

# ANALISIS HIDRODINAMIK *ROTARY DISTRIBUTOR* HIDRAULIK TEKNOLOGI EGA-SATTIRA DAN PENGEMBANGANNYA UNTUK IRIGASI TETES-PUTAR

## *HIDRODYNAMIC ANALYSIS FOR HYDRAULIC-ROTARY DISTRIBUTOR ON EGA-SATTIRA TECHNOLOGY AND ITS DEVELOPMENT FOR DRIP-ROTARY IRRIGATION*

Oleh:

**Eko Winar Irianto**

Balai Litbang Irigasi, Bekasi, Indonesia

Jl. Cut Meutia 147 Bekasi, Jawa barat, Indonesia 17113

Komunikasi Penulis, Telp: +62-8122126974; email: ekowinar1966@gmail.com

Naskah ini diterima pada 14 Juni 2016; revisi pada 27 September 2016;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 2 November 2016

### **ABSTRACT**

*Trickling filter is a wastewater treatment technology which has high efficiency on organics reduction but low energy on its operation. Ega Sattira is the combined technology between constructed wetland and trickling filter technologies. One of the success on its treatment process is due to the hydraulic-rotary distributor. Hydrodynamic analysis on hydraulic-rotary distributor is required for making better and more efficient on Ega-Sattira's operation and process system. The research objectives are: (a) to analyze and formulate the hydrodynamic model on movement-force mechanism of hydraulic-rotary distributor on Ega Sattira technology; (b) to utilize the the phenomenon of hydraulic-rotary distributor as an alternatif of drip-rotary irrigation technique which is part of water efficient irrigation; 3) to propose the basic desain on drip-rotary irrigation system that is easy, cost efficient and efficient in operation and maintenance. The results of hydrodynamic analysis shows that rotation number per time unit is directly proportional to the gravity acceleration, friction coefficient and root of the water level in the tank and critical flow coefficient, but inversely proportional to the diameter of rotary-distributor pipe. Calibration trial result between counting rotation and actual rotation resulted the equation  $Y = 0,0014X$  dengan  $r^2 = 0,82$ . The formulation result can be applied to the planning of hydraulic-rotary irrigation system supporting the technology of water-saving irrigation.*

**Keywords:** *trickling filter, domestic wastewater, hydrodynamic analysis, rotary distributor, rotary irrigation*

### **ABSTRAK**

Biofilter tetes adalah teknologi pengolahan air limbah domestik yang memiliki efisiensi pengolahan zat organik yang tinggi, tetapi kebutuhan energinya rendah. Ega Sattira merupakan gabungan teknologi antara "lahan basah buatan" dan biofilter tetes beraerasi. Salah satu keberhasilan proses biofilter pada Ega Sattira diantaranya disebabkan oleh sistem rotary distributor yang digerakkan secara hidrolis. Analisis hidrodinamik rotary distributor hidraulik diperlukan untuk menghasilkan sistem operasi dan proses yang lebih baik dan efisien pada Teknologi Ega Sattira. Tujuan penelitian ini adalah: 1) menganalisis dan merumuskan model hidrodinamika aliran terjadinya putaran hidrolis secara gravitasi pada teknologi Ega-Sattira; 2) memanfaatkan fenomena gerak rotary distributor sebagai alternatif teknologi irigasi tetes-putar (drip-rotary irrigation) yang merupakan bagian dari irigasi hemat air; 3) mengusulkan rancangan dasar (basic desain) sistem irigasi tetes-putar yang dapat diaplikasikan secara mudah, murah, namun efisien dalam operasi dan pemeliharannya. Model hasil analisis hidrodinamik menunjukkan bahwa jumlah putaran per satuan waktu berbanding lurus dengan percepatan gravitasi, tinggi muka air di tangki, koefisien friksi dan koefisien kritis aliran, tetapi berbanding terbalik dengan diameter pipa rotary distributor. Uji kalibrasi antara putaran hitung dengan putaran aktual menghasilkan persamaan  $Y = 0,0014X$  dengan  $r^2 = 0,82$ . Hasil formulasi tersebut dapat diterapkan untuk perencanaan sistem irigasi putar hidraulik dalam mendukung teknologi irigasi hemat air.

Kata kunci: **biofilter tetes, limbah cair domestik, analisis hidrodinamik, distributor putar, irigasi putar**

## I. PENDAHULUAN

*Trickling filter* atau lebih dikenal dengan nama biofilter tetes adalah unit yang mengolah zat organik dari aliran air limbah domestik dengan memanfaatkan mikroorganisme yang bersifat aerobik yang tumbuh secara melekat pada suatu lapisan media padat, misal batu dan lainnya, dimana air limbah berkontak secara menetes bersama udara (Lytle, 2010). Burgos *et al.* (2015) menyatakan bahwa teknologi biofilter tetes membutuhkan energi yang rendah serta mudah dalam pengoperasian. Teknologi ini memiliki efisiensi pengolahan zat organik yang tinggi dengan kebutuhan energi yang rendah, sehingga sangat sesuai untuk mengolah limbah cair domestik. (www.epa.gov, diunduh Desember 2014).

Shi *et al.* (2010) menjelaskan bahwa laju pengolahan COD, NH<sub>3</sub>-N and Total-N menggunakan proses biofilter masing-masing 80,63%, 81,7% and 84,7%, dimana *hydraulic loading* diatur pada 2,0 sampai 4,0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>-hari). Pengaturan *hydraulic loading* tersebut dapat meningkatkan kontinuitas filter tetes serta kestabilan dari biofilm, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengolahan limbah cair domestik. Diks *et al.* (1994) menyatakan bahwa laju produksi CO<sub>2</sub> meningkat secara perlahan sampai 200 hari, dan selanjutnya stabil. Hal tersebut mengindikasikan sekitar 60% sumber karbon primer dikonversikan menjadi biomassa, sehingga terjadi interaksi antara populasi populasi yang terlibat dalam proses pertumbuhan lekat. Guyer (2014) menyatakan bahwa proses filter tetes memerlukan sistem ventilasi untuk pertukaran udara secara cukup agar terjadi interaksi mikroba yang terlibat dalam pertumbuhan lekat. AMPC (2014) juga menjelaskan bahwa proses interaksi mikroorganisme dan zat pencemar pada proses pertumbuhan lekat memerlukan waktu retensi merupakan fungsi dari luas permukaan spesifik.

Upaya peningkatan efisiensi pengolahan zat organik pada teknologi biofilter secara tetes dilakukan dengan mengubah media lekat yang pada awalnya hanya dari batu, selanjutnya dikembangkan dengan berbagai media, yaitu polystyrene, plastik, karet dan batu as media saringan yang mampu mereduksi fecal coli hingga 3,97.10<sup>10</sup>-4,37.10<sup>10</sup> koloni pada suhu 25-35°C dan laju beban organik lebih dari 3 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari, sehingga berpotensi digunakan di negara tropis dan berkembang (Naz *et al.*, 2016). Lemji & Estadt (2014) dengan pengaturan udara dan luas permukaan kontak yang tepat proses filter tetes

dapat mereduksi Total N dan Total P masing-masing 65,5%-86,6% dan 10,6-56,7%.

Rosseau & Hoijmans (2014) juga menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja saringan tetes adalah: (a) tipe dan ketebalan media; (b) sistem pengaliran dan kontak udara; (c) tahapan proses pada filter; (d) laju resirkulasi, dan (e) distribusi aliran limbah.

Teknologi biofilter tetes yang berbahan lokal namun memiliki efisiensi yang tinggi untuk mengolah limbah cair domestik dan dapat digunakan untuk mendaur ulang air limbah domestik menjadi air baku selain air minum telah dikembangkan oleh Puslitbang SDA dengan nama Ega Sattira (Ekotek Garden Saringan Tetes Bertingkat dan Ber Aerasi). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kelancaran distribusi aliran juga menentukan keberhasilan proses pengolahan zat organik dan senyawa nutrien pada teknologi tersebut (Irianto *et al.*, 2015).

Penjelasan di atas menunjukkan bahwa keberhasilan proses pengurangan zat organik menggunakan proses mikroorganisme pertumbuhan lekat bukan semata-mata faktor proses biokimia. Namun, hidrodinamika aliran yang terkait dengan distribusi dan beban limbah cair juga sangat mendukung keberhasilan proses biofilter pada teknologi tersebut.

Jenssen *et al.* (2004) menerangkan bahwa, analisis sistem hidrodinamika pada sistem *rotary distributor* pada reaktor biofilter tetes secara gravitasi sangat diperlukan, sehingga pengaturan distribusi aliran terkait dengan pemerataan beban senyawa organik dan nutrien dapat diestimasi dengan lebih baik.

Dengan latar belakang tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah: 1) menganalisis dan merumuskan model hidrodinamika aliran terjadinya putaran hidrolis secara gravitasi pada teknologi Ega-Sattira; 2) memanfaatkan fenomena gerak *rotary distributor* sebagai alternatif teknologi irigasi tetes-putar (*drip-rotary irrigation*) yang merupakan bagian dari irigasi hemat air; 3) mengusulkan rancangan dasar (*basic desain*) sistem irigasi tetes-putar yang dapat diaplikasikan secara mudah, murah, namun efisien dalam operasi dan pemeliharanya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Ega Sattira Inovasi Teknologi Biofilter Konvensional

Vianna *et al.* (2012) menjelaskan bahwa biofilter tetes adalah proses pengolahan limbah cair domestik maupun industri yang bersifat aerob, sederhana dan mudah dalam pengoperasian.

Aliran air limbah dialirkan menuju lapisan partikel padat sebagai tempat melekat dan tumbuhnya lapisan biofilm. Mikroorganisme pada lapisan biofilm aktif menguraikan zat organik dan nutrisi untuk pertumbuhan biofilm tersebut. Keberlangsungan penguraian tersebut tergantung dari banyak faktor, yaitu: beban volumetrik dan beban organik, jenis media pelekak biofilm, suhu, ventilasi atau suplai udara dan yang lainnya, namun efisiensi pengolahan senyawa organik tidak melebihi 85%.

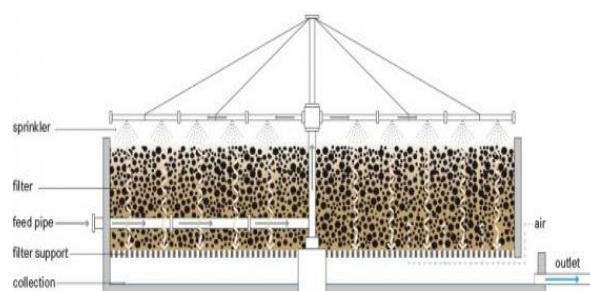
Rosseau & Hoijmans (2014) menyatakan bahwa keuntungan dari pemanfaatan saringan tetes adalah pengoperasiannya sederhana, tahan terhadap beban pencemar tiba-tiba (*shock loading*) yang tinggi, sedikit biosolid yang meluruh dan sedikit membutuhkan sumber tenaga listrik. Namun kerugiannya adalah pengurangan BOD masih relatif rendah <85%, Efluen menghasilkan padatan tersuspensi yang tinggi (20-30) mg/l, lapisan biofilm yang terlekat mudah meluruh dan pengoperasian saringan sulit dikendalikan.

Lemji & Estadt (2014) menjelaskan bahwa pengaturan laju aliran dan beban pencemar senyawa organik dan nutrisi menjadi parameter penting untuk keberhasilan pengoperasian biofilter. Hal tersebut dikarenakan saringan tetes memiliki tiga sistem operasi yaitu saringan tetes laju rendah dengan kriteria beban hidraulik 1-4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari dan beban organik 0,08-0,32 kg BOD/m<sup>3</sup>-hari. Saringan tetes laju tinggi memiliki kriteria beban hidraulik 10-40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari dan beban organik 0,32-1,0 kg BOD/m<sup>3</sup>-hari. Saringan tetes laju sangat tinggi memiliki kriteria hidraulik 40-200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari dan beban organik 0,8-6,0 kg BOD/m<sup>3</sup>-hari.

Proses metabolisme mikroorganisme pertumbuhan terlekat membutuhkan O<sub>2</sub> dan terbentuk CO<sub>2</sub>, Burgos *et al.* (2015) menjelaskan bahwa pompa aerasi atau *blower* digunakan pada teknologi biofilter tetes konvensional untuk mencegah terjadinya kondisi anaerobik (Gambar 1) Irianto, *et al.* (2015) menerangkan bahwa proses aerasi pada teknologi Sattira dilakukan secara gravitasi sebagai sumber suplai dan transfer udara pada proses biofiltrasi pertumbuhan melekat untuk menguraikan senyawa organik dan nutrisi pada teknologi Sattira. Selanjutnya, tangki penampung diperlukan untuk memisahkan partikel kasar termasuk biofilm yang telah meluruh, sebagaimana terlihat pada Gambar 1.

Prototip teknologi EGa Sattira merupakan inovasi teknologi yang menggabungkan proses "Lahan basah buatan" (*constructed wetland*) dengan

teknologi biofilter tetes beraerasi. Kombinasi teknologi tersebut mampu meningkatkan kapasitas dan efisiensi pengolahan sekaligus dapat mengurangi kebutuhan lahan ±25% bila dibandingkan dengan pemanfaatan teknologi lahan basah buatan secara konvensional dan seri. Selain itu, prototip teknologi Ega-SaTtira juga dapat digunakan sebagai Teknologi Daur Ulang (*Reused Technology*) untuk memperbaiki kualitas air yang tercemar limbah domestik pada skala DAS, yaitu sebagai penyedia air baku selain air minum juga sebagai pengisi air tanah (Irianto *et al.*, 2015).



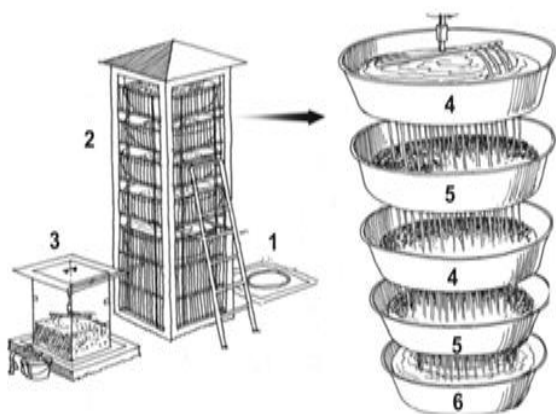
**Gambar 1** Skema Penampang Melintang Teknologi Biofilter Tetes Konvensional dengan Sistem *Rotary Distributor* (Tilley *et al.*, 2014)

Penerapan proses *Anaerobic Upflow Clarifier (AUC)* dan SaTtira yang diterapkan sebelum dan sesudah proses lahan basah buatan dapat meningkatkan efisiensi penyisihan COD, BOD, Total Nitrogen, Total Fosfat, Deterjen dan Residu Tersuspensi masing-masing menjadi 75%, 79%, 95%, 83%, 95% dan 98% (Irianto *et al.*, 2015).

Peningkatan kapasitas pengolahan prototip EGa SaTtira menunjukkan bahwa unit AUC yang diaplikasikan sebelum lahan basah buatan terjadi kombinasi proses, yaitu proses anaerob atau semi anaerob dan pengendapan. Penggunaan media arang aktif dan zeolit pada Unit SaTtira (Saringan Tetes Bertingkat dan Beraerasi) selain berfungsi sebagai proses biofiltrasi juga dapat berfungsi sebagai penukar ion. Hal tersebut ditunjukkan adanya penurunan konsentrasi logam berat Fe, Mn, Cr, Zn dan Cu masing-masing sebesar 73%, 86%, 36%, 29% dan 95% (Irianto *et al.*, 2015).

Gambar 2 menunjukkan sistem *rotary distributor* pada Teknologi Sattira yang merupakan kombinasi antara saringan tetes dan proses aerasi secara gravitasi dan menggunakan pompa pada inlet. Dengan pengaturan lahan yang tepat, energi gravitasi dapat dimanfaatkan sebagai penggerak sistem *rotary distributor*, sehingga kebutuhan energi listrik dapat dikurangi. William (2016) menjelaskan bahwa pemakaian energi listrik yang digunakan pada proses biofilter pertumbuhan lekat adalah lebih rendah 30%-50% daripada proses lumpur aktif.

Sistem *Rotary Distributor* diperlukan untuk mengatur dan mendistribusikan secara merata aliran limbah cair penduduk, sehingga senyawa organik dan nutrisi dapat diurai oleh mikroorganisme yang melekat. Tilley *et al.*, (2014) menyatakan bahwa sumber energi gerak irigasi putar untuk mendistribusikan aliran air limbah berasal dari tenaga pompa, sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Keterangan:  
 1. Hasil proses ekoteknologi; 2. Bangunan Sattira; 3. Saringan tetes akhir; 4. Media karbon dan irigasi putar; 5. Media zeolit; 6. Kolam penampung

**Gambar 2** Unit Saringan Tetes Bertingkat dan Beraerasasi (Sattira) Dilengkapi dengan *Rotary Distributor* (Irianto *et al.*, 2015)

## 2.2. Hidrodinamika dan Kecepatan Putar

### 2.2.1. Analisis Hidrodinamika

Jonathan (2011) menjelaskan bahwa dinamika fluida merupakan sub disiplin keilmuan mekanika fluida yang mempelajari gerak aliran fluida, cair maupun gas dalam kondisi alami. Dinamika fluida memiliki penerapan yang luas dalam kehidupan sehari-hari, termasuk aliran dalam perpipaan. Secara umum permasalahan dinamika fluida meliputi sifat-sifat fluida, misalnya kecepatan aliran, tekanan, masa jenis dan suhu sebagai fungsi dari ruang dan waktu.

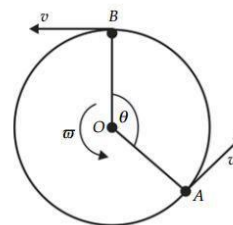
Kondisi aliran tunak dan tidak bertekanan pada suatu titik adalah sama dengan tekanan total yang berasal dari kecepatan aliran. Konsep tekanan total dan dinamik dirumuskan menjadi Persamaan Bernoulli yang mencakup semua kajian tentang dinamika aliran, diantaranya adalah tekanan statik. Tekanan statik identik dengan tekanan yang dapat diidentifikasi pada setiap titik dalam suatu aliran. Kecepatan aliran disebut juga gradien kecepatan pada suatu masa jenis yang konstan dirumuskan menjadi persamaan Bernoulli sebagai berikut: (Tchet, 2016)

$$P + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + \rho gy = \text{Konstan} \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan Bernoulli juga valid untuk kondisi *unsteady* yang tergantung waktu dan aliran atau hanya tergantung pada waktu dan tidak pada posisi cairan.

### 2.2.2. Gerak melingkar

Halliday *et al.* (2011) menjelaskan bahwa *Gerak sirkular*; atau gerak melingkar (*circular motion*) adalah gerak suatu benda yang membentuk lintasan berupa lingkaran yang mengelilingi suatu titik tetap. Suatu benda dapat bergerak melingkar akibat adanya gaya yang selalu menuju pusat lintasan lingkaran. Gaya ini dinamakan gaya sentripetal. Suatu gerak melingkar beraturan dapat dikatakan sebagai suatu gerak dipercepat beraturan apabila terdapat suatu percepatan yang besarnya tetap dengan arah yang berubah dan selalu mengubah arah gerak benda agar menempuh lintasan berbentuk lingkaran.



**Gambar 3** Pola Gerak Melingkar Beraturan (Halliday *et al.*, 2011)

Gerak melingkar beraturan (GMB) merupakan gerak suatu benda yang menempuh lintasan melingkar dengan besar kecepatan tetap. Kecepatan pada GMB besarnya selalu tetap, namun arahnya selalu berubah, dan arah kecepatan selalu menyinggung lingkaran. Artinya, arah kecepatan (*v*) selalu tegak lurus dengan garis yang ditarik melalui pusat lingkaran ke titik tangkap vektor kecepatan pada saat itu (Halliday *et al.*, 2011), sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Waktu yang dibutuhkan suatu benda yang bergerak melingkar untuk melakukan satu putaran penuh disebut periode. Pada umumnya periode diberi notasi *T*. Satuan SI (Sistem Internasional) periode adalah sekon (s). Jumlah putaran yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak melingkar dalam selang waktu satu sekon disebut frekuensi. Satuan frekuensi dalam SI adalah putaran per sekon atau *hertz* (Hz). Hubungan antara periode dan frekuensi adalah sebagai berikut: (Viridi, 2014)

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:  
*T* : periode (s)  
*f* : frekuensi (Hz)

### 2.3. Kecepatan Melingkar Linear

Gambar 3 juga menerangkan bahwa sebuah benda melakukan gerak melingkar beraturan dengan arah gerak berlawanan arah jarum jam dan berawal dari titik A. Selang waktu yang dibutuhkan benda untuk menempuh satu putaran adalah T. Pada satu putaran, benda telah menempuh lintasan linear sepanjang satu keliling lingkaran ( $2\pi.r$ ), dengan r adalah jarak benda dengan pusat lingkaran (O) atau jari-jari lingkaran. Kecepatan linear (V) merupakan hasil bagi panjang lintasan linear yang ditempuh benda dengan selang waktu tempuhnya. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut: (Viridi, 2014)

$$v = \frac{2\pi r}{T} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

v : kecepatan melingkar

r : jarak benda ke pusat lingkaran

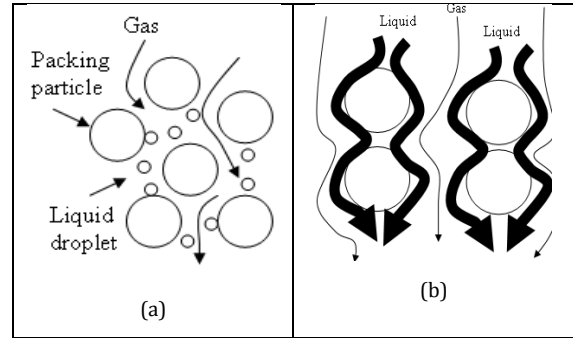
T : periode atau gerak melingkar satu putaran

### 2.4 Distribusi Aliran pada Irigasi Putar

Naz *et al.* (2016) menjelaskan bahwa secara ideal tetes aliran harus terdistribusi secara merata pada suatu permukaan yang telah diatur agar terjadi kontak antara zat cair, gas dan biofilm, sesuai waktu kontak yang dibutuhkan. Interaksi tersebut terjadi dalam dua tipe aliran yaitu tipe aliran tetes (*trickle flow*) dan tipe aliran pancar (*spray flow*). Saroha & Nigam (1996) menjelaskan secara skematis aliran tipe tetes dan tipe pancar yang mengalir melalui suatu lapisan partikel padat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

Marcandelli *et al.* (2000) menyatakan bahwa air limbah terdistribusi merata melalui suatu sistem yang disebut dengan *rotary distributor* dengan memanfaatkan gaya hidrodinamik dari air yang didistribusikan tersebut. Kecepatan rotasi atau putaran dari sistem irigasi putar pada filter tetes tersebut tergantung pada laju aliran dan diameter tangki, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.

Laju putaran *rotary distributor* disesuaikan dengan desain laju aliran dan kecepatan pengoperasian pada kondisi baik pada kondisi minimum maupun maksimum. Selain itu, pembagi aliran adalah dibuat dari bahan tahan karat, aman dari sinar UV dan mendistribusikan aliran secara fleksibel, kontinyu dan dengan biaya operasi yang rendah. Bentuk dan pengoperasian *rotary distributor* pada biofilter tetes secara konvensional yang digerakkan secara langsung dengan energi pompa ditunjukkan pada Gambar 5 (Walker Process, 2016).



Gambar 4 Skema Aliran (a) Tipe Pancar; (b) Tipe Tetes (Saroha & Nigam, 1996)

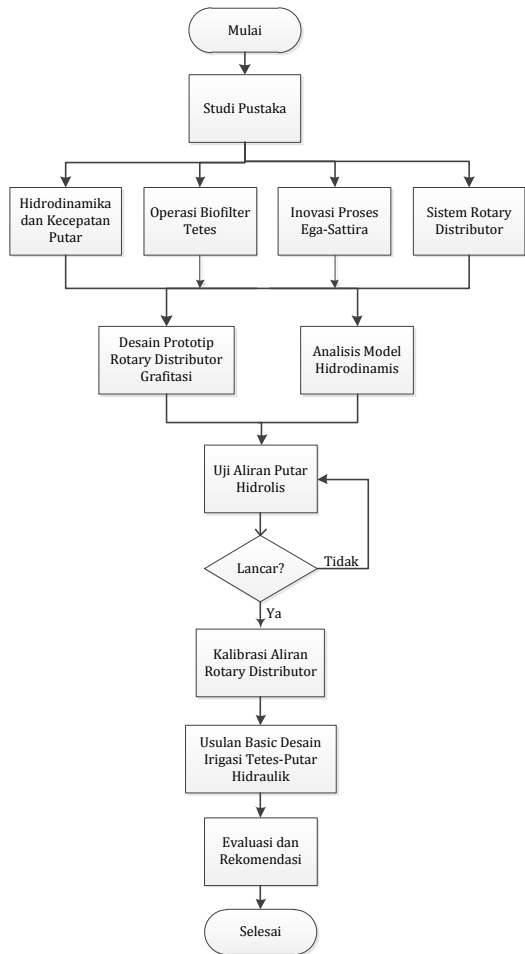


Gambar 5 Bentuk dan Pengoperasian Sistem Rotary Distributor pada Biofilter Tetes Konvensional (Walker Process, 2016)

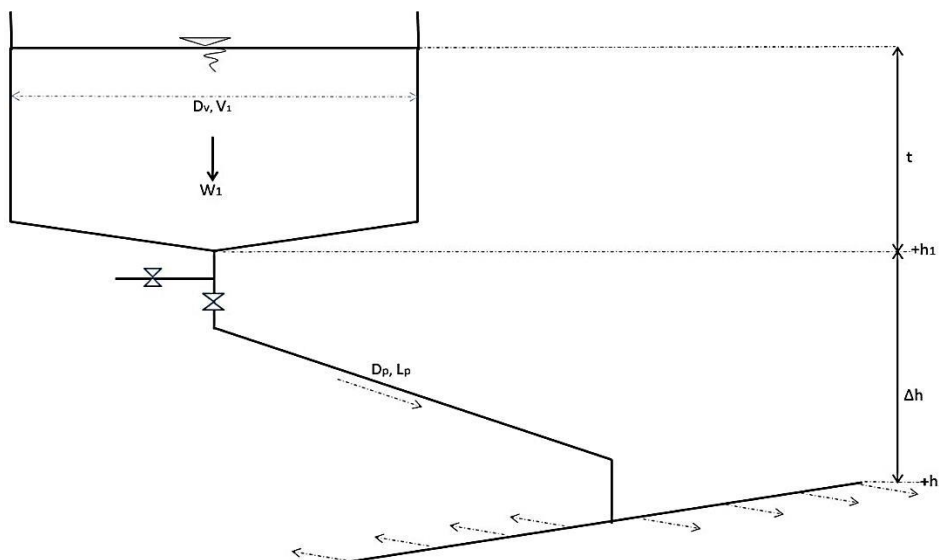
### III. METODOLOGI

Penelitian dilakukan di Balai Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumber Daya Air diawali dengan studi pustaka yang mencakup tentang proses teknologi biofilter tetes, analisis hidrodinamika aliran dan kecepatan putar dan dilanjutkan dengan membuat prototip Ega Sattira yang merupakan modifikasi dari teknologi biofilter tetes. Prototip sistem *rotary distributor* digunakan untuk mendistribusikan aliran air limbah penduduk yang akan diolah oleh bakteri melekat pada lapisan biofilter tetes. Limbah penduduk yang diolah berkarakteristik rata-rata pH: 6,8; COD: 44 ppm; Total N: 16,9 ppm; Total P: 0,482 ppm dan Deterjen: 0,69 ppm (Irianto *et al.*, 2015).

Diagram alir metode penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 6. Sedangkan skema peralatan yang diuji terlihat pada Gambar 7.



**Gambar 6** Diagram Alir Metodologi Analisis Hidrodinamika Fenomena *Rotary Distributor* Hidraulik



**Gambar 7** Diagram Prototip *Rotary Distributor* pada Teknologi Ega Sattira

Studi pustaka dilaksanakan dengan mengkaji hasil penelitian pada proses proses berikut:

- Kajian hidrodinamika dan kecepatan putar. Kajian ini menghasilkan model matematika hasil analisis hidrodinamika kecepatan putar pada sistem *rotary distributor*;
- Kajian pengoperasian *rotary distributor*. Kajian ini menghasilkan perbandingan antara jumlah putaran hidraulik hasil perhitungan model dengan jumlah putaran aktual; dan
- Kajian pemanfaatan *rotary distributor*. Pada kajian ini diketahui cara dan pemanfaatan fenomena sistem *rotary distribusi* untuk diterapkan pada sistem irigasi tetes-putar.

Hasil kajian pustaka tersebut selanjutnya dibuat desain dan prototip *rotary distributor* hidraulik yang dapat dioperasikan secara gravitasi. Pengujian prototip diawali dengan pengujian hidraulik dengan berbagai variasi kecepatan aliran. Hasil pengujian, dilanjutkan dengan usulan desain penerapan *rotary distributor* hidraulik mendukung teknologi irigasi hemat air.



(a)



(b)

**Gambar 8** Prototip Rotary Distributor Hidraulik pada Teknologi Ega Sattira:  
a) Rotary distributor; b) Tangki Penampung

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Pembuatan Prototip

Sistem prototip rotary distributor hidraulik yang dibuat dan diuji memiliki data-data sebagai berikut:

- Volume pada tangki air : 1,5 m<sup>3</sup>
- Tinggi muka air (t) : 0,2 - 0,75 m
- Total tinggi tekan (t+Δh) : 1,2 - 1,75 m
- Diameter pipa distributor : 0,02 - 0,05 m

Bentuk prototip selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 8

##### 4.2. Analisis Hidrodinamik

###### 4.2.1. Analisis Model Matematik

Rumus utama yang digunakan dalam analisis hidrodinamik prototip rotary distributor adalah rumus Bernoulli, sebagai Persamaan (1) dan (4):

$$P_{atm1} + P_{W1} + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_{atm2} + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + \rho gh_f \dots\dots\dots (4)$$

Tekanan atmosfer di semua titik sama dan gaya berat merupakan pembagian berat air di tangki penampung dibagi luas penampang pipa outlet:

$$W_1 = \rho \cdot V_1 g ; P_{W1} = \frac{F}{A} = \frac{W_1}{A_1} = \frac{\rho \cdot V_1 g}{A_1} \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{m_1 \cdot g}{A_1} + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + \rho gh_f \dots\dots (6)$$

$$\frac{\rho \cdot V_1 g}{A_1} + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + \rho gh_f \dots\dots (7)$$

Faktor massa jenis saling membagi:

$$\frac{V_1 g}{A_1} + \frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2 + gh_f \dots\dots\dots (8)$$

Faktor perbedaan elevasi dan kehilangan tekanan dapat dikumpulkan dan dikalikan dengan faktor gravitasi, sebagaimana Persamaan (9):

$$\frac{V_1 g}{A_1} + \frac{1}{2}v_1^2 + g(h_1 - h_2 - h_f) = \frac{1}{2}v_2^2 \dots\dots\dots (9)$$

Kecepatan putar secara hidrolis terjadi pada outlet distributor putar dan bergerak sepanjang diameter pipa berputar dengan perioda tertentu, sebagaimana Persamaan (10):

$$\Delta h = (h_1 - h_2) ; v_2 = 2\pi r f = \pi D_p f \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{1}{2}(\pi D_p f)^2 = \frac{V_1 g}{A_1} + \frac{1}{2}v_1^2 + g(\Delta h - h_f) \dots\dots\dots (11)$$

$$\pi D_p f = \sqrt{2 \cdot \left[ \frac{V_1 g}{A_1} + \frac{1}{2}v_1^2 + g(\Delta h - h_f) \right]^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (12)$$

Kecepatan aliran dipengaruhi oleh gravitasi, sebagaimana Persamaan (13):

$$v_1 = \sqrt{2gt} \dots\dots\dots (13)$$

$$\pi D_p f = \sqrt{2 \cdot \left[ \frac{V_1 g}{A_1} + \frac{1}{2}(\sqrt{2gt})^2 + g(\Delta h - h_f) \right]^{\frac{1}{2}}} \dots\dots (14)$$

Penentuan frekuensi putaran akibat gaya gravitasi, sebagaimana Persamaan (15) sampai (22) :

$$f = \frac{\sqrt{2}}{\pi D_p} \cdot \left[ \frac{V_1 g}{A_1} + \frac{1}{2}(2gt) + g(\Delta h - h_f) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (15)$$

Perbandingan volume dan luas tampungan air, sebagaimana tercantum pada Persamaan (16):

$$\frac{V_1}{A_1} = \frac{\frac{\pi}{4} D_p^2 t}{\frac{\pi}{4} D_p^2} \dots\dots\dots (16)$$

Substitusi Persamaan (16) ke Persamaan (17):

$$f = \frac{\sqrt{2}}{\pi D_p} \cdot \left[ \frac{\frac{\pi}{4} D_p^2 t}{\frac{\pi}{4} D_p^2} g + gt + g(\Delta h - h_f) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (17)$$

Kehilangan tekanan dan kecepatan aliran selama dalam perpipaian, tercantum pada Persamaan (18):

$$h_f = f_r \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_p^2}{2g} ; v_p = \sqrt{2g\Delta h} \dots\dots\dots (18)$$

Substitusi kecepatan aliran pada pipa, sebagaimana tercantum pada Persamaan (19):

$$h_f = f_r \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{2g\Delta h}{2g} ; \dots\dots\dots (19)$$

Faktor kehilangan tekanan pada perpipaian (k<sub>p</sub>), merupakan perbandingan antara panjang dan diameter pipa dikalikan dengan friksi dan tekanan kinetik. Selain itu, faktor luas penampang (k<sub>r</sub>) merupakan perbandingan antara diameter penampang tangki penampung dan pipa distributor (tanpa satuan), sebagaimana tercantum pada Persamaan (21):

$$k_p = f_r \cdot \frac{L}{D} ; \dots\dots\dots (20)$$

$$k_r = \frac{\frac{\pi}{4} D_p^2}{\frac{\pi}{4} D_p^2} = \frac{D_v^2}{D_p^2} = \left( \frac{D_v}{D_p} \right)^2 \dots\dots\dots (21)$$

Substitusi Persamaan (20) ke Persamaan (17), sebagaimana tercantum pada Persamaan (22) sampai (24):

$$f = \frac{\sqrt{2}}{\pi D_p} \cdot [k_r g t + g t + g(\Delta h - k_p \Delta h)]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (22)$$

$$f = \frac{\sqrt{2}}{\pi D_p} \cdot [g(t + k_r t) + g(\Delta h - k_p \Delta h)]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (23)$$

$$f = \frac{K_k}{D_p} \cdot [g(t + k_r t) + g(\Delta h - k_p \Delta h)]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (24)$$

Keterangan:

- $f$  : Jumlah putaran per satuan sekon (rps)
- $D_p$  : Diameter pipa rotary distributor (meter)
- $g$  : Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
- $t$  : Tinggi muka air pada penampung (meter)
- $\Delta h$  : Beda tinggi dasar penampung dengan outlet pembagi putar (meter)
- $k_r$  : koefisien kritis akibat penyempitan diameter tangki penampung dengan diameter pipa outlet pembagi putar (tidak bersatuan)
- $k_p$  : Koefisien friksi perpipaian outlet pembagi putar (nilai: 0 - 1, tidak bersatuan)
- $K_k$  : Koefisien konversi energi hidrolik menjadi energi putar (tidak bersatuan)

Dengan menggunakan jenis pipa PVC yang memiliki kekasaran yang rendah, mendekati nol, maka koefisien friksi mendekati satu ( $k_p \approx 1$ ). Selain itu dengan membuat beda tinggi antara dasar penampung dengan outlet pembagi putar sebesar 1 (satu) meter, maka parameter  $\Delta h$  tidak berpengaruh terhadap putaran. Dengan demikian persamaan (24) dapat diringkas menjadi model matematis yang tercantum pada Persamaan (25) sebagai berikut:

$$f = \frac{K_k}{D_p} \cdot [g(t + k_r t)]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (25)$$

#### 4.2.2. Uji Dimensi Satuan:

Hasil analisis hidrodinamik perlu dilakukan uji dimensi satuan sebelum pengujian aliran secara fisik. Pengujian dimensi satuan dilakukan terhadap frekuensi putaran rotary distributor, sehingga terlihat kesesuaian antara hasil analisis model matematik dengan dimensi satuan pada tiap faktor, sebagaimana terlihat pada Persamaan (26) dan (27):

$$f = \frac{1}{[L]} \cdot \left[ \left( \frac{[L]}{[T^2]} \cdot [L] + \frac{[L]}{[T^2]} \cdot [L] \right) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (26)$$

$$f = \frac{1}{[L]} \cdot \left[ \left( \frac{[L^2]}{[T^2]} \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{[L]} \cdot \left( \frac{[L]}{[T]} \right) = \left( \frac{1}{T} \right) = T^{-1} \dots\dots\dots (27)$$

Mengacu pada analisis dimensi satuan, Persamaan (26) dan (27), menunjukkan bahwa telah sesuai dengan dimensi satuan frekuensi yaitu satu per dimensi waktu atau  $[1/\text{waktu}]$ . Satuan frekuensi adalah derajat/s atau radial/s, kemudian menjadi RPS atau RPM:

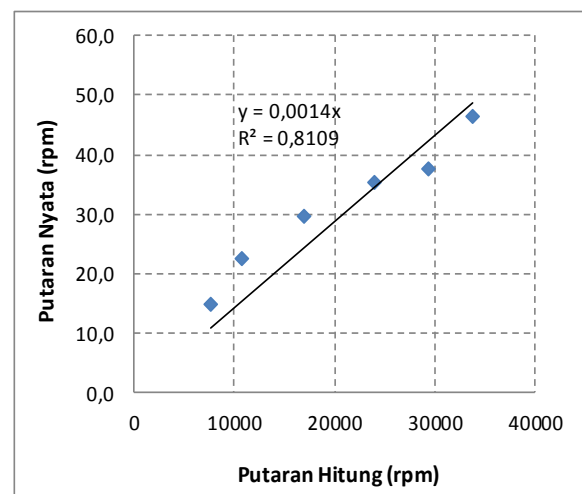
$$f = \frac{1}{[m]} \cdot \left[ \left( \frac{[m]}{[s^2]} \cdot [m] + \frac{[m]}{[s^2]} \cdot [m] \right) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (28)$$

$$f = \frac{1}{[m]} \cdot \left[ \left( \frac{[m^2]}{[s^2]} \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{[s]} \dots\dots\dots (29)$$

Satuan yang tercantum pada Persamaan (29) telah sesuai dengan Persamaan (24) dan (28).

### 4.3. Analisis Kalibrasi

Analisis kalibrasi yang diterapkan pada teknologi Ega-Sattira dilakukan dengan cara variasi ketinggian muka air pada penampung (t) pada beda tinggi antara dasar penampung dengan outlet rotary distributor yang tetap yaitu (satu) meter, sebagaimana terlihat pada Gambar 8.



**Gambar 9** Kalibrasi Putaran Hitung Terhadap Putaran Nyata Pada Irigasi Putar

Hasil analisis kalibrasi menunjukkan adanya perbedaan antara hasil perhitungan dengan putaran aktual. Namun demikian, perbedaan tersebut cenderung linear dengan perubahan variasi ketinggian muka air di tangki penampung, sebagaimana tercantum pada Gambar 9. Gambar 9 tersebut juga cenderung menunjukkan adanya nilai konversi dari energi hidrolik menjadi energi putar yang merupakan perbandingan antara putaran nyata dan hasil perhitungan (Gambar 9).

Gambar 9 menghasilkan faktor koreksi sebesar 0,0014 terhadap nilai hitung akibat variasi ketinggian muka air dalam penampung. Dengan demikian, koefisien konversi perubahan energi hidrolik menjadi putaran adalah:

$$K_k = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot 0,0014 \approx 0,006 \approx 0,01 \dots\dots\dots (30)$$

Hasil dari persamaan (30) disubstitusikan pada persamaan (25), menghasilkan persamaan (31) sebagai berikut:

$$f^1 = \frac{K_k}{D_p} \cdot [g(t + k_r t)]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (31)$$

Keterangan:

- $f^1$  : Putaran atau rotasi per menit (rpm)
- $K_k$  : Koefisien kritis aliran (0,001-0,1), angka pendekatan 0,01
- $g$  : Percepatan gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>)
- $k_r$  : Rasio diameter tangki penampung dengan diameter pipa outlet irigasi putar (tanpa satuan)
- $t$  : Tinggi muka air pada tangki penampung (meter)

Perbedaan antara putaran hitung dan putaran nyata pada prototip mengindikasikan adanya akumulasi gaya friksi yang menyebabkan kehilangan daya tekan sehingga mengurangi daya pancar yang menghasilkan daya gerak pada outlet *rotary distributor*. Akumulasi gaya friksi tersebut berasal dari: a) Aliran kritis akibat perubahan diameter penampung dan pipa outlet; b) Pengaturan katup dan perubahan (perbesaran/pegecilan) penampang katup; c) Gaya gesekan sepanjang perpipaan, termasuk diantaranya adalah sambungan pipa, belokan pipa, sambungan putar; dan d) perubahan gerak aliran pada sistem *rotary distributor* menjadi gerak putar. Karena itu, perlu dilakukan perbaikan kembali sistem sambungan pada prototip irigasi putar yang dapat meminimumkan gaya friksi aliran. Contoh sistem sambungan yang berpotensi menghambat aliran dan mengurangi kecepatan putaran pada sistem *rotary distributor* seperti terlihat pada Gambar 10.



**Gambar 10** Sistem Sambungan Prototip *Rotary Distributor* pada Teknologi Ega Sattira

#### 4.4. Analisis Aplikasi Perencanaan

##### 4.4.1. Aplikasi Beban Pencemar Domestik

Rosseau & Hoijmans (2014) menyatakan bahwa kriteria desain untuk saringan tetes adalah 0,08-0,32 untuk saringan lambat dan 0,32 – 1 kg BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>-hari, Sebagai contoh digunakan angka diambil 0,8 kg BOD/m<sup>3</sup>-hari atau 800 g

BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.hari, dengan rata-rata konsentrasi zat organik yang akan diolah menggunakan Ega-Sattira 150 mg/l BOD. Data luas permukaan Sattira (Saringan tetes bertingkat beraerasi) adalah 1,77 m<sup>2</sup> dan tebal media filter 0,5 meter. Tentukan debit aliran input limbah domestik yang dapat masuk agar sesuai dengan kriteria desain:

$$LBOP = \left( \frac{Q \cdot BOD}{A_f \cdot t_f} \right) \dots\dots\dots (31)$$

Keterangan:

- LBOP : Laju beban organik permukaan (kg BOD/m<sup>3</sup>.hari)
- Q : Debit aliran (m<sup>3</sup>/hari)
- BOD : Konsentrasi zat organik (g BOD/m<sup>3</sup>)
- A<sub>f</sub> : Luas permukaan Sattira (m<sup>2</sup>)
- t<sub>f</sub> : Tebal media SaTtira (m)

$$800 \frac{g \text{ BOD}}{m^3 \cdot \text{hari}} = \frac{Q \left( \frac{m^3}{\text{hari}} \right) \times 150 \left( \frac{g \text{ BOD}}{m^3} \right)}{1,77 (m^2) \cdot 0,5 (m)} \dots\dots\dots (32)$$

$$Q = 4,72 \frac{m^3}{\text{hari}} = 0,034 \frac{l}{s}$$

Bila diasumsikan emisi limbah domestik adalah 100 l/orang/hari, maka nilai tersebut setara dengan pelayanan komunal 50 orang. Fitriana *et al.* (2016) menginformasikan bahwa kebutuhan irigasi tetes untuk tanaman cabai adalah ± 280 liter dalam satu siklus tanaman cabai ± 130 hari. Dengan demikian, air limbah penduduk yang telah diolah dapat mengairi:

$$\frac{280 \text{ liter}}{130 \text{ hari, tanaman}} = 2,15 \frac{\text{liter}}{\text{hari}} \text{ per tanaman}$$

Bibit tanaman yang dapat diairi dalam 1 siklus:

$$\frac{4720 \text{ l/hari}}{2,15 \text{ l/(hari.tanaman)}} = \pm 2195 \text{ tanaman}$$

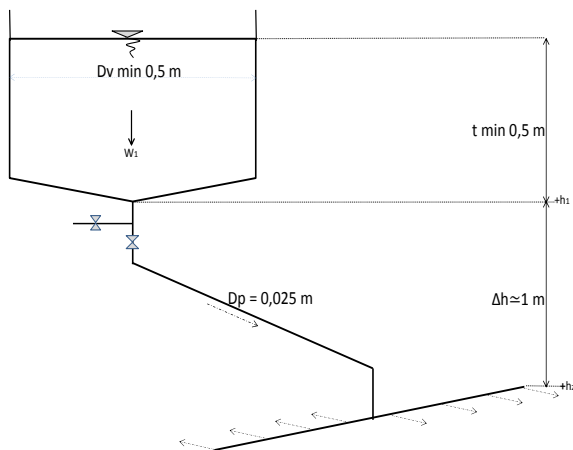
##### 4.4.2. Perencanaan Sistem Irigasi Tetes-Putar

Rosseau & Hoijmans (2014) menyatakan bahwa kriteria desain putaran *rotary distributor* 5-20 rpm. Sebagai contoh digunakan data ketinggian muka air minimal di penampung 0,5 meter dan diameter pipa irigasi putar 2,54 cm, putaran *rotary distributor* 10 rpm. Tentukan diameter penampung pada penampung agar sesuai dengan kriteria desain:

Berdasarkan persamaan (21) dan (31) maka:

$$10 = \frac{0,01}{0,025} \left[ 9,81 * (0,5 + \left( \frac{D_v}{0,025} \right)^2 * 0,5) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (33)$$

Hasil perhitungan *trial-error* dan analisis dengan piranti lunak *solver* dari Excel menunjukkan bahwa untuk mencapai kriteria putaran sekitar 10 rpm dibutuhkan diameter penampung minimal 50 cm dan ketinggian muka air pada penampung minimal 50 cm. Skema hasil perencanaan tersebut terlihat pada Gambar 11.



**Gambar 11** Skema Contoh Hasil Perencanaan *Rotary Distributor* Mendukung Irigasi Tetes

#### 4.5 Pengembangan *Rotary Distributor* Mendukung Irigasi Tetes-Putar

Sistem *rotary distributor* selain dapat digunakan untuk pengendalian pencemaran limbah cair domestik melalui teknologi Ega-Sattira, juga dapat diterapkan untuk irigasi tetes-putar. Sistem *rotary distributor* dapat digunakan untuk mengairi tanaman yang membutuhkan air baik yang bersifat terputus (*intermittent*) maupun kontinyu. Sistem irigasi tetes-putar juga dapat dikombinasikan dengan sistem pemupukan dengan mengatur dosis senyawa nutrisi yang harus diberikan. Contoh perhitungan untuk penerapan sistem *rotary distributor* pada irigasi tetes-putar adalah sebagai berikut:

Diketahui :

Dosis pupuk tanaman: 800 gr N/(tanaman.th)

Data tanaman: 40 tanaman/m<sup>2</sup>

Dosis pupuk:

$800 \text{ gr N}/(\text{tan.th}) \times 40 \text{ tan}/\text{m}^2 = 32.000 \text{ gr N}/\text{m}^2.\text{th}$   
 $= 87,7 \text{ gr N}/(\text{m}^2.\text{hari})$

Diameter lahan tanaman: 4 meter

Luas lahan tanaman =  $\pi/4 \times 4^2 = 12,56 \text{ m}^2$

Total kebutuhan dosis pupuk N =  $87,7 \text{ gr N}/(\text{m}^2.\text{hari}) \times 12,56 \text{ m}^2 = 1101,5 \text{ gr N}/\text{hari}$

Bila dibuat larutan 500 mg/l = 500 g N/m<sup>3</sup>, maka kebutuhan debit aliran =  $1101,5 \text{ gr N}/\text{hari} : 500 \text{ gr N}/\text{m}^3 = 2,203 \text{ m}^3/\text{hari} \approx 0,025 \text{ liter}/\text{sekon}$

Bila dibuat tangki atas dengan Volume 1 m<sup>3</sup> jumlah 2 buah, dengan data sebagai berikut:

Diameter tangki (D<sub>v</sub>): 0,75 meter

Diameter pipa putar (D<sub>p</sub>): 0,025 meter

Tinggi muka air dari dasar tangki: 0,5 m

Percepatan gravitasi (g): 9,8 m/s<sup>2</sup>

Faktor hambatan putaran (K): 0 – 1 digunakan angka 0,01

Perhitungan perkiraan jumlah putaran per menit:

$K/D_p = 0,01/0,025 = 2,4/\text{m}$

$$k_r = (D_v/D_p)^2 = (0,75/0,025)^2 \approx 900$$

$$k_r \times t = 900 \times 0,5 \text{ m} = 450 \text{ m}$$

$$(t + k_r \times t) = (0,5 + 450) = 450,5 \text{ m}$$

Maka:

$$f^1 = \frac{K_k}{D_p} \cdot [g(t + k_r t)]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2,4 \text{ m}^{-1} \times [9,8 \text{ m}/\text{s}^2 \times 450,5 \text{ m}]^{0,5}$$

$$\approx 12 \text{ rotasi per menit}$$

Bila panjang pipa *rotary distributor* dibuat 3,8 meter dan jarak antar lubang outlet 10 cm atau 0,1 m, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

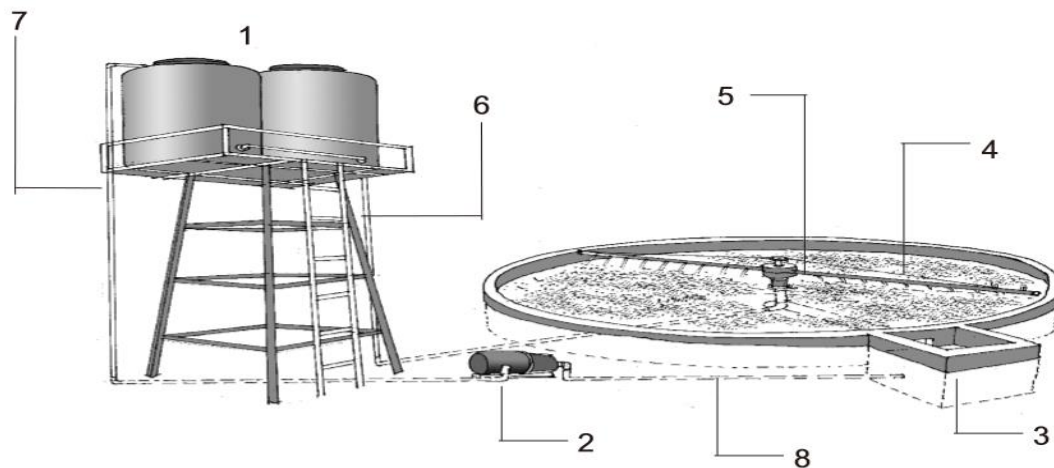
Jumlah lubang outlet:  $3,8 \text{ m}/0,1 \text{ m} = 38$  lubang outlet. Debit aliran per lubang outlet:  $0,025 \text{ l}/\text{s} = 38$  lubang outlet  $\approx 0,0007 \text{ l}/\text{s}$  atau sekitar  $0,057 \text{ m}^3/\text{hari}$  per lubang outlet.

Contoh hasil dari perhitungan tersebut menghasilkan usulan desain dengan kriteria sebagai berikut :

- i. Pada dosis tanaman 800 g N/tanaman/tahun dengan larutan 500 mg/l N dibutuhkan debit aliran 2 m<sup>3</sup>/hari atau 2 tangki ukuran 1 m<sup>3</sup>.
- ii. Jika muka air minimum pada tangki dipertahankan minimum 0,5 meter dari dasar tangki air, diperkirakan terjadi putaran 12 rotasi per menit. Namun demikian, lama putaran pemberian air ditentukan berdasarkan tingkat kebasahan tanah yang dibutuhkan oleh tanaman.
- iii. Diperoleh 38 lubang outlet dengan debit aliran sekitar 0,06 m<sup>3</sup>/hari tiap lubang outlet.

Contoh usulan desain pada Gambar 12 menunjukkan bahwa sistem *rotary distributor* dapat dimanfaatkan sebagai irigasi tetes terutama untuk mengairi tanaman rendah atau juga digunakan untuk perbenihan. Sumber air pada sistem irigasi tetes putar ini berasal dari air permukaan atau air tanah yang dipompa ke tangki air, serta berasal dari air resirkulasi hasil penyiraman. Air resirkulasi tersebut ditampung dan diendapkan pada kolam penampung untuk mengendapkan partikel-partikel tanah. Karena itu, diperlukan pemeliharaan yang teratur, terutama pembersihan partikel lumpur pada bak pengendap dan resirkulasi.

Perpipaan outlet, termasuk pipa irigasi putar, juga memerlukan pemeliharaan secara teratur membuka katup pembuang (*drain*) untuk mengurangi penumpukan partikel kasar. Pengoperasian katup pembuang secara teratur, akan mengurangi penyumbatan aliran pada outlet irigasi putar. Pengoperasian sistem *rotary distributor* untuk irigasi tetes-putar ini secara teknis mudah dan murah karena memanfaatkan energi gravitasi sebagai sumber penggerak utama.



- |  |   |
|--|---|
| 1. Tangki sumber air irigasi tetes-putar       | 5. <i>Rotary Distributor</i> dengan lubang pori/nozle |
| 2. Pompa air tanah dan resirkulasi             | 6. Pipa inlet irigasi tetes-putar                     |
| 3. Bak penampung dan pengendap air resirkulasi | 7. Pipa air baku dan resirkulasi                      |
| 4. Tempat pertumbuhan tanaman                  | 8. Pipa resirkulasi                                   |

**Gambar 12** Usulan Desain Dasar (*Basic Design*) untuk Penerapan Irigasi-Tetes Putar

Namun demikian, 1 (satu) pompa dibutuhkan untuk mengalirkan air permukaan maupun air tanah dan air resirkulasi ke tangki penampung sebagai sumber air irigasi. Karena itu, sangat disarankan menambah 1 (satu) pompa cadangan untuk pergantian operasi pompa apabila terjadi kondisi darurat. Dengan demikian, selain pemeliharaan pada perpipaan juga diperlukan pemeliharaan pada sistem pompa. Selain itu, pompa sumber air baku maupun pompa resirkulasi sebaiknya dilengkapi penyaring partikel padat. Sistem pendukung putaran pada *rotary distributor* juga perlu mendapat perhatian agar kelancaran putaran tetap terjaga.

## V. KESIMPULAN

Hasil analisis hidrodinamika pemanfaatan *rotary distributor* untuk teknologi irigasi tetes-putar menunjukkan bahwa jumlah putaran per satuan waktu adalah berbanding lurus dengan tinggi muka air dalam tangki, percepatan gravitasi dan koefisien kritis akibat penyempitan aliran, namun berbanding terbalik dengan diameter *rotary distributor*.

Adanya koefisien kritis atau faktor konversi putar mengindikasikan adanya akumulasi gaya friksi yang menyebabkan kehilangan daya tekan sehingga mengurangi daya pancar pada outlet irigasi putar. Akumulasi gaya friksi tersebut berasal dari: a) Aliran kritis akibat perubahan diameter penampang dan pipa outlet; b) Pengaturan katup dan perubahan (perbesaran/pegecilan) penampang katup; c) Gaya gesekan sepanjang perpipaan, termasuk diantaranya adalah sambungan pipa, belokan pipa,

sambungan putar; dan d) perubahan gerak aliran pada *rotary distributor* menjadi gerak putar.

Sistem *rotary distributor* ini selain diterapkan pada Teknologi EGA-Sattira (Ekotek Garden Saringan Tetes Bertingkat dan Beakerasi) untuk pengendalian pencemaran limbah penduduk, juga berpotensi untuk irigasi tanaman baik secara kontinyu maupun terputus. Selain itu, melalui pengaturan dosis pemupukan yang tepat, sistem irigasi tetes-putar ini dapat dikategorikan sebagai teknologi irigasi yang hemat air. Contoh perhitungan di atas menunjukkan bahwa dalam satu unit dapat mengairi  $\pm 2200$  bibit tanaman cabai dalam satu siklus tanaman.

Tingkat akurasi model hasil analisis hidrodinamik pemanfaatan teknik irigasi tetes-putar ini masih perlu ditingkatkan, melalui pengaturan debit aliran, variasi diameter baik tangki maupun perpipaan, serta elevasi muka air. Dengan demikian, sistem irigasi tetes-putar dapat diterapkan dengan lebih akurat, baik untuk teknologi pengendalian pencemaran air limbah domestik maupun teknologi irigasi tanaman yang hemat air. Selain itu, optimasi secara teknis masih diperlukan agar teknologi dapat dioperasikan dengan lebih mudah, dan ekonomis dengan hasil yang dapat diterima.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Kepala Puslitbang Sumber Daya Air atas kesempatan dan bantuan yang diberikan. Rekan-rekan Balai Litbang Lingkungan Keairan dan Balai Litbang Irigasi, Puslitbang Sumber Daya Air yang telah banyak mendukung dan menyukseskan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [AMPC] Australian Meat Processor Corporation. (2014). *Trickling Filter Technology for Treating Abattoir Wastewater*. Sidney: GHD Pty Ltd.
- Burgos, A.J., Lopes, J.S & Rodriguez, P.U. (2015). *Trickling Filters for Effluent Treatment Plant of Textile Industry: Series Secondary Treatments*. Coruna-Galicia, Spanyol: Universiade de Coruna.
- Fitriana, N., Arianti, F.D, & Semipermas, M.N. (2016). Irigasi Tetes: Solusi Kekeringan Air Pada Musim Kemarau. Dalam I. Djatnika, M.J.A. Syah, D. Widiastoety, M.P. Yufdy, S. Prabawati, S. Pratikno, O. Luthfiah (ed.), *Inovasi Hortikultura Pengungkit Peningkatan Pendapatan Rakyat*. Jakarta: IAARD Press.
- Guyer, J.P. (2014). *An Introduction to Trickling Filter Wastewater Treatment Plant*. New York: CED Engineering, Inc.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2011). *Principle of Physics 9th Edition - International Student Version*. New York: John Wiley and Sons.
- Irianto, E.W., Sudjianto, R.W., Sofia, Y, & Rinjani, R.R., (2015). Inovasi ekoteknologi daur ulang untuk perbaikan kualitas air tercemar limbah domestik menggunakan teknologi saringan tetes bertingkat dan beraerasi. *Jurnal Sumber Daya Air*, 11(2), 119-134.
- Jenssen, P.D., Greatorax, J.M., & Warner, W. S. (Ed.) (2004). *Sustainable Wastewater Management In Urban Areas*. Hannover, Jerman: University of Hannover.
- Lemji, H.H, & Estad, H. (2014). Performance of trickling filter for total N and total P removal with synthetic brewery in trickling filter biofilm. *International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research*, (2), 30-42.
- Lytle, D.A. (2010). *U.S. Patent No. US 8,029,674 B2*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Marcandelli, C., A.S. Lamine, , J.R. Bernard, & G. Wild. (2000). Liquid distribution in trickle-bed reactor. *Oil & Gas Science and Technology*, 55(4), 407-415.
- Naz, I., Ullah, W., Sehar, S., Rehman, A., Khan, Z. U., Ali, N., & Ahmed, S. (2016). Performance evaluation of stone-media pro-type pilot-scale trickling biofilter system for municipal wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 57(34), 15792-15805.
- Rosseau, D. & Hoijmans, T. (2014). Trickling Filters and Rotating Biological Contactors: Attached Growth Process. Diperoleh November 2014, dari <http://www.switchtraining.eu>
- Saroha, A.K., & Nigam. (1996). Trickle Bed Reactors. *Reviews in Chemical Engineering*, 12 (3 - 4), 207-347.
- Shi, X.C., Liu, F., Ren, Y., Yang, M., Wang, D. (2010). The treatment of rural domestic wastewater with the method of trickling filter. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 25, 13979-13980.
- Techet, A.H. (2016). Introduction to Basic Principles of Fluid Mechanics. Diperoleh 15 Maret 2016, dari <http://web.mit.edu/2.016/www/handouts/2005Reading3.pdf>
- Tilley, E., Ulrich, L., Luethi, C., Reymond, P., & Zurbruegg, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition. Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Vianna, M.R., de Melo, G.C.B., & Neto, M.R.V. (2012). Wastewater treatment in trickling filters using luffa cylindrica as biofilm supporting medium. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 6(2), 57-66.
- Viridi, S. (2014). *Fisika Dasar*. Diperoleh 13 Maret 2014, dari [http://125.160.17.21:5432/furusato/files/tpb/Fisika%20Dasar/fisika\\_dasar.pdf](http://125.160.17.21:5432/furusato/files/tpb/Fisika%20Dasar/fisika_dasar.pdf)
- Walker Process. (2016). *Rotoseal Rotary Distributor*. Diperoleh Maret 2016, dari [http://www.walker-process.com/pdf/prod\\_bio\\_Rotary.pdf](http://www.walker-process.com/pdf/prod_bio_Rotary.pdf)
- William, S. (2016) Energy Usage Comparison between Activated Sludge Treatment and Rotating Biological Contactor of Municipal Wastewater. Diperoleh September 2016, dari <http://williams-works.com/articles/RBC%20v%20AS%20energy%20comparison.pdf>