

ANALISAPERHITUNGANWAKTU PENGALIRAN AIR DAN SOLAR PADA TANGKI

Nurnilam Oemiati

Staf Pengajar Jurusan Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Palembang
Email: nurnilamoemiatie@yahoo.com

Abstrak

Lubang pada tangki empat persegi panjang yang terletak di dinding maupun di dasar tangki berfungsi sebagai celah bukaan zat cair mengalir. Aliran yang melalui lubang mempunyai debit, kecepatan dan waktu alir. Bentuk lubang dan luas lubang dapat mempengaruhi besarnya debit, kecepatan dan waktu untuk mengalirkan zat cair. Terkadang kita tidak tahu berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menunggu sampai bak itu kosong apalagi jika terjadi kebocoran.

Pada penelitian ini digunakan 4 variasi yaitu zat cair berupa air yang mengalir melalui bagian samping bawah tangki dan bagian dasar tangki, serta solar yang mengalir dari bagian samping bawah tangki dan bagian dasar tangki. Lubang yang digunakan berbentuk lingkaran, yang memiliki masing-masing luas lubang yang sama yaitu 0,491 cm². Ketinggian muka air 25 cm dan ketinggian tangki 30 cm. Waktu pengaliran dihitung langsung dengan menggunakan *stopwatch*. Perbandingan perhitungan waktu pengaliran didapat dengan cara membandingkan hasil percobaan dengan hasil perhitungan secara teori.

Hasil penelitian disimpulkan bahwa waktu pengaliran masing-masing jenis zat cair air dan solar bernilai 15,38 detik dan 17,59 detik pada posisi lubang terletak di bagian dasar tangki; perbandingan antara percobaan dan perhitungan adalah 0,98. Nilai waktu pengaliran yang besar 35,03 detik dan 30,46 detik untuk solar dan air pada posisi lubang di sisi samping tangki; perbandingan antara percobaan dan perhitungan adalah 0,96. Air lebih efisien dibandingkan solar.

Kata kunci : Tangki empat persegi panjang, zat cair, perhitungan waktu.

PENDAHULUAN

Ketika bak penampung yang berisi air hendak dikuras atau dibersihkan akan memakan waktu yang tidak sebentar, terkadang kita tidak tahu berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menunggu sampai bak itu kosong apalagi jika terjadi kebocoran.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui waktu pengaliran yang diperlukan suatu zat cair berupa air dan solar dalam tangki, serta seberapa besar pengaruh variasi posisi lubang bocor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan waktu aliran yang dibutuhkan oleh kedua zat cair tersebut untuk mengosongkan tangki dengan lubang berbentuk lingkaran dengan posisi lubang yang berbeda. Sehingga didapat waktu pengaliran yang efisien. Bahan yang dipergunakan adalah air dan solar, tangki berbentuk empat persegi panjang yang berlubang bagian samping bawah dan dasar tangki.

TINJAUAN PUSTAKA

Aliran Melalui Lubang

Zat cair riil didefinisikan sebagai zat yang mempunyai kekentalan, berbeda dengan zat cair ideal yang tidak mempunyai kekentalan.

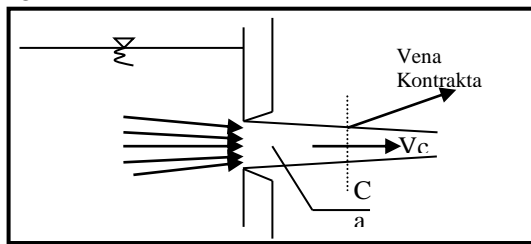
Kekentalan disebabkan karena adanya sifat kohesi antara partikel zat cair. Karena adanya kekentalan zat cair maka terjadi perbedaan kecepatan partikel dalam medan aliran. Partikel zat cair yang berdampingan dengan dinding batas akan diam (kecepatan nol) sedang yang terletak pada suatu jarak tertentu dari dinding akan bergerak. Perubahan kecepatan tersebut merupakan fungsi jarak dari dinding batas. Aliran zat cair riil disebut juga aliran viskos.

Aliran viskos adalah aliran zat cair yang mempunyai kekentalan (viskositas), memberikan sifat air (viskositas kinematik) pada tekanan atmosfer dan beberapa temperature. Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara, dan sebagainya.

Koefisien Aliran

Partikel zat cair yang mengalir melalui lubang (gambar 1) berasal dari segala arah. Karena zat cair mempunyai kekentalan maka beberapa partikel yang mempunyai lintasan membelok akan mengalami kehilangan tenaga. Setelah melewati lubang pancaran air mengalami

kontraksi, yang ditunjukkan oleh penguncupan aliran. Kontraksi maksimum terjadi pada suatu tampang sedikit disebelah hilir lubang, dimana pancaran kurang lebih horisontal. Tampang dengan kontraksi maksimum tersebut dikenal dengan vena kontrakta.



Gambar 1. Vena Kontra

Pada aliran zat cair melalui lubang Terjadi kehilangan tenaga menyebabkan beberapa parameter aliran akan lebih kecil dibanding pada aliran zat cair ideal yang dapat ditunjukkan oleh beberapa koefisien, yaitu koefisien kontraksi, kecepatan, dan debit.

Koefisien kontraksi (C_c) adalah perbandingan antara luas tampang aliran pada vena kontrakta (a_c) dan luas lubang (a) yang sama dengan tampang aliran zat cair ideal.

$$C_c = \frac{a_c}{a} \dots\dots\dots (1)$$

Koefisien kontraksi tergantung pada tinggi energi, bentuk dan ukuran lubang, dan nilai reratanya adalah sekitar $C_c = 0,64$.

Perbandingan antara kecepatan nyata aliran pada vena kontrakta (V_c) dan kecepatan teoritis (V) dikenal dengan koefisien kecepatan (C_v).

$$C_v = V_c / V \dots\dots\dots (2)$$

Nilai koefisien kecepatan tergantung pada bentuk dari samping bawah lubang (lubangtajam atau dibulatkan) dan tinggi energi. Nilai rerata dari koefisien kecepatan adalah $C_v = 0,97$.

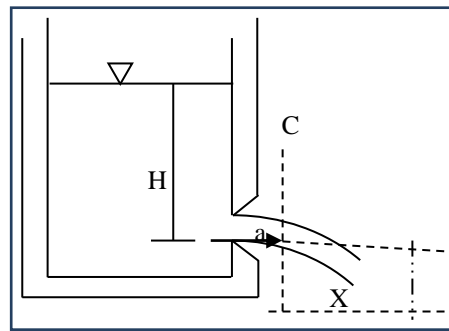
Koefisien debit (C_d) adalah perbandingan antara debit nyata dan debit teoritis :

$$C_d = C_v \times C_c \dots\dots\dots (3)$$

Nilai koefisien debit tergantung pada nilai C_c dan C_v yang nilai reratanya adalah $0,62$.

Lubang kecil

Gambar 2 menunjukkan zat cair yang mengalir melalui lubang kecil dari suatu tangki. Pusat lubang terletak pada jarak H dari muka air. Pertama kali dianggap zat cair adalah ideal. Tekanan pada lubang adalah atmosfer.



Gambar 2. Tangki lubang kecil

Dengan menggunakan persamaan *Bernoulli* pada permukaan zat cair di kolam dan di lubang, kecepatan zat cair pada titik tersebut dapat dihitung :

$z_1 + P_1 + V_1^2 / 2 g = z_2 + P_2 / \gamma + V_2^2 / 2 g$
 Oleh karena kecepatan di titik 1 adalah nol dan tekanan di titik 1 dan C adalah atmosfer, maka:

$$z_1 = z_2 + V_2^2 / 2 g$$

$$V_2 = 2 g (z_1 - z_2) = 2 g h$$

atau

$$V_2 = \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots (4)$$

Rumus tersebut menunjukkan kecepatan aliran teoritis pada zat cair ideal. Pada zat cair riil, terjadi kehilangan tenaga yang disebabkan oleh kekentalan (adanya vena kontrakta). Untuk itu perlu dimasukkan koefisien kecepatan (C_v), sehingga :

$$V_c = C_v V_2 = C_v \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots (5)$$

Maka debit aliran menjadi :

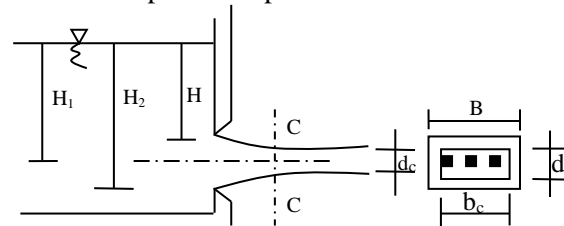
$$Q = A_c V_c = C_c a C_v \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots (6)$$

atau

$$Q = C_d a \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots (7)$$

Lubang Besar

Dipandang lubang besar berbentuk segi empat dengan lebar b dan tinggi d yang melewatkan debit aliran secara bebas ke udara luar (tekanan atmosfer). Elevasi permukaan zat cair di dalam kolam adalah konstan sebesar H dari sumbu lubang. Distribusi kecepatan pada vena kontrakta C_c adalah sebanding dengan akar kedalaman pada setiap titik.



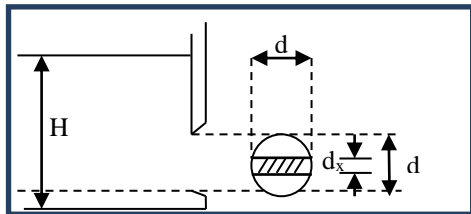
Gambar 3. Tangki lubang besar

Debit aliran melalui lubang besar dapat dihitung dengan memandang aliran melalui suatu elemen kecil dengan lebar b dan tinggi data hujan yang berada pada kedalaman h dari permukaan zat cair. Kecepatan aliran melalui elemen tersebut adalah :

$$V = C_v \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots (8)$$

Debit aliran melalui elemen adalah :

$$dQ = C_d b dH \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots (9)$$



Gambar 4. Tangki lubang bulat

Ambil elemen d' , tebalnya dx

Luas elemen = $dA = d' \cdot dx$

dengan $d' = 2 \sqrt{(1/2 d)^2 - x^2}$

Jadi, $dA = 2 \sqrt{(1/2 d)^2 - x^2} \cdot dx$

Kecepatan zat cair pada elemen =

$$V = C_v \sqrt{2 g (H - x)}$$

Rumus yang dipakai untuk menghitung debit aliran lubang yang berbentuk lingkaran dengan diameter d adalah :

$$Q = C_d \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot \sqrt{2 g h} \dots\dots\dots (10)$$

Lubang Terendam

Apabila permukaan zat cair berada di atas lubang, maka lubang disebut terendam. Gambar 5 menunjukkan lubang terendam dimana elevasi permukaan zat cair disebelah hulu dan hilir terhadap sumbu lubang adalah H_1 dan H_2 .

Dengan menggunakan persamaan *Bernoulli* antara titik 1 dan 2 yang berada pada sumbu lubang, maka :

$$z_1 + P_1/\gamma + V_1^2/2g = z_2 + P_2/\gamma + V_2^2/2g \dots\dots (11)$$

dikarenakan :

$$z_1 = z_2 \cdot v_1,$$

$$P_1/\gamma = H_1, \text{ dan } P_2/\gamma = H_2$$

Maka :

$$H_1 + 0 = H_2 + V_2^2/2g$$

Atau :

$$V_2 = \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

Debit nyata aliran melalui lubang adalah :

$$Q = C_d \cdot a \cdot \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

atau

$$Q = C_d a \sqrt{2gH}$$

dengan :

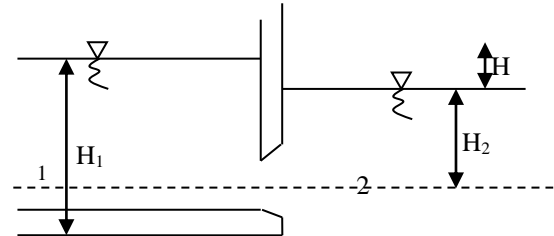
C_d = koefisien debit

a = luas tampang lubang

H = selisih elevasi muka air di hulu & hilir lubang

g = gravitasi (9,81)

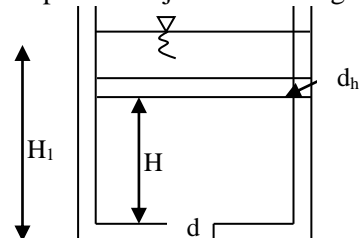
Koefisien kontraksi dan koefisien debit lubang terendam dapat dianggap samadengan lubang bebas.



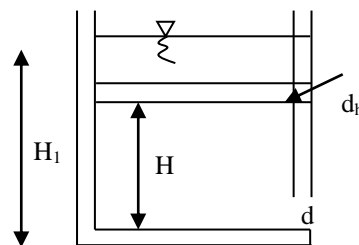
Gambar 5. Tangki lubang terendam

Waktu Pengosongan Tangki

Dipandang suatu tangki dengan tampang lintang A yang mengalirkan zat cair melalui lubang dengan luas a yang terletak pada dasarnya seperti ditunjukkan dalam gambar 6.



Gambar 6. Tangki lubang di dasar



Gambar 7. Tangki lubang samping bawah

Pada suatu saat permukaan zat cair di dalam tangki pada ketinggian h di atas lubang. Kecepatan aliran pada saat tersebut adalah :

$$V = C_v \sqrt{2 g h}, \text{ dan debit aliran } Q = C_d D \sqrt{2 g H}$$

Dalam suatu interval waktu dt volume zat cair yang keluar sebesar dh , sehingga pengurangan volume zat cair di dalam tangki adalah :

$$dV = - A dh$$

Tanda negatif menunjukkan adanya pengurangan volume karena zat cair keluar melalui lubang. Dengan menyamakan kedua bentuk perubahan volume zat cair tersebut, maka di dapat bentuk berikut ini :

$$- A dh = C_d D \sqrt{2 g H} dt$$

Atau

$$T = \frac{2 A H^{\frac{1}{2}}}{C_d a \sqrt{2 g H} \rho} \dots\dots\dots (13)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kotak kaca dengan panjang 20 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 30 cm.
2. Mistar atau meteran.
3. Stopwatch.
4. Ember atau bak penampungan untuk menampung air.
5. Air
6. Solar

Pelaksanaan dan Pengamatan

Mengisi Zat Cair Pada Tangki

Zat cair yang dituangkan kedalam tangki yang mula-mula adalah air, pada pelaksanaan penelitian yang ke dua mengganti air dengan solar. Saat pengisian kondisi lubang yang berada di dasar maupun yang berada di bagian samping bawah dalam keadaan tertutup. Ketinggian permukaan zat cair ditentukan 25 cm.

Membuka Penutup Lubang Pada Tangki

Tahap selanjutnya membuka penutup lubang pada tangki. Lubang tangki yang pertama

dibuka boleh pada bagian samping bawah ataupun di dasar tangki, tergantung lubang yang mana akan diteliti terlebih dahulu. Saat membuka penutup lubang pada tangki, pastikan bahwa ember atau bak penampungan zat cair yang mengalir, sudah terpasang tepat di dasar lubang tangki yang akan dibuka, ember atau bak yang dipakai harus dapat menampung debit zat cair yang mengalir.

Mencatat Waktu Pengaliran Zat Cair

Pada saat membuka penutup lubang, pengukuran waktu pengaliran zat cair dimulai sampai tangki benar-benar kosong. Selanjutnya dilakukan pengukuran untuk zat cair berupa solar dengan posisi lubang di dasar tangki.

Setelah pelaksanaan pengukuran posisi lubang di dasar selesai dilanjutkan dengan pengukuran posisi lubang berada di samping bawah tangki. Begitu juga dengan zat cairnya mula-mula dengan air kemudian dengan solar. Prosedur pelaksanaannya sama dengan posisi lubang berada di dasar tangki. Selanjutnya data-data yang didapat dimasukkan kedalam tabel yang telah disiapkan.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Debit aliran dan debit teoritis

$$\begin{aligned} \text{Luas lubang (a)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 2,5^2 \\ &= 4,90625 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit aliran (Q)} &= (C_v \times C_c) \cdot a \sqrt{2gH} \\ &= 0,62 \times 0,109 = 0,06758 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

Tabel 1. Hasil Pengamatan dan Pengukuran

Pengamatan	Posisi Lubang	Jenis Zat Cair	Tinggi Muka Air (H) (cm ²)	Diameter lubang (cm)	Luas Lubang (cm ²)	Waktu Pengaliran (detik)
I	Sisi samping	Air	25	2,5	4,90625	30,46
		Solar	25	2,5	4,90625	35,03
II	Dasar Tangki	Air	25	2,5	4,90625	15,38
		Solar	25	2,5	4,90625	17,59

Dari hasil pengamatan dan pengukuran langsung diketahui bahwa waktu pengaliran zat cair dari bahan air pada posisi lubang berada di dasar tangki mempunyai nilai 15,38 detik. Nilai ini lebih kecil bila dibandingkan dengan bahan yang sama namun berbeda letak posisi lubang. Ini berarti bahwa air mengalir lebih cepat dibandingkan dengan bahan yang sama namun berbeda lokasi lubang.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Debit Aliran (Q)

No	Posisi Lubang	Jenis Zat Cair	Luas Lubang (a) (cm ²)	Tinggi Muka Air (H) (cm)	Debit Teoritis (Qt) (m ³ /d)	Koefisien Debit (Cd)	Debit Aliran (Q) (m ³ /d)
1	Sisi Tangki	Air	4,90625	25	0,109	0,62	0,06758
		Solar	4,90625	25	0,109	0,62	0,06758
2	Bawah Tangki	Air	4,90625	25	0,109	0,62	0,06758
		Solar	4,90625	25	0,109	0,62	0,06758

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa debit aliran secara teoritis nilainya lebih besar bila dibandingkan dengan nilai debit aliran untuk setiap variasi bahan maupun letak posisi lubangnya.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Waktu Pengaliran (T)

No	Posisi Lubang	Jenis Zat Cair	Luas Lubang (a) (m ²)	Tinggi Muka Air (H) (m)	Luas Tangki (A) (m ²)	Koefisien Debit (Cd)	Waktu Pengaliran (T) (detik)
1	Sisi Tangki	Air	0,490625	0,25	4	0,62	29,67
		Solar	0,490625	0,25	4	0,62	34,19
2	Bawah Tangki	Air	0,490625	0,25	4	0,62	14,84
		Solar	0,490625	0,25	4	0,62	17,19

Hasil perhitungan waktu pengaliran dari empat variasi terlihat bahwa waktu pengaliran bahan air dengan posisi lubang berada di bagian dasar tangki mempunyai nilai yang lebih kecil yang berarti air mengalir lebih cepat jika dibandingkan dengan bahan solar yang juga letak posisi lubangnya berada di bagian dasar tangki. Hal ini disebabkan karena viskositas atau kekentalan dari air lebih kecil dibandingkan dengan kekentalan dari solar yang lebih besar.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Penelitian dan Perhitungan Waktu Pengaliran Zat Cair Melalui Lubang Berbentuk Lingkaran

No	Posisi Lubang	Jenis Zat Cair	Koefisien Debit (Cd)	Waktu Pengaliran (T) Berdasarkan	
				Penelitian (detik)	Perhitungan (detik)
1	Sisi Tangki	Air	0,62	30,46	29,67
		Solar	0,62	35,03	34,19
2	Bawah Tangki	Air	0,62	15,38	14,84
		Solar	0,62	17,59	17,09

$$\begin{aligned} \text{Debit Teoritis (Qt)} &= a \cdot v = a \sqrt{2gH} \\ &= 4,90625 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 25} \\ &= 4,90625 \times 22,15 = 108,67 \text{ cm}^3/\text{d} \\ &= 0,109 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

$$\text{Koefisien Debit (Cd)} = \frac{Q}{Q_t} = \frac{0,06758}{0,109} = 0,62$$

Waktu Pengaliran (T)

Perhitungan untuk ke empat variasi pengaliran mempunyai dimensi yang sama yaitu luas tangki $A = P \times L = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$, luas lubang alir $(a) = 0,0491 \text{ m}^2$ dan kedalaman air awal $H = 0,25 \text{ m}$.

1. Zat cair berupa air dengan posisi lubang di samping bawah tangki:

Waktu aliran melalui lubang,

$$\begin{aligned} T &= \frac{2 A H^{\frac{1}{2}}}{(Cd \times a \sqrt{2g}) \times \rho} \\ &= \frac{2 \times 4 \times 0,25^{\frac{1}{2}}}{(0,62 \times 0,0491 \times \sqrt{2 \times 9,81}) \times 1} \\ &= \frac{4}{0,1348} = 29,67 \text{ detik} \end{aligned}$$

2. Zat cair berupa air dengan posisi lubang di dasar tangki.

Waktu aliran melalui lubang,

$$\begin{aligned} T &= \frac{2 A H^{\frac{1}{2}}}{(Cd \times a \sqrt{2g}) \times \rho} \\ &= \frac{2 \times 4 \times 0,25^{\frac{1}{2}}}{(0,62 \times 0,491 \times \sqrt{2 \times 9,81}) \times 0,87} \\ &= \frac{4}{0,117} = 34,19 \text{ detik} \end{aligned}$$

3. Zat cair berupa solar dengan posisi lubang di samping bawah tangki.

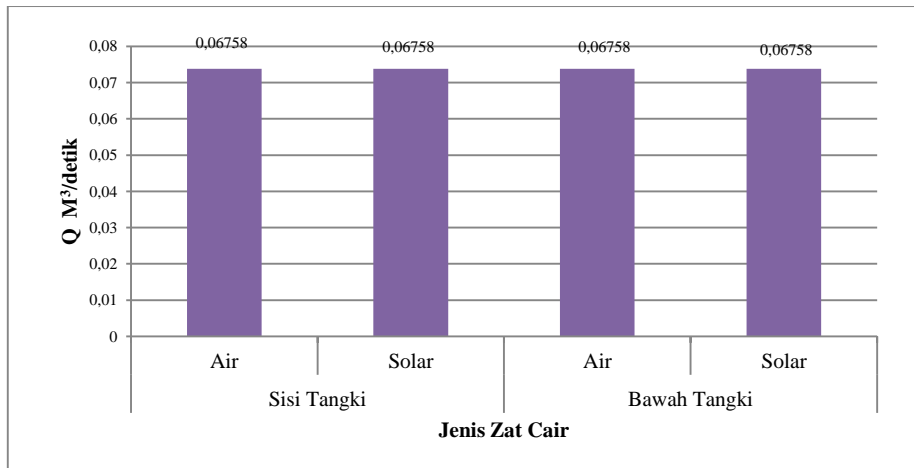
Waktu aliran melalui lubang,

$$\begin{aligned} T &= \frac{A H^{\frac{1}{2}}}{(Cd \times a \sqrt{2g}) \times \rho} \\ &= \frac{4 \times 0,25^{\frac{1}{2}}}{(0,62 \times 0,0491 \times \sqrt{2 \times 9,81}) \times 1} \\ &= \frac{2}{0,1348} = 14,84 \text{ detik} \end{aligned}$$

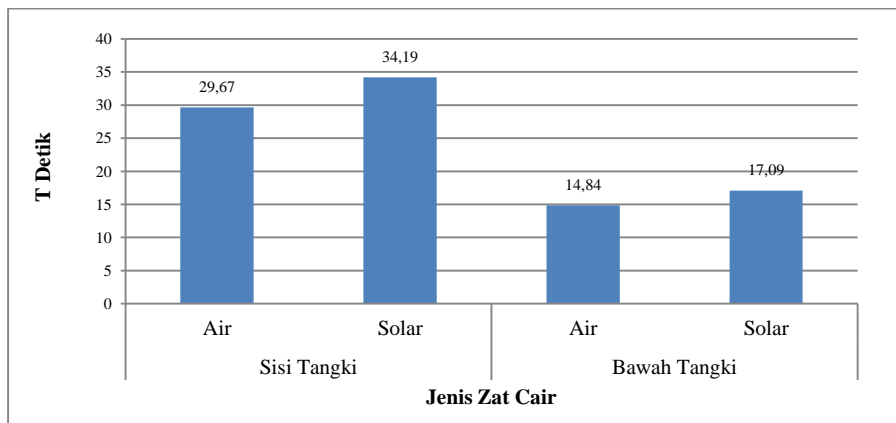
4. Zat cair berupa solar dengan posisi lubang di dasar tangki.

Waktu aliran melalui lubang,

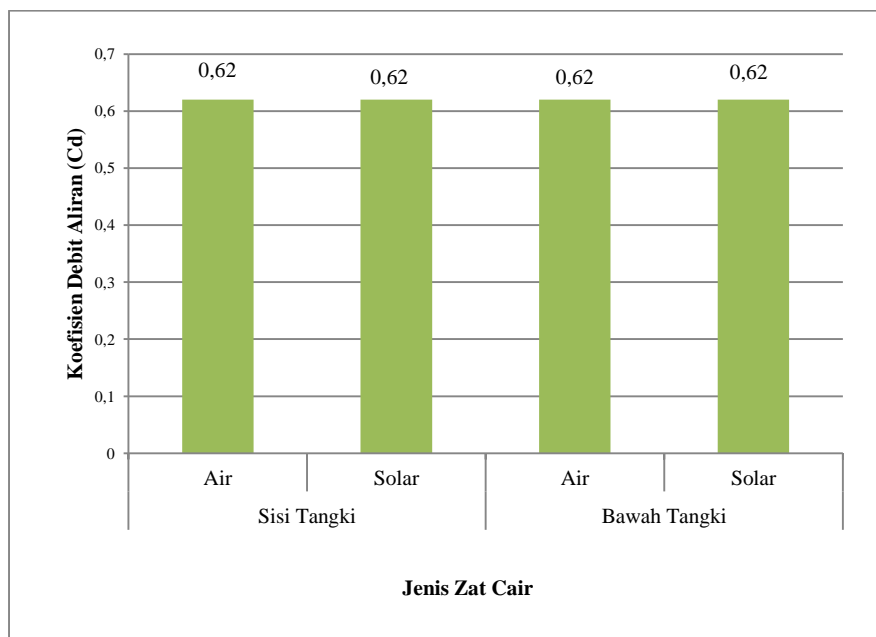
$$\begin{aligned} T &= \frac{A H^{\frac{1}{2}}}{(Cd \times a \sqrt{2g}) \times \rho} \\ &= \frac{2}{0,117} = 17,09 \text{ detik} \end{aligned}$$



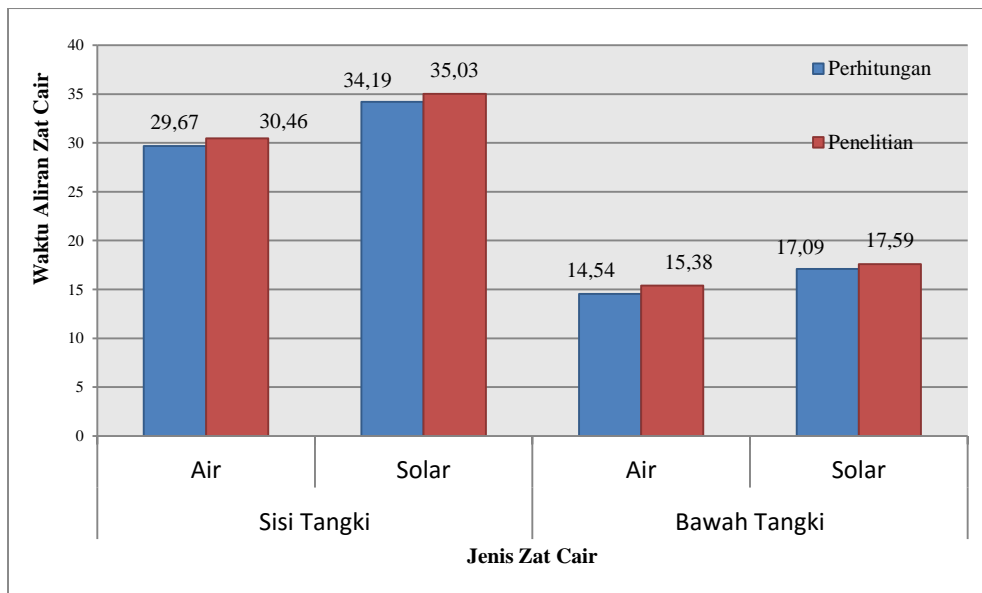
Gambar 8. Grafik Hasil Perhitungan Debit Aliran



Gambar 9. Grafik Waktu Pengaliran (Cd)



Gambar 10. Grafik Koefisien Debit Pengaliran (Cd)



Gambar 11. Grafik Waktu Aliran terhadap Jenis Zat Cair Berdasarkan perhitungan dan penelitian

Simpulan

Dari hasil analisa dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Selisih waktu pengaliran (T) hasil penelitian dan perhitungan secara teoritis adalah :
 - a. Posisi lubang di dasar tangki:
Air 15,38 detik.
Solar 17,59 detik.
 - b. Posisi lubang di samping bawah tangki:
Air 30,46 detik.
Solar 35,03 detik.
2. Variasi zat cair dan posisi lubang menyebabkan waktu pengaliran yang berbeda-beda, menunjukkan efisiensi dari keempat penelitian masing-masing.
3. Jenis zat cair solar waktu pengalirannya lebih lama karena adanya perbedaan viskositas dengan air.
4. Waktu pengaliran zat cair pada lubang bagian dasar tangki lebih cepat dibandingkan dengan lubang bagian samping bawah tangki, karena langsung mengikuti gaya gravitasi yang langsung tegak lurus kebawah.

PUSTAKA

Chow, Van Te Ph. D ..1985. Hidrolika Saluran Terbuka. Jakarta : Penerbit Erlangga

Robert J. Kodoatie. 2009. Hidraulika Terapan (Edisi Revisi). Yogyakarta : Penerbit Andi

Triatmodjo, Prof. Bambang. 2011. Soal Penyelesaian Hidraulika I. Yogyakarta : Penerbit Beta Offset