

Simulasi Deteksi Kebocoran Pipa Linier Berdasarkan Perbedaan Tekanan

Kemahyanto Exaudi
Laboratorium Otomasi Industri
Fakultas Ilmu Komputer Univeristas
Sriwijaya
Palembang, Indonesia
kemahyanto@ilkom.unsri.ac.id

Rossi Passarella
Laboratorium Otomasi Industri
Fakultas Ilmu Komputer Univeristas
Sriwijaya
Palembang, Indonesia
Passarella.rossi@ilkom.unsri.ac.id

Rendyansyah
Laboratorium Otomasi Industri
Fakultas Ilmu Komputer Univeristas
Sriwijaya
Palembang, Indonesia
rendyansyah@ilkom.unsri.ac.id

Abstract— Kebocoran pipa umumnya terjadi pada industri yang memiliki sistem jaringan perpipaan seperti dalam mendistribusikan air bersih, minyak maupun gas. Banyak faktor yang menjadi penyebab kebocoran, antara lain faktor alam, material dan manusia. Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan dua buah sensor tekanan untuk mendeteksi kebocoran pipa. Kedua sensor tersebut dipasang pada bagian *upstream* dan *downstream* pipa dengan rentang jarak 7 meter serta memiliki 5 titik uji kebocoran yang berbeda-beda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor tekanan *upstream* dan *downstream* mampu mendeteksi perubahan pola sinyal tekanan gelombang yang merambat akibat kebocoran. Kebocoran besar maupun kecil dapat diprediksi berdasarkan analisis *gradient*.

Kata kunci—Deteksi Kebocoran, Gradient, Sensor Tekanan

I. PENDAHULUAN

Kebocoran pipa merupakan salah satu permasalahan yang harus ditanggapi serius oleh setiap industri yang memiliki sistem jaringan pendistribusian pipa. Seiring dengan perkembangan transportasi perpipaan, semakin banyak kebocoran pipa yang tidak mendapatkan penanggulangan secara langsung dari pihak industri sehingga menjadi perhatian banyak orang termasuk dalam hal memanfaatkan situasi kebocoran [1].

Pada dasarnya kebocoran yang terjadi pada pipa dapat menyebabkan tekanan didalam pipa menurun secara signifikan. Tekanan tersebut dapat merambat ke arah hulu (*upstream*) dan hilir (*downstream*) sepanjang media pipa. Menurut Weiguo dan Xin, ada tiga poin penting dalam mendeteksi suatu kebocoran, yaitu deteksi kebocoran, kecepatan tekanan gelombang yang merambat dan lokasi kebocoran [2]. Perbedaan tekanan dalam pipa dapat dideteksi menggunakan dua buah sensor tekanan. Dengan adanya perbedaan tekanan antara kedua sensor pada sisi *upstream* dan *downstream* maka sinyal yang dihasilkan dapat dianalisis dan diolah menggunakan berbagai metode pengolahan sinyal [3]. Sinyal input dan output sensor biasanya selalu mengalami

kontaminasi dari gangguan luar (*noise*) [4]. Maka dari itu dibutuhkan suatu teknik pemfilteran yang tepat untuk menghilangkan *noise* pada sinyal sensor [5].

Penelitian ini menghadirkan simulasi deteksi kebocoran berdasarkan perbedaan tekanan menggunakan sensor tekanan piezoresistif secara *real time* sehingga dalam pelaksanaan perbaikannya lebih cepat, tepat dan tidak memerlukan biaya yang mahal.

II. METODA PENELITIAN

A. Tekanan

Tekanan merupakan gaya tiap satuan luas terhadap fluida disekitarnya. Ketika terdapat elemen gaya (dF) yang bekerja dalam arah normal pada elemen luasan permukaan (dA) maka fluida di dalam objek mengalami tekanan (P) [6]. Seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$P = \frac{dF}{dA} \quad (1)$$

Persamaan (1) menjelaskan bahwa tekanan merupakan gaya tiap satuan luas dimana besar tekanan dapat ditentukan bila besar gaya dan luas di tempat gaya itu bekerja telah diketahui nilainya. Pada fluida dinamis (mengalir) nilai tekanan total (P_t) merupakan hasil jumlah dari tekanan statis (P_s) dengan tekanan dinamis (P_d). Jika fluida memiliki massa jenis ρ dan mengalir pada kelajuan v , maka P_d memenuhi pada Persamaan (2),

$$P_d = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (2)$$

dimana tekanan totalnya (P_t) dapat dinyatakan kedalam Persamaan (3).

$$P_t = P_s + P_d = P_s + \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (3)$$

B. Sensor Tekanan piezoresistif

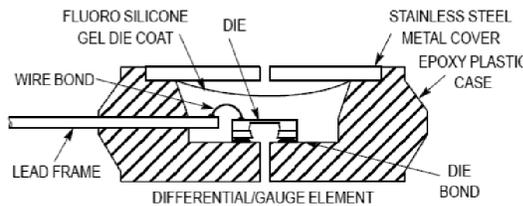
Tekanan diferensial merupakan tekanan yang diperoleh dari hasil pengukuran antara dua buah ruang yang berbeda.

Sensor tekanan piezoresistif merupakan sensor yang bekerja berdasarkan tekanan diferensial. Sensor ini memiliki membran yang sangat tipis (1 mm) sehingga sifat mekanik dari sensor ini merupakan faktor pembatas untuk tekanan maksimal. Ketika tekanan sangat besar, diafragma silikon terlalu kecil untuk dapat langsung mendeteksi tekanan yang dihasilkan maka gaya yang diberikan ke diafragma silikon harus diperkecil dengan menggunakan pelat tekanan menengah.

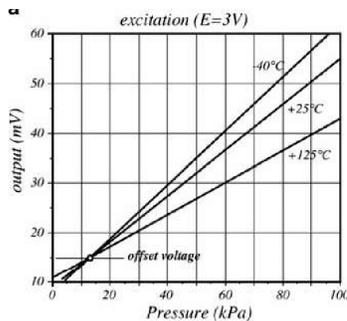
Sensor tekanan yang berbasis silikon selalu ditandai dengan ketergantungan terhadap suhu. Sensitivitas koefisien suhu biasanya bernilai negatif sehingga untuk menghasilkan keluaran sensor yang akurat diperlukan tambahan suhu kompensasi. Gambar 1 menunjukkan struktur sensor tekanan diferensial.

Apabila sensor tanpa menggunakan suhu kompensasi, tegangan keluaran sensor dapat mengalami perubahan tiga macam ukuran suhu yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dalam beberapa aplikasi, kompensasi suhu dapat dilakukan dengan menambahkan sensor secara seri atau paralel. Dengan memilih nilai resistor yang tepat pada sensor, keluaran sensor dapat disesuaikan dengan rentang pengukuran yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Maka dari itu untuk menghasilkan suhu yang akurat maka dibutuhkan rangkaian kompensasi yang sangat kompleks dengan menggunakan sensor suhu. Salah satu cara dapat dilakukan dengan bantuan *software* kompensasi dimana suhu sensor tekanan diukur oleh sensor suhu yang sudah tertanam pada sensor tekanan. Data dari tekanan dan sensor suhu dikirim ke rangkaian pemroses untuk menghasilkan nilai kompensasi digital.

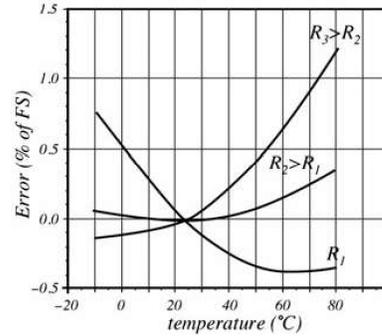


Gambar 1. Struktur Sensor Tekanan Diferensial [6].

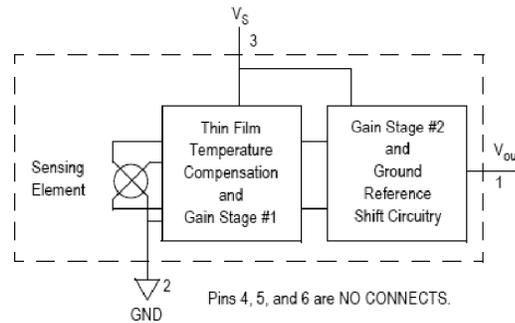


Gambar 2. Karakteristik perbedaan Suhu Sensor Tekanan Piezoresistif [6].

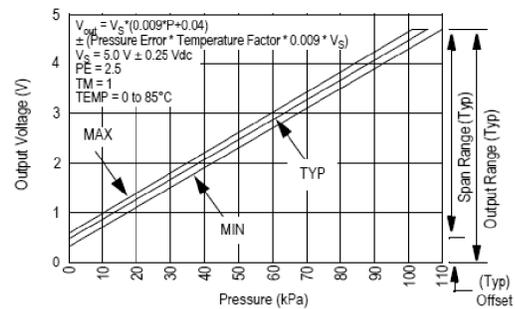
Berdasarkan *datasheet* MPX, 2010, sensor tekanan diferensial dengan jenis piezoresistif ini memiliki suhu kompensasi yang sudah terintegrasi dalam sensor itu sendiri. Gambar 4 merupakan Blok diagram rangkaian internal sensor tekanan. Sensor piezoresistif ini juga memiliki karakteristik sinyal keluaran bersifat linier terhadap tekanan masukan. Grafik respon tegangan keluaran sensor terhadap tekanan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Full-scale Error untuk 3 Kompensasi Resistor [6]



Gambar 4. Blok Diagram Rangkaian Internal Sensor Tekanan [7]



Gambar 5. Respon Keluaran Tegangan terhadap Tekanan Diferensial [7]

C. Algoritma Kalman Filter

Kalman Filter merupakan bentuk persamaan matematis yang dapat melakukan komputasi rekursif untuk mengestimasi *state* dari sebuah proses secara efisien sehingga menghasilkan rerata dari kuadrat *error* yang sangat kecil [8]. Secara umum algoritma kalman filter ini mengestimasi suatu proses yang berjalan kemudian mengembalikan hasilnya untuk dikoreksi agar mendapatkan nilai yang baru. Gambar 6 menunjukkan siklus kerja dari algoritma kalman filter.

Proses pemfilteran menggunakan kalman ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu *update* waktu dan *update* pengukuran. *Update* waktu digunakan untuk membuat prediksi nilai saat ini dalam waktu sedangkan *update* pengukuran digunakan untuk melakukan penyesuaian nilai prediksi dengan nilai ukur sebenarnya. Persamaan algoritma kalman filter untuk *update* waktu ditunjukkan pada Persamaan 4 sedangkan persamaan *update* pengukuran ditunjukkan pada Persamaan 5.

$$x_k = Ax_{k-1} + Du_{k-1} + w_{k-1} \quad (4)$$

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (5)$$

dimana, A adalah matrik untuk *state* waktu sebelumnya dengan *state* waktu sekarang, B adalah matrik dari sinyal input dengan *state* waktu sekarang, w_k adalah variabel acak yang merepresentasikan proses *noise* dan v_k adalah variabel acak yang merepresentasikan pengukuran *noise*.

Proses kerja kalman filter dalam memfilter suatu sinyal inputan dimulai dengan memprediksi nilai *state* dan prediksi kovarian dari waktu *step* k-1 menuju *step* k. Parameter dari persamaan *update* waktu ditunjukkan pada Persamaan 6 sedangkan persamaan kovarian *noise* ditunjukkan pada Persamaan 7.

$$x_k^- = x_{k-1}^- \quad (6)$$

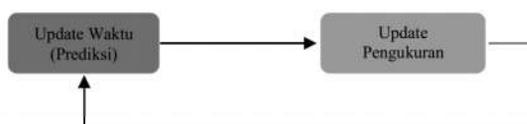
$$P_k^- = P_{k-1} + Q \quad (7)$$

Parameter filter yang digunakan untuk menentukan persamaan *update* pengukuran terdiri dari 3 *step* yaitu menghitung nilai kalman *gain* yang ditunjukkan pada Persamaan 8, mengupdate prediksi dengan pengukuran Z_k menggunakan Persamaan 9 dan mengupdate nilai dari kovarian *error* seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 10.

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (8)$$

$$x_k = x_k^- + K(z_k - Hx_k^-) \quad (9)$$

$$P_k = (1 - K_k H) P_k^- \quad (10)$$



Gambar 6. Siklus Kerja Algoritma Kalman Filter [8]

Untuk menghasilkan filter yang cepat tetapi memiliki kekurangan dalam ketelitian maka kovarian *noise* pada proses (Q) diberikan nilai yang besar sedangkan untuk menghasilkan filter yang baik dan memiliki ketelitian yang tinggi maka kovarian *noise* pada pengukuran (R) diberikan nilai yang besar.

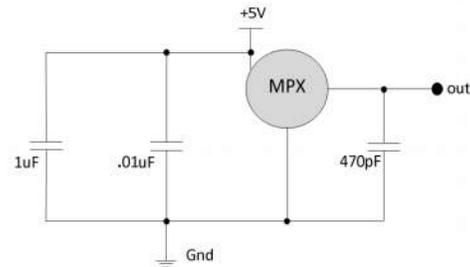
D. Pengujian Sensor Tekanan

Sensor tekanan yang digunakan adalah tipe piezoresistif diferensial MX5100 dengan jangkauan tekanan antara 0 – 100 kPa dan kesalahan maksimum ± 2.5 kPa serta tegangan input 5V. Rangkaian suplai sensor dengan output filter sederhana ini dirancang berdasarkan rekomendasi dari *datasheet* sensor tekanan. Gambar 7 menunjukkan rangkaian suplai sensor tekanan untuk sisi *upstream* dan *downstream*.

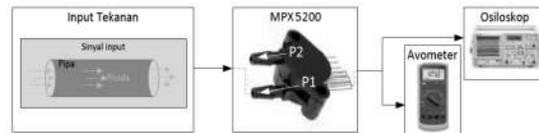
Pengujian pertama dilakukan dengan memberikan sinyal inputan yang berbeda-beda pada sensor tekanan dari sisi P1 (*pressure*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik perubahan tegangan keluaran sensor ketika diberikan inputan tekanan yang berbeda. Berdasarkan informasi *datasheet*, sensor mpx memiliki rangkaian pengkondisian sinyal yang telah terintegrasi didalam sensor tekanan itu sendiri. Hal ini terbukti karena tegangan keluaran sensor menghasilkan nilai 0.2 volt sebelum diberikan input tekanan.

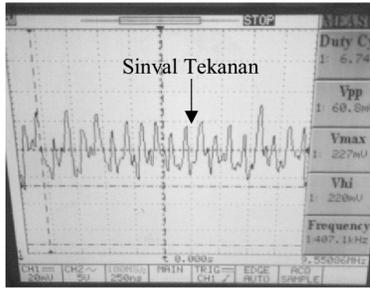
Berdasarkan pengujian awal yang dilakukan dengan osiloskop dapat disimpulkan bahwa sensor tekanan yang digunakan hanya mampu mengeluarkan tegangan $V_{pp} \pm 60.8$ milivolt, hal ini dapat mengakibatkan ADC sulit untuk membaca nilai tegangan dari keluaran sensor tekanan yang terlalu kecil. Hasil sinyal sensor tekanan dalam pembacaan osiloskop dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 7. Rangkaian Suplai Sensor Tekanan *Upstream* dan *Downstream*



Gambar 8. Pengujian Tegangan Keluaran Sensor Tekanan



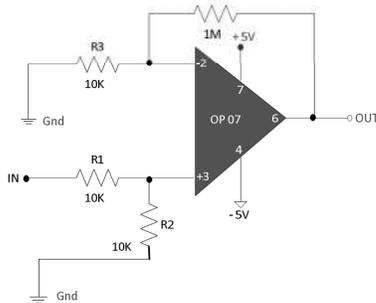
Gambar 9. Pembacaan Output Sensor Tekanan dengan Osiloskop

Maka dari itu pada percobaan berikutnya dirancang sebuah rangkaian pendukung sebagai penguat tegangan yaitu non-inverting amplifier untuk kedua sensor tekanan *upstream* dan *downstream*. Gambar 10 menunjukkan rangkaian amplifier untuk kedua sensor tekanan.

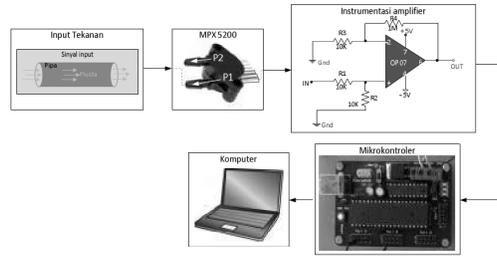
Pin 1 sebagai output dari sensor tekanan dihubungkan dengan pin 3 pada rangkaian instrumentasi amplifier sehingga berdasarkan Gambar 10 output dari sensor tekanan menjadi inputan bagi rangkaian instrumentasi amplifier kemudian output dari rangkaian instrumentasi amplifier pada pin 6 dihubungkan langsung ke port A.1 ADC mikrokontroler.

Pengujian pada tahap kedua dilakukan dengan cara menghubungkan output sensor ke ADC untuk dapat diproses langsung oleh mikrokontroler sehingga menghasilkan data digital berdasarkan hasil konversi dari sinyal analog sensor yang dihasilkan dan dapat ditampilkan kedalam bentuk grafik menggunakan bantuan visualisasi komputer. Diagram blok dari pengujian sensor tekanan ini dapat dilihat pada Gambar 11.

Pada tahap pengujian ini sensor tekanan diaplikasikan secara langsung ke dalam pipa pengujian yang telah dialirkan fluida. Untuk mengalirkan fluida ke dalam pipa percobaan dilakukan dengan bantuan pompa air. Kemudian kedua sensor tekanan melakukan perekaman setiap perubahan tekanan yang terjadi di dalam pipa pengujian.



Gambar 10. Rangkaian Amplifier untuk Sensor Tekanan



Gambar 11. Diagram Blok Pengujian Sensor Tekanan

III. HASIL DAN ANALISA

Pada bab hasil dan analisa ini dijabarkan beberapa hasil pengujian dan analisa dari sistem simulasi yang telah dilakukan. Adapun fungsi dari pembahasan ini adalah mengetahui kinerja dari bagian masing-masing sistem dan sistem secara keseluruhan untuk menganalisa data yang diperoleh. Berikut tahapan-tahapan dalam pengujian dan analisa hasil penelitian.

A. Hasil Pengujian Sensor Tekanan *Upstream*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh bahwa sensor tekanan *upstream* memiliki tegangan kerja antara 0.21 V sampai dengan 0.25 V. Untuk mengetahui output tegangan yang dihasilkan oleh sensor tekanan terhadap perubahan nilai ADC₁ pada port A.3 dapat diperoleh dengan Persamaan 11.

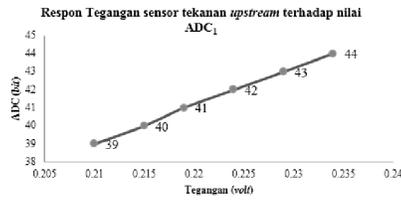
$$V_{tu} = \frac{adc_{tu} \times v_s}{adc_{max}} \quad (11)$$

dimana, V_{tu} untuk tegangan pada sensor tekanan *upstream*, adc_{tu} adalah nilai ADC yang dihasilkan dari setiap perubahan sensor *upstream*, v_s adalah tegangan input ADC dan adc_{max} adalah nilai referensi ADC pada 10 bit.

Untuk mengetahui kinerja sensor tekanan *upstream* dilakukan pengukuran terhadap perubahan tekanan yang diterima sensor dengan nilai ADC yang dihasilkannya. Tabel 1 menunjukkan data hasil pengukuran sensor tekanan *upstream* terhadap nilai ADC₁. Berdasarkan data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa perubahan nilai ADC₁ berbanding lurus terhadap tegangan output sensor tekanan. Naiknya perubahan ADC₁ mengakibatkan tegangan sensor ikut naik. Gambar 12 merupakan respon output sensor tekanan *upstream* terhadap nilai ADC₁.

TABEL 1. DATA PENGUKURAN SENSOR TEKanan UPSTREAM TERHADAP NILAI ADC₁

Nilai ADC ₁	Output sensor tekanan <i>upstream</i> (volt)
39	0.21
40	0.215
41	0.219
42	0.224
43	0.229
44	0.234



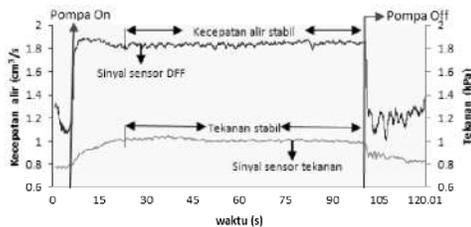
Gambar 12. Respon Output Sensor Tekanan *Upstream* terhadap Nilai ADC₁

Tabel 2 menunjukkan data hasil pengujian sensor tekanan bagian *upstream* terhadap kecepatan aliran dalam pipa. Berdasarkan data hasil pengujian yang telah dilakukan, pada kondisi aliran air normal maka kecepatan aliran dan fluktuasi tekanan dalam keadaan stabil. Grafik respon sinyal tekanan dan kecepatan aliran terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 13.

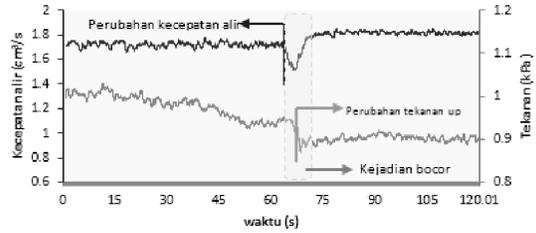
Sedangkan ketika aliran fluida dalam kondisi mengalami kebocoran maka kecepatan aliran menurun secara mendadak dan sesaat kemudian kembali lagi dalam keadaan normal dan untuk sinyal tekanan tetap menurun selama kebocoran terjadi. Gambar 14 menunjukkan respon sinyal tekanan dan kecepatan aliran pada kondisi bocor pertama.

TABEL 2. DATA PENGUJIAN SENSOR TEKANAN *UPSTREAM* TERHADAP KECEPATAN ALIR

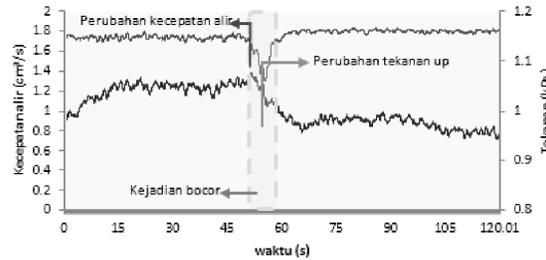
Kecepatan alir (L/s)	Tekanan (volt)	Kecepatan alir (L/s)	Tekanan (volt)	Kecepatan alir (L/s)	Tekanan (volt)
0.241	0.427	1.764	0.862	1.669	0.862
0.349	0.427	1.746	0.427	1.679	0.862
0.376	0.645	1.746	0.427	1.679	0.862
0.323	0.645	1.625	0.645	1.577	1.296
0.323	0.645	1.746	1.079	1.552	0.645
1.084	0.427	1.746	1.079	1.552	0.645
1.552	0.427	1.7	0.862	1.709	0.645
1.552	0.427	1.7	0.862	1.709	0.645
1.613	0.427	1.679	0.645	1.719	1.296
1.755	0.645	1.636	1.079	dst	Dst
1.755	0.645	1.755	1.296	dst	Dst
1.795	0.427	1.709	0.862	dst	Dst
1.7	0.427	1.709	0.862	1.647	1.514
1.764	0.862	1.669	0.862	1.525	1.296



Gambar 13. Respon Tekanan *Upstream* dan Kecepatan Alir pada Kondisi Normal



Gambar 14. Respon Tekanan *Upstream* dan Kecepatan Alir pada saat Kondisi Bocor pertama



Gambar 15. Respon Tekanan *Upstream* dan Kecepatan Alir pada Kondisi Bocor kedua

Hasil pengujian pada titik bocor kedua dapat dilihat pada Gambar 15 dimana pola grafik kecepatan aliran dan sinyal tekanan memiliki kesamaan dengan bocor pertama. Berdasarkan hasil percobaan tekanan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengukuran tekanan sensor *upstream* pada kondisi tidak bocor dalam jangka waktu tertentu memperoleh nilai rata-rata tekanan sebesar 1.214 kPa dengan kecepatan alir 1.692 L/s.

B. Hasil Pengujian Sensor Tekanan *Downstream*

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dapat dinyatakan bahwa sensor tekanan *downstream* memiliki tegangan kerja menyerupai sensor tekanan *upstream* yaitu antara 0.22 V sampai dengan 0.26 V. Sama halnya dengan sensor tekanan *upstream*, untuk mengetahui output tegangan yang dihasilkan oleh sensor tekanan terhadap perubahan nilai ADC₂ pada port A.4 dapat diperoleh dengan Persamaan 12.

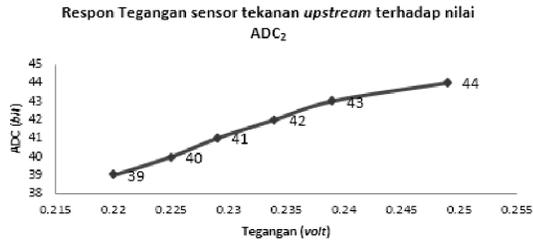
$$V_{td} = \frac{adc_{td} \times v_s}{adc_{max}} \quad (12)$$

dimana, V_{td} untuk tegangan pada sensor tekanan *downstream*, adc_{td} adalah nilai ADC₂ yang dihasilkan dari setiap perubahan sensor *downstream*, v_s adalah tegangan input ADC dan adc_{max} adalah nilai referensi ADC untuk 10 bit.

Tabel 3 merupakan data pengujian sensor tekanan bagian *downstream* terhadap nilai ADC₂. Berdasarkan data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa perubahan nilai ADC₂ berbanding lurus terhadap tegangan output sensor tekanan

TABEL 3. DATA PENGUJIAN SENSOR TEKANAN *DOWNSTREAM* TERHADAP NILAI ADC₂

Nilai ADC ₂	Output sensor tekanan <i>upstream</i> (volt)
39	0.22
40	0.225
41	0.229
42	0.234
43	0.239
44	0.249



Gambar 16. Output Sensor Tekanan *Downstream* terhadap Nilai ADC₂

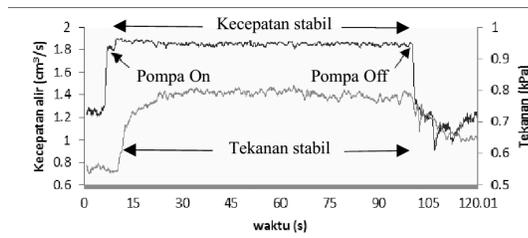
bagian *downstream*. Kenaikan pada nilai ADC₂ mengakibatkan tegangan sensor bagian *downstream* ikut naik. Respon output sensor tekanan bagian *downstream* terhadap nilai ADC₂ dapat dilihat pada Gambar 16.

Berdasarkan hasil pengujian nilai tekanan sensor kedua terhadap aliran fluida dalam pipa, prosedur pengukuran tekanan sensor bagian *downstream* juga dilakukan pada kondisi tidak bocor dalam jangka waktu tertentu dan memperoleh nilai rata-rata tekanan lebih besar dari tekanan pertama yaitu sebesar 1.294 kPa dengan kecepatan alir yang sama 1.692 L/s.

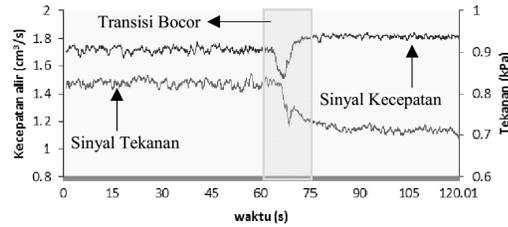
Tabel 4 merupakan data hasil pengujian sensor tekanan *downstream* terhadap kecepatan alir. Sedangkan Gambar 17 menunjukkan grafik respon tekanan *downstream* dan kecepatan terhadap waktu.

TABEL 4. DATA PENGUJIAN SENSOR TEKANAN *DOWNSTREAM* TERHADAP KECEPATAN ALIR

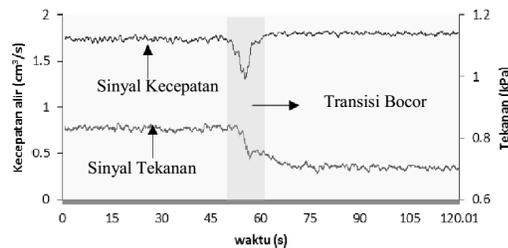
Kecepatan alir (L/s)	Tekanan (kPa)	Kecepatan alir (L/s)	Tekanan (kPa)	Kecepatan alir (L/s)	Tekanan (kPa)
1.772	1.306	1.658	1.523	1.69	1.089
1.669	1.089	1.658	1.523	1.613	1.306
1.746	1.306	1.746	1.089	1.613	1.306
1.589	1.089	1.746	1.089	1.589	1.306
1.7	1.306	1.613	1.306	1.709	1.306
1.848	1.089	1.613	1.306	1.709	1.306
1.848	1.089	1.658	1.306	1.746	1.523
1.719	1.306	1.7	1.306	dst	Dst
1.719	1.306	1.625	1.523	dst	Dst
1.709	1.523	1.625	1.523	dst	Dst
1.709	1.523	1.709	1.306	1.719	1.306
1.709	1.306	1.709	1.306	1.719	1.306



Gambar 17. Tekanan *Downstream* dan Kecepatan Alir Kondisi Normal



Gambar 18. Tekanan *Downstream* dan Kecepatan Alir Pada Kondisi Bocor 1



Gambar 19. Tekanan *Downstream* dan Kecepatan Alir pada Kondisi Bocor 2

Hasil pengujian sensor tekanan *downstream* terhadap titik bocor pertama dan kedua memiliki kemiripan pola sinyal terhadap hasil sinyal sensor tekanan *upstream* dimana ketika kondisi pipa bocor tekanan dan kecepatan alir didalam pipa dapat menurun secara cepat dan tiba-tiba.

Untuk mengetahui bagaimana respon sinyal tekanan dan kecepatan alir pada kedua titik kebocoran dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini. Respon sensor tekanan *downstream* dan kecepatan alir pada titik kebocoran pertama dapat dilihat pada Gambar 18 dan pada kebocoran kedua dapat dilihat pada Gambar 19.

C. Pengujian Sensor Tekanan terhadap Pipa Percobaan

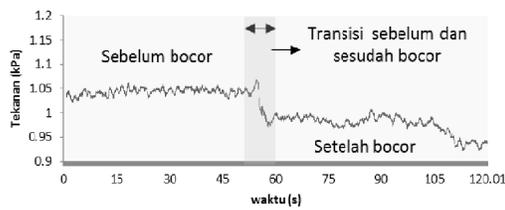
Pengujian sensor tekanan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi tekanan aliran dalam pipa pada kondisi bocor dan tidak bocor. Pengujian dilakukan secara bersamaan antara sensor tekanan *upstream* dan *downstream*. Ketika pipa tidak mengalami kebocoran maka kedua sensor tekanan

menghasilkan sinyal tekanan yang stabil tanpa ada perubahan yang signifikan. Ketika bocor maka terjadi perubahan yang besar baik kecepatan aliran maupun tekanan dalam pipa. Prosedur pengujian pada tahap ini antara lain, membuka stop kran kebocoran yang telah dipasang dan mendapatkan respon sensor tekanan *upstream* dan *downstream* terhadap kebocoran.

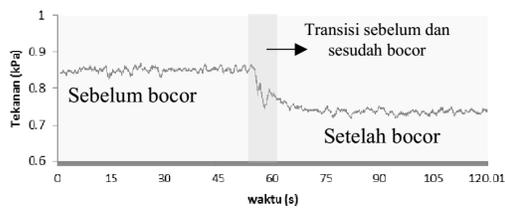
Dari data hasil percobaan menunjukkan bahwa ketika kondisi pipa bocor terjadi perubahan baik kecepatan alir maupun tekanan secara jelas. Titik bocor 1 dan 2 dari hasil percobaan yang dilakukan menghasilkan pola grafik yang serupa antara sensor tekanan *upstream* dan *downstream*. Data hasil pengujian kedua sensor tekanan pada kondisi bocor dan tidak bocor dapat dilihat pada Tabel 5. Untuk mengetahui bentuk sinyal grafik sensor tekanan pada kondisi bocor dan tidak bocor dapat dilihat pada Gambar 20.

TABEL 5. DATA SENSOR TEKANAN *UPSTREAM* DAN *DOWNSTREAM* PADA KONDISI TIDAK BOCOR DAN BOCOR

Tekanan <i>upstream</i> (kPa)	Waktu (s)	Tekanan <i>downstream</i> (kPa)	Waktu (s)
1.731	0.1	1.741	0.1
1.731	0.2	1.741	0.2
1.731	0.3	1.741	0.3
1.514	0.4	1.741	0.4
1.514	0.5	1.741	0.5
1.514	0.6	1.741	0.6
1.731	0.7	1.958	0.7
1.731	0.8	1.958	0.8
<i>Dst</i>	<i>Dst</i>	<i>Dst</i>	<i>Dst</i>
<i>Dst</i>	<i>Dst</i>	<i>Dst</i>	<i>Dst</i>
<i>Dst</i>	<i>Dst</i>	<i>Dst</i>	<i>Dst</i>
1.296	82.7	1.523	82.7
1.296	82.8	1.306	82.8



(a)



(b)

Gambar 20. (a) Sinyal Sensor Tekanan *Upstream*, (b) Sinyal Sensor Tekanan *Downstream* ketika Tidak Bocor dan Bocor

D. Ekstraksi Sinyal Deteksi Kebocoran

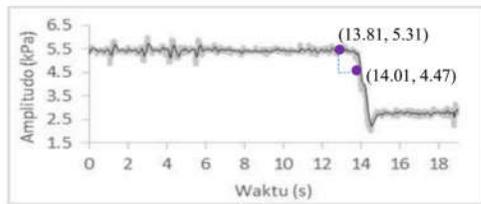
Parameter-parameter yang dihasilkan dalam ekstraksi sinyal sensor tekanan terhadap kebocoran terdiri dari beberapa tahapan antara lain, menentukan nilai *threshold* berdasarkan sinyal sensor yang telah terfilter, menentukan titik koordinat sinyal, menentukan *gradient* dari titik koordinat.

Threshold ditentukan berdasarkan perubahan sinyal dari tidak bocor menjadi bocor. Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai *threshold* untuk mendeteksi perubahan yang signifikan sebesar 0.8 untuk sinyal tekanan *upstream* dan 0.3 untuk sinyal tekanan *downstream*. Berdasarkan nilai *threshold* ini sistem dapat mengetahui ketika sinyal mengalami kejadian abnormal dan sistem dapat langsung merespon dengan memproses ke tahap berikutnya

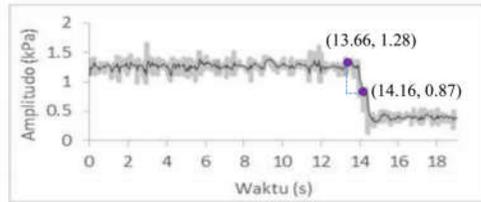
Tahap selanjutnya adalah menentukan titik koordinat dari kedua sinyal sensor tekanan untuk mengetahui karakteristik *gradient* dari sinyal kebocoran. Langkah pertama yang dilakukan sistem adalah menentukan titik x_1 , y_1 dan x_2 , y_2 dari sinyal sensor. Dengan diketahuinya 2 titik koordinat x_1 , x_2 dan y_1 , y_2 maka sistem dapat menentukan *gradient* dari masing-masing koordinat terhadap kedua sinyal sensor tekanan. Hasil *gradient* ini kemudian dianalisis untuk melihat perbedaan kebocoran antara kebocoran besar atau kebocoran kecil. Tabel 6 merupakan hasil *gradient* dari kejadian kebocoran. Sedangkan untuk menjelaskan bentuk sinyal yang dihasilkan dalam proses menentukan sinyal kebocoran besar dapat dilihat pada Gambar 21 dan untuk kebocoran kecil ditunjukkan pada Gambar 22.

TABEL 6. PERBEDAAN NILAI GRADIENT DARI SINYAL KEBOCORAN

Titik Bocor	Ukuran Bocor	Uji Ke-	Gradient		Gradient	
			P1	Rerata	P2	Rerata
100 cm	Besar	1	-0.045		-0.0084	
		2	-0.045	-0.04367	-0.0102	-0.00897
		3	-0.041		-0.0083	
	Kecil	1	-0.051		-0.008	
		2	-0.0506	-0.05253	-0.0084	-0.00817
		3	-0.056		-0.0081	
200 cm	Besar	1	-0.042	-0.0425	-0.0083	-0.00813
		2	-0.0407		-0.008	
		3	-0.045		-0.0081	
	Kecil	1	-0.042	-0.04467	-0.0083	-0.0084
		2	-0.043		-0.0085	
		3	-0.049		-0.0084	
350 cm	Besar	1	-0.041	-0.04207	-0.009	-0.00853
		2	-0.0412		-0.0084	
		3	-0.044		-0.0082	
	Kecil	1	-0.05	-0.04667	-0.0092	-0.00913
		2	-0.04		-0.0092	
		3	-0.05		-0.009	
500 cm	Besar	1	-0.046	-0.04633	-0.0094	-0.00937
		2	-0.043		-0.009	
		3	-0.05		-0.0097	
	Kecil	1	-0.042	-0.042	-0.0095	-0.00887
		2	-0.042		-0.009	
		3	-0.042		-0.0081	
600 cm	Besar	1	-0.041	-0.045	-0.0107	-0.00967
		2	-0.049		-0.0086	
		3	-0.045		-0.0097	
	Kecil	1	-0.051	-0.04633	-0.0104	-0.00993
		2	-0.046		-0.0105	
		3	-0.042		-0.0089	

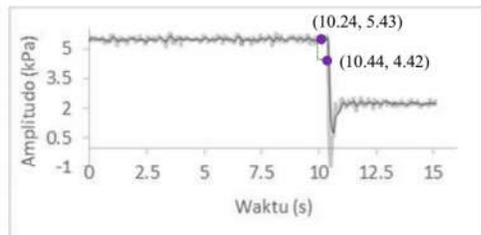


(a)

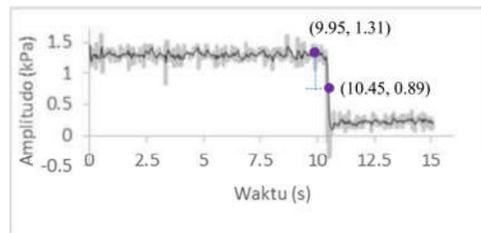


(b)

Gambar 21. Titik Koordinat untuk Menentukan Gradien Kebocoran saat Kran dibuka Besar, Gradien kebocoran sinyal upstream adalah -0.042 (a); Gradien kebocoran sinyal downstream adalah -0.0082 (b)



(a)



(b)

Gambar 22. Titik Koordinat untuk Menentukan Gradien Kebocoran saat Kran dibuka Kecil, Gradien kebocoran sinyal upstream adalah -0.05 (a); Gradien kebocoran sinyal downstream adalah -0.0084 (b)

Berdasarkan data hasil percobaan yang telah dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa ketika stop kran kebocoran dibuka besar atau kecil, *gradient* dari sinyal kebocoran memiliki nilai yang berbeda

berdasarkan titik koordinat yang terdeteksi oleh sistem. Rerata gradient pada sinyal tekanan upstream ketika bocor besar lebih kecil dibandingkan dengan rerata gradient ketika bocor kecil dan untuk sinyal tekanan downstream rerata gradient ketika bocor besar lebih besar dibandingkan bocor kecil. Dari 5 titik kebocoran yang diuji, terlihat pada Tabel 6 titik bocor ke 4 dengan jarak 500 cm memiliki nilai yang relatif berbeda dengan titik bocor lainnya. Hal ini terjadi karena kesalahan dalam pembacaan sensor tekanan pada saat pengujian. Akan tetapi sistem deteksi kebocoran dengan perbandingan gradient masih bisa difungsikan untuk membedakan kebocoran besar maupun kebocoran kecil.

IV. KESIMPULAN

Deteksi kebocoran pada pipa Linier dapat diprediksi dengan menggunakan dua buah sensor tekanan yang diaplikasikan pada bagian *upstream* dan *downstream* pipa. Kedua sensor mampu mendeteksi perubahan tekanan dengan jelas ketika adanya kebocoran dari setiap titik uji kebocoran serta berhasil membedakan kebocoran besar maupun kecil berdasarkan analisis gradient. Bocor besar menghasilkan nilai gradient lebih kecil dibandingkan dengan bocor kecil.

REFERENSI

- [1] Exaudi Kemahyanto, Rivai Muhammad, dan Purwanto Djoko, "Implementasi Sensor Drag Force Flow Dan Tekanan Untuk Memprediksi Posisi Kebocoran Pipa Dengan Metode Negative Pressure Wave", *Prosiding Semnastika* ISBN:978-9-790-28728-0, hal. 217-228, April 2015.
- [2] Weiguo Lin and Xin Zhang, "A Novel Approach for Dynamic Pressure Transducer Based Pipeline Leak Detection", *IEEE Intelligent Control and Automation*, China, 2006.
- [3] Santoso Budi, Indarto, Deendarlianto, Widodo Thomas S., "Deteksi Kebocoran Pipa Pada Aliran Dua Fase Plug Menggunakan Analisis Fluktuasi Beda Tekanan". *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, Vol.6, No.1, 2013.
- [4] Jing Wen, Yumei Wen and Ping Li, "Time Delay Estimation Method for Leak Location of Buried Water Distribution Pipes", *World Congress on Intelligent Control and Automation*, hal. 3053, 2008.
- [5] Chun hua Tian, Lun chi Yan, Jin Huang, Yu Wang, Dong-Sup Kim, Tongnyoul Yi, "Negative Pressure Wave based Pipeline Leak Detection: Challenges and Algorithms", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, hal. 372-376, 2012.
- [6] Fraden Jacob, "Handbook of Modern Sensors – Physics, Design, and Applications", Fourth Edition, New York : Springer, hal. 355-356, 423-424, 2010.
- [7] Freescale Semiconductor, "Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated", *MPX5100 datasheet*, Rev March 2004.
- [8] Welch Greg dan Bishop Gary, "An Introduction to The Kalman Filter", *Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill*, NC 27599-3175, 2006.