

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

D. Handoyo, Djoko H. Nugroho, Khairul Handono  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) – BATAN  
E-mail : dehandoyo@yahoo.com

### **ABSTRAK**

*PREDIKSI TERJADINYA FENOMENA PERONGGAAN DALAM KATUP KONTROL PNEUMATIK 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 PNEUMATIC 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. Perekayasa 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. Apabila suatu yang menyebabkan terhambatnya atau bahkan terjadi kegagalan proses produksi, tentunya akan menjadi sesuatu hal yang merugikan. Sebagai contoh: munculnya fenomena kavitasi merupakan suatu hal yang penting karena dapat mengurangi kapasitas aliran dari suatu sistem. Kavitasi juga dapat menimbulkan gangguan diatas ambang, menyebabkan erosi dan kegagalan, dan lebih parah lagi untuk beberapa kasus menjadi penyebab ketidakstabilan yang mengarah pada kerusakan atau hancurnya system. Kavitasi seringkali merupakan

sesuatu yang bersifat sementara dan merupakan gejala yang tidak bisa dihindari, seperti pada saat shut-off kontrol valve terbuka pertama kali atau ketika system mengalami kondisi puncak ketinggian cairan yang melewati kontrol valve. Ketika melakukan sizing relief valve dan sambungan dengan instalasi pipa, yang hampir dimaklumi sebagai keharusan terjadi penurunan aliran akibat kavitasi.

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.

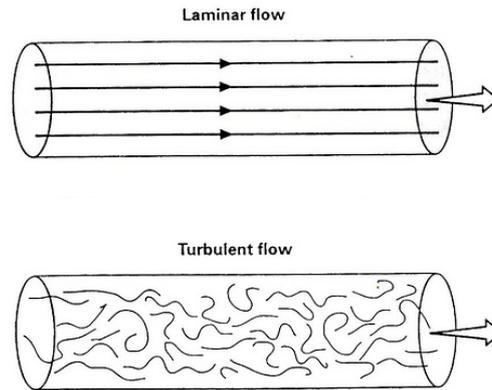
## **1.1. TEORI**

### **1.1.1. 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.

### **1.1.2. 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 (*eddying motion*). Bentuk aliran fluida yang berbentuk laminar dan turbulen dapat dilihat pada Gambar 1.

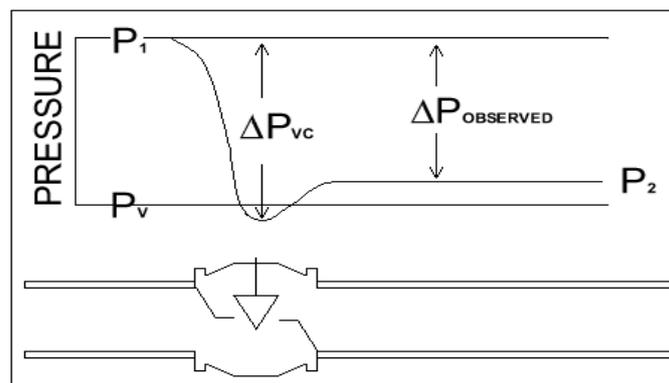


Gambar 1. Bentuk aliran laminar dan turbumen<sup>[1]</sup>.

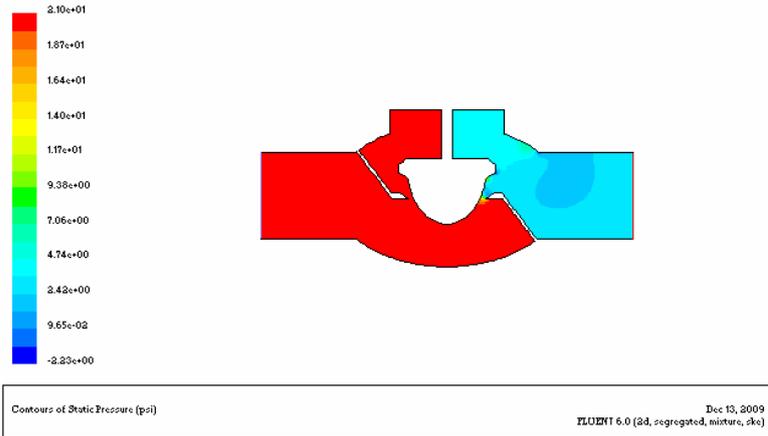
### 1.1.3. Pengertian tentang kavitasi

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<sup>[2]</sup> dan distribusi pada katup kontrol untuk bukaan 30°, 50°, dan 70°<sup>[3]</sup>. 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<sup>[4]</sup>).

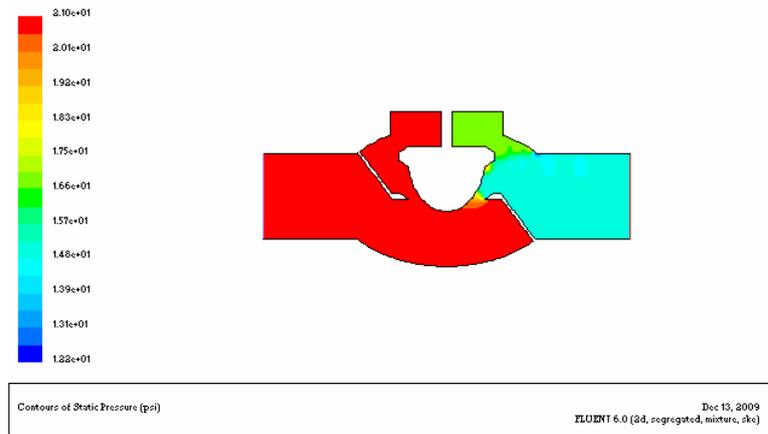
Kavitasi merupakan fenomena pembentukan uap dalam suatu aliran fluida yang merupakan akibat adanya penurunan tekanan pada saat temperatur tetap. Penurunan tekanan (*pressure drop*) diakibatkan oleh adanya aliran fluida yang masuk melewati katup, penurunan tekanan ini biasanya dikenal dengan istilah *pressure 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<sup>[3]</sup>.



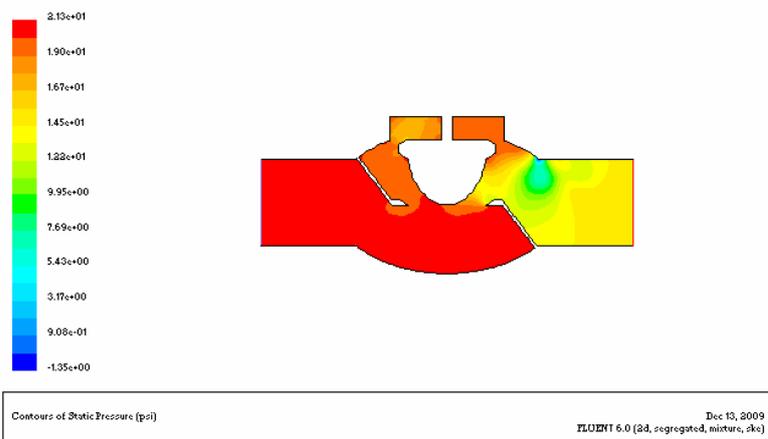
Gambar 2. Perubahan tekanan dalam katup<sup>[2]</sup>



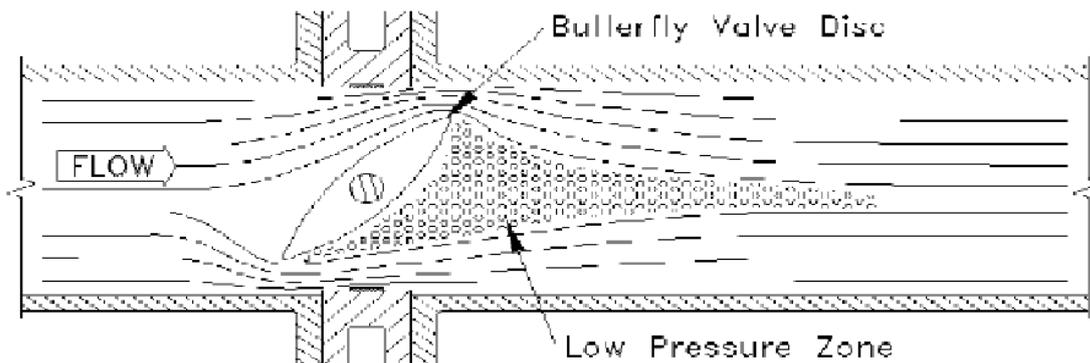
Gambar 3. Distribusi tekanan di katup kontrol pada bukaan 30° [3].



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 control <sup>[4]</sup>.

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. **Yyes Lecoffre** dan **Antonie** menjelaskan bahwa kavitasi pada katup kontrol cenderung terjadi pada bukaan katup yang presentase bukaannya minimal, sedangkan pada bukaan yang presentasenya maksimal kecenderungan terjadinya kavitasi menjadi kecil <sup>[5]</sup>. 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 phisis 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.

#### 1.1.4. 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.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. 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 fosfat) 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.

Kegagalan pada *pipeline system* akibat korosi dapat menyebabkan berbagai dampak yang sangat serius. Bila *pipeline system* tersebut merupakan jalur penghubung untuk fluida yang berbahaya, maka dampak utama yang ditimbulkan akan sangat mengancam kehidupan manusia dan ekosistem sekitar pada daerah dimana sistem perpipaan tersebut melintas. Kegagalan tersebut bias disebabkan oleh *external corrosion* ataupun *internal corrosion*. Salah satu bentuk dari korosi internal adalah Korosi Erosi. Korosi Erosi adalah terdegradasinya kualitas suatu material yang dipercepat akibat adanya gerak relatif, dalam hal ini untuk suatu sistem pipa adalah peristiwa terkikisnya dinding pipa akibat aliran. Laju pertumbuhan dari korosi erosi dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu kecepatan fluida, *pH-level* dari fluida, konten Oksigen dalam fluida, temperatur fluida, kavitasasi dan bentuk geometri dari komponen yang dilalui fluida. Dalam makalah ini, pembahasan akan difokuskan pada fenomena yang menyebabkan degradasi kemampuan material akibat adanya fenomena kavitasasi.

## 2.2. Metode prediksi

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

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

dengan:

- CI = indeks kavitasasi,
- $\sigma$  = nilai kritis kavitasasi

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

$$CI = \frac{\Delta P}{P_1 - P_{vc}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- $\Delta P$  = beda tekanan antara *upstream* dan *downstream* (P1-P2).
- $P_{vc}$  = Tekanan uap fluida pada bagian *vena contracta*.

Untuk menghitung nilai kritis kavitasasi ( $\sigma$ ) menggunakan persamaan:

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

dan

$$FL = \frac{Q}{C_v \sqrt{P_1 - 0.96 P_{vc}}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

dengan:

- Q = debit fluida
- FL = *pressure recovery factor*
- $C_v$  = kapasitas aliran katup

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. 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	$\sigma$
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	15000	2.5	0.1103	5.38E-06

	Acid				
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

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 kavitas, tentunya dapat diperoleh dengan melakukan perbandingan harga indeks kavitas dan indeks kritis kavitas katup kontrol hasil perhitungan menggunakan *smart plant*. Dari hasil perhitungan tersebut di atas dapat dilihat bahwa harga indeks kavitas terendah adalah sebesar 0.02757 dan yang tertinggi besar 0.1103. Jika dibandingkan dengan nilai kritis kavitas, maka tiap katup kontrol pada *basic design* instrumentasi dan kendali pada pabrik *yellow cake* pada pembukaan katup sebesar 30° semua katup mengalami fenomena kavitas. Jika hasil perhitungan indeks kavitas pada tiap katup kontrol, diperbandingkan dengan nilai kritis kavitas, maka pada katup VP-79 terjadi fenomena kavitas dengan intensitas yang sangat tinggi. Hal itu dapat dilihat pada VP-79 harga  $\sigma$  (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 kavitas 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 kavitas 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 kavitas. 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.

#### 4. KESIMPULAN

Adanya fenomena kavitas 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 kavitas. 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 kavitasitas 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 ketetapan standard yang berlaku, tentunya karakteristik operasi katup kontrol pada *basic design* pabrik *yellow cake* perlu direvisi.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. FOX. ROBERT, *Introductin to fluid mechanics*, California: Prentice-Hall-1986.
- [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 WIDJANTORO ST,MT., *Simulasi kavitasitas pada control valve*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya 60111.
- [4]. MUHAMMAD MUHTADI, Dr. BAMBANG L. WIDJANTORO, ST.MT, Hendra Cordova, ST.MT, *Analisis reduksi intensitas kavitasitas 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, *A method to evaluate cavitation erosion in valves*,Grenoble, France, 1998.