

PEMODELAN KEBOCORAN TANGKI TEKAN DENGAN PERANGKAT LUNAK MATLAB

Cokorda Prapti Mahandari
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri
Universitas Gunadarma
Jl. Margonda Raya 100, Depok Jawa Barat Indonesia 16424
E-mail: coki@staff.gunadarma.ac.id

Abstraksi

Sebuah pemodelan kebocoran tangki tekan yang berisi cairan dan gas dibuat dengan menggabungkan persamaan termodinamika dan mekanika fluida yang dapat memperkirakan perubahan parameter yang terjadi

Kebocoran terjadi di dasar dinding tangki yang berisi cairan. Kebocoran tersebut akan menimbulkan perubahan laju aliran masa cairan, tekanan gas, suhu cairan, fraksi gas dan ketinggian cairan secara serentak. Setelah dibuat diagram alir dari penyelesaian persamaan matematika tersebut, dibuat program komputer menggunakan perangkat lunak MATLAB versi 6.1.0.450 Release 12.1. Program dijalankan dengan memasukkan data tangki tekan, cairan dan gas yang diperoleh dari industri petrokimia.

Keluaran dari program tersebut berupa tabel dan grafik hasil perhitungan perubahan laju aliran massa, tekanan gas, suhu cairan, fraksi gas dan ketinggian cairan. Semua grafik tersebut hanya dapat digambarkan dengan absis waktu kurang dari 886 detik karena keterbatasan interval pengintegrasian dari program. Penggunaan perangkat lunak MATLAB mempercepat penyelesaian perhitungan dan pembuatan grafiknya. Penyusunan programnya membutuhkan waktu yang agak lama namun program dapat digunakan pada berbagai kasus kebocoran dengan mengganti data masukan yakni data geometris tangki dan data termodinamika fluida sesuai dengan kondisi yang ada dan keluarannya dapat diperoleh dengan cepat.

Kata kunci : pemodelan, tangki tekan, kebocoran, MATLAB

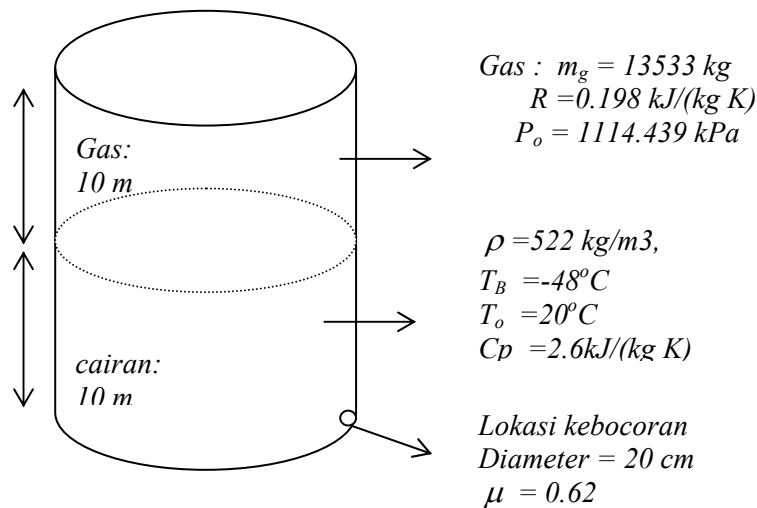
1. Pendahuluan

Kebocoran pada tangki tekan di dunia industri sering terjadi dan bahkan seringkali terlambat diketahui, terutama jika terjadi kebocoran yang kecil. Namun demikian apabila kebocoran tersebut tidak segera dapat diatasi akan mengakibatkan kecelakaan yang sangat fatal, apabila tangki tersebut berisi bahan kimia yang mudah terbakar atau beracun.

Oleh karena itu telah dibuat suatu pemodelan dari tangki tekan yang mengalami kebocoran untuk mengetahui perubahan parameter yang terjadi. Perubahan parameter tersebut dapat dijadikan kendali masukan untuk mendeteksi terjadinya kebocoran. Deteksi kebocoran lebih awal dapat menghindarkan terjadinya kecelakaan, karena tindakan penanggulangan dapat lebih cepat dilakukan.

Tangki tekan yang dianalisa memuat cairan dibagian bawah dan gas dibagian atasnya. Apabila terjadi kebocoran, akan terjadi aliran masa, penurunan tekanan cairan, penguapan cairan, perubahan fraksi gas dalam waktu yang bersamaan. Ketinggian cairan akan menurun dan sampai waktu tertentu cairan akan habis menguap sekaligus mengalir keluar tangki. Bentuk geometris dan kondisi awal tangki tekan yang dianalisa diperoleh dari tangki tekan industri petro kimia dan digambarkan seperti gambar 1.

Dalam pembahasannya asumsi yang dipergunakan adalah fase gas memenuhi persamaan gas ideal, adiabatik, kerugian gesekan fluida diabaikan serta kebocoran terjadi dibagian bawah tangki. Model matematika yang mewakili kejadian tersebut adalah persamaan termodinamika dan persamaan mekanika fluida serta konsep perpindahan panas. Persamaan-persamaan yang diperoleh dengan menggabungkan konsep dasar tersebut, diselesaikan dengan bantuan perangkat lunak MATLAB versi 6.



Gambar 1. Kondisi awal tangki tekan

Untuk itu dibuat diagram alir dan program M-file dengan perangkat lunak MATLAB dari pemodelan mengenai laju aliran masa, perubahan suhu dan tekanan, serta fraksi gas persatuan waktu dari tangki tekan yang bocor pada lokasi dibagian cairan.

Perbandingan data geometris tangki, sifat termodinamika fluida dan gas dilakukan berdasarkan data dari buku Perry's Chemical Engineer's Handbook [1] dengan kondisi di industri. Persamaan untuk membuat pemodelan pada tangki tekan yang diturunkan dari persamaan dasar diubah bentuknya ke dalam bentuk matriks. Sebelum dibuat program M-file dengan perangkat lunak MATLAB, terlebih dahulu dibuat diagram alir yang akan mempermudah penyusunan program. Persamaan diferensial dari laju aliran massa akan didefinisikan sebagai fungsi tersendiri sebelum program keseluruhan dieksekusi. Keluaran dari eksekusi program selain berupa tabel juga akan dibuat bentuk grafik yang akan menjelaskan perubahan parameter tekanan, suhu, fraksi gas sebagai fungsi waktu.

Hasil pemodelan ini dapat digunakan di industri kimia untuk memperkirakan laju aliran masa, perubahan suhu dan tekanan serta pembentukan fraksi gas pada tangki bertekanan pada waktu tertentu apabila mengalami kebocoran. Disamping itu dengan diketahui waktu habisnya cairan maka dapat dirancang tindakan penanggulangan yang sesuai agar terhindar dari kecelakaan. Dari segi keamanan maka pemodelan ini dapat membantu memberikan parameter kendali untuk penyusunan langkah-langkah pencegahan.

2. Studi pustaka

Fluida dalam industri kimia mempunyai sifat yang beragam. Ada fluida yang mudah terbakar, beracun, mudah meledak, bersifat reaktif, menyebabkan infeksi dan bersifat korosif. Fluida tersebut umumnya disimpan dalam tangki tekan [2].

Berdasarkan tekanan kerjanya, tangki tekan diklasifikasikan menjadi:

1. tangki tekan tekanan tinggi,
2. tangki tekan tekanan menengah
3. tangki tekan tekanan rendah

Tangki tekan tekanan tinggi jika fluidanya gas, tekanan kerjanya lebih dari 20 MPa sedangkan jika fluidanya cairan maka tekanan kerjanya lebih dari 35 MPa. Tangki tekan tekanan menengah jika fluidanya gas, tekanan kerjanya antara 1 MPa – 20 MPa sedangkan jika fluidanya cairan maka tekanan kerjanya antara 10 MPa – 35 MPa. Tangki tekan tekanan rendah jika fluidanya gas maka tekanan kerjanya kurang dari 1 MPa sedangkan jika fluidanya cairan maka tekanan kerjanya kurang dari 10 MPa. Untuk keamanan, tangki tekan umumnya dioperasikan dengan tekanan kerja 10%– 20% di bawah tekanan maksimumnya [3].

Penelitian tentang tangki tekan kebanyakan membahas perancangan dimensi, kekuatan material dan kontrol keamanannya. Analisa kebocoran biasanya dilakukan setelah kejadiannya selesai.

Laju aliran massa fluida yang melewati luas penampang yang kecil seperti lubang kebocoran pada tangki tekan gambar 1 dapat dihitung dengan persamaan turunan sebagai berikut [4]:

$$\dot{m} = \mu \cdot A_1 \cdot \rho_{11} \sqrt{\left[\frac{2 \cdot (p - p_E)}{\rho_1} + 2 \cdot 9,81 \cdot ht \right]} \cdot dt \quad (1)$$

dimana:

m adalah laju aliran massa (kg/dt)

μ adalah koefisien discharge

ρ_1 adalah massa jenis cairan (kg/m³)

ρ_{11} adalah massa jenis cairan mula-mula (kg/m³)

ht adalah ketinggian fluida fungsi t (m)

A_1 adalah luas penampang lubang (m²)

p adalah tekanan dalam tangki (Pa)

p_E adalah tekanan udara luar (Pa)

Sifat-sifat gas ideal dapat diterapkan pada aliran gas dan persamaan gas ideal dapat dipakai untuk menganalisa aliran gas [5]. Persamaan gas ideal dapat dinyatakan dalam persamaan seperti berikut:

$$pV = RT \quad (2)$$

dimana: p adalah tekanan gas (Pa)

V adalah volume gas (m³)

R adalah konstanta gas (kJ/kg.K)

T adalah suhu gas (K)

Sedangkan fraksi gas dalam kondisi campuran gas dan cairan merupakan fungsi logaritma natural dari laju perubahan suhu gas di dalam tangki. Persamaan yang dapat digunakan adalah gabungan persamaan gas ideal dengan perubahan termodinamika gas maupun cairan di dalam tangki seperti berikut:

$$x = x_0 + T_B \frac{c_p}{r} \cdot \ln \left[\frac{T_0}{T} \right] \quad (3)$$

dimana :

x adalah fraksi gas

x_0 adalah fraksi gas mula-mula

T_B adalah suhu didih cairan (K)

c_p adalah koefisien panas cairan pada tekanan tetap

r adalah enthalpi penguapan cairan (kJ/kg.K)

T_0 adalah suhu cairan mula-mula (K)

T adalah suhu cairan

Laju perubahan suhu dan perubahan tekanan berlangsung secara bersamaan dan dapat ditentukan dengan sebuah persamaan termodinamika sebagai berikut [6]:

$$\ln \left(\frac{p}{p_0} \right) = \frac{r}{R \cdot T_0} \left[1 - \frac{T_0}{T} \right] \quad (4)$$

dimana :

p adalah tekanan gas (Pa)

p_0 adalah tekanan gas mula-mula (Pa)

Penggunaan perangkat lunak MATLAB utamanya adalah perhitungan matematika yang melibatkan matriks. Permasalahan dengan banyak persamaan yang melibatkan banyak parameter dapat dinyatakan dalam bentuk matriks sehingga dapat diselesaikan dengan perangkat lunak MATLAB. MATLAB versi 6 R12, telah dilengkapi dengan fungsi-fungsi yang lebih banyak yang dapat diterapkan pada analisa berbagai jenis simulasi dan permasalahan perancangan lainnya. Dengan demikian penyusunan program dapat lebih mudah dilakukan.

3. Persamaan kebocoran tangki tekan

Sebelum pembuatan diagram alir dan programnya akan dibuat persamaan matematika dari proses kebocoran yang terjadi. Laju perubahan massa fluida dalam tangki merupakan fungsi dari perbedaan tekanan dan ketinggian fluida seperti pada persamaan 5.

$$\frac{dm_{dis}}{dt} = \mu A_i \rho \left[2(p - p_E) \rho^{-1} + 2gh_i \right]^{0.5} \quad (5)$$

Sedangkan fraksi gas sesuai dengan persamaan 3 namun semua parameter ditempatkan di sisi kanan persamaan sebagai berikut:

$$0 = x_0 + T_B \frac{c_p}{R} \ln \left[\frac{T_0}{T} \right] - x \quad (6)$$

Persamaan massa cairan mula-mula, massa cairan yang bocor dan massa cairan pada waktu tertentu dinyatakan dengan persamaan 7

$$0 = m_{i0} - m_{dis} - m_{it} \quad (7)$$

Persamaan massa cairan sebagai fungsi dari fraksi gas dinyatakan dengan persamaan 8.

$$0 = m_{it} - (1 - x) - m_{it1} \quad (8)$$

Persamaan tekanan tangki sebagai fungsi massa gas dan volume tangki dinyatakan dengan persamaan 9

$$0 = \frac{m_g RT}{V_g} - p \quad (9)$$

Persamaan ketinggian cairan sebagai fungsi dari laju aliran massa cairan yang bocor pada luas penampang kebocoran dinyatakan dengan persamaan 10

$$0 = \left[\frac{m_{it1}}{\rho A_v} \right] - h_i \quad (10)$$

Persamaan tekanan dalam tangki dapat ditentukan dari persamaan 4 dengan memindahkan semua parameter ke sisi kanan seperti persamaan 11.

$$0 = \frac{r}{R \cdot T_0} \left[1 - \frac{T_0}{T} \right] - \ln \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (11)$$

Untuk memudahkan penyelesaian maka dilakukan penyederhanaan parameter dengan simbol y seperti di bawah ini :

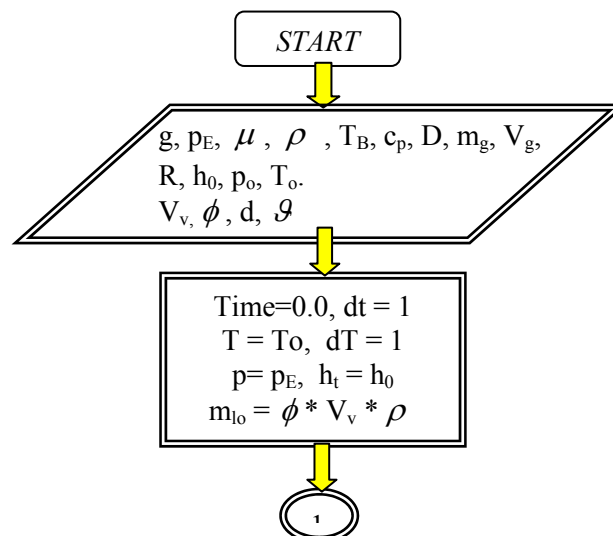
$$\begin{aligned} m_{dis} &= y(1) \\ x &= y(2) \\ m_{it} &= y(3) \\ m_{it1} &= y(4) \\ h_t &= y(5) \\ p &= y(6) \\ T &= y(7) \end{aligned} \quad (12)$$

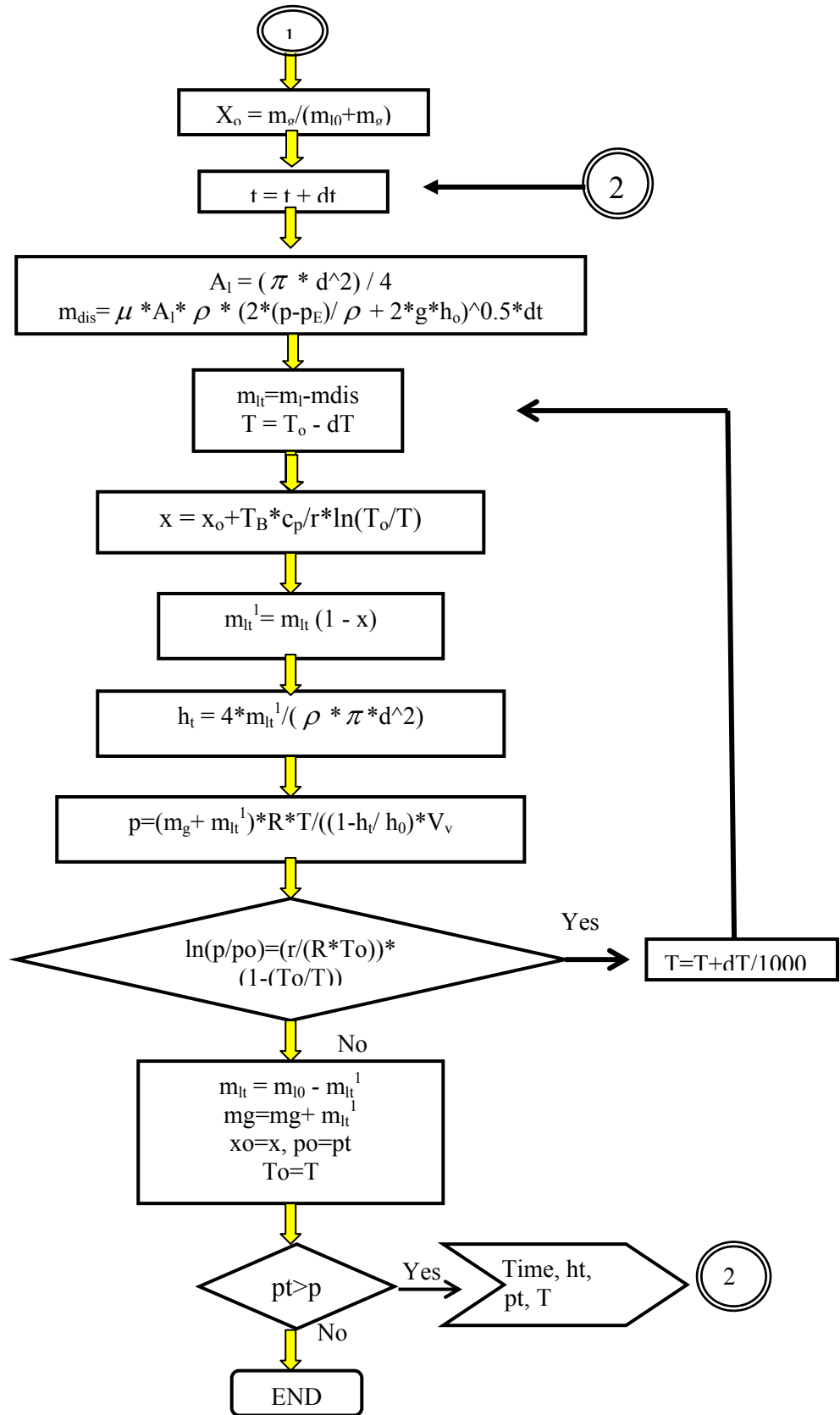
Dengan mensubstitusikan persamaan 12 ke dalam persamaan 5 sampai persamaan 11 diperoleh bentuk persamaan kearah pembentukan matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ y(3) \\ y(4) \\ y(5) \\ y(6) \\ y(7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cdot A_l \cdot \mu \cdot [2 \cdot (y(6) - p_E) \cdot \rho^{-1} + 2 \cdot g \cdot y(5)]^{0.5} \\ x_0 + T_B \cdot \frac{cp}{r} \cdot \ln \left(\frac{T}{y(7)} \right) - y(2) \\ m_{l_0} - y(1) - y(3) \\ y(3) - y(2) - y(4) \\ y(4) / (\rho \cdot A_v) - y(5) \\ m_g \cdot R \cdot y(7) / V_g - y(6) \\ \frac{r}{R \cdot T_0} \cdot (1 - T_0 / y(7)) - \ln \left(\frac{y(6)}{p_0} \right) \end{bmatrix}$$

Persamaan matriks ini yang akan dijadikan dasar pembuatan diagram alir pada gambar 2 penyusunan program yang disimpan dalam M-file di MATLAB.

4. Diagram alir





Gambar 2. Diagram alir analisa kebocoran tangki tekan

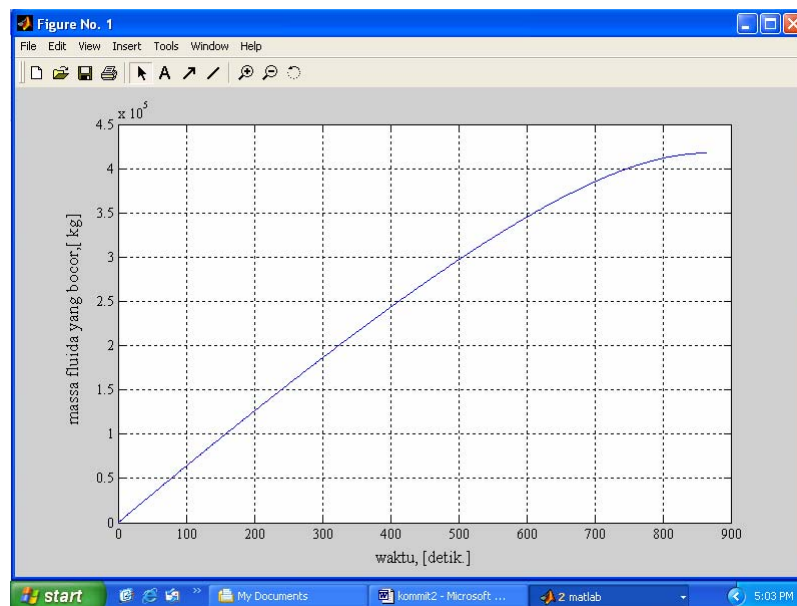
5. Tabel dan grafik keluaran dari program

Penyelesaian dari 7 persamaan analisa kebocoran tangki tekan dengan selang waktu perhitungan 50 detik setelah kebocoran ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan massa cairan yang bocor, fraksi gas, ketinggian cairan, tekanan dan suhu tangki pada selang waktu 50 detik

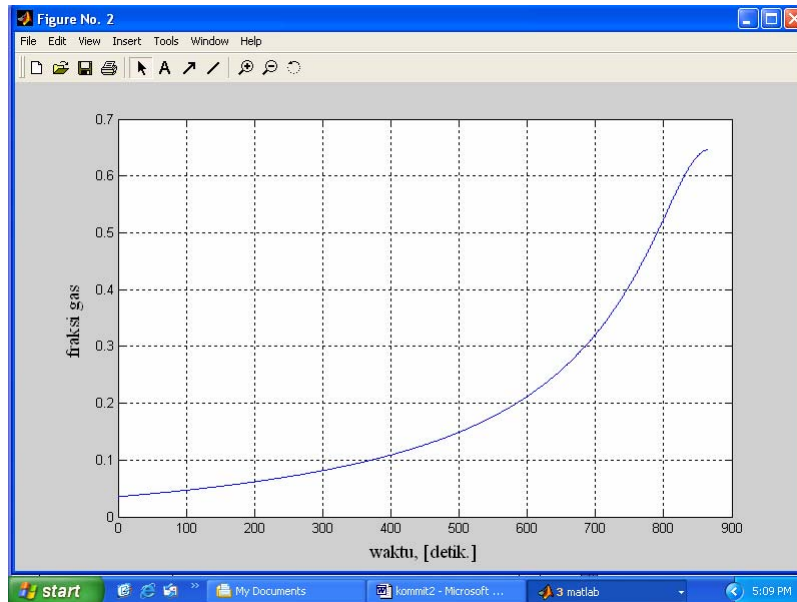
waktu (detik)	m_{dis} (kg)	fraksi gas	ketinggian cairan (m)	tekanan (kPa)	suhu (K)
0.0	0.00	0.0354	9.9642	1101.8664	292.42
50.1	32123.12	0.0408	9.1569	1082.5640	291.53
100.1	63866.37	0.0469	8.3609	1061.1243	290.52
150.2	95189.58	0.0538	7.5774	1037.1996	289.38
200.2	126044.93	0.0617	6.8079	1010.3685	288.08
250.3	156374.89	0.0708	6.0544	980.1186	286.59
300.3	186109.58	0.0815	5.3189	945.8237	284.86
350.4	215163.18	0.0940	4.6043	906.7167	282.84
400.4	243429.01	0.1089	3.9141	861.8587	280.44
450.5	270772.64	0.1270	3.2526	810.1064	277.58
500.5	297022.14	0.1491	2.6252	750.0904	274.09
550.6	321954.06	0.1769	2.0389	680.2304	269.80
600.6	345272.77	0.2124	1.5029	598.8581	264.39
650.7	366579.90	0.2591	1.0288	504.6169	257.46
700.7	385328.73	0.3221	0.6314	397.5581	248.39
750.8	400759.32	0.4091	0.3279	281.9207	236.39
800.8	411822.99	0.5262	0.1351	172.5952	221.14
850.9	417199.07	0.6365	0.0560	105.4573	207.69

Perhitungan hanya berlangsung sampai waktu ke 850,9 detik karena pada waktu kurang dari 50 detik. setelah perhitungan terakhir cairan telah habis.



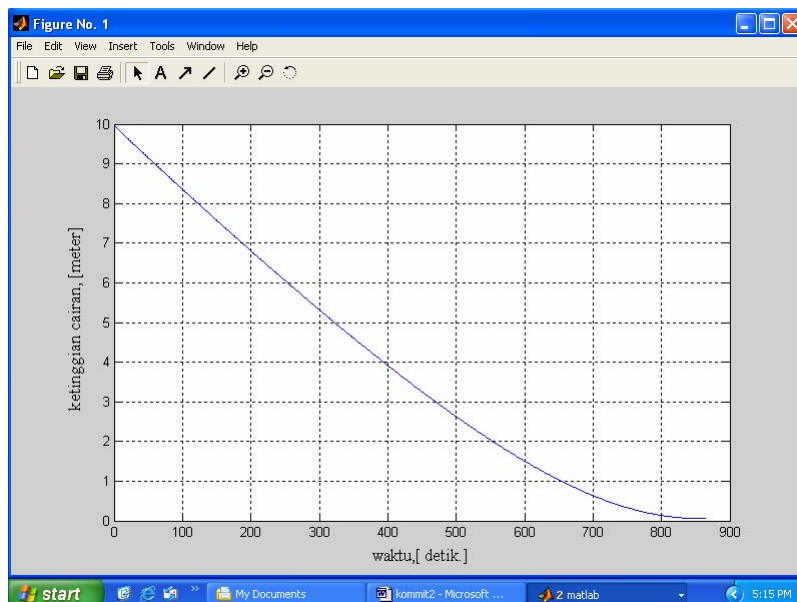
Gambar 3. Grafik massa cairan yang bocor fungsi waktu

Grafik massa cairan yang bocor yang diperlihatkan pada gambar 3. menunjukkan bahwa massa cairan yang keluar sebanding dengan waktu. Laju aliran massa dapat ditentukan dengan menentukan gradien grafiknya. Laju aliran massa tersebut semakin kecil ditunjukkan dengan kemiringan grafik yang makin landai. Hal ini sesuai dengan kondisi kebocoran cairan yang sangat dipengaruhi oleh ketinggian cairan dalam tangki.



Gambar 4. Fraksi gas fungsi waktu

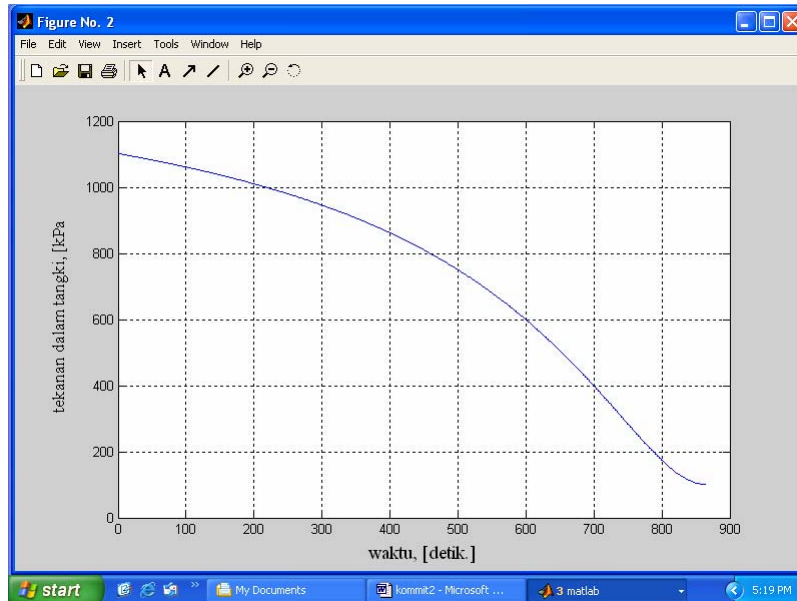
Fraksi gas fungsi waktu diperlihatkan pada gambar 4. Sesuai dengan kejadiannya bahwa saat terjadi kebocoran, tekanan dalam tangki akan turun sehingga cairan akan menguap. Dengan demikian fraksi gas akan bertambah. Penguapan semakin lama semakin besar sehingga fraksi gas juga semakin besar ditunjukkan dengan kemiringan grafik yang semakin lama semakin curam.



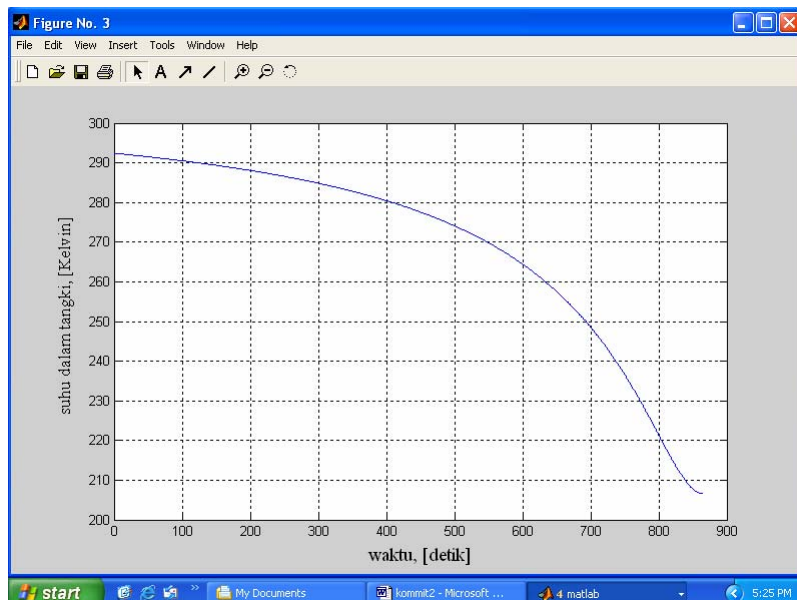
Gambar 5. Ketinggian cairan fungsi waktu

Grafik ketinggian cairan berlawanan dengan grafik massa cairan yang bocor. Pada awal kebocoran pengurangan ketinggian cairan berlangsung lebih cepat. Semakin lama semakin sedikit pengurangan ketinggian cairan ditandai dengan grafik yang semakin landai.

Grafik tekanan dalam tangki fungsi waktu pada gambar 6 dan grafik suhu dalam tangki fungsi waktu pada gambar 7 mempunyai kecenderungan yang sama. Semakin lama tekanan dan suhu dalam tangki semakin rendah. Perbedaannya adalah pada gradien grafiknya. Pada awal kebocoran penurunan suhu berlangsung lebih lambat jika dibandingkan dengan penurunan tekanan. Hal ini karena penurunan suhu dalam tangki dipengaruhi oleh fraksi cairan yang berkurang atau fraksi gas yang bertambah. Sedangkan penurunan tekanan berlangsung lebih cepat karena dipengaruhi oleh kebocoran cairan sekaligus oleh penurunan suhu.



Gambar 6. Tekanan dalam tangki fungsi waktu



Gambar 7. Suhu dalam tangki fungsi waktu

6. Kesimpulan

Analisis kebocoran tangki dengan perangkat lunak MATLAB memberikan keluaran yang lebih akurat dan pembuatan grafik yang menjelaskan perubahan parameter yang terjadi dapat dilakukan dengan perangkat lunak yang sama. Meskipun proses pembuatan program membutuhkan waktu yang lebih lama namun program tersebut dapat dipergunakan untuk analisa yang sama pada kondisi besaran parameter yang berbeda.

Analisis kebocoran tangki ini dapat dilanjutkan dengan pembuatan blok diagram simulasi sehingga mempercepat penyelesaian analisa kebocoran pada kondisi geometris tangki dan sifat fluida yang berbeda.

7. Daftar Pustaka

- [1] Perry, R. H., *Perry's Chemical Engineers Handbook*, New York:McGraw-Hill Book Company, 1984
- [2] Adkins, Charles. E, *Potential Over Pressurization of, Bromochlorodimethylhydantoin (BCDMH) Treatment Systems*, Hazard Information Bulletin Washington D.C, 1994
- [3] ASME, *Journal Pressure Vessel*, Document 18.2 Apendices, Supplement 32.03 Apendices, 2003
- [4] Fox, Robert W and McDonald, Alan T, *Introduction to Fluid Mechanics*, Singapore:John Wiley and Son, , 2000
- [5] Moran, Michael J., Saphiro, Howard N., *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, New York:John Wiley&Sons, 1988
- [6] Reynold, WC., Perkins H.C., *Engineering Thermodynamics*, New York:McGraw Hill, 1994
- [7] F.P. Incropera, D.P Dewitt, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, 3^{ed}, Singapore:John Wiley & Sons, 1990
- [8] Robert F Boehm, *Design Analysis of Thermal System*, New York: John Wiley & Sons, 1987
- [9] William H. McAdams, *Heat Transmission*, 3^{ed}, Tokyo:McGraw Hill, 1983
- [10] Akai, J Terrence, *Applied Numerical Methods for Engineers*, Canada:John Wiley & Son, Inc, 1994
- [11] Burden, Richardl L and Faires, J. Douglas, *Numerical Analysis*, PWS Publishing Company, Boston USA, 1993
- [12] Hauptmanns, U., "Uncertainty and the Calculation of Safety related parameters for chemical reaction", *Journal Loss Prevention Process Industry*, page 243, 1997
- [13] Holman, J.P., *Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, 1992
- [14] <http://www.osha.gov/>, direvisi tanggal 14 Januari 2003
- [15] <http://www.indiana.edu/~stat-math-Programming-MATLAB.htm>, 20 Maret 2004