ada masalah pengendalian dan biaya tinggi (Movahedian *et al.*, 2007). Pada tahap asidogenesis, senyawa hasil hidrolisis dirubah menjadi senyawa bermassa molekul sedang seperti propionate, butirat laktat, dan etanol. Metanogenesis pada tahap akhir merupakan konversi senyawa bermassa molekul sedang menjadi metana dan karbondioksida (Wagiman, 2007). Pembentukan metan dapat melalui konversi hidrogen dan karbondioksida, dan konversi asetat menjadi metan dan karbondioksida. Metan sebagai hasil akhir proses anaerob juga sebagai indikator keberhasilan pelaksanaan proses tersebut. Reaksi biokimia di dalam ABR memecah molekul organik kompleks menjadi gas karbondioksida dan metana. Proses tersebut dilakukan oleh bakteri penghidrolisa, asetogen dan metanogen (Wagiman dan Suyandono, 2006).

Instalasi Pengolahan Air Limbah di Kota Malang menggunakan variasi konfigurasi unit di beberapa lokasi. Konfigurasi unit yang dimaksudkan adalah perpaduan antara unit ABR dengan unit pengolahan fisik sebelumnya. Terdapat 2 (dua) konfigurasi unit yang

digunakan pada IPAL Komunal Kota Malang, diantaranya :

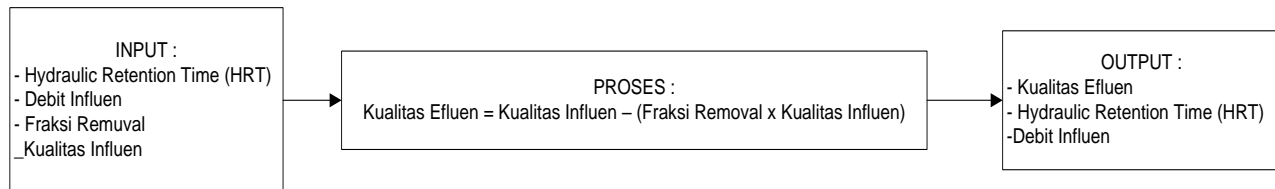
- Sedimentasi – ABR – Media Filter
- Tangki Septik – ABR dengan Media Filter

Kedua konfigurasi tersebut memiliki fraksi removal yang berbeda-beda dengan input limbah yang sama yaitu limbah domestik masyarakat sekitar lokasi IPAL. Pilihan jenis konfigurasi yang optimal diantara dua konfigurasi yang ada dapat diketahui dengan percobaan running pada model dinamis untuk melihat kapabilitas optimum dari masing-masing konfigurasi.

Murty (2003) menjelaskan tentang model dinamis yang merupakan model dengan mempertimbangkan elemen waktu. Model dinamis melibatkan urutan keputusan selama beberapa periode. Kasus pembuangan efluen C-organik ke sungai diperlukan pertimbangan waktu pembuangan yang sesuai dengan daya tampung sungai.

Rekayasa sistem IPAL Komunal dimasukkan ke dalam model dinamis untuk mereplikasi kondisi eksisting dan menghasilkan kondisi optimal untuk operasional. Permasalahan yang diselesaikan adalah mencari hasil iterasi terbaik dari nilai HRT dan debit influen IPAL berdasarkan kualitas efluen yang optimal.

Kerangka penelitian menggambarkan bahwa *Hydraulic Retention Time (HRT)* pada model tergantung debit influen IPAL. Selanjutnya HRT akan mempengaruhi fraksi removal pada IPAL Komunal. Rumus perhitungan dimasukkan pada variabel parameter efluen. Perhitungan pemisahan parameter dipengaruhi oleh 3 aspek, yaitu fraksi removal dari masing-masing IPAL Komunal, kualitas influen, dan besar Fraksi Removal pada masing-masing unit IPAL Komunal. Running atau simulasi model Stella dapat dilakukan apabila semua data dan perhitungan sudah diinput dan tidak terlihat tanda tanya (?) pada elemen manapun.



**Gambar 3.** Flowchart model IPAL Komunal pada Model Stella

Gambar 3 (tiga) adalah *flowchart* model yang menggambarkan sistem replika dari kondisi eksisting kedalam model. Data yang diinput pada model diolah dengan rumus kesetimbangan massa untuk menghasilkan kualitas efluen yang optimal dengan menghasilkan waktu tinggal dan debit yang ideal untuk mencapai kondisi tersebut. Proses analisa estimasi pada model dinamis selain diperoleh dari *equation* yang telah dimasukkan sebagai tujuan utama pemodelan, juga diperoleh dari adanya pengaruh waktu tinggal hidrolis dan debit yang masuk pada IPAL. Waktu tinggal hidrolis yang semakin lama dapat meningkatkan kualitas efluen pada sistem

anaerob sehingga menghasilkan efisiensi yang tinggi dalam pengolahannya.

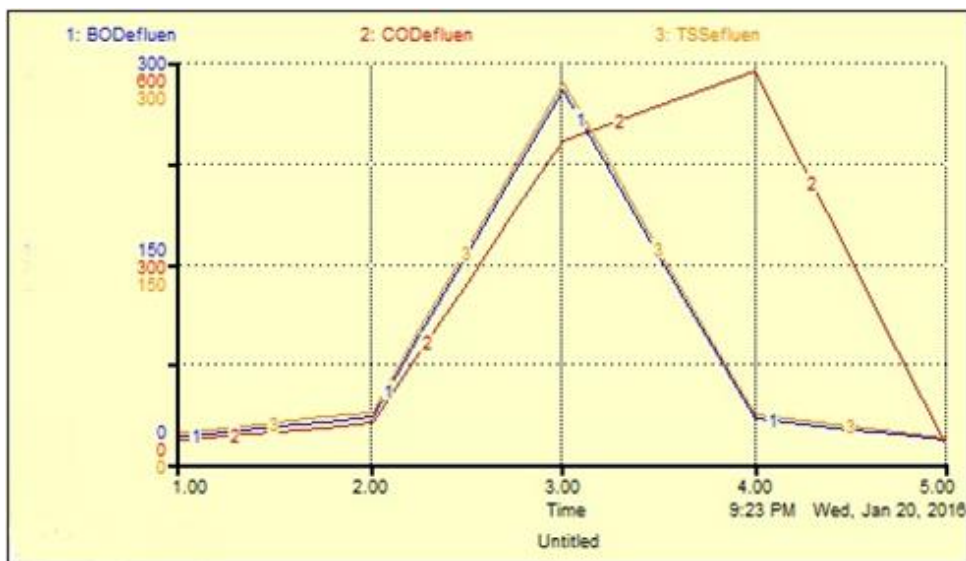
Limbah domestik yang dibuang ke badan air mempunyai variasi waktu yang besar. Penggunaan model memungkinkan untuk mengintegrasikan semua variabel waktu dan ruang dalam memperkirakan kualitas air. Secara umum model memperkirakan proses transport dan dispersi, kemudian memasukkan hasilnya dalam model kualitas air. Semua proses disajikan dalam perhitungan dengan koefisien dan parameter.



Hasil estimasi dalam pemodelan selanjutnya divalidasi atau dibandingkan dengan kondisi eksisting. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi nilai pada model dengan hasil analisa di lapangan yang dilakukan dengan uji *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil perhitungan uji MAPE menunjukkan bahwa output model tidak memiliki akurasi yang baik karena nilai MAPE yang diperoleh untuk konfigurasi 1 sebesar 6% dan konfigurasi 2 sebesar 194%, terdapat nilai simpangan cukup besar. Namun demikian,

simulasi model pada penelitian ini sudah merupakan simulasi terbaik dengan penyesuaian data yang tersedia.

Hasil simulasi model berupa besaran nilai kualitas efluen dari masing-masing Konfigurasi unit IPAL. Hasil tersebut merupakan pilihan pengambilan keputusan dalam menentukan kualitas optimal dengan waktu tinggal dan debit yang sesuai untuk efluen yang ideal. Grafik keseluruhan hasil *running* model Stella dengan konfigurasi 1 dan 2 terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Kualitas efluen IPAL Hasil Simulasi Model Stella

Gambar 4. menunjukkan hasil estimasi kualitas BOD, COD, dan TSS dari Model Stella. Model telah disesuaikan dengan sistem IPAL serta berbagai pengaruh elemen lain pada tujuan yang diharapkan. Hasil simulasi menunjukkan berbagai pilihan alternative untuk pengambilan keputusan pengelolaan operasional IPAL Komunal. Hasil pilihan untuk masing-masing konfigurasi terdapat pada Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Simulasi Model Stella

Konfigurasi Unit IPAL	Kualitas efluen (mg/L)			HRT (jam)	Q influen (L/detik)
	BOD	COD	TSS		
1	16.5	28.8	18.2	15	0.59
2	0	0	0.87	28	0.83

Tabel 3 merupakan hasil yang optimum dibandingkan berbagai pilihan lain yang diberikan model. Parameter optimal dalam hal ini adalah yang menghasilkan efluen dari parameter yang paling kecil. Hal tersebut diharapkan mampu memberikan efluen yang aman untuk dibuang ke air permukaan sehingga tidak lagi mencemari dan menambah beban organik di badan air. Kualitas efluen BOD konfigurasi 1 sebesar 16.5 mg/L dengan efisiensi 85% dengan HRT 15 jam dan debit 0.59 L/detik. Konfigurasi 2 mampu menurunkan BOD hingga 0 mg/L dengan efisiensi 100%, HRT 28 jam, dan debit 0.83 L/detik. Nilai baku mutu ambang batas BOD untuk dapat dibuang ke badan air berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku mutu Limbah sebesar 100 mg/L. hasil estimasi model

sudah cukup baik karena berada jauh dibawah ambang batas peraturan yang berlaku.

Nilai kandungan COD dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pengolahan dengan efisiensi tertinggi juga pada konfigurasi 2. Kadar COD pada konfigurasi 1 berdasarkan running model sebesar 28.8 mg/L atau dengan efisiensi 85%. Kandungan COD pada konfigurasi 2 mampu menghilangkan COD hingga 0 mg/L atau efisiensinya 100% juga dengan waktu tinggal 28 jam dan besar debit 0.83 L/detik. Kadar TSS pada IPAL mampu di removal hingga 99% dengan konfigurasi unit 2 menjadi 0.87 mg/L. Berdasarkan hasil simulasi pada model Stella terhadap dua konfigurasi unit IPAL Komunal di Kota Malang, jenis konfigurasi 2 yaitu variasi tangki septik dan ABR dengan media filter merupakan unit yang optimum dibandingkan menggunakan bangunan sedimentasi, ABR, dan filtrasi. Konfigurasi 2 (dua) sangat optimal dalam meremoval kadar organik dari limbah domestik masyarakat, baik itu dari *greywater* maupun *blackwater*. Tangki septik pada dasarnya merupakan tangki sedimentasi dengan lumpur tetap yang stabil oleh *anaerobic digestion*. Pengolahan terbagi menjadi 2 (dua) secara prinsip, yaitu mekanis dari sedimentasi dan biologis dari kontak antara *fresh wastewater* dengan *active sludge* di dalamnya (Sasse, 1998). Disamping karena memiliki efisiensi removal pengolahan yang optimum diantara jenis lainnya, konfigurasi 2 (dua) juga merupakan unit yang efisien. Hal tersebut karena penggabungan media filter dengan unit ABR sehingga lebih hemat dalam penggunaan lahan. Kondisi ini cocok untuk diterapkan pada pengolahan limbah domestik terintegrasi di kalangan masyarakat. Karena semakin berkembangnya peradaban dan peningkatan pertumbuhan penduduk, efisiensi lahan dalam penanganan permasalahan lingkungan merupakan kunci dalam pengambilan keputusan. Oleh karena itu, jenis konfigurasi 2 (dua) merupakan unit yang optimum untuk diaplikasikan pada perencanaan pengolahan limbah domestik secara komunal di Kota Malang selanjutnya. Kemampuan removal bahan organik untuk BOD dan COD sebesar 100%, serta TSS 99%. Hal tersebut dapat dicapai

dengan kondisi pengaturan HRT pada IPAL selama 28 jam dan mengkondisikan debit sebesar 0.83 L/detik. Konfigurasi tersebut diharap mampu memberikan efluen yang sesuai dengan daya dukung dan daya dukung badan air penerima yaitu Sungai Brantas.

#### 4. KESIMPULAN

Model Optimasi efluen Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Kota Malang ditentukan berdasarkan hubungan antar elemen dari data yang diolah. Input data pada model antara lain adalah Kualitas influen, HRT, fraksi removal unit IPAL serta debit influen. Hubungan elemen pada model yakni : Debit influen yang mempengaruhi lama *Hydraulic retention time* (HRT) pada reaktor dan keduanya juga berpengaruh terhadap besar fraksi removal pengolahan. Tiga elemen tersebut dapat meningkatkan maupun menurunkan besar kualitas efluen IPAL. Terdapat 3 (tiga) model berdasarkan parameter uji yang telah dilakukan yaitu *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS). Hasil running model terbaik (kualitas efluen terkecil) adalah BOD dan COD dengan nilai 0 mg/L. Model Stella dapat memperkirakan besar kualitas dari unit IPAL Komunal untuk menentukan masa *Hydraulic Retention Time* (HRT) dan menghasilkan efisiensi IPAL yang baik. Konfigurasi 2 yaitu Tangki septik dan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan media filter merupakan konfigurasi yang optimal yang dapat meremoval BOD dan COD hingga 100% dan kandungan TSS sebesar 99% dengan HRT 28 jam dan debit IPAL sebesar 0,83 liter/detik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Soemarno, Purnomo, M. (2013). Kajian Kualitas Air dan Status Mutu Sungai Metro di Kecamatan Sukun Kota Malang. *Jurnal Bumi Lestari* 13 (2) 265-274
- Indriatmoko, R.H. (2009). Membangun “sistem Dinamis untuk menghitung debit puncak” (SDDP) dengan menggunakan Stella Versi 9.0.2 (Uji Aplikasi untuk Wilayah Banjir di

- Kecamatan Makassar Jakarta Timur). *JAI* 5 (1) 74-82
- Indriyati. (2002). Degradasi Bahan Organik Limbah Cair Industri Permen dengan Variabel Waktu Tinggal. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 3 (1) 1-6
- Jiake, LI., LI H., SHEN B., dan LI Y. (2011). Effect of non-point source pollution on water quality of the weihe River. *International Journal of Sediment Research* 26, 50-61
- Mardianto, W., Apriani, I., Hayati, R. *Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan menggunakan Sistem Kombinasi ABR dan Wetland dengan Sistem Kontinyu*. Pontianak : Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura
- Massoud, M.A., Tareen J., Nasr J., Jurdi M. (2010). Effectiveness of wastewater management in rural areas of developing countries: a case of Al- Chouf Caza in Lebanon. *Environmental Monitoring Assessment* 161, 61–69
- Movahedyan, H., Assasi, A., Parvaresh, A. (2007). Performance Evaluation of ABR Treating Wheat Flour Starch Industry Wastewater. *Iran Journal of Environ, Health Sci. Engineering* 4 (2) 77-84
- Murty, In K. G. (2003). *Optimization Models For Decision Making: Volume 1*. Ann Arbor, USA: Dept. Industrial & Operations Engineering, University of Michigan
- Pemerintah Kota Malang. (2011). Laporan Rencana Induk Limbah Kota Malang.
- Prihandrijanti, M., dan Firdayati, M. (2011). Current Situation and Consideration of Domestic Wastewater Treatment System for Big Cities in Indonesia (Case Study : Surabaya and Bandung). *Journal of Water Sustainability* 1 (2) 97-104
- Priyambada, I. B., Oktiawan, W., dan Suprpto, R.P.E. (2008). Analisa Pengaruh Perbedaan Fungsi Tata Guna Lahan Terhadap Beban Pencemaran BOD Sungai (Studi Kasus Sungai Serayu Jawa Tengah). *Jurnal Presipitasi* 5, 55-62
- Salmin. (2005). Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Jurnal Oseana* 30, 21-26.
- Simon, S.B. dan R. Hidayat. (2008). Pengendalian Pencemaran Sumber Air Dengan Ekoteknologi (Wetland Buatan)". *Jurnal Sumber Daya Air* 4, 111-124
- Wagiman. (2006). Identifikasi Potensi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu dengan reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). *Jurnal Bioteknologi* 4 (2) 41-45
- Wagiman, Suyandono, A. (2007). A tofu wastewater treatment with a combination of anaerobic Baffled Reactor and Activated Sludge System. *Journal Agritech* 26 (1) 39-43. ISSN : 0216 – 6887
- Zairion, D. (2003). Dampak Pembangunan Terhadap Biota Air. *Makalah Kursus AMDAL*, IPB. Bogor