

Analisis Pengaruh Modifikasi *Pressure Reducing Valve* Terhadap *Range Pressure Drop* Aliran Uap

Kelly Anwar¹, Harjadi Gunawan¹, Sheila Tobing²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

²Program Studi Magister Teknik Sistem Energi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

E-mail: harjadi.gunawan@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Pressure Reducing Valve (PRV) merupakan salah satu jenis *valve* yang digunakan untuk menurunkan tekanan *upstream* menjadi tekanan *downstream* pada aliran fluida. Ketika beroperasi, PRV akan berada dalam keadaan setimbang akibat adanya gaya-gaya yang bekerja, yaitu gaya resultan fluida, gaya membran, dan gaya *spring*. Pada kondisi kerja tertentu, PRV tidak dapat beroperasi karena kesetimbangan gaya tidak dapat dicapai oleh *spring* yang berdefleksi melebihi batas maksimum yang diizinkan dan tidak dapat menghasilkan gaya untuk mengimbangi gaya-gaya lainnya. Karena itu, dilakukan modifikasi pada diameter kawat *spring* dari 17 mm menjadi 20 mm tanpa mengubah geometri dan dimensi komponen lain pada PRV. *Spring* yang telah dimodifikasi dianalisis secara analitis dan simulasi menggunakan *software* Ansys. Pada kondisi kerja yang sama, semakin besarnya diameter kawat *spring*, defleksi yang sebelumnya senilai 99,28 mm berubah semakin kecil menjadi senilai 42,64 mm dan tidak melebihi batas maksimum defleksi senilai 74,375 mm sehingga PRV dapat beroperasi pada kondisi tersebut dan *range pressure drop* yang sebelumnya 7 bar berubah lebih besar menjadi 9 bar.

Kata kunci :

Kesetimbangan gaya; *Pressure reducing valve*; *Range pressure drop*; *Spring*.

ABSTRACT

Pressure Reducing Valve (PRV) is a control valve designed to reduce upstream pressure to downstream pressure on fluid flow. When operating, a PRV is in an equilibrium condition because of the forces acting on it, such as fluid resultant force, membrane force, and spring force. On some working conditions, a PRV cannot operate because the equilibrium is unattainable by the spring that deflects further than the maximum allowable limit and unable to produce force balancing out other forces. Therefore, a modification on the spring wire diameter from 17 mm to 20 mm is conducted without altering other PRV parts dimension and geometry. The modified spring will be analysed through analytical analysis and simulation analysis with Ansys software. On the same working conditions with the enlargement of the spring wire diameter, the deflection that once was 99,28 mm decreases to 42,64 mm and does not exceed the maximum limit at 74,375 mm so the PRV can operate on said condition and the pressure drop range increases from 7 bar to 9 bar.

Keywords :

Force equilibrium; *Pressure drop range*; *Pressure reducing valve*; *Spring*.

1. PENDAHULUAN

Pressure reducing valve (PRV), merupakan jenis katup yang berfungsi untuk menurunkan tekanan fluida pada suatu sistem sehingga sesuai dengan tekanan yang dibutuhkan. Tekanan *downstream* disesuaikan dengan mengatur defleksi pada

spring agar dicapai kesetimbangan gaya selama PRV beroperasi [1]. Pada beberapa perangkat industri, seperti *boiler* uap, diinginkan nilai *range pressure drop* yang semakin besar. Akan tetapi, nilai *range pressure drop* tersebut dibatasi oleh spesifikasi PRV yang digunakan.

PT X merupakan distributor *valve* dari Eropa untuk industri dengan sistem distribusi uap. Salah satu produk yang disediakan oleh perusahaan ini adalah PRV dengan berbagai mekanisme, spesifikasi, aktuator, dan cara kerja yang disesuaikan dengan kebutuhan konsumen. Karena itu, setiap jenis PRV memiliki keunggulan masing-masing dan tidak dapat saling dibandingkan. Contoh dari PRV yang diimpor oleh perusahaan ini adalah PRV A, yaitu salah satu jenis PRV *self-acting* yang umum digunakan karena tidak membutuhkan daya eksternal untuk beroperasi.

Pada PT X, telah dilakukan analisis PRV A secara analitis mengenai kesetimbangan gaya selama *valve* beroperasi serta *range pressure drop* yang mampu dihasilkan akibat gaya-gaya tersebut. Dari hasil analisis tersebut, terdapat beberapa kondisi kerja yang tidak dapat dicapai sehingga dibutuhkan modifikasi pada PRV. Modifikasi dilakukan hanya pada *spring*, tanpa mengubah bagian PRV lainnya. PRV yang sudah dimodifikasi dianalisis kembali secara analitis untuk mengamati kondisi kerja dan nilai *range pressure drop* yang dihasilkan.

Untuk memperdalam analisis PRV, dilakukan analisis lebih lanjut melalui simulasi *software*. Simulasi dilakukan pada PRV, baik sebelum, maupun sesudah modifikasi, terutama pada kondisi kerja baru yang dapat dicapai setelah modifikasi.

Sebelumnya, analisis PRV melalui simulasi struktur sudah dilakukan untuk mengamati hubungan nilai defleksi *spring* yang telah ditetapkan dengan nilai tekanan *downstream* yang dihasilkan [2]. Selain itu, simulasi PRV telah dilakukan dengan modifikasi pada diameter lubang *orifice plate*. Variasi lubang yang lebih kecil akan menghasilkan distribusi tekanan yang lebih merata pada PRV [3]. Pada analisis lain, dilakukan modifikasi konstanta *spring* PRV dengan variasi diameter kawat. Dari hasil analisis, nilai konstanta *spring* yang semakin besar menyebabkan gaya fluida yang juga semakin besar [4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kesetimbangan gaya ketika PRV

A beroperasi, mengetahui pengaruh *spring* terhadap kerja PRV A, dan mengetahui pengaruh modifikasi diameter *spring* terhadap *range pressure drop* sebuah PRV.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Spesifikasi PRV A

PRV A adalah PRV yang diproduksi oleh sebuah perusahaan manufaktur *heavy-duty valve* asal Jerman. PRV ini merupakan salah satu jenis *self-acting* PRV sehingga tidak membutuhkan aktuator lain selain aktuator diafragma. Untuk analisis, PRV A dipasangkan dengan aktuator D dan *spring* X. *Valve* memiliki dimensi sebagai berikut:

A_a	= 1963,495 mm ²
A_b	= 1506,33 mm ²
A_c	= 518,36 mm ²
A_d	= 268,58 mm ²
A_e	= 407,22 mm ²
A_f	= 1177,46 mm ²
A_g	= 340,18 mm ²

Dimensi tersebut mempengaruhi gaya resultan fluida selama PRV beroperasi. Hubungan dimensi dan gaya tersebut dapat dilihat pada Persamaan 1 [5]:

$$F_R = P_1(-A_a - A_d + A_f + A_g) + P_2(A_b - A_c - A_e) \quad (1)$$

Aktuator yang digunakan memiliki membran yang akan menerima fluida dengan tekanan *downstream*. Aktuator memiliki spesifikasi sebagai berikut:

A_M	= 6939,778 mm ²
$P_{2,max}$	= 10 bar

Dimensi tersebut mempengaruhi gaya aktuator yang nilainya diperoleh menggunakan Persamaan 2 [6]:

$$F_M = A_M \times P_2 \quad (2)$$

Berdasarkan aktuator yang digunakan, *spring* yang digunakan adalah *spring* X yang termasuk ke dalam *helical compression spring* dengan kedudukan *squared and ground ends*. *Spring* terbuat dari material 50 CrV 4 dan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

k	= 61,358 N/mm
G_{spring}	= 73.000 N/mm ²
v_{spring}	= 0,3
d	= 17 mm
D	= 146,5 mm
C	= 8,61
H	= 189 mm
H_s	= 89,25 mm
δ_{allow}	= 82,73 mm
Na	= 3,25
Nt	= 5,25

Ketika PRV beroperasi, *spring* diperbolehkan untuk berdefleksi hingga 82,733 mm. Defleksi pada *spring* akan mempengaruhi nilai gaya *spring* melalui Persamaan 3 [7]:

$$F_F = -k \cdot \delta \quad (3)$$

Pada *assembly* PRV, *spring* dipasang dengan *adjusting plate* dan *spring plate*. Karena kedua *plate* memiliki dimensi yang tetap, hanya *spring* dengan dimensi berikut yang dapat dipasang pada *plate* [8]:

ID_{min}	= 126 mm
OD_{max}	= 169 mm

PRV A yang telah dipasang dengan aktuator dan *spring* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. PRV A dengan Aktuator D dan *Spring X*

2.2 Variasi Diameter Kawat *Spring*

Spring X yang sebelumnya memiliki diameter kawat 17 mm divariasikan dengan diameter lilitan dan jumlah lilitan yang tidak berubah. Untuk memastikan bahwa *spring* sesuai dengan ketentuan, diperiksa *spring index* untuk diameter kawat yang baru dengan Persamaan 4:

$$C = \frac{D}{d} \quad (4)$$

Selain *spring index*, nilai *outside*

$$k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot Na \cdot D^3} \quad (5)$$

diameter dan *inside diameter* yang baru dihitung juga untuk memastikan *spring* dapat dipasang dengan komponen lainnya. Setelah itu, defleksi maksimum yang diizinkan juga dihitung. Akibat adanya perubahan dimensi pada *spring*, nilai konstanta pun berubah dengan nilai yang ditentukan pada Persamaan 5 [9]:

Variasi diameter kawat *spring* yang digunakan beserta propertinya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Diameter Kawat *Spring*

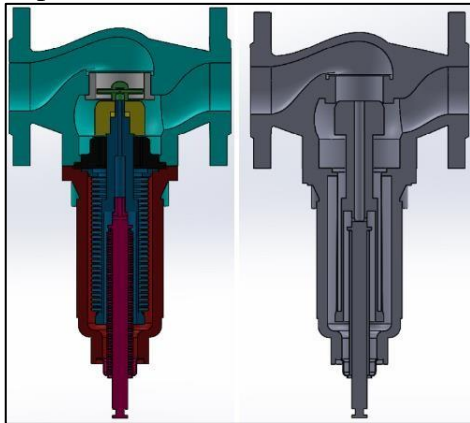
d (mm)	H_s (mm)	δ_{allow} (mm)	k (N/mm ²)
13	68,25	100,625	25,504
14	73,5	96,25	34,304
15	78,75	91,875	45,206
16	84	87,5	58,521
18	94,5	83,125	93,74
19	99,75	78,75	116,373
20	105	74,375	142,875

2.3 Penyederhanaan Model PRV

PRV yang akan dianalisis melalui simulasi terdiri dari 3 bagian utama, yaitu *valve*, *actuator*, dan *spring*. Agar simulasi dapat berjalan lebih efisien, ketiga bagian tersebut disederhanakan tanpa mengubah dimensi dan geometri yang mempengaruhi kesetimbangan gaya dalam penurunan tekanan aliran uap. Penyederhanaan akan memudahkan proses *meshing* dan *solution* pada simulasi.

Bagian pertama, yaitu *valve*, merupakan bagian yang dialiri oleh aliran uap dan terdiri dari beberapa komponen, seperti *plug*, *seat*, dan *stem*. Penyederhanaan bagian *valve* dapat

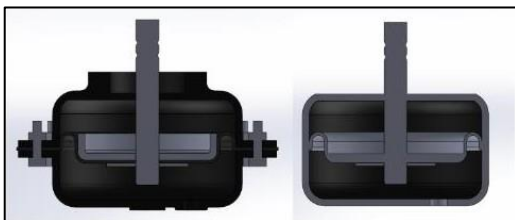
dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Valve Sebelum dan Sesudah Penyederhanaan

Seluruh komponen pada bagian *valve* dijadikan sebagai satu komponen untuk memudahkan proses *meshing* pada *software* Ansys. Selain itu, beberapa profil permukaan yang bergelombang pada *stem* diratakan menggunakan fitur *extrude* dan *revolve* pada aplikasi CAD. Bentuk dari *plug* juga disederhanakan dengan meratakan permukaan bagian atasnya agar aliran fluida dapat memenuhi seluruh bagian *valve*.

Setelah *valve*, aktuator D juga disederhanakan, terutama pada bagian eksternal yang tidak dialiri oleh uap. Penyederhanaan dapat dilihat pada Gambar 3.

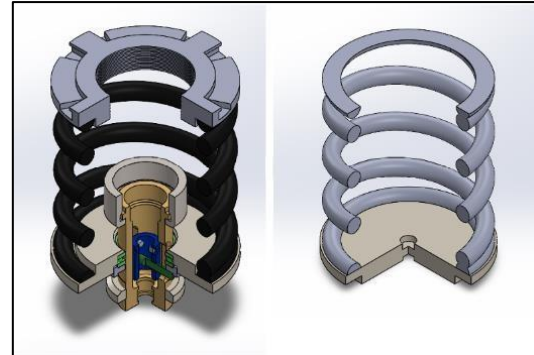


Gambar 3. Aktuator D Sebelum dan Sesudah Penyederhanaan

Untuk model aktuator, baut yang menggabungkan bagian-bagian aktuator dihilangkan dan seluruh bagian dijadikan sebagai satu kesatuan. Selain itu, lekukan pada permukaan aktuator diratakan sehingga model aktuator yang akan digunakan memiliki bentuk tabung dengan *fillet* pada ujungnya. Penyederhanaan tidak mempengaruhi membran dalam aktuator dan stem yang menyalurkan gaya dari aktuator.

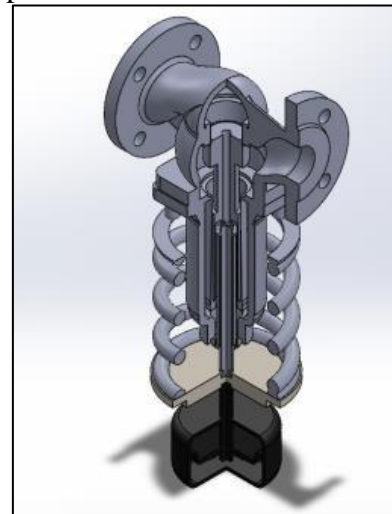
Terakhir, sistem kopling untuk

penyaluran gaya pada PRV beserta *spring* disederhanakan menjadi sistem dengan komponen yang lebih sedikit. Sistem kopling dan *spring* sebelum dan sesudah disederhanakan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem Kopling dan *Spring* Sebelum dan Sesudah Penyederhanaan

Sebelumnya, gaya-gaya pada PRV, baik dari aktuator, aliran fluida pada *valve*, maupun *spring*, dihubungkan melalui suatu sistem yang terdiri dari berbagai *pin*, baut, dan penyangga. Untuk simulasi, sistem tersebut digantikan dengan sebuah *plate* dimana gaya dari fluida pada *valve* dan aktuator akan diteruskan melalui *plate* tersebut. Sementara itu, *spring* tidak mengalami perubahan geometri dan dimensi, tetapi *plate* di atas *spring* dihilangkan karena pembebanan akan diberikan langsung pada *spring*. Bagian-bagian yang telah disederhanakan disusun menjadi sebuah *assembly* untuk membuat model fluida dan digunakan pada simulasi struktur. *Assembly* dari PRV yang telah disederhanakan dapat dilihat pada Gambar 5.

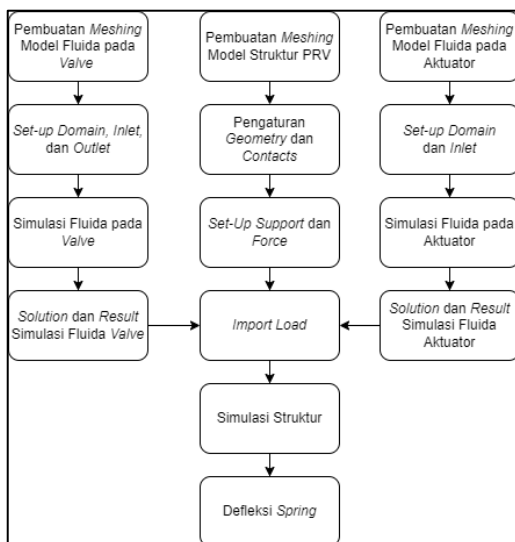


Gambar 5. *Assembly* PRV yang

Disederhanakan

2.3 Tahapan Simulasi

Assembly PRV yang telah disederhanakan akan disimulasikan menggunakan *software* Ansys. Model fluida yang mengalir pada *valve* dan aktuator akan disimulasikan terlebih dahulu secara terpisah menggunakan Ansys CFX dengan kondisi kerja yang telah ditetapkan. Hasil simulasi tersebut menjadi *input* berupa tekanan pada simulasi struktur *valve* yang selanjutnya menyebabkan defleksi pada *spring*. Simulasi struktur dilakukan menggunakan Ansys *Static Structural* dengan pembebanan yang diperoleh dari perhitungan analitis. Tahapan simulasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Simulasi

Model fluida yang telah dibuat untuk *valve* disimulasikan dengan kondisi kerja tekanan *upstream* 20 bar dan tekanan *downstream* 9 dan 10 bar. Sebelumnya, dilakukan *meshing* pada model fluida dengan *physics preference* CFD dan *solver preference* CFX. Informasi mengenai *meshing* untuk fluida pada *valve* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Informasi Mesh Fluida Valve

Informasi	Keterangan
<i>Physics preference</i>	CFD
<i>Solver preference</i>	CFX
<i>Active body</i>	1
<i>Volume</i>	$1,269 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
<i>Nodes</i>	60.615
<i>Elements</i>	277.915

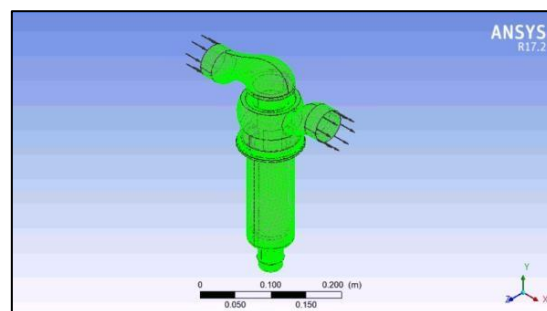
Setelah *meshing* selesai, dilakukan *set-up* pada *domain*, *inlet*, dan *outlet* untuk fluida. Pada tahap ini, dimasukkan juga properti uap pada tekanan *upstream* dengan temperatur 250°C yang dinamai *Steam* pada *Material Library*. Properti uap yang dimasukkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Properti Uap untuk Simulasi Fluida

Properti Uap	Nilai
<i>Molar mass</i>	0,018 kg/mol
<i>Density</i>	9,468 kg/m ³
<i>Specific heat capacity at constant volume</i>	1,831.12 J/kg.K
<i>Dynamic viscosity</i>	$1,784 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$

Setelah memasukkan properti uap, dilakukan *set-up domain* untuk mendefinisikan model fluida sebagai uap dengan temperatur 250°C. Selain itu, ditentukan juga *reference pressure* sesuai dengan tekanan fluida paling tinggi, yaitu tekanan *upstream*. Setelah ditetapkan kondisi *domain*, dilakukan *set-up* pada *inlet valve* dengan variabel *input* berupa *Normal speed* senilai 123,28 m/s.

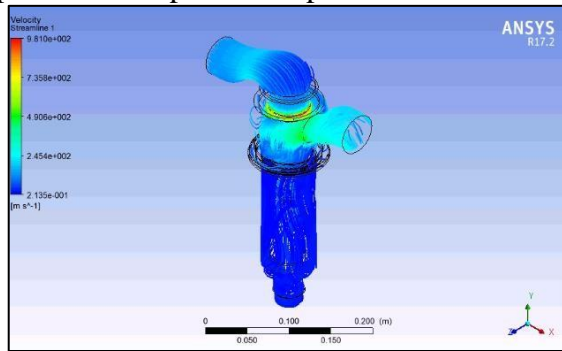
Terakhir, dilakukan *set-up* untuk *outlet*, yaitu dengan memasukkan nilai *Total Pressure* karena fluida untuk simulasi merupakan fluida yang *compressible*. Nilai tekanan yang digunakan adalah tekanan *downstream*. *Set-up domain* dan *boundary*, seperti *inlet* dan *outlet* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Domain dan Boundary untuk Simulasi Fluida pada Valve

Setelah *set-up* seluruh *domain* dan *boundary* selesai, simulasi fluida dijalankan sehingga diperoleh aliran fluida pada *valve* yang dijadikan salah satu pembebanan pada simulasi struktur. Hasil dari simulasi fluida

pada *valve* dapat dilihat pada Gambar 8.



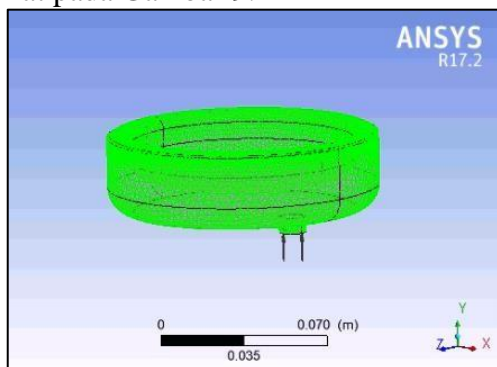
Gambar 8. Hasil Simulasi Fluida pada *Valve*

Selain simulasi fluida pada *valve*, terdapat simulasi fluida pada aktuator yang juga akan menjadi pembebanan pada simulasi struktur. Pertama, dilakukan *meshing* pada model fluida aktuator yang telah dibuat dengan *physics preference* CFD dan *solver preference* CFX. Informasi mengenai *meshing* fluida pada aktuator dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Informasi *Mesh* Fluida Aktuator

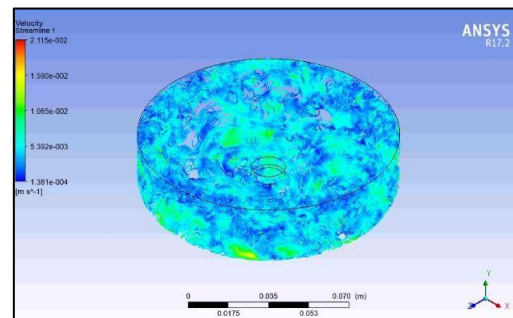
Informasi	Keterangan
<i>Physics preference</i>	CFD
<i>Solver preference</i>	CFX
<i>Active body</i>	1
<i>Volume</i>	$2,049 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
<i>Nodes</i>	34.950
<i>Elements</i>	17.648

Setelah itu, dilakukan *set-up* pada *domain* dan *inlet* aktuator. *Domain* ditetapkan memiliki *reference pressure* yang sama dengan tekanan *downstream* dengan material berupa *Water*. *Inlet* ditetapkan dalam *Total Pressure* dengan nilai tekanan *downstream* juga. *Set-up domain* dan *boundary* dapat dilihat pada Gambar 9.



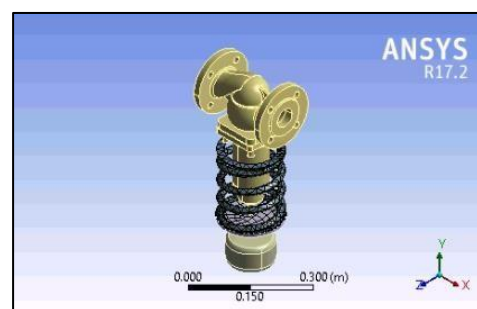
Gambar 9. *Domain* dan *Boundary* untuk Simulasi Fluida pada Aktuator

Selanjutnya, simulasi fluida dijalankan sehingga mendapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Simulasi Fluida pada Aktuator

Setelah diperoleh hasil kedua simulasi fluida, dilakukan simulasi pada struktur PRV untuk mendapatkan hasil berupa defleksi pada *spring* yang menerima pembebanan dari kedua simulasi fluida dan gaya *spring* yang nilainya telah diperhitungkan. Karena hanya *spring* yang akan dianalisis pada simulasi ini, *geometry* lain pada model struktur seperti *valve*, aktuator, dan *plate* ditetapkan dengan *stiffness behavior rigid*, dan hanya *spring* yang ditetapkan *flexible*. Perbedaan *stiffness behavior* antara *spring* dengan bagian lain menyebabkan perubahan pengaturan pada *contacts* dimana *behavior* antara bagian yang *stiffness behavior*-nya berbeda ditetapkan sebagai *asymmetric*. Geometri dan *meshing* dapat dilihat pada Gambar 11.

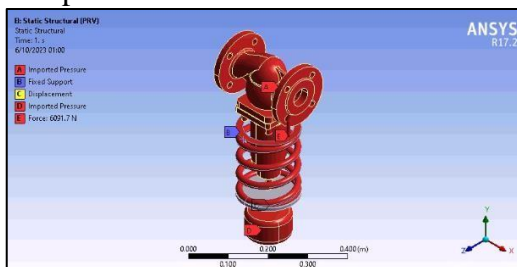


Gambar 11. Geometri dan *Meshing* Struktur PRV

Setelah dilakukan *meshing*, dilakukan *set-up support* pada *spring*. Terdapat dua jenis *support* yang digunakan pada simulasi ini, yaitu *fixed support* dan *displacement*. Karena *spring* akan menerima pembebanan

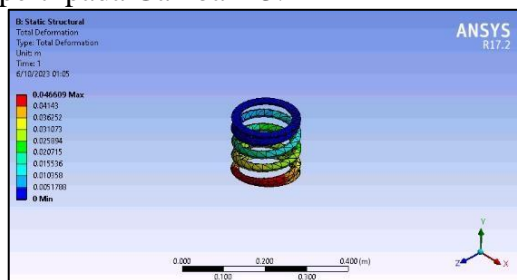
gaya dari bawah melalui *plate*, *fixed support* berada pada permukaan dudukan atas *spring*. Sementara itu, *displacement* berada pada permukaan dudukan bawah *spring* dengan nilai pada komponen X dan Z sebesar 0 m. Untuk komponen Y, *displacement* ditetapkan sebagai *free*. Dengan pengaturan *support* seperti ini, *spring* akan mengalami defleksi hanya pada sumbu Y secara simetris.

Selanjutnya, dimasukkan pembebanan oleh kedua fluida sebagai beban tekanan ke dalam model struktur. Masing-masing beban fluida akan dimasukkan sesuai dengan bagian PRV-nya, dimana beban oleh fluida yang mengalir pada *valve* akan bekerja langsung pada model *valve*, dan beban oleh fluida pada aktuator akan bekerja langsung pada model aktuator. Selain pembebanan oleh kedua fluida tersebut, terdapat beban dalam bentuk gaya pada seluruh bagian *spring* dengan arah ke atas. Nilai dari gaya tersebut diperoleh dari perhitungan analitis kesetimbangan PRV. *Support* dan pembebanan pada model struktur PRV dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. *Support* dan Pembebanan pada Model Struktur PRV

Setelah seluruh *support* dan pembebanan ditetapkan, dimasukkan *solution* berupa *total deformation* pada seluruh bagian *spring*. Ketika simulasi dijalankan dan selesai, diperoleh hasil defleksi *spring* seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Defleksi *Spring* pada Simulasi Struktur

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, kesetimbangan gaya PRV pada sumbu Y akan diperhitungkan untuk mengetahui gaya *spring* yang dibutuhkan pada tekanan *upstream* dan tekanan *downstream* tertentu. Dari gaya *spring* yang diperoleh, dihitung defleksi pada *spring* dan dianalisis apakah defleksi tersebut masih dalam batas defleksi maksimum berdasarkan geometri dan sifat fisik *spring*. Jika defleksi *spring* melebihi batas maksimum, PRV tidak dapat beroperasi pada kondisi kerja yang telah ditetapkan.

Agar PRV dapat beroperasi pada kondisi yang tidak dapat dicapai oleh *spring* yang sebelumnya, dilakukan modifikasi terhadap diameter kawat *spring* sesuai ketentuan yang berlaku dan dihitung kembali defleksi yang terjadi untuk kondisi kerja yang sama. Nilai defleksi yang baru diperoleh dianalisis juga terhadap nilai defleksi *maksimum spring* yang baru untuk menentukan apakah PRV sudah dapat beroperasi pada kondisi kerja tersebut. Dengan semakin banyaknya kondisi kerja tekanan *downstream* yang dapat dicapai, semakin besar pula *range pressure drop* PRV tersebut.

Selain analisis secara perhitungan, analisis dilakukan dengan simulasi menggunakan model yang telah divalidasi terlebih dahulu. Simulasi dilakukan pada fluida dan struktur PRV dengan hasil akhir defleksi *spring*. Seperti analisis pada perhitungan, defleksi *spring* yang diperoleh baik sebelum dan setelah diubah diameter kawatnya dianalisis apakah melebihi defleksi maksimum. Dengan demikian, *range pressure drop* juga dapat ditentukan berdasarkan hasil simulasi.

3.1 Gaya-Gaya pada PRV A

Pada PRV A, terdapat tiga gaya yang berada dalam kesetimbangan selama PRV beroperasi. Gaya-gaya tersebut adalah gaya resultan fluida, gaya membran dan gaya *spring*. Nilai gaya resultan fluida dan gaya membran berubah sesuai dengan nilai tekanan *upstream* dan tekanan *downstream* PRV. Sementara itu, nilai gaya *spring* dipengaruhi oleh sifat fisik *spring* beserta

defleksinya. Karena itu, dihitung terlebih dahulu masing-masing nilai gaya resultan fluida dan gaya membran dan setelah itu dihitung nilai gaya *spring* dengan kesetimbangan gaya-gaya tersebut. Gaya resultan fluida dan gaya membran pada tekanan *upstream* 20 bar dengan tekanan *downstream* tertentu dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Gaya Resultan Fluida dan Gaya membran pada Tekanan *Upstream* 20 bar

Tekanan <i>Downstream</i> (bar)	Gaya Resultan Fluida (N)	Gaya Membran (N)
1	-1370,755	693,98
2	-1312,68	1387,95
3	-1254,605	2081,93
4	-1196,53	2775,91
5	-1138,455	3469,89
6	-1080,38	4163,86
7	-1022,305	4857,84
8	-964,23	5551,82
9	-906,155	6245,8
10	-848,08	6939,8

Dengan memanfaatkan kesetimbangan PRV ketika beroperasi, nilai dari gaya *spring* dapat ditentukan berdasarkan resultan gaya-gaya lainnya. Nilai gaya *spring* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Gaya *Spring* pada Tekanan *Upstream* 20 bar

Tekanan <i>Downstream</i> (bar)	Gaya <i>Spring</i> (N)
1	676,755
2	-75,32
3	-827,295
4	-1579,37
5	-2331,445
6	-3083,52
7	-3835,5
8	-4587,57
9	-5339,645
10	-6091,72

3.2 Perhitungan Defleksi *Spring* dan Range Pressure Drop

Dari gaya *spring* yang diperoleh, dihitung defleksi *spring* untuk mencapai

kesetimbangan gaya PRV. Defleksi *spring* pada tekanan *upstream* 20 bar dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Defleksi *Spring* pada Tekanan *Upstream* 20 bar

Tekanan <i>Downstream</i> (bar)	Defleksi <i>Spring</i> (mm)
1	-11,029
2	1,227
3	13,483
4	25,74
5	37,997
6	50,254
7	62,51
8	74,767

Pada tekanan *downstream* 1 bar, defleksi memiliki nilai negatif yang berarti *spring* mengalami pertambahan panjang. Akan tetapi, *spring* yang digunakan merupakan *compression spring* sehingga defleksi tersebut akan menyebabkan kerusakan pada *spring*. Sementara itu, *spring* akan mengalami defleksi yang nilainya semakin besar sebanding dengan nilai tekanan *downstream*. Pada tekanan *downstream* 9 dan 10 bar, *spring* mengalami defleksi senilai 87,02 mm dan 99,28 mm. Jika dibandingkan, defleksi tersebut melebihi defleksi maksimum yang diizinkan senilai 82,73 mm. Karena itu, tekanan *upstream* senilai 20 bar hanya dapat diturunkan menjadi 2 hingga 8 bar dan PRV memiliki *range pressure drop* senilai 7 bar.

3.3 Perhitungan Defleksi *Spring* yang Sudah Dimodifikasi

Berdasarkan sifat mekanik *spring* dengan diameter kawat yang divariasikan, dihitung kembali defleksi yang dialami *spring* tersebut akibat gaya-gaya pada PRV. Nilai defleksi *spring* dengan variasi diameter kawat pada tekanan *upstream* 20 bar dan tekanan *downstream* tertentu dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Defleksi *Spring* pada Tekanan *Upstream* 20 bar dengan Variasi Diameter Kawat

Defleksi <i>Spring</i> (mm)		Diameter Kawat (mm)						
		13	14	15	16	18	19	20
Tekanan <i>Downstream</i> (bar)	1	-26,54	-19,73	-14,97	-11,56	-7,22	-5,82	-4,74
	2	2,95	2,20	1,67	1,29	0,80	0,65	0,53
	3	32,44	24,12	18,30	14,14	8,83	7,11	5,79
	4	61,93	46,04	34,94	26,99	16,85	13,57	11,05
	5	91,41	67,96	51,57	39,84	24,87	20,03	16,32
	6	120,90	89,89	68,21	52,69	32,89	26,50	21,58
	7	150,39	111,81	84,84	65,54	40,92	32,96	26,85
	8	255,49	189,95	144,14	111,35	69,51	55,99	45,61
	9	209,37	155,66	118,12	91,24	56,96	45,89	37,37
	10	238,85	177,58	134,75	104,09	64,99	52,35	42,64

Pada *spring* dengan diameter kawat yang lebih kecil dari diameter kawat *Spring* X, defleksi *spring* pada tekanan *downstream* yang sama menjadi semakin besar dibandingkan dengan diameter sebelumnya. Ketika dibandingkan dengan defleksi maksimum yang diperbolehkan, *range pressure drop* PRV justru semakin kecil untuk diameter kawat yang diperkecil. Sebaliknya, diameter kawat yang

lebih besar menghasilkan defleksi yang lebih kecil. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai konstanta *spring* yang semakin besar, mengikuti nilai diameter kawat. Jika dibandingkan dengan defleksi maksimum masing-masing *spring*, perubahan diameter kawat mempengaruhi *range pressure drop* pada PRV yang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Defleksi Diizinkan, Tekanan *Downstream*, dan *Range Pressure Drop* pada *Spring* dengan Variasi Diameter Kawat

	Diameter Kawat (mm)						
	13	14	15	16	18	19	20
Defleksi Diizinkan (mm)	100,625	96,25	91,875	87,5	83,125	78,75	74,375
Tekanan <i>Downstream</i> yang Mampu Dicapai (bar)	2-5	2-6	2-7	2-8	2-10	2-10	2-10
<i>Range Pressure Drop</i> (bar)	4	5	6	7	9	9	9

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 9, diameter kawat yang lebih kecil membuat *range pressure drop* semakin kecil sehingga PRV tidak dapat beroperasi pada kondisi yang beragam. Sebaliknya, diameter kawat yang lebih besar meningkatkan *range pressure drop* sehingga PRV mampu beroperasi pada kondisi yang sebelumnya tidak sesuai dengan batasan yang ada. Pada diameter kawat 18 hingga 20 mm, PRV yang sebelumnya tidak mampu menurunkan tekanan *downstream* menjadi 9 dan 10 bar, kini dapat beroperasi pada tekanan *downstream* tersebut. Untuk memastikan kondisi PRV pada *range pressure drop* yang baru, dilakukan simulasi menggunakan *software* pada kondisi kerja tersebut.

3.4 Hasil Simulasi Defleksi *Spring*

Simulasi pada PRV menunjukkan

defleksi yang terjadi pada *spring* akibat gaya-gaya yang ada. Berdasarkan hasil simulasi, *spring* berdefleksi sebesar 102,62 mm akibat pembebanan PRV yang beroperasi pada tekanan *upstream* 20 bar dan tekanan *downstream* 10 bar. Seperti hasil perhitungan analitis, defleksi yang terjadi melebihi defleksi maksimum senilai 82,73 mm. Hasil simulasi juga menunjukkan defleksi yang asimetris pada *spring* meski telah diberikan tumpuan pada kedua ujung *spring*.

Simulasi juga dilakukan pada *spring* dengan variasi diameter kawat pada kondisi yang sama, yaitu pada tekanan *upstream* 20 bar dan tekanan *downstream* 10 bar. Dari simulasi tersebut, diperoleh defleksi pada *spring* dengan diameter kawat 18 sampai 20 mm yang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Simulasi Defleksi *Spring* dengan Variasi Diameter Kawat

Defleksi <i>Spring</i> (mm)	Diameter Kawat (mm)		
Tekanan <i>Downstream</i> (bar)	18	19	20
9	59,05	49,48	38,99
10	70,59	56,45	46,61

3.5 Perbandingan PRV Sebelum dan Setelah Modifikasi

Setelah analisis analitis dan simulasi, modifikasi PRV menyebabkan perubahan spesifikasi dan kondisi kerja. Modifikasi hanya dilakukan pada *spring* sehingga spesifikasi *valve* dan aktuator tidak berubah. Perbandingan PRV sebelum dan setelah dimodifikasi dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan PRV Sebelum dan Setelah Modifikasi

Spesifikasi	Sebelum Modifikasi	Setelah Modifikasi		
d (mm)	17	18	19	20
H _s (mm)	89,25	94,5	99,75	105
δ _{allow} (mm)	82,73	83,125	78,75	74,375
k (N/mm)	61,36	93,74	116,37	142,87
Range Pressure Drop (bar)	7	9	9	9

Berdasarkan Tabel 11, perubahan diameter kawat *spring* dengan diameter dan jumlah lilitan yang tetap mengakibatkan perubahan konstanta *spring* dan dimensi lainnya pada *spring*, seperti *solid length* dan batas defleksi. Diameter kawat yang semakin besar akan mengakibatkan konstanta *spring* dan *solid length* yang juga semakin besar. Perubahan konstanta *spring* mempengaruhi defleksi pada *spring* saat menjaga kesetimbangan gaya PRV. Sementara itu, diameter kawat yang semakin besar akan mengakibatkan batas defleksi yang semakin kecil. Batas defleksi tersebut dijadikan pembanding terhadap defleksi *spring* saat PRV beroperasi untuk menentukan *range pressure drop* PRV. Dari analisis, diameter kawat yang semakin besar akan mengakibatkan *range pressure drop* yang juga semakin besar.

SIMPULAN

Dari hasil analisis dan data yang didapatkan, diambil kesimpulan bahwa terdapat tiga gaya yang mempengaruhi kesetimbangan gaya ketika PRV beroperasi pada tekanan *upstream* 20 bar dan tekanan *downstream* 10 bar, yaitu gaya resultan fluida senilai 848,08 N dan gaya membran dari aktuator senilai 6939,8 N, serta gaya *spring* senilai 6091,72 N yang besarnya sebanding dengan defleksi yang dialami oleh *spring*.

Selain itu, disimpulkan bahwa *spring* pada PRV berdefleksi sejauh 99,281 mm akan menghasilkan gaya agar PRV setimbang ketika beroperasi pada tekanan *upstream* 20 bar dan tekanan *downstream* 10 bar, tetapi defleksi *spring* tersebut melebihi defleksi maksimum yang diizinkan senilai 82,73 mm sehingga PRV tidak dapat beroperasi pada kondisi tersebut. Karena itu, dilakukan modifikasi diameter kawat *spring* dari 17 mm menjadi 20 mm. Modifikasi tersebut mengubah nilai defleksi *spring* dimana diameter kawat yang semakin besar akan menghasilkan defleksi semakin kecil untuk kondisi kerja yang sama, yaitu senilai 42,64 mm. Defleksi tersebut memiliki nilai yang lebih kecil daripada defleksi maksimum yang diizinkan *spring* dengan diameter kawat 20 mm, yaitu senilai 74,375 mm, sehingga PRV dapat bekerja pada kondisi lebih beragam dan *range pressure drop* yang sebelumnya senilai 7 bar berubah lebih besar menjadi 9 bar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Spirax-Sarco, "Pressure Reducing Valves for Steam and Industrial Fluids." p. 3, 2009.
- [2] L. Yang, Z. Wang, W. Dempster, X. Yu, and S. T. Tu, "Experiments and Transient Simulation on Spring-Loaded Pressure Relief Valve Under High Temperature and High Pressure Steam Conditions," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 45, pp. 133–146, 2017, doi: 10.1016/j.jlp.2016.11.019.
- [3] C. wei Hou, J. yuan Qian, F. qiang Chen, W. kang Jiang, and Z. jiang Jin, "Parametric Analysis on Throttling Components of Multi-Stage High Pressure Reducing Valve," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 128, pp.

- 1238–1248, 2018, doi:
10.1016/j.applthermaleng.2017.09.081.
- [4] Jian, J. et al. (2022) ‘Research on Stability Characteristics of a Spring-Loaded Valve With Two Outlets’, *Annals of Nuclear Energy*. Elsevier Ltd, 175, p. 109250. doi: 10.1016/j.anucene.2022.109250.
- [5] D. Wu, S. Li, and P. Wu, “CFD Simulation of Flow-Pressure Characteristics of a Pressure Control Valve for Automotive Fuel Supply System,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 101, pp. 658–665, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2015.06.025.
- [6] Armaturen, *Operating and Installation Instructions Pressure Reducing Valve PREDU*, no. Series 700. 2013.
- [7] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley’s Mechanical Engineering Design*, 10th Edition. McGraw-Hill, 2015.
- [8] R. L. Mott, E. M. Vavrek, and J. Wang, *Machine Elements in Mechanical Design 6th Edition*, 6th Editio. Pearson Education, Inc., 2018.
- [9] A. A. D. Brown, *Engineering Design Guides - Mechanical Springs*. Oxford University Press, 1981.