



PREDIKSI TERJADINYA FENOMENA ALIRAN PERONGGAAN DALAM KATUP KONTROL PADA BASIC DESIGN INSTRUMENTASI DAN KENDALI PADA PABRIK YELLOW CAKE

D. Handoyo, Djoko H. Nugroho

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIPEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

PREDIKSI TERJADINYA FENOMENA ALIRAN PERONGGAAN DALAM KATUP KONTROL PADA BASIC DESIGN INSTRUMENTASI DAN KENDALI PADA PABRIK YELLOW CAKE. Sejak awal tahun 2012 dilakukan kegiatan Basic Design instrumentasi dan kendali pada pabrik yellow cake dari Uranium hasil samping pabrik asam Fosfat. Pabrik yellow cake ini beroperasi dengan cara memisahkan uranium alam yang terkandung dalam material/ bahan produksi asam fosfat. Perekayasa instrumentasi dan kendali diimplementasikan untuk mengendalikan parameter-parameter proses pada pabrik tersebut agar mencapai output yang sama dengan demand pada semua tahap proses. Material/ bahan produksi yang digunakan pada pabrik yellow cake merupakan material yang sangat korosif, oleh karena itu apabila ada suatu fenomena yang bersifat merusak (salah satunya adalah fenomena peronggaan/ kavitasi), tentunya menjadi hal perlu mendapat perhatian. Dari hasil perhitungan yang dilakukan terhadap katup kontrol yang ada di dalam Basic Design instrumentasi dan kendali pada pabrik yellow cake, pada respond angle 30° semua katup kontrol mengalami fenomena kavitasi.

Kata kunci: katup kontrol, kavitasi, instrumentasi dan kendali.

ABSTRACT

A PREDICTION OF THE CAVITATION PHENOMENA OCCURRED IN CONTROL VALVE AT BASIC DESIGN OF INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEM FOR YELLOW CAKE FACTORY. Since the beginning of 2012, activities Basic Design of instrumentation and control for yellow cake factory based on uranium by product of phosphate acid factory have been conducted. Yellow cake factory operates by separating natural uranium contained in the material phosphoric acid production. The engineering of instrumentation and control is implemented to control the process parameters at the plant in order to achieve the same output with demand at all stages of the process. Material used in the production of yellow cake factory is a very corrosive material, therefore if there is a destructive phenomenon (the phenomenon of cavitation), must be a matter requiring attention. From the results of calculations performed on the control valve is in the Basic Design of instrumentation and control at the factory yellow cake to respond the 30° angle, all control valves experienced the phenomenon of cavitation.

Keywords: control valve, cavitation, instrumentation and control.

1. PENDAHULUAN

Sejak awal tahun 2012 dilakukan kegiatan *Basic Design* instrumentasi dan kendali pada pabrik *yellow cake* dari Uranium hasil samping pabrik asam Fosfat. Pabrik *yellow cake* ini beroperasi dengan cara memisahkan uranium alam yang terkandung dalam



material/ bahan produksi asam fosfat. Perencanaan instrumentasi dan kendali diimplementasikan untuk mengendalikan parameter-parameter proses pada pabrik tersebut agar mencapai output yang sama dengan *demand* pada semua tahap proses.

Instrumentasi merupakan pengetahuan dalam penerapan alat ukur dan sistem pengendalian pada suatu sistem dengan menggunakan harga numerik variabel besaran proses dan dengan tujuan agar parameter berada dalam batas daerah tertentu atau mencapai tujuan kinerja yang diinginkan. Operasi di industri proses sangat bergantung pada pengukuran dan pengendalian besaran proses. Beberapa besaran proses yang harus diukur dan dikendalikan pada suatu industri proses, misalnya aliran di dalam pipa, tekanan (*pressure*) di dalam sebuah *vessel*, temperatur di unit *heat exchanger*, tinggi permukaan (*level*) zat cair di sebuah tangki, *conductivity*, *density or specific gravity*, dan sebagainya.

Pengukuran yang teliti dan sistem kendali yang tepat dalam industri proses dapat menghasilkan nilai parameter sistem yang sesuai dengan harga perancangannya. Hal ini akan dapat menghemat biaya operasi serta perbaikan hasil produksi. Sebagai contoh, harga temperatur yang tepat dalam pemrosesan campuran kimia akan menghasilkan produk terbaiknya. Oleh karena itu instrumentasi dan sistem kendali yang diterapkan diharapkan dapat menghasilkan :

- a. Kualitas produk yang lebih baik dalam waktu pemrosesan yang lebih singkat.
- b. Biaya produksi yang lebih murah, oleh karena :
 - Penghematan bahan mentah dan bahan bakar.
 - Peningkatan efisiensi waktu mesin dan pekerja.
 - Pengurangan produksi yang rusak
- c. Peningkatan keselamatan personil dan peralatan.
- d. Pengurangan polusi lingkungan dari bahan limbah hasil proses.

Desain sistem instrumentasi dan kendali pada pabrik ini dimulai dari pemahaman tentang desain proses, P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*) dan PFD (*Process Flow Diagram*). Berdasarkan informasi tersebut dirancang jumlah dan jenis parameter yang harus diamati (*monitoring*) dan jumlah serta jenis parameter yang harus dikendalikan (*control*). Observasi tentang batasan desain yang tidak boleh dilewati harus dilakukan untuk merancang sistem interlock dan sistem proteksi. Agar sistem perangkat keras dapat melaksanakan fungsi seperti yang diharapkan maka perlu dilakukan rekayasa



dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) pendukung. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak perlu dilakukan analisa untuk mengetahui apakah hasil desain telah sesuai dengan yang diharapkan.

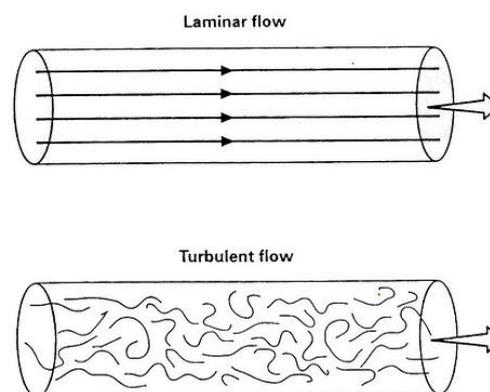
2. TEORI

Pengertian Katup Kontrol

Katup control adalah salah satu elemen pengendali yang digunakan untuk memanipulasi laju aliran suatu fluida. Katup control itu sendiri dapat dikendalikan secara manual maupun otomatis.

Aliran laminar dan turbulen

Aliran disebut laminar adalah fluida bergerak sebagai sejumlah laminasi atau lapisan. Dimana setiap lapisan tersebut bergerak tidak saling memotong dan membaaur dan hanya saling bergeseran pada variasi kecepatan dalam penampang aliran. Sedangkan aliran disebut turbulen adalah apabila fluida bergerak dengan arah alir yang tidak menentu, sehingga aliran tersebut akan saling memotong dan membaaur dalam gerakan ulakan (*eddy motion*). Bentuk aliran fluida yang berbentuk laminar dan turbulen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk aliran laminar dan turbumen ^[1].

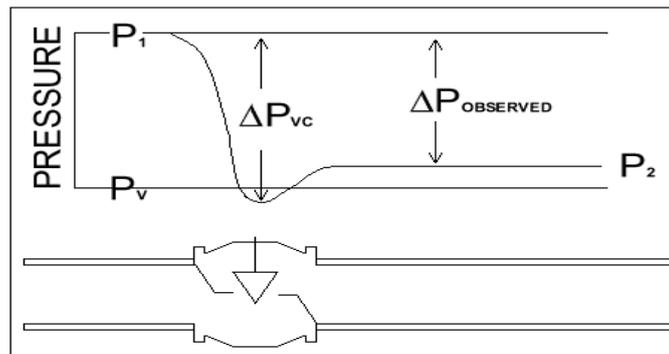
Pengertian tentang kavitasi

Katup kontrol merupakan elemen pengendali yang digunakan untuk melakukan manipulasi terhadap laju suatu aliran fluida. Sedangkan manipulasi aliran fluida itu sendiri dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Penggunaan katup kontrol banyak

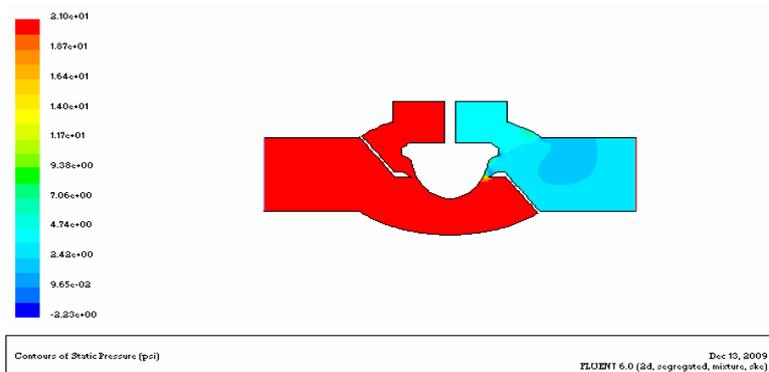


dijumpai pada berbagai aplikasi industri. Kerja katup kontrol adalah mengatur aliran dengan cara menaikkan atau menurunkan *pressure drop* fluida yang melalui katup tersebut. Perubahan tekanan dalam katup dapat dilihat pada gambar 2^[2] dan distribusi pada katup kontrol untuk bukaan 30°, 50°, dan 70°^[3]. Adanya perubahan *pressure drop* penurunan tekanan yang relatif tinggi, menyebabkan fluida mengalami penurunan tekanan hingga pada tekanan uapnya sehingga akan timbul rongga (*cavities* – dapat dilihat pada Gambar 6^[4]).

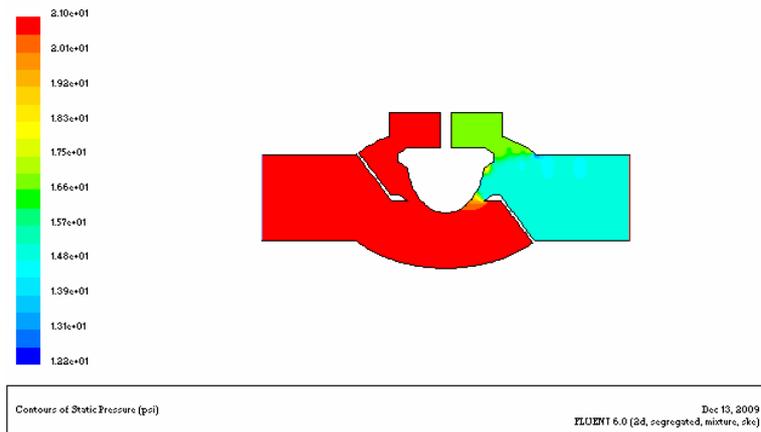
Kavitasi merupakan fenomena pembentukan uap dalam suatu aliran fluida yang merupakan akibat adanya penurunan tekanan pada saat temperatur tetap. Penurunan tekanan (*pressure drop*) diakibatkan oleh adanya aliran fluida yang masuk melewati katup, penurunan tekanan ini biasanya dikenal dengan istilah *pressure drop across*. Fenomena ini menjadi sangat penting untuk diperhatikan, karena fenomena ini mempunyai sifat merusak pada bagian dalam katup kontrol. Perusakan bagian dalam katup disebabkan oleh karena uap yang terbentuk akibat fenomena kavitasi akan menyebabkan bagian tersebut menjadi getas dan mudah pecah^[3].



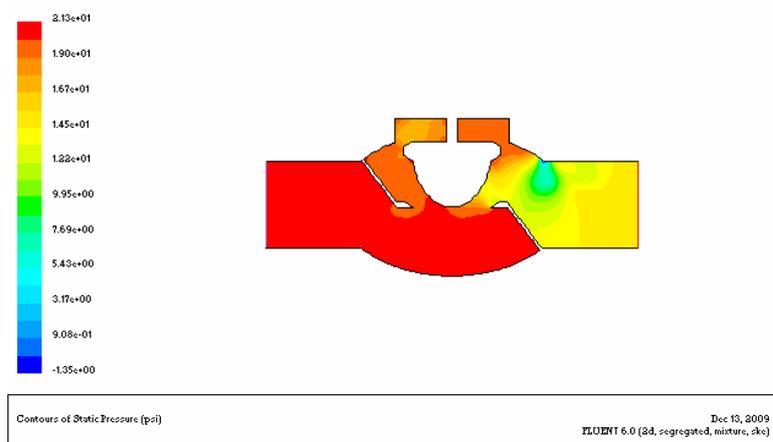
Gambar 2. Perubahan tekanan dalam katup^[2]



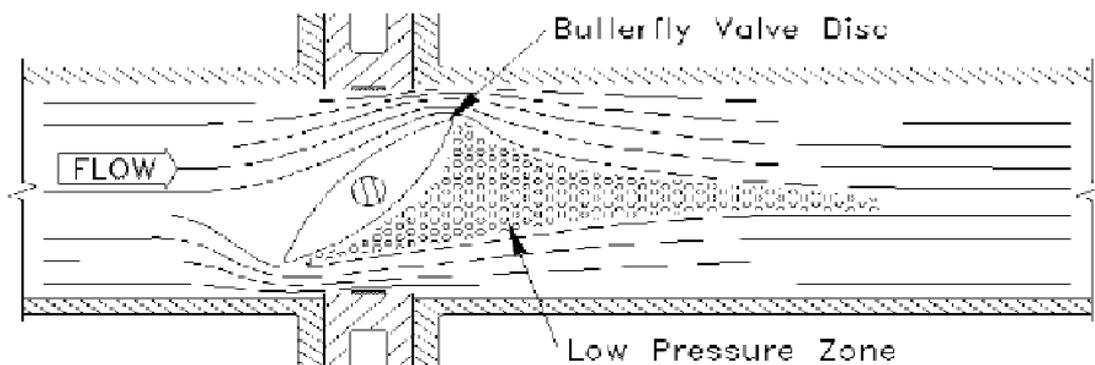
Gambar 3. Distribusi tekanan di katup kontrol pada bukaan 30°^[3].



Gambar 4. Distribusi tekanan di katup kontrol pada bukaan 50° [3].



Gambar 5. Distribusi tekanan di katup kontrol pada bukaan 70° [3].



Gambar 6. Fenomena Cavities pada katup kontrol [4].



Akibat munculnya fenomena kavitasi, menyebabkan terganggunya kapasitas aliran dari suatu sistem. Selain itu menyebabkan terjadinya erosi material katup dan lebih parahnya lagi pada beberapa kasus menyebabkan ketidak-stabilan dan rusaknya suatu sistem aliran. Kavitasi merupakan kejadian yang bersifat sementara, namun munculnya kavitasi memang tidak bisa dihindari. Kavitasi muncul pada saat *shut-off* katup kontrol terbuka pertama kali atau ketika ketinggian fluida yang mengalir melewati katup pada kondisi puncaknya. Yves Lecoffre dan Antonie menjelaskan bahwa kavitasi pada katup kontrol cenderung terjadi pada bukaan katup yang presentase bukaannya minimal, sedangkan pada bukaan yang presentasinya maksimal kecenderungan terjadinya kavitasi menjadi kecil ^[5]. Hal ini disebabkan ketika presentase bukaan kecil akan terjadi penurunan tekanan yang cukup besar. Dampak negatif akibat terjadinya fenomena kavitasi pada katup kontrol antara lain: terjadinya *noise* hidrodinamika yang terjadi sangat tinggi, getaran yang cukup kencang, perubahan sifat fisis fluida, erosi pada komponen bagian dalam katup kontrol, terbentuknya uap air yang mengakibatkan terhambatnya aliran fluida dan akibat yang paling parah adalah akan terjadi kerusakan pada katup kontrol, sehingga mengakibatkan terhentinya proses produksi.

Perangkat Lunak Smart Plant

Smart Plant adalah perangkat lunak keluaran Intergraph yang dapat digunakan sebagai perangkat lunak bantu untuk mendesain suatu sistem proses/ produksi. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk menganalisis suatu desain, konstruksi dan *maintenance* suatu sistem pabrik. Perangkat lunak smart plant merupakan perangkat lunak yang terintegrasi, sehingga dapat digunakan menganalisis desain, konstruksi dan *maintenance* suatu sistem proses/ produksi untuk berbagai disiplin ilmu seperti: *piping*/ mekanik, instrumentasi, kelistrikan dan proses. Dengan digunakannya software ini, proses yang berkaitan dengan desain, konstruksi dan *maintenance* suatu sistem proses/ produksi dapat dianalisis dalam waktu yang relative lebih cepat dibandingkan dengan cara sebelumnya, yakni secara manual.

3. METODOLOGI

Batasan pembahasan

Pada *Basic Design* instrumentasi dan kendali pada pabrik *yellow cake* dari Uranium hasil samping pabrik asam Fosfat, sebagian besar dari sistem pabrik mengalami tingkat korosi yang sangat tinggi. Hal itu disebabkan karena material produksi (asam



phospat) yang ada di dalam sistem tersebut merupakan material yang sangat korosif. Oleh karena itu apabila ada suatu fenomena yang bersifat merusak material bagian dalam katup kontrol selain korosi akibat material produksi, tentunya menjadi hal yang perlu mendapat perhatian. Kerusakan material bagian dalam katup kontrol, selain oleh adanya korosi material produksi, biasanya terjadi karena kondisi operasi katup kontrol itu sendiri. Dalam makalah ini, pembahasan akan difokuskan pada fenomena yang menyebabkan degradasi kemampuan material akibat adanya fenomena kavitasi.

Metode prediksi

Metode yang digunakan untuk mendapatkan data yang digunakan untuk memprediksi terjadinya fenomena kavitasi dalam katup kontrol ini, adalah dengan cara melakukan perbandingan harga indeks kavitasi (CI) dengan nilai kritis kavitasi (σ) hasil perhitungan yang telah dilakukan pada kegiatan *basic design* pabrik *yellow cake* dengan menggunakan smart plant. Hubungan antara indeks kavitasi dan nilai kritis kavitasi berkaitan dengan apakah di dalam katup kontrol terjadi fenomena kavitasi adalah sebagai berikut:

$$CI \leq \sigma \quad (1)$$

Apabila harga CI sama dengan atau lebih kecil dari harga σ , maka di dalam katup kontrol tersebut tidak terjadi kavitasi. Sebaliknya apabila harga CI lebih besar dari σ maka dalam katup control terjadi kavitasi. Dimana harga indeks kavitasi (CI) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$CI = \frac{\Delta P}{P1 - Pvc} \quad (2)$$

dengan:

ΔP = beda tekanan antara *upstream* dan *downstream* (P1-P2).

Pvc = Tekanan uap fluida pada bagian *vena contracta*.

Untuk menghitung nilai kritis kavitasi (σ) menggunakan persamaan:

$$\sigma = 1/ FL^2 \quad (3)$$

dan

$$FL = \frac{Q}{Cv\sqrt{P1 - 0.96Pvc}} \quad (4)$$



dengan,

Q = debit fluida

FL = *pressure recovery factor*

C_v = kapasitas aliran katup

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan yang telah dilakukan pada kegiatan basic design pabrik yellow cake dengan menggunakan perangkat lunak smart plant dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel1. Hasil perhitungan Indeks Kavitasi dan Nilai Kritis Kavitasi

Nama Instrumen	Material Alir (fluida)	Kecepatan Alir (kg/h)	Diameter (in)	CI	σ
VP-01	Phosporic Acid	65656	4	0.1674	2.71E-06
VP-04	H2O2	1	0.5	0.06607	5.32E-06
VP-09	TOPO	150	2	0.1103	8.16E-06
VP-10	DEPHA	3500	3.5	0.1103	7.62E-06
VP-11	TOPO	1000	3.5	0.1103	7.84E-06
VP-12	Kerosene	15000	2	0.1103	7.65E-06
VP-13	Kerosene	4000	3.5	0.1103	7.69E-06
VP-14	Phosporic Acid	2500	1.5	0.1103	4.47E-06
VP-16	Phosporic Acid	45000	4	0.1103	4.87E-06
VP-19	Cooling Water	45000	4	0.02757	4.3E-05
VP-22	H2O	20	1.5	0.02757	4.68E-05
VP-25	Phosporic Acid	2000	1.5	0.1103	5.37E-06
VP-28	Gunk	100	2.5	0.09934	5.7E-06
VP-29	Phosporic Acid	1200	2.5	0.1103	5.37E-06
VP-31	Phosporic Acid	1200	2.5	0.1103	5.37E-06
VP-33	Phosporic Acid	1200	2.5	0.1103	5.37E-06
VP-34	Gunk	100	2.5	0.1103	5.7E-06
VP-35	Phosporic Acid	1200	2.5	0.1103	5.37E-06
VP-36	H2O	500	2.5	0.02757	4.29E-05
VP-37	Phosporic Acid	12000	2.5	0.1103	5.37E-06
VP-38	H2O	500	2.5	0.02757	4.29E-05
VP-39	Phosporic Acid	12000	2.5	0.1103	5.37E-06
VP-40	H2O	500	2.5	0.02757	4.29E-05
VP-41	Phosporic Acid	12000	2.5	0.1103	5.37E-06
VP-42	H2O	500	2.5	0.02757	4.29E-05
VP-43	Phosporic Acid	12000	2.5	0.1103	5.37E-06



VP-47	Gunk	100	1	0.1103	0.008653
VP-49	Phosporic Acid	20000	3.5	0.09934	5.37E-06
VP-50	Phosporic Acid	15000	2.5	0.1103	5.38E-06
VP-51	Gunk	0.5	0.5	0.113	8.19E-06
VP-53	Phosporic Acid	15000	2	0.1103	5.73E-07
VP-54	H2O2	0.5	0.5	0.07075	5.76E-06
VP-55	H2O	70	1	0.02757	4.57E-05
VP-67	Phosporic Acid	60000	5	0.1103	5.34E-06
VP-68	Phosporic Acid	15000	3.5	0.1103	5.38E-06
VP-70	Phosporic Acid	100	0.5	0.1103	4.76E-06
VP-71	Phosporic Acid	19000	2	0.1103	5.36E-06
VP-77	Phosporic Acid	15000	2.5	0.1103	5.38E-06
VP-79	Phosporic Acid	19000	2	0.1103	3.09E-07
VP-80	Gunk	3000	4	0.1103	5.37E-06
VP-82	(NH3)4CO3	3000	4	0.1103	1.08E-05
VP-83	Kerosene	5000	0.5	0.1103	0.007652

Pembahasan

Jumlah katup kontrol yang terdapat pada *Basic Design* instrumentasi dan kendali pabrik *yellow cake* sebanyak 42 buah katup kontrol yang dipasang dalam desain tersebut. Untuk mengetahui, dan menganalisa apakah di dalam katup kontrol tersebut terjadi fenomena kavitasi, tentunya dapat diperoleh dengan melakukan perbandingan harga indeks kavitasi dan indeks kritis kavitasi katup kontrol hasil perhitungan menggunakan *smart plant*. Dari hasil perhitungan tersebut di atas dapat dilihat bahwa harga indeks kavitasi terendah adalah sebesar 0.02757 dan yang tertinggi besar 0.1103. Jika dibandingkan dengan nilai kritis kavitasi, maka tiap katup kontrol pada *basic design* instrumentasi dan kendali pada pabrik *yellow cake* pada pembukaan katup sebesar 30° semua katup mengalami fenomena kavitasi. Jika hasil perhitungan indeks kavitasi pada tiap katup kontrol, diperbandingkan dengan nilai kritis kavitasi, maka pada katup VP-79 terjadi fenomena kavitasi dengan intensitas yang sangat tinggi. Hal itu dapat dilihat pada VP-79 harga σ (3.09E-07) \leq CI (0.1103). Walaupun debit fluida yang mengalir pada katup VP-79 tidak paling tinggi, (19000 kg/h) namun katup VP-79 mengalami fenomena kavitasi dengan intensitas tertinggi. Hal itu disebabkan karena diameter katup kontrol VP-79 sebesar 2", dibandingkan dengan katup VP-67 yang dialiri fluida dengan debit 60000 kg/h namun berdiameter 5".

Adanya fenomena kavitasi pada semua katup kontrol yang terdapat pada *Basic Design* instrumentasi dan kendali pada pabrik *yellow cake* perlu mendapat perhatian. Karena selain material katup mengalami korosi akibat fluida yang mengalir di dalamnya



(yakni: asam fosfat) juga mengalami fenomena kavitasi. Oleh karena itu perlu diperhatikan batasan pembukaan katup minimal (harus lebih dari 30°) serta pemilihan material bagian dalam katup yang digunakan. Sebaiknya material bagian dalam katup jangan menggunakan bahan yang tidak tahan terhadap korosi asam fosfat, juga kuat terhadap erosi.

5. KESIMPULAN

Adanya fenomena kavitasi pada semua katup kontrol yang terdapat pada *Basic Design* instrumentasi dan kendali pada pabrik *yellow cake* perlu mendapat perhatian. Karena selain material katup mengalami korosi akibat fluida yang mengalir di dalamnya (yakni: asam fosfat) juga mengalami fenomena kavitasi. Oleh karena itu perlu diperhatikan batasan pembukaan katup minimal (harus lebih dari 30°) serta pemilihan material bagian dalam katup yang digunakan. Sebaiknya material bagian dalam katup jangan menggunakan bahan yang tidak tahan terhadap korosi asam fosfat, juga kuat terhadap erosi. Untuk mengetahui apakah harga indeks kavitasi yang ada pada tiap katup kontrol tersebut telah melebihi batas maksimal yang menjadi penyebab kerusakan material bagian dalam katup dan mengganggu kerja sistem secara keseluruhan, maka perlu dihitung besarnya *noise* hidrodinamika pada tiap katup. Apabila ternyata harga *noise* hidrodinamika melebihi ketentuan standard yang berlaku, tentunya *basic design* pabrik *yellow cake* perlu direvisi.

6. DAFTAR REFERENSI

1. Fox. Robert, 1986, *Introductin to fluid mechanics*, California: Prentice-Hall.
2. Mariano J. Savelski, "A multidisciplinary learning experience: control valves noise testing and modeling", Rowan University. Glassboro, NJ 08028, US.
3. Danang Arif, Dr Bambang Lelono Widjiantoro ST,MT., "Simulasi kavitasi pada control valve", Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya 60111.
4. Muhammad Muhtadi, DR. Bambang L. Widjiantoro, ST.MT, Hendra Cordova, ST.MT, "ANALISIS REDUKSI INTENSITAS KAVITASI PADA CONTROL VALVE AKIBAT PRESSURE DROP DENGAN METODE PRESSURE RECOVERY FACTOR DI VICO INDONESIA", Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS, Keputih Sukolilo – Surabaya 60111
5. Yyes Lecoffre, Antonie A, 1998, "A method to evaluate cavitation erosion in valves", Grenoble, France.



TANYA JAWAB

Pertanyaan:

1. Jelaskan apa maksud kavitasi? (RONY DJOKORAYONO)
2. Apakah nilai kritis yang ditampilkan sudah sesuai dengan jenis control valve (*butterfly, gate valve, Glove valve* dll). Di flowrate tinggi terjadi kavitasi, berapa ΔP yang dihitung? (MARLIYADI PANCOKO)
3. Terjadinya kavitasi apakah hanya terjadi pada valve saja atau bisa terjadi pada alat yang lain? (MARGONO)
4. Jelaskan rumus yang digunakan untuk perhitungan indeks kavitasi? Apakah faktor temperatur sudah dimasukkan dalam analisa dan perhitungan? (KRISTEDJO KURNIANTO)

Jawaban:

1. Fenomena pembentukan uap dalam aliran fluida akibat penurunan tekanan pada temperatur tetap
2. Nilai kritis kavitasi ini, untuk katup tipe butterfly, $\Delta P = 0.2$ bar
3. Tidak, kavitasi terjadi pada aliran yang melewati orifice, elbow, valve dll
4. Sesuai dengan definisi kavitasi yakni pembentukan uap dalam aliran fluida akibat penurunan tekanan maka pengaruh temperatur tidak menjadi fokus dalam analisa perhitungan.