

SIMULASI ALIRAN FLUIDA MELALUI PENDEKATAN SISTEM DINAMIK

Edi Sutoyo

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor

e-mail : edi.sutoyo@ft.uika-bogor.ac.id

ABSTRAK

Penerapan simulasi menggunakan sistem dinamik dewasa ini telah luas digunakan diberbagai bidang, hal tersebut karena adanya kemudahan-kemudahan yang diperoleh dari penggunaannya. Asumsi utama pada sistem dinamik adalah struktur fenomena proses pembuatan keputusan merupakan suatu kumpulan struktur-struktur kausal yang melingkar dan tertutup. Sistem simulasi dinamik yang akan dikembangkan dalam kajian ini adalah model Ordinary Differential Equation (ODE) yang digunakan untuk dapat menggambarkan perilaku dari sistem mekanika fluida sederhana yang ditinjau dari satu dimensi yaitu ketinggian fluida sebagai fungsi dari waktu. Model dibuat dengan kontrol bukaan katup yaitu 0 (set point=0) untuk katup tertutup dan 1 (set point=1) untuk katup terbuka penuh. Dari hasil simulasi pada set point=0 diperoleh laju aliran fluida 1 sebesar $3.06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, pada posisi katup 1 yang tidak bekerja $t+1$ laju aliran fluida 1 adalah nol (0), laju aliran fluida 2 sebesar $5.76 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, posisi reservoir dan tinggi permukaan air bernilai $8.3 \times 10^{-7} \text{ m}$ dan $6.61 \times 10^{-6} \text{ m}$ serta volume tangki sebesar $7.2 \times 10^{-7} \text{ m}^3$. Hasil skenario set point = 1 aliran fluida 1 yang merupakan fungsi dari kapasitas pompa berjalan/bernilai secara tetap karena tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain sebesar $3.06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, sementara laju aliran 2 pada tahap awal simulasi nilainya lebih rendah di banding laju aliran 1. Simulasi dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik mampu membuat dan mengembangkan model aliran fluida dengan baik sesuai dengan persamaan matematik yang disusun dan clausal loop diagram yang dibuat

Kata Kunci : Model aliran fluida, sistem dinamik, CLD, Powersim.

Pendahuluan

Penggunaan metodologi sistem dinamik lebih ditekankan kepada tujuan-tujuan peningkatan pemahaman mengenai bagaimana perilaku muncul dari struktur kebijakan dalam suatu sistem. Asumsi utama dalam paradigma sistem dinamik adalah bahwa struktur fenomena proses pembuatan keputusan merupakan suatu kumpulan (*assembly*) struktur-struktur kausal yang melingkar dan tertutup. Unsur sebab mau pun akibat atau salah satu diantaranya harus merujuk keadaan yang terukur secara kualitatif atau kuantitatif.

Berbagai model sistem dari semua

disiplin ilmu dapat disusun dan disimulasikan dengan Powersim. Simbol yang dipakai untuk mewakili parameter terukur 'Level', 'Reservoir', 'Auxiliary', dan 'Constant' serta penghubung 'Flow Rate' dan 'Link' dapat dikaitkan satu sama lain untuk menjalin sebuah sistem yang terpadu. Hubungan sebab akibat, umpan balik (*feedback*), pengulangan (*loop*), dan penundaan (*delay*) dapat diolah dan ditampilkan dalam bentuk yang mudah untuk dimengerti (Schecker, 1994).

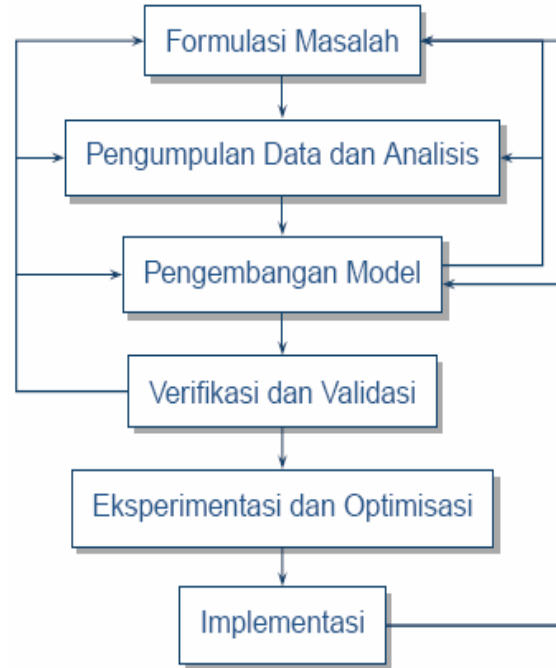
Studi sistem dinamik akan menghasilkan diagram kausalitas berulang (*causal-loop*) untuk pemetaan

proses umpan balik dan perilaku umum dari suatu sistem. Perilaku yang dihasilkan dari struktur tiruan tersebut akan ditampilkan oleh model sehingga asumsi-asumsi dan gagasan-gagasan yang ada dapat lebih mudah disimulasikan terhadap pertambahan waktu. Metoda pemodela tidak bisa dipakai untuk menggantikan gagasan-gagasan kritis, tetapi dapat digunakan sebagai alat untuk meningkatkan kualitas intuisi dan pengambilan keputusan sehingga tercipta sistem yang sangat handal (Sterman, 2000).

Pendekatan Sistem dan Simulasi

Suatu sistem didefinisikan sebagai himpunan atau kombinasi dari bagian-bagian yang membentuk sebuah kesatuan yang kompleks. Model didefinisikan sebagai suatu perwakilan atau abstraksi dari sebuah obyek atau situasi aktual. Model dikatakan lengkap apabila dapat mewakili berbagai aspek dari realitas yang sedang dikaji. Sistem adalah keseluruhan interaksi antar unsur dari sebuah obyek dalam batas lingkungan tertentu yang bekerja mencapai tujuan (Muhammadi, dkk., 2001).

Secara garis besar simulasi adalah “Proses merancang model (matematika atau logika) dari suatu sistem dan kemudian menjalankannya untuk mendeskripsikan, menjelaskan, dan menduga (memprediksi) tingkah laku (karakteristik dinamis) sistem”.



Gambar. 1 Bagan elemen analisis simulasi

Identifikasi Masalah dan Tujuan Simulasi

Sistem simulasi dinamik yang akan dikembangkan dalam kajian ini adalah model *Ordinary Differential Equation* (ODE) yang digunakan untuk dapat menggambarkan perilaku dari sistem mekanika fluida yang ditinjau dari satu dimensi yaitu ketinggian fluida sebagai fungsi dari waktu.

Sistem simulasi aliran fluida yang akan dimodelkan adalah sebuah simulator terintegrasi dengan dua buah tangki *reservoir* (sumber) fluida dan tangki proses yang dihubungkan dengan pipa berdiameter 1 inci. Kontrol *loop* sistem simulasi aliran fluida adalah kontrol *level*, yaitu pengontrolan *level* ketinggian pada tangki proses. Laju aliran masuk (*in flow*) atau aliran keluaran (*out flow*) akan diatur melalui *kontrol* sehingga *level* ketinggian pada tangki proses dapat dijaga pada harga

yang diinginkan atau ditentukan.

Sistem simulasi aliran fluida ini merupakan sebuah simulator terintegrasi dengan dua buah tangki. PFD (*Process Flow Diagram*) sistem simulasi aliran fluida menunjukkan bahwa *loop kontrol* yang ada pada sistem tersebut adalah kontrol *level*, yaitu pengontrolan *level* pada tangki terutama tinggi permukaan air. Dalam simulasi digunakan beberapa asumsi terhadap keadaan sistem aliran fluida antara lain:

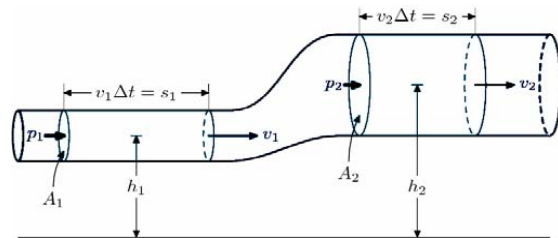
- Tangki berbentuk silinder dengan alas berbentuk lingkaran, diameter alas 40 cm dan tinggi tangki 100 cm
- Percepatan gravitasi 9.8 m/s^2
- Aliran yang dikontrol adalah aliran *input* dan *output* dengan memakai *kontrol katup* yang dapat diatur bukaannya antara 0 dan 100%. Serta ketinggian *level* fluida pada interval $0 < \text{Set point} < 1$
- Sistem yang akan digunakan dalam simulasi adalah sistem *reservoir* dan tangki tunggal dengan debit *input* konstan dan debit *output* berubah tergantung *level* air dalam tangki

Sistem simulasi aliran fluida menggunakan sistem kontrol tertutup dengan memakai '*auxiliary*' kontrol untuk mengatur sinyal masukan agar tetap berada dibawah (atau sama dengan) nilai '*constant*' *set point* yang diinginkan sehingga bukaan '*auxiliary*' katup 1 akan terbuka 100% dan tertutup 0% sesuai *set point* ketinggian.

Model Matematika

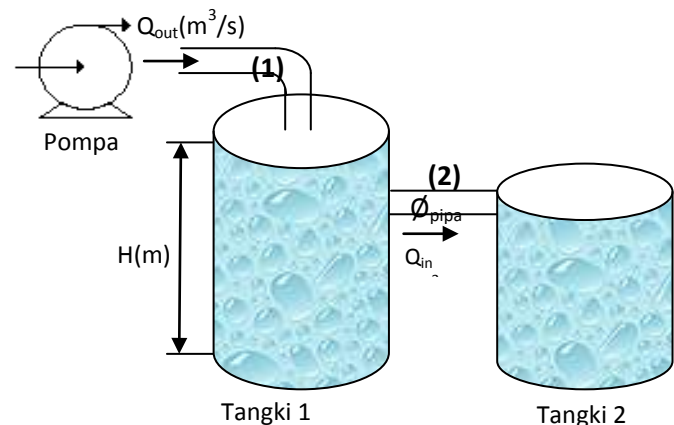
Model mekanika fluida yang akan dikembangkan mengasumsikan bahwa semua fluida mengikuti hukum kekekalan

massa, hukum kekekalan momentum, dan hipotesis kontinum. Selain itu, viskositas dari suatu fluida juga diasumsikan bernilai nol (fluida tidak viskos). Asumsi-asumsi yang dipakai adalah system dapat memberikan hasil dengan tingkat akurasi yang diinginkan. Model sistem aliran fluida yang akan disimulasikan merujuk pada persamaan kontinuitas dan Bernoulli persamaan seperti Gambar 2 berikut



Gambar 2. Diagram hukum Bernoulli untuk hipotesis kontinum

Sebagai Gambaran hubungan antara debit aliran yang masuk dengan ketinggian permukaan air maka disusun model sederhana seperti pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Model *plant* yang disimulasikan

Model simulasi aliran fluida di bangun berdasarkan persamaan matematis yang menghubungkan antara aliran fluida, luas penampang pipa dan ketinggian dari level permukaan air, atau secara matematis di susun sebagai berikut :

$$Q_{out} = A_{pipa} \times \sqrt{2gxh_t} \quad [1]$$

$$H_t = h(t-1) + \left(\frac{Q_{in} - Q_{out}}{A_{tangki}} \right) \quad [2]$$

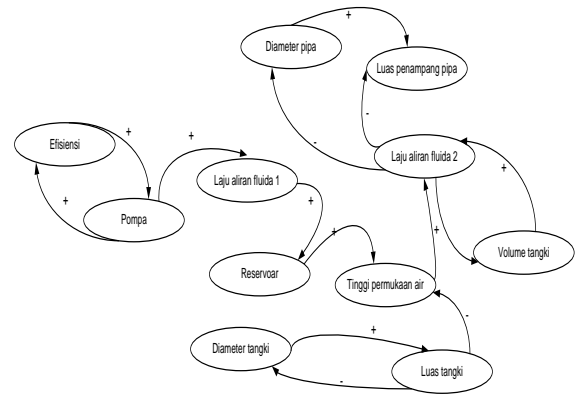
Keterangan :

Q_{out} : Debit keluaran (laju aliran fluida) (m^3/s); A_{pipa} : Luas penampang pipa (m^2); A_{tangki} : Luas penampang tangki (m^2); g : gravitasi ($9.8 m/s^2$); h_t : Tinggi permukaan air dalam tangki pada waktu ke- t (m); $H_{(t-1)}$: Tinggi permukaan air dalam tangki pada waktu ke $t-1$ (m); Q_{in} : Debit masukan (laju aliran fluida) (m^3/s)

Persamaan [1] digunakan untuk mendapatkan debit/laju aliran fluida keluaran (*output*) yang merupakan fungsi dari ketinggian permukaan air dan luas penampang pipa yang dibangun atau diturunkan dari prinsip persamaan gaya, sedangkan persamaan [2] menyatakan perubahan ketinggian permukaan air pada tangki yang diturunkan dari prinsip kontinuitas aliran massa.

Causal Loop Diagram (CLD)

Untuk mendapatkan hubungan timbal balik antara variabel-variabel yang dibangun dalam simulasi berikut *causal loop diagram* yang dibentuk.



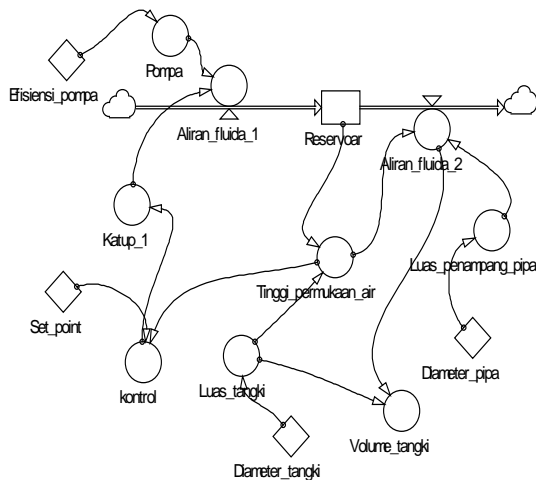
Gambar 4. Causal Loop Diagram (CLD)

Variabel pada Model Simulasi Sistem Aliran Fluida

Berdasarkan *causal loop diagram* kemudian model dibangun dari lima (5) unsur fundamental *building block*. *Building block* untuk simulasi aliran fluida dengan menggunakan *software powersim* menggunakan variabel-variabel seperti: ‘*reservoir*’, ‘*auxiliary*’, dan ‘*constant*’ serta *penghubung* ‘*flow rate*’ dan ‘*link*’ sebagai konsekuensi dari penerapan asumsi dan persamaan matematika

Metodologi

Setelah penentuan variabel-variabel yang digunakan pada program *powersim*, tahapan berikutnya adalah proses pembuatan simulasi dengan terlebih dahulu pembuatan proses *flow diagram* yang berasal dari *causal loop diagram* seperti terlihat pada Gambar 5



Gambar 5. Flow diagram yang dikembangkan dalam simulasi sistem aliran fluida model aliran tertutup

'Reservoir' merupakan variabel dinamik yang mengakumulasi nilai secara kontinu dengan suatu nilai awal dan tidak dapat bernilai dibawah nol. Ketika 'Reservoir' telah bernilai (0) nol maka simulasi akan kembali normal dengan nilai langkah waktu seperti keadaan semula. Pada simulasi aliran fluida reservoir mempunyai nilai sebesar 0 m^3 .

Laju aliran fluida 2

Adalah *auxiliary* debit keluaran fluida yang berbanding lurus dengan akar ketinggian fluida di dalam tangki atau ($Q_{out} = \sqrt{h(t)}$). Laju aliran fluida 2 akan bernilai konstan apabila tinggi fluida telah mencapai keadaan tunak (*steady*).

Tinggi permukaan air

Tinggi permukaan air diatas merupakan *auxiliary* ketinggian fluida yang dinamis di dalam tangki pada sistem simulasi aliran fluida. Nilai awal 0 m^3 pada 'reservoir' (volume tangki) menyebabkan ketinggian awal fluida di dalam tangki juga bernilai 0, dapat diartikan bahwa nilai

ketinggian permukaan air pada sistem merupakan fungsi dari reservoir.

Katup 1

Katup 1 (*close loop*) merupakan 'auxiliary' bukaan laju aliran fluida 1 (debit masukan fluida) yang berubah sesuai kondisi.

Kontrol

Kontrol merupakan 'auxiliary' syarat bukaan katup. Deklarasi (ketinggian permukaan air \leq 'set point'), apabila kondisi kontrol mempunyai nilai ketinggian permukaan air dibawah dari atau sama dengan set point maka katup akan terbuka 100%. Kondisi kontrol dengan nilai ketinggian permukaan air lebih dari Set point akan menyebabkan katup memperkecil nilainya sampai mencapai 0%.

Volume tangki

Merupakan *auxiliary* yang menghubungkan antara aliran fluida 2 dan luas tangki dan nilainya tergantung dari kedua *variable* tersebut.

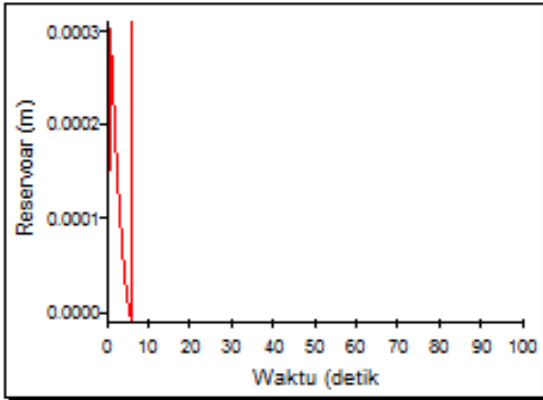
Hasil dan Pembahasan

Model dengan perlakuan set point = 0

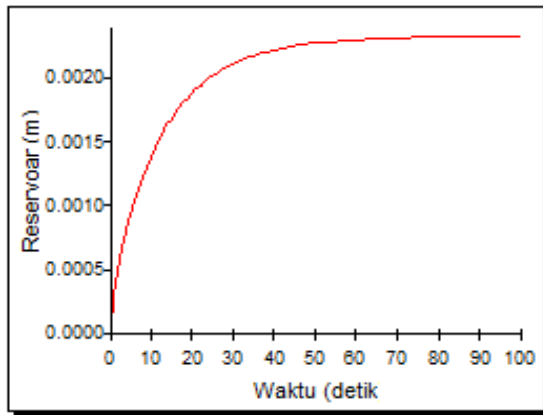
Hasil running simulasi pada aliran fluida sistem tertutup dengan pengaturan set point = 0 adalah seperti pada tabel 1. dan Gambar 6 berikut :

Tabel 1. Hasil runing simulasi set point=0

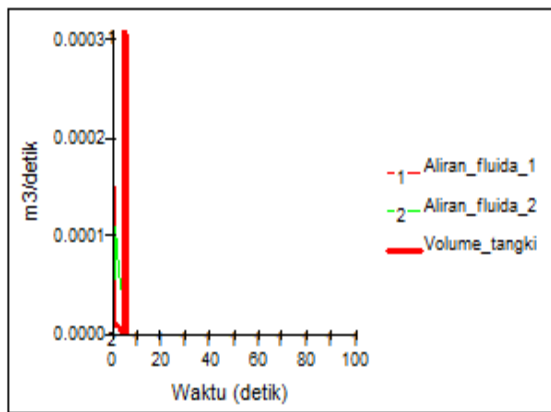
Waktu (detik)	Reservoir	Tinggi permukaan air	Aliran fluida 1	Aliran fluida 2	Volume tangki
0	0.00	0.00	0.000306	0.00	0.0
5	0.00000083	0.00000661	0.00	0.00000576	0.00000072
10	=?	=?	0.00	=?	=
15	=?	=?	0.00	=?	=
20	=?	=?	0.00	=?	=
25	=?	=?	0.00	=?	=
30	=?	=?	0.00	=?	=
35	=?	=?	0.00	=?	=
40	=?	=?	0.00	=?	=
45	=?	=?	0.00	=?	=
50	=?	=?	0.00	=?	=
55	=?	=?	0.00	=?	=
60	=?	=?	0.00	=?	=
65	=?	=?	0.00	=?	=
70	=?	=?	0.00	=?	=
75	=?	=?	0.00	=?	=



(a)



(b)



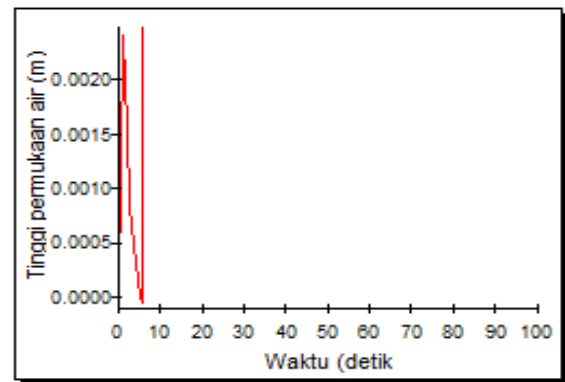
(c)

Model dengan perlakuan *set point* = 1

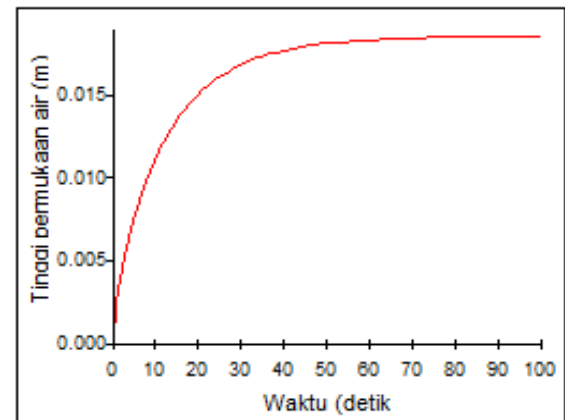
Hasil running simulasi pada aliran fluida sistem tertutup dengan pengaturan *set point* = 1 adalah seperti pada tabel.2 dan Gambar di bawah berikut :

Tabel 2. Hasil runing simulasi set point=1

Waktu (detik)	Reservoir	tinggi_permukaan_ai	Aliran_fluida_1	Aliran_fluida_2	Volume_tangki
0	0.00	0.00	0.000308	0.00	0.00
5	0.000938	0.00745	0.000308	0.000194	0.0000243
10	0.0014	0.0112	0.000308	0.000237	0.0000298
15	0.0017	0.0135	0.000308	0.000281	0.0000327
20	0.00189	0.0151	0.000308	0.000275	0.0000348
25	0.00203	0.0162	0.000308	0.000285	0.0000358
30	0.00212	0.0169	0.000308	0.000291	0.0000366
35	0.00219	0.0174	0.000308	0.000296	0.0000372
40	0.00223	0.0178	0.000308	0.000299	0.0000376
45	0.00227	0.018	0.000308	0.000301	0.0000378
50	0.00229	0.0182	0.000308	0.000303	0.000038
55	0.00231	0.0184	0.000308	0.000304	0.0000382
60	0.00232	0.0184	0.000308	0.000305	0.0000382
65	0.00232	0.0185	0.000308	0.000305	0.0000383
70	0.00233	0.0186	0.000308	0.000305	0.0000384
75	0.00234	0.0188	0.000308	0.000306	0.0000384

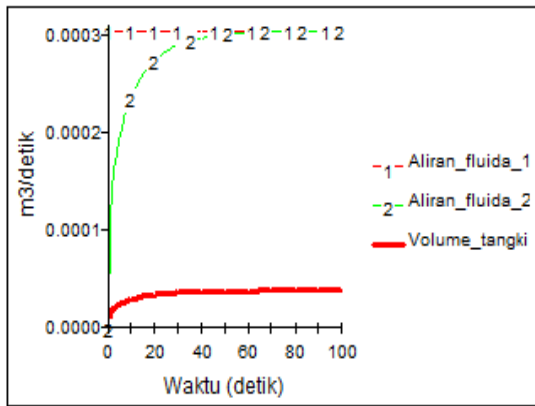


(a)



(b)

Gambar. 6 Grafik hasil runing simulasi pada set point = 0, (a): tangki (b):tinggi permukaan air; (c): karakteristik laju aliran fluida 1 dan 2 serta volume



(c)

Gambar. 7 Grafik hasil running simulasi pada set point = 1, (a): tangki (b):tinggi permukaan air; (c): karakteristik laju aliran fluida 1 dan 2

Dari hasil running program poses simulasi aliran fluida pada sistem yang dikembangkan dapat dilihat tren karakteristik dari kedua skenario yaitu :

- **Skenario set point = 0**

Skenario diatas dibuat untuk dapat memperlihatkan hubungan yang saling terkait antara variable-variabel yang di susun dengan membuat simulasi ketika posisi, bahwa sistem aliran fluida tidak dapat mengalir optimal, hal tersebut dapat dilihat dari hasil tabel data hasil simulasi yang mendapatkan nilai pada waktu t=0 seluruh variabel tidak mendapatkan nilai. Nilai pada waktu tersebut merupakan konstanta dari variabel ketika simulasi di seting yang terjadi pada laju aliran fluida 1 sebesar $3.06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, tetapi karena sistem dalam keadaan tertutup dengan posisi katup 1 yang tidak bekerja, maka pada saat t+1 laju aliran fluida 1 adalah nol (0), laju aliran fluida 2 pada saat waktu tersebut bernilai $5.76 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ sementara posisi *reservoir* dan tinggi permukaan air bernilai $8.3 \times 10^{-7} \text{ m}$ dan $6.61 \times 10^{-6} \text{ m}$ serta volume tangki sebesar $7.2 \times 10^{-7} \text{ m}^3$. Memasuki waktu berikutnya (t+n) seluruh variabel tidak mempunyai nilai sebagai akibat dari sistem

di seting pada *set point* t=0.(tabel 1 dan Gambar 6a dan 6b)

- **Skenario set point = 1**

Skenario *set point* = 1 di bangun untuk dapat memperlihatkan simulasi sistem aliran fluida berjalan sesuai dengan model dan persamaan matematik yang disusun. Dari tabel dan grafik hasil running simulasi (tabel 2 dan Gambar 7) diperoleh karakteristik dari masing-masing variabel. Hasil yang diperoleh sangat berbeda dengan *set point* = 0, hal tersebut menunjukkan bahwa simulasi dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan persamaan yang disusun serta *causal loop diagram* yang dibuat. Dengan menggunakan kontrol yang berdeklarasi (tinggi permukaan air \leq *set point*), maka sistem aliran fluida dapat berjalan kontinyu tanpa kekurangan *suplay* fluida,karena aliran fluida merupakan fungsi dari ketinggian permukaan air di tangki dengan *set point* yang ditentukan. Hal tersebut dapat menjamin bahwa sistem berjalan dengan mekanisme tertutup (*closed loop*). Penggunaan katup 1 dengan deklarasi IF(control,0,1) dapat membuat simulasi lebih atraktif karena sistem dapat di buat bervariasi dengan membuat katup 1 dapat bekerja secara dinamik (antara dibuka atau ditutup).

Dari tabel 2 dan Gambar 7. diperoleh data bahwa pada waktu t=0 berturut-turut nilai yang diperoleh merupakan setingan awal ketika sistem disimulasi (*reservoir* = 0;tinggi permukaan air = 0,aliran fluida 2 = 0;volume tangki = 0) hal tersebut menunjukkan bahwa sistem belum berjalan karena tinggi permukaan tangki dan *reservoir* belum bernilai, sementara untuk aliran fluida1 bernilai $3.06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ merupakan nilai kapasitas pompa. Memasuki waktu t+1 berturut-turut sistem telah berjalan dan sesuai dengan *causal loop diagram* yang dibentuk. Aliran fluida 1 yang merupakan fungsi dari kapasitas pompa berjalan/bernilai secara tetap karena tidak

dipengaruhi oleh variabel yang lain sebesar $3.06 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, sementara laju aliran 2 pada tahap awal simulasi nilainya lebih rendah di banding laju aliran 1 (seperti terlihat di Gambar 7a,b dan c). Hal tersebut disebabkan nilai tinggi permukaan air di dalam tangki belum mencapai keadaan *steady*. Tetapi memasuki waktu ke-75 nilai laju aliran fluida 2 sama besar seperti nilai laju aliran 1 . Berturut-turut nilai-nilai dari *reservoir*, tinggi permukaan air dan volume tangki juga mengalami peningkatan dan *steady* setelah memasuki waktu ke-75 dengan nilai untuk masing-masing variabel adalah $2.34 \times 10^{-3} \text{ m}$, $1.86 \times 10^{-2} \text{ m}$ dan $3.84 \times 10^{-5} \text{ m}^3$.

Kesimpulan

Simulasi dengan menggunakan *software* powersim mampu membuat dan mengembangkan model sistem aliran fluida dengan baik sesuai dengan persamaan matematik yang disusun dan *clausal loop diagram* yang dibuat. Model dibuat dengan kontrol bukaan katup yaitu 0 (*set point*=0) untuk katup tertutup dan 1 (*set point*=1) untuk katup terbuka penuh. Dari hasil simulasi dengan membuat dua (2) skenario untuk aliran fluida yaitu pada *set point*=0 dan *set point*=1 diperoleh suatu *running* program yang beragam dan dapat menggambarkan kondisi nyata dari model yang dibuat. Pada model dengan *set point*=0 simulasi tidak dapat berjalan dengan optimal karena sistem pembukaan katup terkunci, sementara untuk *set point*=1 simulasi dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan model persamaan matematik yang dibangun karena katup terbuka penuh. Hal tersebut dapat dijadikan rekomendasi bahwa sistem bukaan katup dengan *set point*=1 yang di kontrol dengan deklarasi (Tinggi permukaan air <= *set point*) dapat dilakukan untuk mensimulasikan aliran fluida pada sistem tertutup

Daftar Pustaka

- Angerhofer, B., and Angelides, C. 2000. *System Dynamics Modelling in Supply Chain Management Research Review*. Department of Information Systems and Computing, Brunel University, UK
- Diwyanto, K. 2001. *Model Perencanaan Terpadu: Integrasi Tanaman-ternak (Crop-Livestock System)*. Makalah Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner, Auditorium Balai Penelitian Veteriner Bogor, 17-18 September 2001.
- Eriyanto. 2003. *Ilmu Sistem : Meningkatkan Mutu dan Efektivitas Manajemen*. Jilid 1. IPB Press. Bogor.
- Hardjomidjojo, H. 2004. *Konsep Sistem*. Bahan Kuliah Pasca Sarjana, Jurusan Teknologi Agroindustri, Institut Pertanian Bogor
- Kholil, 2005. *Rekayasa Model Dinamik Untuk Pengolahan Sampah Berbasis Zero Waste Studi Kasus di Jakarta Selatan*, Disertasi Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Kreyszig, E. 1999. *Advanced Engineering Mathematics*. John Wiley & Sons, Inc. United States of America
- Muhammadi, E. Aminullah, dan B. Susilo. 2001. Analisis Sistem Dinamis. UMJ Press, Jakarta.
- Ogata, K. 1997. *Modern Control Engineering*. Prentice-Hall, Inc, United States of America
- Powersim. 2005. *Powersim Studio User's Guide*. Bergen, Norway. Powersim Studio Enterprise
- Schecker, H. 1994. *System Dynamics in High School Physics*. Institute of Physics Education, University of Bremen, Germany
- Surjandari, I, dkk. 2009. *Model Dinamis Pengelolaan Sampah untuk Mengurangi Beban Penumpukan*,

Jurnal Teknik Industri
vol.II,No.2,Universitas Indonesia

Sterman, D. 2000. *Business Dynamics:
Systems thinking and modeling for a
complex world.* McGraw Hill