

## ANALISIS KEKUATAN BALL VALVE AKIBAT TEKANAN FLUIDA MENGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS*

Meri Rahmi<sup>1</sup>, Delfika Canra<sup>2</sup>, Suliono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Negeri Indramayu

Email: <sup>1</sup>meri@polindra.ac.id, <sup>2</sup>delfika.canra@polindra.ac.id, <sup>3</sup>suliono@polindra.ac.id

### Abstrak

*Valve* (katup) sebagai salah satu produk industri, sangat dibutuhkan oleh perusahaan yang bergerak mengontrol aliran cairan untuk efisiensi. Kebutuhan tentang ini banyak digunakan oleh perusahaan makanan, obat-obatan, minuman, pembangkit listrik dan industri minyak dan gas. Tujuan penggunaan *valve* adalah untuk membatasi dan mengontrol cairan pada kondisi tekanan tinggi. Salah satu katup yang sering digunakan adalah *ball valve*, yaitu katup dengan tipe gerak memutar. Adanya permintaan *ball valve* ini, dibutuhkan produk dengan spesifikasi tertentu memiliki rancangan dengan tingkat kekuatan yang baik. Dengan kata lain, produk *valve* (katup) yang baik, harus memiliki kekuatan yang baik, aman dan sesuai dengan kebutuhan dilakukan pengujian. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis terhadap *ball valve 4 inch ANSI 300* untuk memastikan katup yang diproduksi sesuai spesifikasi, kuat dan tahan terhadap tekanan fluida. Metode yang digunakan adalah *Finite Element Analysis* (FEA) dengan *software Solidworks*. Analisis dilakukan pada *ball valve 4 inch ANSI 300* dengan keadaan *full open*, *hall open* dan *full closed* serta dengan pembebanan 725 psi dan 1087.5 psi hasil dari *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Analisis dilakukan pada temperatur -29.5°C, 25°C dan 425°C. Berdasarkan hasil analisis dengan FEA, dinyatakan bahwa *ball valve 4 inch ANSI 300* kuat dan aman untuk digunakan. Nilai faktor keamanan (*safety factor*), signifikan lebih tinggi dari nilai *safety factor* minimum yang diizinkan.

**Kata Kunci:** FEA, Safety Factor, Ball Valve

### Abstract

*Valve as one of the industrial products, is needed by companies to control the flow of liquid for efficiency. This condition is widely used by food, medicine, beverage, electricity generation and oil and gas industries. The purpose of using a valve is to limit and control the liquid under high pressure conditions. One of the valves that is often used is a ball valve, which is a valve with a rotating motion type. With the request of this ball valve, certain specification products are required to have a good level of strength and design. On the other hand, a good product valve, must have good strength, be safe and in accordance with the needs of testing. This study aims to analyze ball valve 4 inch ANSI 300 valve to ensure that valves are manufactured according to specifications and resistant to fluid pressure. The method used is Finite Element Analysis (FEA) with the help of Solidworks software. The analysis was carried out on a ball valve 4 inch ANSI 300 with full open, hall open and full closed conditions with loading of 725 psi and 1087.5 psi based on result of Computational Fluid Dynamics (CFD). The analysis was carried out at temperatures of -29.50C, 250C and 4250C. Based on the results of the analysis with FEA, it was stated that the ball valve 4 inch ANSI 300 is strong and safe to use. The safety factor value is significantly higher than the minimum safety factor value that is permitted.*

**Keywords:** FEA, Safety Factor, Ball Valve

## I. PENDAHULUAN

Katup adalah alat mekanis yang mengatur aliran atau tekanan cairan. Fungsinya bisa menutup atau membuka aliran, mengontrol laju aliran, mengalihkan aliran,

mencegah aliran balik, mengontrol tekanan, atau mengurangi tekanan. Katup dapat diklasifikasikan berdasarkan metode berikut antara lain; jenis operasi, alam dan kondisi fisik aliran, kebocoran dan kontrol jenis aliran, metode operasi, fungsionalitas, dan lain-lain.

Sebagian besar katup memiliki dua *port*, bernama *port inlet* dan *port outlet*. Tetapi untuk fungsi yang sama, ada aplikasi *multi-port* yang dikonfigurasi pada katup. Alat ini bisa menjadi katup tiga arah dan empat arah (Mandanaka dkk., 2016)

Katup (*valve*) merupakan peralatan mekanik statis yang bertujuan untuk mengontrol aliran dan tekanan dalam suatu sistem perpipaan. Penggunaan katup dalam sistem perpipaan untuk mengatur aliran berupa cairan, gas, uap dan larutan lainnya (Boye dkk., 2016). Jenis penggunaan katup sesuai dengan kebutuhan dan fungsi yang diinginkan. Dasar pemilihan katup adalah kekuatan kontrol aliran dan keselamatan. Pemilihan jenis katup, bentuk desain dan jenis material memiliki peran yang sangat penting dalam kinerja dan kehandalan sistem.

Sejumlah penelitian yang telah dilakukan terhadap bentuk, ukuran, jenis cairan atau fluida, parameter operasi dan koefisien debit katup untuk peningkatan teknologi katup. Penelitian-penelitian yang dilakukan terhadap katup khusus dengan metode analisis, bertujuan untuk meminimalisasi biaya. Dengan adanya analisis awal, maka biaya produksi dan perawatan bisa ditekan. Keuntungan lain yang didapatkan adalah, bisa melakukan optimasi desain sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan

Penelitian-penelitian yang dilakukan terhadap katup khusus dengan metode analisis, bertujuan untuk meminimalisasi biaya. Dengan adanya analisis awal, maka biaya produksi dan perawatan bisa ditekan. Keuntungan lain yang didapatkan adalah, bisa melakukan optimasi desain sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

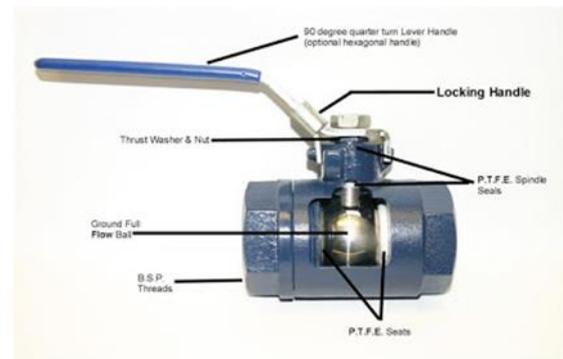
Bentuk analisis aliran dalam sistem yang sering digunakan pada katup yaitu analisis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa berdasarkan analisis CFD pada *ball valve 4 inch ANSI 300*, perubahan tekanan pada temperatur 425°C tidak signifikan mempengaruhi distribusi fluida pada kondisi *full open* dan *full closed* (Rahmi dkk., 2018).

*Ball valve* merupakan katup dengan pengontrol aliran berbentuk *disc* seperti bola dan *stem* sebagai pemutar. *Ball valve* merupakan salah satu katup tipe gerak memutar. *Ball valve* dirancang berdasarkan spesifikasi dimana formulasi integral, formulasi diferensial dan juga simulasi komputer diperlukan untuk memvalidasi setiap hasil perhitungan dinamika fluida telah digunakan sebagai alat penelitian dan desain dalam pemodelan *ball valve* (Paul dkk.,).

*Ball valve* adalah katup dengan piringan berbentuk bola. Bagian katup yang mengontrol aliran melaluinya *sphere* yang memiliki lubang, atau *port*. Ketika katup ditutup, lubang tegak lurus terhadap ujung katup, dan aliran diblokir. Tuas akan sejalan dengan posisi *port* yang memungkinkan melihat posisi katup. *Ball valve* merupakan satu klasifikasi dengan *butterfly valve* dan *plug valve* dengan mekanisme seperempat putaran katup (Balachander dan Saravanakuman., 2016).

*Ball valve* biasanya bekerja untuk menutup secara sempurna bahkan setelah bertahun-tahun tidak digunakan. Oleh karena itu, katup jenis ini adalah pilihan yang sangat baik untuk aplikasi penutup (dan sering lebih disukai daripada *globe valve* dan *gate valve*). *Ball valve* digunakan

secara luas dalam aplikasi industri karena mereka sangat multifungsi terhadap tekanan hingga 1000 bar dan suhu hingga 752° F (500 ° C), tergantung pada desain dan material. *Ball valve* mudah dioperasikan dan mudah diperbaiki. Tubuh *ball valve* dapat terbuat dari logam, plastik, atau logam dengan pusat keramik. Bola (*disc*) sering dilapis krom agar lebih awet (Balachander dan Saravanakuman., 2016). Bentuk dan komponen *ball valve* secara universal dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *Ball Valve* [9]

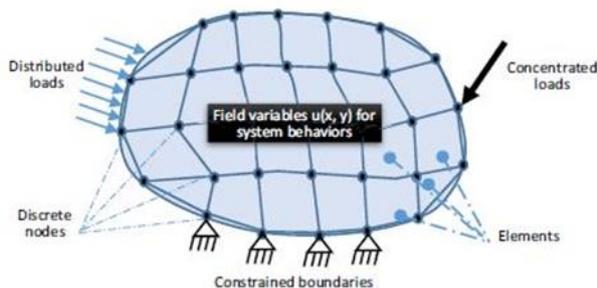
Analisis katup dengan CFD hanya menentukan bagaimana perubahan bentuk dan distribusi aliran pada katup. Untuk melakukan desain, optimalisasi dan analisis kinerja katup. Analisis CFD mampu mengungkapkan struktur aliran kompleks dan karakteristik sonik di sekitar katup, yang hampir tidak pernah dilakukan dalam eksperimen. Bahkan sebaliknya, eksperimen perlu dilengkapi dengan analisis CFD karena geometri yang rumit serta kompleksitas seperti turbulensi selama aliran sonik melalui katup (Paul dkk.,).

Analisis dengan CFD merupakan analisis awal sebelum melakukan analisis kekuatan (*strength analysis*).

Salah satu metode analisis kekuatan adalah dengan *Finite Element Analysis (FEA)*. FEA telah menjadi solusi untuk tugas memprediksi kegagalan karena tekanan yang tidak dapat ditunjukkan dalam teoritis dan memungkinkan desainer untuk melihat semua tekanan teoritis yang terjadi. Hasil analisis FEA pada *ball valve 4 inch ANSI 600* dengan dengan perbedaan bukaan katup menyatakan tegangan, regangan dan deformasi pada saat bukaan 50% dan full closed pada *ball valve inch ANSI 600* dinyatakan aman (*comply*) (Paul dkk.,).

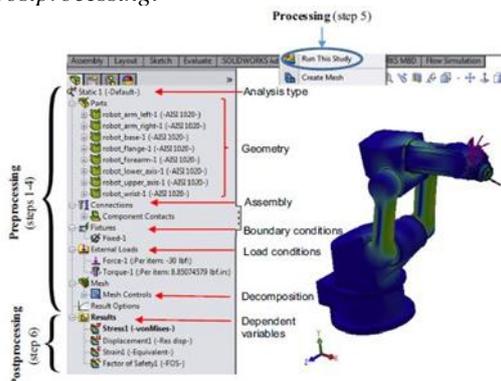
Analisis FEA dalam proses desain dengan COSMOS Work dan menggunakan CAE menunjukkan bahwa *seal* dan *disc* pada *ball valve* dapat dioptimalakan secara akurat Analisis FEA dapat memeriksa rasio tekanan pada permukaan penyangga kantung katup (Peng dkk., 2014). Penelitian Dantulwari, dkk (2017), menyatakan bahwa *ball valve* yang digunakan pada sistem perpipaan aman dan kuat dengan pertimbangan kondisi batas dan *bonnet* pada katup jika terkena getaran pada saat bekerja dengan menggunakan FEA. Seperti halnya teknik numerik dalam CFD, analisis FEA merupakan suatu metode analisis yang digunakan pada banyak industri untuk menjadi solusi

dalam perhitungan secara teoritis. (Norton & Sun, 2006; Xia & Sun, 2002 dalam Fadji., 2018) . FEA adalah salah satu teknik yang paling penting di antara alat CAE. Dengan perkembangan kode FEA secara komersial dan perkembangan IT yang cepat. Sebelum pemodelan FEA, pengguna harus membuat model virtual dari bagian atau perakitan untuk dianalisis dan menentukan sifat material untuk setiap objek dalam model. Pengguna harus memahami fenomena fisik yang terjadi ke model, sehingga jenis analisis dan tipe elemen dapat ditentukan dengan tepat. Dalam pemodelan FEA, strategi pembagian dan penaklukan diterapkan untuk mendapatkan model sistem dari perakitan submodels unit sederhana seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Elemen dirakit melalui interkoneksi poin, yang disebut sebagai "node". Dengan demikian, masing-masing elemen dikaitkan dengan satu set node, dan perilaku elemen dimodelkan seperti node diskrit (Utami, dkk.,).



Gambar 2. Diskritisasi domain kontinu ke dalam node dan elemen [10]

Implementasi pada FEA, ada beberapa tahapan yang sangat penting untuk mendapatkan solusi akhir untuk model FEA. Namun, sebagian besar kegiatan dalam tahapan tersebut secara otomatis dilakukan oleh perangkat lunak. Pengguna memberikan informasi minimal sebagai input dari model untuk menjalankan simulasi numerik. FEA menyediakan pengguna grafis *interface* (GUI) hanya untuk perintah yang dimasukkan oleh pengguna. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. FEA dilakukan dalam tiga tahap penyelesaian, yaitu, *preprocessing*, *processing* dan *postprocessing*.



Gambar 3. Preprocessing, processing, dan postprocessing [10]

Meskipun sebagian besar kegiatan secara otomatis dilakukan oleh FEA. Pengguna bertanggung jawab untuk merumuskan masalah desain, memasukkan perintah yang benar dan untuk setiap langkah, dan menafsirkan dan memverifikasi hasil dari kode perangkat lunak secara memadai. Jika input dari model FEA salah, hasil yang diperoleh dari simulasi bisa menghasilkan *ouput* yang keliru (Utami, dkk.,).

Hal penting yang perlu diketahui pada *ball valve 4 inch ANSI 300* dengan menggunakan FEA adalah *stress*, *strain* dan deformasi plastis. *Stress* atau tegangan didefinisikan sebagai perubahan gaya terhadap luas penampang daerah yang dikenai gaya tersebut (Dantulwari, dkk., 2017). Dalam satuan internasional, stress memiliki lambang S dengan satuan  $N/m^2$ . Gaya yang bekerja pada benda menyebabkan terjadinya perubahan ukuran benda. Pengaruh vektor gaya terhadap sumbu x menghasilkan besaran *tensile stress* dengan lambang  $\sigma_x$ . Indeks x menyatakan arah vektor gaya. Pengaruh gaya terhadap sumbu y dan sumbu z menghasilkan momen yang disebut besaran *shear stress*. Untuk sumbu y, *shear stress* dilambangkan  $\sigma_{xy}$ , sedangkan sumbu z dilambangkan  $\sigma_{xz}$ . Hubungan antara besaran-besaran tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \frac{\partial F}{\partial A} = \sigma_x i + \sigma_{xy} j + \sigma_{xz} k \quad (1)$$

$$\sigma_x = \frac{\partial F_x}{\partial A} \quad (2)$$

dengan i, j, k adalah vektor satuan untuk masing-masing sumbu [11].

Regangan atau *strain* didefinisikan sebagai perbandingan perubahan panjang benda terhadap panjang mula-mula akibat suatu gaya dengan arah sejajar perubahan panjang tersebut (Dantulwari, dkk., 2017). Satuan internasional, *strain* memiliki lambang  $\epsilon$  dengan satuan mm/mm atau %.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{l_0} \quad (3)$$

dengan  $\Delta L$  adalah perubahan panjang benda dan  $L_0$  adalah panjang benda mula-mula. Benda padat yang dikenai gaya akan mengalami perubahan ukuran. Jika gayanya berupa gaya tarik maka benda akan memanjang, sebaliknya jika gayanya adalah gaya tekan, maka benda akan memendek. Jika ukuran panjangnya jauh lebih besar dari lebarnya. Sementara jika ukuran panjang dan lebar suatu benda hampir sama maka akibat adanya gaya akan mengakibatkan terjadinya regangan geser (Dantulwari, dkk., 2017).

Hukum Hooke menyatakan bahwa *strain* berbanding lurus dengan *stress* serta hukum ini dipenuhi oleh benda pada daerah elastis. Jika bahan ditarik oleh suatu gaya pada daerah elastis, maka benda tersebut akan mengalami perubahan ukuran, kemudian setelah gaya dihilangkan maka benda akan kembali pada keadaan semula. Luas daerah total dari kurva menyatakan harga *modulus of toughness*, sedangkan luas daerah elastis menyatakan

harga *modulus of resilience*. *Modulus of toughness* (ketangguhan) adalah energi total yang diserap oleh benda tiap satu satuan volume hingga terjadi deformasi struktur (patah atau robek). *Modulus of resilience* didefinisikan sebagai energi yang diserap oleh benda tiap satu satuan volume pada daerah elastis. Kedua besaran ini akan mempengaruhi pada kerja benda berada pada daerah elastis.

Keuletan (*ductility*)  $\epsilon_f$  menyatakan besarnya regangan plastis sampai patah, dapat dinyatakan dengan persentasi perpanjangan (*percent elongation*) (Dantulwari, dkk., 2017).

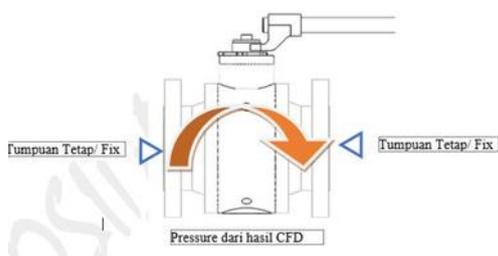
$$\epsilon_f = \frac{L_f - L_o}{L_o} = \frac{\Delta L}{L_o} \tag{4}$$

Kekuatan luluh (*Yield strength*) ( $S_y$ ) merupakan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis dinyatakan dengan besarnya gaya pada saat luluh dibagi luas penampang.

Berdasarkan paparan diatas, penelitian ini akan melakukan analisis kekuatan *ball valve 4 inch ANSI 300* akibat pengaruh pembebanan fluida hasil dari CFD pada kondisi *full closed*, *half open* dan *full open* menggunakan *finite element analysis* (FEA). Penelitian ini bertujuan untuk memastikan desain *ball valve 4 inch ANSI 300*, kuat dan aman digunakan. Adanya analisis FEA sebelum dilakukan produksi sesuai dengan spesifikasi dan kegunaannya, diharapkan mampu mempercepat proses produksi dan dapat melakukan optimisasi desain jika hasil analisis menunjukkan tidak kuat dan tidak aman untuk digunakan. Penelitian ini merupakan lanjutan penelitian sebelumnya yang telah melakukan aliran fluida dengan metode CFD dalam *ball valve 4 inch ANSI 300* (Rahmi, dkk., 2018).

## II. METODE

Bagian ini menjelaskan metode yang digunakan untuk analisis kekuatan ball valve 4 inch ANSI 300. Proses analisis tekanan terdiri dari dua bagian, yaitu pembuatan model 3D ball valve, input data akibat pengaruh CFD yang dapat dilihat pada Gambar 4. Analisis FEA akan dilakukan pada kondisi berbeda. Kategori data yang akan dianalisis dapat dilihat pada Tabel 1. Bagian metode berisi paparan dalam bentuk paragraf tentang rancangan penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data, dan analisis data yang secara nyata dilakukan oleh peneliti, dengan panjang 10-15% dari total panjang artikel. Untuk penelitian yang menggunakan alat dan bahan, perlu dituliskan spesifikasi alat dan bahannya secara detail.



Gambar 4. Kondisi batas dan pembebanan *ball valve 4 inch ANSI 300*

| Kondisi            | Ball Valve 4 inch ANSI 300 |            |
|--------------------|----------------------------|------------|
|                    | Tekanan                    | Temperatur |
| <b>Full Closed</b> |                            |            |
| Kondisi 1          | Pressure hasil CFD [3]     | -28.9°C    |
| Kondisi 2          |                            | 25°C       |
| Kondisi 3          |                            | 425°C      |
| <b>Half Open</b>   |                            |            |
| Kondisi 1          | Pressure hasil CFD [3]     | -28.9°C    |
| Kondisi 2          |                            | 25°C       |
| Kondisi 3          |                            | 425°C      |
| <b>Full Open</b>   |                            |            |
| Kondisi 1          | Pressure hasil CFD [3]     | -28.9°C    |
| Kondisi 2          |                            | 25°C       |
| Kondisi 3          |                            | 425°C      |

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV. 1 Meshing Model

Hasil analisis yang baik didapatkan dari hasil pemodelan 3D yang baik dan sederhana. Fungsinya adalah memudahkan dalam perhitungan dan kalkulasi dalam *software solidworks 2016*. Penyederhanaan model, tidak akan mempengaruhi hasil analisis. Gambar 5 menjelaskan bentuk *mesh* sebelum dilanjutkan pada tahap analisis terhadap *ball valve 4 inch ANSI 300*. Semua komponen yang ada pada *ball valve*, harus berhasil di *mesh* secara sempurna sebelum dilakukan tahap analisis selanjutnya. Bentuk *node* atau nodalnya adalah *trihedron*.



Gambar 5. Hasil Meshing Model pada *ball valve 4 inch ANSI 300*

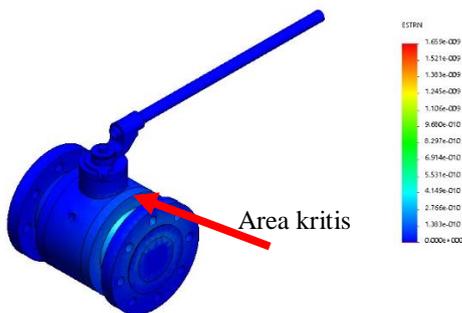
### IV. 2 Hasil Analisis Kekuatan dengan FEA

Bentuk hasil simulasi FEA yang dilakukan dengan bantuan *software Solidworks 2016* pada *ball valve 4 inch ANSI 300* dapat dilihat Gambar 6 sampai 9. Setiap hasil analisis dengan menggunakan *software FEA*, akan menunjukkan adanya nilai maksimum dan minimum. Gambar 6. merupakan hasil analisis *stress* yang terjadi pada *ball valve* akibat pengaruh pembebanan dan kondisi yang diinput. Parameter yang dipakai adalah nilai berdasarkan *von Mises Stress*. Selain itu perubahan serta

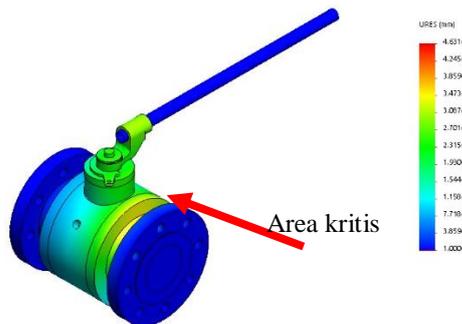
gradasi warna akan menunjukkan bahwa terdapat perubahan atau kondisi kritis pada hasil simulasi. Berlaku juga untuk hasil simulasi *strain*, deformasi dan *safety factor*.



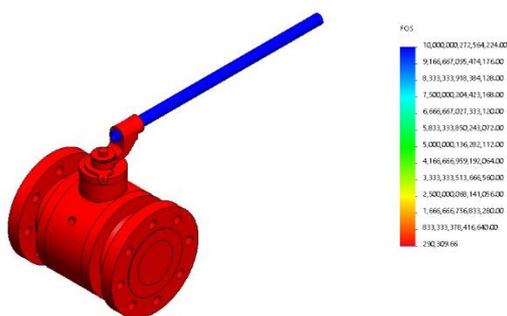
Gambar 6. Hasil analisis *stress*



Gambar 7. Hasil analisis *strain*



Gambar 8. Hasil analisis deformasi



Gambar 9. Hasil analisis *safety factor*

Hasil analisis dengan FEA dengan kondisi yang sudah ditentukan dapat dilihat pada Gambar 10. Berdasarkan hasil simulasi, dapat dilihat bahwa

perubahan nilai *stress*, *strain* dan deformasi tidak mengalami perubahan yang signifikan, sehingga tidak terdapat kondisi dan area kritis yang harus dilakukan perubahan desain dan optimisasi desain. Sedangkan hasil simulasi untuk faktor keamanan, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil FEA

| Kondisi            | Ball Valve 4 inch ANSI 300 |              |                 |
|--------------------|----------------------------|--------------|-----------------|
|                    | Stress (max)               | Strain (max) | Deformasi (max) |
| <b>Full Closed</b> |                            |              |                 |
| Kondisi 1          | 4.4332 psi                 | 7.46e-008    | 2.34e-006 mm    |
| Kondisi 2          | 3.2945 psi                 | 5.77e-008    | 1.30e-006 mm    |
| Kondisi 3          | 4.4465 psi                 | 7.34e-008    | 2.05e-006 mm    |
| <b>Half Open</b>   |                            |              |                 |
| Kondisi 1          | 1.94688 psi                | 2.94e-008    | 1.96e-006 mm    |
| Kondisi 2          | 1.94667 psi                | 4.22e-008    | 1.96e-006 mm    |
| Kondisi 3          | 1.94688 psi                | 2.76e-008    | 1.91e-006 mm    |
| <b>Full Open</b>   |                            |              |                 |
| Kondisi 1          | 1.97176 psi                | 4.22e-008    | 1.96e-006 mm    |
| Kondisi 2          | 1.97198 psi                | 4.22e-008    | 1.96e-006 mm    |
| Kondisi 3          | 1.40827 psi                | 2.94e-008    | 1.96e-006 mm    |

Tabel 3. Rekapitulasi hasil FEA

| Kondisi            | Safety Factor |          |
|--------------------|---------------|----------|
|                    | Minimum       | Maksimum |
| <b>Full Closed</b> |               |          |
| Kondisi 1          | 6550.65       | 1e+016   |
| Kondisi 2          | 8605.81       | 1e+016   |
| Kondisi 3          | 6556.44       | 1e+016   |
| <b>Half Open</b>   |               |          |
| Kondisi 1          | 18387.4       | 1e+016   |
| Kondisi 2          | 18626         | 1e+016   |
| Kondisi 3          | 24466         | 1e+016   |
| <b>Full Open</b>   |               |          |
| Kondisi 1          | 18626.3       | 1e+016   |
| Kondisi 2          | 18626.3       | 1e+016   |
| Kondisi 3          | 18389.4       | 1e+016   |

Berdasarkan hasil simulasi, maka disimpulkan bahwa *ball valve* aman dan mampu diberi pembebanan sesuai dengan hasil simulasi CFD. Hal ini dilihat dari nilai minimum *safety factor* yang jauh diatas ambang batas untuk produk-produk katup dan perpipaan yaitu 8 sampai dengan 9.

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Analisis pada *ball valve 4 inch ANSI 300*, dengan beberapa kondisi dengan pembebanan hasil CFD pada penelitian sebelumnya, disimpulkan bahwa untuk *ball valve* ini *comply* dan aman sesuai dengan kondisi yang disimulasi dan di analisis. *Ball valve* memiliki kekuatan yang baik untuk kondisi *full closed*, *half open* dan *full open*. Nilai *factor of safety* juga menunjukkan bahwa *ball valve* sangat aman digunakan untuk fluida liquid sesuai dengan penelitian sebelumnya (Rahmi, dkk., 2018).

Tidak ada nilai *stress*, *strain* dan deformasi yang menunjukkan nilai signifikan yang mempengaruhi desain *ball valve 4 inch ANSI 300*. Penggunaan metode *Finite Element Analysis*, merupakan metode yang baik digunakan untuk memastikan kekuatan katup setelah hasil perancangan selesai dilakukan. Ini bertujuan untuk meminimalisir kegagalan pada saat katup selesai diproduksi.

#### Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah bagaimana memastikan kekuatan *flange* dan baut yang berfungsi sebagai pengencang pada katup saat digunakan pada sistem perpipaan terutama untuk industri minyak dan gas

*Mechanics and Materials*, Volume 551, pp. 331-336.

- Rahmi, M., Canra, D. & Suliono, Maret 2018. Analisis Perbedaan Tekanan Fluida pada Ball Valve Kondisi Full Closed dan Full Open dengan Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Teknologi Terapan*, Volume 1, pp. 7-11.
- Utami, M. B. et al., n.d. Pengukuran Compressive Strength Benda Padat. *Compressive Strength*.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- Anon., 2012. <http://instrumentasimigas.blogspot.com/2012/07/mengenai-jenis-jenis-valve.html>. [Online] [Accessed Monday Juli 2018].
- Balachander, R. & Saravanakuman, S., 2016. Seismic Evaluation Of Ball Valves Using Finite Element Analysis. *International Journal of Research in Mechanical Engineering*, 03(04), pp. 30-37.
- Bi, Z., 2018. Overview of Finite Element Analysis. In: *Finite Element Analysis Applications A Systematic and Practical Approach*. London: Katey Birtcher, pp. 1-29.
- Boye, E. T., Nwaoha, C. T. & Olabisi, I. A., 2016. Finite Element Analysis and Design Validation of High Pressure Gate Valve for a Typical Nigerian Oil Wellhead. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 3(7), pp. 5296-5306.
- Dantulwari, N., Maske, R. & Patel, J., 2017. Finite Element Analysis of Ball Valve Assembly for Earthquakes. *International Conference on Ideas, Impact and Innovation in Mechanical Engineering*, 5(6), pp. 1460-1467.
- Fadiji, T. et al., 2018. The efficacy of finite element analysis (FEA) as a design tool for food packaging: A review. *Biosystems Engineering*, Volume 174, pp. 20-40.
- Mandanaka, P., Tadv, K. M. & Raiyani, P. H., 2016. Modeling and FEA Analysis of Ball Valve. *International Journal of Engineering Development and Research*, 4(2), pp. 1022-1026.
- Paul, P. E. S., Kumar, G. U., Durairaj, S. & Sundarajan, D., n.d. Design and Analysis of Industrial Ball Valve using Computational Fluid Dynamics. *International Journal of Recent Trends in Mechanical Engineering*.
- Peng, Y., Zong, L.-f., Hao, L.-f. & li, Q.-y., 2014. Ball Valve Seat Design Method Based on Finite Element Analysis and Calculation. *Applied*