

Analisis Hasil Studi Kasus Kalibrasi *Pressure Transmitter* dengan Metode *Zero Calibration*

Laila Aida Fatimah¹, Rahmat Hidayat²

^{1,2} Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang; email: ¹2010631160070@student.unsika.ac.id

[Dikirimkan: 11 Januari 2024, Direvisi: 17 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]
Corresponding Author: Laila Aida Fatimah

INTISARI — Dewasa ini, dunia industri terus berkembang secara pesat, dan peran instrumentasi menjadi sangat krusial dalam menjaga efisiensi dan juga kendali operasi. Teknologi instrumentasi industri, seperti *pressure transmitter*, menjadi penting digunakan di berbagai sektor industri untuk mengukur tekanan *liquid* atau *fluida*. Namun, alat ukur memerlukan upaya kalibrasi secara berkala sebagai bentuk pemeliharaan ataupun saat instrumentasi tersebut tidak mampu membaca secara akurat pada kondisi tertentu. Ketidakakuratan pembacaan menyebabkan dampak yang signifikan pada suatu proses. Sebagai upaya bentuk perbaikan. Metode *zero calibration* menjadi salah satu teknik penting dalam memastikan alat dapat membaca nilai nol yang tepat saat tidak adanya input atau masukan. Sehingga mampu meningkatkan akurasi pengukuran secara keseluruhan. Studi kasus ini dilakukan di salah satu industri, industri ini menggunakan *pressure transmitter* untuk mengukur tekanan buburan kertas sebesar maksimal 6 bar pada proses sebelum dan setelah *refining*. *Refining* adalah sebuah proses mekanis yang melibatkan penggunaan mesin *refiner* untuk menggiling bubuk serat atau *pulp* guna menghasilkan serat yang lebih halus dan optimal dalam pembuatan kertas. Sehingga, penting menjaga hasil pengukuran *pressure transmitter* tetap akurat dengan kalibrasi sehingga tidak mengganggu berjalannya proses dan menghasilkan efisiensi operasional untuk menjaga kualitas produk. Sebelum dilakukan kalibrasi menggunakan metode *zero calibration*, *pressure transmitter* menunjukkan kesalahan rata-rata 2,702%, setelah melakukan kalibrasi dengan metode *zero calibration*, nilai rata-rata error turun mencapai 0,148%. Hal ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam akurasi pengukuran. Sehingga disimpulkan bahwa *pressure transmitter* tersebut masih layak digunakan pada proses *refining* di Industri tersebut.

KATA KUNCI — *Pressure Transmitter*, Kalibrasi, *Zero Calibration Method*, Pengujian, Nilai Error Toleransi, Uji Linearitas.

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri yang semakin berkembang, peran suatu instrumentasi menjadi krusial dalam memastikan operasi yang efisien dan juga terkendali. Untuk menjaga produksi berjalan dengan lancar, diperlukan suatu perangkat penting instrumentasi industri baik dari segi pengendalian ataupun pengukuran. Salah satu instrumentasi industri untuk pengukuran adalah *pressure transmitter*. *Pressure transmitter* merupakan alat yang digunakan di Industri untuk mengukur parameter proses berupa tekanan *fluida gas* ataupun *liquid* [1].

Keakuratan hasil pengukuran instrumentasi alat ukur sangatlah penting. Begitu juga dengan hasil pengukuran tekanan yang dilakukan menggunakan *pressure transmitter*. Sehingga dalam hal ini, sangat penting untuk melakukan kalibrasi secara berkala, yaitu minimal 1 kali dalam setahun atau maksimalnya adalah 2 tahun sekali. Kalibrasi juga harus segera dilakukan jika *pressure transmitter* menunjukkan pengukuran yang sudah tidak akurat [1]. Adapun kalibrasi merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk menentukan kebenaran dari nilai alat ukur dengan bahan ukur oleh alat ukur tersebut, dengan cara membandingkan keduanya menggunakan standar ukur nasional ataupun internasional [2]-[3], [17]. Menurut standar *International Standards on Auditing* (ISA), melalui ISA-50.00.01-1975 (R2012) dikatakan untuk melakukan proses kalibrasi dengan arus listrik sebesar 4-20mA. Dientangkan sesuai dengan standar instrumentasi menjadi 4mA, 8mA, 12mA, 16mA, dan 20mA [4], [18].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan kalibrasi adalah metode *zero calibration*. *Zero calibration* atau *zero adjustment* merupakan teknik yang digunakan untuk memastikan alat ukur dapat membaca nilai nol yang tepat saat tidak adanya input atau masukan yang diberikan [4]. Untuk melakukan pengukuran dibutuhkan alat bantu yang disebut sebagai *hart communicator*. *Hart communicator* merupakan alat pengendali *transducer* secara remote. Alat ini menggunakan sinyal analog 4-20mA untuk mentransmisikan hasil pengukuran pada transmitter [2].

Berdasarkan hal-hal tersebut, jurnal ini berjudul “Analisis Hasil Studi Kasus Kalibrasi *Pressure Transmitter* dengan Menggunakan *Zero Calibration*”. Adapun penelitian ini memiliki tujuan untuk memberikan analisis mendalam terkait efektivitas metode *zero calibration* pada proses kalibrasi *pressure transmitter*. Studi kasus dilakukan di salah satu Industri perusahaan. Perusahaan tersebut menggunakan *pressure transmitter* pada salah satu prosesnya yaitu proses *refining*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PRESSURE TRANSMITTER

Transmitter merupakan alat instrumentasi yang mempunyai sebuah peran untuk mengubah perubahan atau informasi dari sensor menjadi sinyal yang dapat dibaca atau diinterpretasikan oleh alat pengendali (*controller*), pencatat (*recorder*), atau indikator lainnya [5]. *Transmitter* beroperasi dengan cara mengubah suatu dari perubahan sensor menjadi sinyal listrik baik melalui sistem transmisi pneumatik (menggunakan udara yang memiliki tekanan) dengan ukuran tekanannya sekitar 3-15 psi atau dengan sistem transmisi elektronik (yaitu menggunakan sinyal listrik) dengan rentang 4-20mA atau juga 1-5 VDC [5]. Sebagai

bagian dari suatu sistem pengendalian proses, *transmitter* dilengkapi juga dengan indikator, seperti layar LCD atau lampu indikator, sebagai tempat pengecekan manual di lapangan sebelum mengirimkan sinyal ke ruang kontrol [6].

Sedangkan *pressure transmitter* merupakan suatu alat yang digunakan pada dunia industri untuk mengukur tekanan pada fluida, baik gas ataupun cairan. Fungsinya adalah mendeteksi adanya tekanan statis dari fluida, kemudian *pressure transmitter* akan mengonversikannya menjadi sinyal listrik dalam rentang 4-20mA atau 1-5 VDC yang dapat dengan mudah kemudian untuk ditransmisikan ke sistem kontrol atau komputer untuk pengelolaan data. *Pressure transmitter* dapat digunakan sebagai pengukuran tekanan pada tangki, penggunaan sebagai sensor tekanan udara pada kompresor, dengan spesifikasi output dan juga kapasitas kerja yang sesuai dengan kebutuhan industri, baik dari rentang output dan batasan tekanan kerja yang sudah diatur oleh industri tersebut [1], [6]-[7]

B. ZERO CALIBRATION

Kalibrasi merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menentukan kebenaran dari nilai alat ukur dengan bahan ukur oleh alat ukur tersebut, dengan cara membandingkan keduanya menggunakan standar ukur nasional ataupun internasional [19]. Menurut standar ISA, melalui ISA-50.00.01-1975 (R2012) dikatakan untuk melakukan proses kalibrasi dengan arus listrik sebesar 4-20mA. Dientangkan sesuai dengan standar instrumentasi menjadi 4mA, 8mA, 12mA, 16mA, dan 20mA [4]. Kalibrasi sangat penting untuk dilakukan agar alat ukur melakukan pengukuran sesuai dengan standar yang telah ditentukan, sehingga alat tersebut dapat mengukur dengan akurat dan konsisten. Jika terdapat perbedaan antara hasil pengukuran alat dengan standar yang sudah ditetapkan, maka perlu adanya penyesuaian pengaturan ulang pada alat ukur untuk memastikan akurasi dan konsistensi hasil pengukuran [2]-[3], [8].

Salah satu metode kalibrasi yang biasanya ditemukan praktiknya di industri adalah metode *zero calibration*. *Zero calibration* merupakan metode untuk memastikan alat ukur dapat membaca nilai nol tepat saat tidak adanya input atau masukan yang diberikan. Tujuan dari melakukan kalibrasi dengan metode *zero calibration* adalah untuk memastikan keakuratan pembacaan alat ukur untuk pengukuran selanjutnya dengan memastikan alat ataupun sensor memiliki titik nol yang tepat dan dapat dipercaya. Proses ini juga membantu menghindari kesalahan pembacaan yang mungkin dapat terjadi karena adanya pengaruh lingkungan atau kondisi awal yang tidak tepat. *Zero calibration* biasanya juga disebut sebagai *zero adjustment* [4], [9]-[10].

C. RANGE, SPAN, LRV, URV DAN RUMUS PERSENTASE KESALAHAN (ERROR)

Dalam melakukan kalibrasi, ada beberapa istilah yang harus dipahami untuk dapat mengkalibrasi suatu instrumen. Adapun beberapa istilah itu adalah :

- *Range* merupakan skala nilai yang diukur, dimulai dari nilai yang paling rendah dari parameter yang akan diukur sampai nilai tertinggi dari nilai parameter yang sama [2].
- *Span* merupakan perbedaan selisih antara nilai paling rendah dan juga nilai paling tinggi [2].
- LRV (*Low Range Value*) adalah sebutan dari nilai paling rendah pada parameter pengukuran, biasanya pada *transmitter* menunjukkan tanda level 0% atau 4mA [6].
- URV (*Upper Range Value*) merupakan nilai tertinggi pada parameter pengukuran, pada *transmitter* biasanya menunjukkan tanda level 100% atau 20mA [6].

Setelah mengetahui beberapa istilah pada kalibrasi, kemudian hal yang perlu diketahui selanjutnya adalah mengetahui rumus persentase kesalahan (error), fungsinya adalah membantu menentukan keberhasilan kalibrasi terhadap alat ukur dengan memastikan bahwa alat ukur dapat kembali mengukur sesuai dengan standar toleransi yang telah ditetapkan, adapun rumusnya adalah [2]:

Jika menggunakan arus yang terbaca :

$$error (\%) = \left(\frac{Arus\ terbaca - Arus\ standar\ teori}{Arus\ standar\ maksimal - Arus\ standar\ minimal} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Jika menggunakan nilai *valuonya* :

$$error (\%) = \left(\frac{Value\ terbaca - Value\ standar\ teori}{Value\ maksimal - Value\ standar\ minimal} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Jika menggunakan nilai *range%* nya :

$$error (\%) = \left(\frac{Range\%\ terbaca - Range\% standar\ teori}{Range\% maksimal - Range\% standar\ minimal} \right) \times 100\% \quad (3)$$

D. PENGUJIAN LINEARITAS

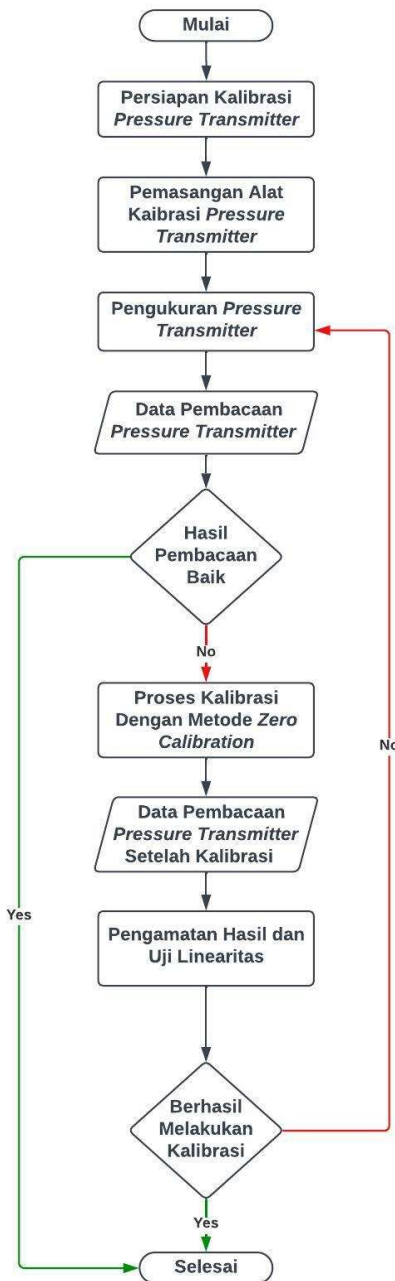
Pengujian linearitas merupakan pengujian yang memiliki tujuan untuk memastikan bahwa model atau distribusi suatu data yang digunakan pada penelitian memiliki hubungan linear yang signifikan. Hasil dari pengujian tersebut akan menjadi penentu apakah analisis korelasi atau regresi linear dapat diterapkan dengan tepat, serta dapat menentukan teknik analisis yang sesuai dengan data penelitian [11], [12]-[13]. Jika hubungan antara variabel bersifat linear, maka data penelitian dapat diandalkan untuk digunakan sebagai metode analisis, terutama pada evaluasi seberapa baik kurva kalibrasi yang menghubungkan antara respons (Y) dengan variabel konsentrasi (X) [2].

E. PROSES REFINING

Suatu proses penggilingan kembali bubur serat kertas sehingga menghasilkan buburan serat kertas yang lebih halus disebut sebagai proses *refining* [14]. Selama prosesnya, *refining* memberikan aksi mekanik terhadap serat buburan agar menghasilkan serat buburan yang optimal sesuai dengan yang diinginkan. Tujuannya adalah untuk memperbaiki serat ikatan agar kualitas kertas dapat lebih kuat [15]. Proses *refining* dilakukan dengan menggunakan alat yang bernama *refine*. Alat ini sangat mempengaruhi kualitas kertas dan juga kelancaran mesin proses pembuatan kertas tahap selanjutnya [16], [20].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara studi kasus, yang dalam hal ini baik proses dan pengambilan data dilakukan di laboratorium *repair* salah satu industri di Indonesia. Adapun *pressure transmitter* yang dijadikan penelitian merupakan *pressure transmitter* bagian dari alat ukur pada proses *refining*. *Pressure transmitter* bertugas sebagai pengukur tekanan buburan yang masuk sebelum proses *refining* dan setelah proses *refining*. Sehingga sangat penting untuk menjaga akurasi pengukuran agar proses dapat berjalan dengan baik. Adapun untuk alur studi kasus kalibrasi *pressure transmitter* adalah:



Gambar 1. Blok Diagram Alur Studi Kasus Proses Kalibrasi Pressure Transmitter

Pada persiapan kalibrasi, hal yang harus diketahui adalah rentang nilai pengukuran objek yang seharusnya diukur oleh *pressure transmitter* pada suatu proses. Dengan menentukan dua hal, yaitu nilai LRV dan URV. Pada kasus proses *refining* untuk mengukur tekanan bubuk kertas. Rentang *value* pengukuran yang ditetapkan adalah dari 0 bar (0% atau 4mA) sebagai LRV (*Low Range Value*) sampai 6 bar (100% atau 20mA) sebagai URV (*Upper Range Value*). Nilai rentang pengukuran LRV dan URV bisa bervariasi sesuai dengan kebutuhan proses industri, untuk nilai rentang yang ditetapkan pada kasus ini disesuaikan dengan yang digunakan pada proses *refining* di industri tempat studi kasus ini berlangsung. Sehingga berikut ini adalah tabel rentang pengukuran sebagai standar akurasi pengukuran *pressure transmitter* pada proses *refining*:

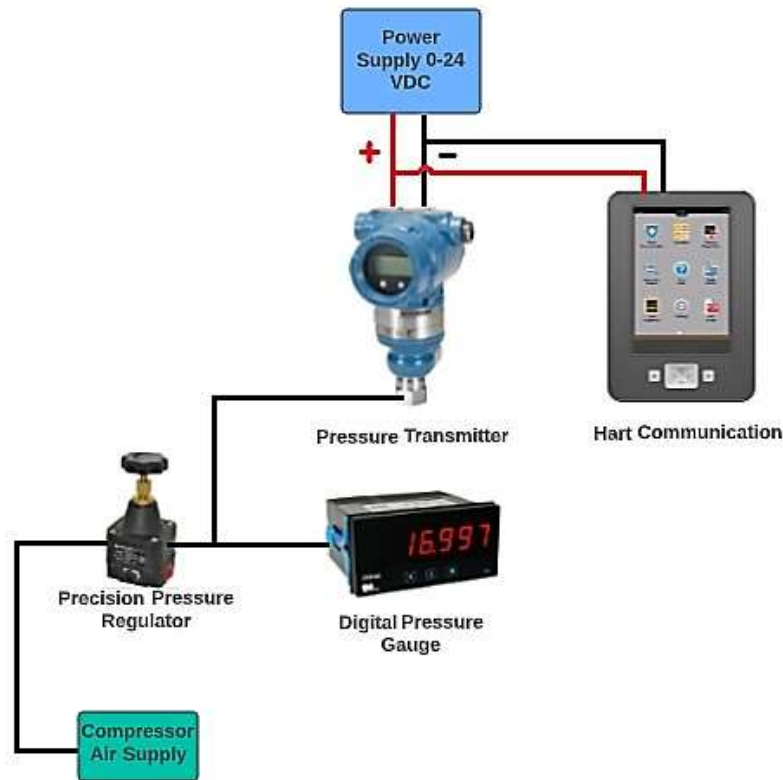
TABEL 1
RENTANG NILAI PENGUKURAN TEKANAN BUBURAN KERTAS PADA PROSES REFINING SEBAGAI STANDAR TEORI AKURASI PENGUKURAN PRESSURE TRANSMITTER

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)		
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)
0	0	0	0	4
25	1.5	25	1.5	8
50	3	50	3	12
75	4.5	75	4.5	16
100	6	100	6	20

Setelah mengetahui rentang pengukuran atau *range* pengukuran yang menjadi standar pengukur, hal selanjutnya yang perlu disiapkan adalah bahan alat yang digunakan untuk proses kalibrasi, adapun komponen atau alat yang digunakan adalah :

- *Pressure Transmitter*
- *Hart Communicator*
- *Digital Pressure Gauge*
- *Compressor Air Supply*
- *Precision Pressure Regulator*
- *Power Supply 0-24VDC*

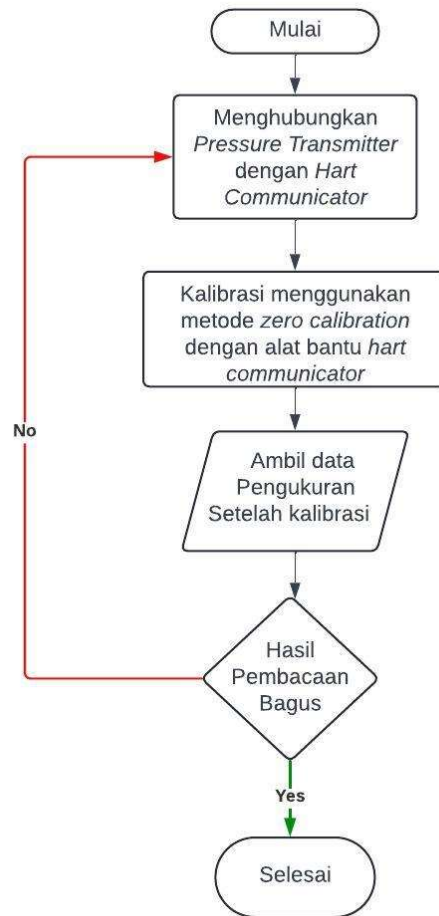
Adapun gambar *wiring* rangkaian untuk proses kalibrasi *pressure transmitter* adalah:



Gambar 2. Ilustrasi wiring Rangkaian untuk Proses Kalibrasi Pressure Transmitter

Proses kalibrasi dilakukan di laboratorium menggunakan angin sebagai media kalibrasi. Dengan memastikan menggunakan satuan tekanan yang sama (bar), penggunaan media angin dapat menjadi media kalibrasi menggantikan objek (yang diukur dilapangan) sesungguhnya, sehingga pengukuran dapat akurat kembali. Gambar 2 menunjukkan penggunaan komponen *compressor air supply* dan *precision pressure regulator* sebagai pendukung kalibrasi. *Hart Communicator* digunakan sebagai protokol alat kalibrasi *pressure transmitter*. Kemudian terdapat *Digital pressure gauge* digunakan sebagai pembandingan pengukuran antara tekanan angin dari kompressor dengan hasil pengukuran oleh *pressure transmitter*. Power supply 0-24 VDC digunakan sebagai sumber daya.

Adapun proses kalibrasi dengan metode *zero calibration* menggunakan protokol *Hart Communicator* adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Block Diagram Kalibrasi Pressure Transmitter dengan Metode Zero Calibration Menggunakan Hart Communicator

Gambar diatas menjelaskan alur proses kalibrasi *pressure transmitter* menggunakan metode *zero calibration* dengan *hart communicator* sebagai alat protokol kalibrasi. Adapaun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Sambungkan *pressure transmitter* dengan *hart communicator* melalui koneksi yang sesuai.
2. Setelah rangkaian kalibrasi terhubung, lakukan koneksi antara *pressure transmitter* dan *hart communicator*. Hal ini penting agar keduanya dapat saling terhubung dan *hart communicator* dapat membaca data dari *pressure transmitter*.
3. Setelah proses koneksi selesai, baca *measurement* atau hasil pengukuran *pressure transmitter* sebelum melakukan kalibrasi. Data hasil pengukuran ini bisa ditemukan pada tabel 2. Jika hasilnya menunjukkan ketidakakuratan, maka *pressure transmitter* perlu dikalibrasi.
4. Jika pembacaan *measurement* sesuai atau masih akurat, maka proses kalibrasi tidak perlu dilakukan. *Pressure transmitter* dianggap masih akurat.
5. Jika pembacaan *measurement* tidak akurat, lanjutkan dengan proses kalibrasi menggunakan metode *zero calibration*. Metode ini digunakan karena pada *pressure transmitter*, pembacaan minimumnya (0 bar atau 4 mA) terkadang dapat berubah dari posisi *zeronya*. *Zero calibration* menjadi solusi untuk mengkalibrasi transmitter tersebut.
6. *Zero calibration* adalah fasilitas pada *hart communicator* yang digunakan untuk menyesuaikan *pressure transmitter* agar dapat membaca nilai 0 dengan tepat saat tidak ada input atau masukan yang diberikan. Pada kalibrasi ini, input yang diberikan adalah *pressure* angin. Pastikan *digital pressure gauge* tidak mendeteksi adanya angin yang masuk atau terukur.

7. Proses *zero calibration* dilakukan secara digital dengan menggunakan menu *zero calibration* pada *hart communicator*. Tunggu hingga proses selesai.

8. Setelah proses selesai, periksa hasil pengukuran *pressure transmitter* untuk melihat apakah kalibrasi telah berhasil.

Jika pembacaan *pressure transmitter* kembali akurat, proses kalibrasi dianggap selesai. Namun, jika tidak, ulangi proses kalibrasi sampai dapat disimpulkan apakah *pressure transmitter* masih dapat digunakan atau terdapat masalah pada rangkaian kalibrasi, proses kalibrasi, atau komponen yang digunakan untuk proses kalibrasi.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang sesuai dengan standar toleransi eror nasional atau internasional seperti IEC No. 13B-23 mengenai ketelitian alat ukur, batas kesalahan untuk setiap nilai ukuran adalah $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1,0\%$, $\pm 1,5\%$, $\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$ dari nilai maksimum yang terukur. Maka perlu dilakukan pengamatan dengan mencari besar nilai error pada hasil pengukuran *pressure transmitter* setelah dilakukan kalibrasi. Untuk mengetahui hal tersebut, dapat menggunakan rumus persentase kesalahan atau error (%). Pengamatan lebih lanjut untuk melihat hasil kalibrasi adalah dengan menggunakan metode pengujian linearitas. Pengujian ini digunakan untuk melihat perbandingan nilai pengukuran *pressure transmitter* sebelum dan sesudah dikalibrasi secara visual.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pressure transmitter yang baik adalah *pressure transmitter* yang masih mampu mengukur dengan tingkat akurasi yang tinggi atau minimal mampu untuk mengukur dalam batas toleransi eror sesuai standar. Dalam kasus ini, *pressure transmitter* harus mampu untuk mengukur tekanan buburan kertas yang akan dan sudah melalui proses refining pada suatu industri perusahaan di Indonesia. Dengan range sebesar 6 bar pada pengukuran maksimal, *pressure transmitter* harus mampu untuk melakukan pengukuran dengan akurat agar proses tidak terganggu. Untuk perbandingan nilai pembacaan *pressure transmitter* dilapangan biasanya terdapat suatu komponen pengukuran pembanding yang sifatnya tidak digital seperti *pressure gauge* (alat ukur tekanan benda cair atau gas yang bekerja secara analog mekanikal) alat ini lebih tahan terhadap tekanan kondisi lingkungan proses sehingga cocok dijadikan sebagai acuan pengukuran dilapangan. Ketika hasil pembacaan *pressure transmitter* sudah tidak akurat maka perlu dilakukan kalibrasi. Setelah dibawa ke laboratorium repair maka *pressure transmitter* dirangkai sesuai dengan gambar 2. Kemudian dilakukan pengecekan pengukuran awal sebelum dilakukan kalibrasi. Adapun hasil pengukurannya adalah sebagai berikut :

TABEL 2
PENGUKURAN PRESSURE TRANSMITTER SEBELUM DILAKUKAN KALIBRASI

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)		
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)
0	0	2.2	0,133	4.36
25	1.5	28.03	1.682	8.485
50	3	51.18	3.072	12.190
75	4.5	80.54	4.832	16.872
100	6	101.3	6.080	20.213

Hasil diatas dapat terlihat di *Hart Communicator* saat rangkaian kalibrasi *pressure transmitter* dijalankan. Sekilas tidak terlihat eror pembacaan pengukuran yang signifikan jika dibandingkan dengan nilai standar teori yang terdapat pada tabel 1. Untuk itu perlu untuk menghitung nilai eror pengukuran dengan rumus persentase kesalahan eror sesuai dengan yang terdapat pada penjelasan metode. Contoh perhitungan jika mencari nilai persentase eror dengan nilai value yang terbaca pada titik output 4.832 bar:

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{\text{Value terbaca} - \text{Value standar teori}}{\text{Value standar maksimal} - \text{Value standar minimal}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{4.832 \text{ bar} - 4.5 \text{ bar}}{6 \text{ bar} - 0 \text{ bar}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{0.332 \text{ bar}}{6 \text{ bar}} \right) \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{error (\%)} = 5,54 \% \quad (7)$$

Sehingga jika menghitung semua titik pengukuran akan didapatkan data sebagai berikut :

TABEL 3
DATA NILAI EROR PRESSURE TRANSMITTER SEBELUM DILAKUKAN KALIBRASI

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)			%Error
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)	

0	0	2.2	0,133	4.36	2.225
25	1.5	28.03	1.682	8.485	3.031
50	3	51.18	3.072	12.190	1.187
75	4.5	80.54	4.832	16.872	5.540
100	6	101.3	6.080	20.213	1.331
Rata-Rata Error (%)					2.702%

Dari hasil tabel 3 diatas, hasil perhitungan nilai kesalahan saat mengamati *pressure transmitter* sebelum dilakukan kalibrasi. Penyimpangan pengukuran terbesar terjadi pada tekanan 4,5 bar (nilai input), dengan hasil bacaan pengukuran *pressure transmitter* sebesar 4,832 bar dan persentase kesalahan sebesar 5,540%. Terdapat variasi dalam nilai kesalahan, dengan rata-rata sekitar 2,702%. Meskipun nilai kesalahan rata-rata masih dalam rentang yang dapat diterima untuk pengukuran, penyimpangan ini cukup mengganggu proses, sehingga perlu dilakukan kalibrasi.

Setelah melakukan serangkaian kalibrasi dengan metode *zero calibration* menggunakan alat ukur *Hart Communicator* mengikuti alur pada gambar 3 dan langkah-langkah pada metodologi, maka didapatkan data pengukuran *pressure transmitter* sebagai berikut :

TABEL 4
PENGUKURAN PRESSURE TRANSMITTER SETELAH KALIBRASI

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)		
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)
0	0	0.14	0.0086	4.023
25	1.5	25.12	1.5073	8.020
50	3	50.137	3.0082	12.022
75	4.5	75.175	4.5106	16.028
100	6	100,162	6.0100	20.026

Terlihat setelah dilakukan kalibrasi dengan metode *zero calibration* dan langkah yang tepat, didapatkan hasil seperti di atas. Untuk mengetahui tingkat keakuratan pengukuran *pressure transmitter* tersebut dapat menggunakan rumus mencari nilai persentase kesalahan error (%) seperti sebelumnya. Maka untuk perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{\text{Value terbaca} - \text{Value standar teori}}{\text{Value standar maksimal} - \text{Value standar minimal}} \right) \times 100\% \quad (8)$$

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{4.5106 \text{ bar} - 4.5 \text{ bar}}{6 \text{ bar} - 0 \text{ bar}} \right) \times 100\% \quad (9)$$

$$\text{error (\%)} = \left(\frac{0.0106 \text{ bar}}{6 \text{ bar}} \right) \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{error (\%)} = 0.176 \% \quad (11)$$

Setelah melakukan semua perhitungan nilai eror pada hasil pengukuran *pressure transmitter* yang telah dilakukan kalibrasi, didapatkan data sebagai berikut :

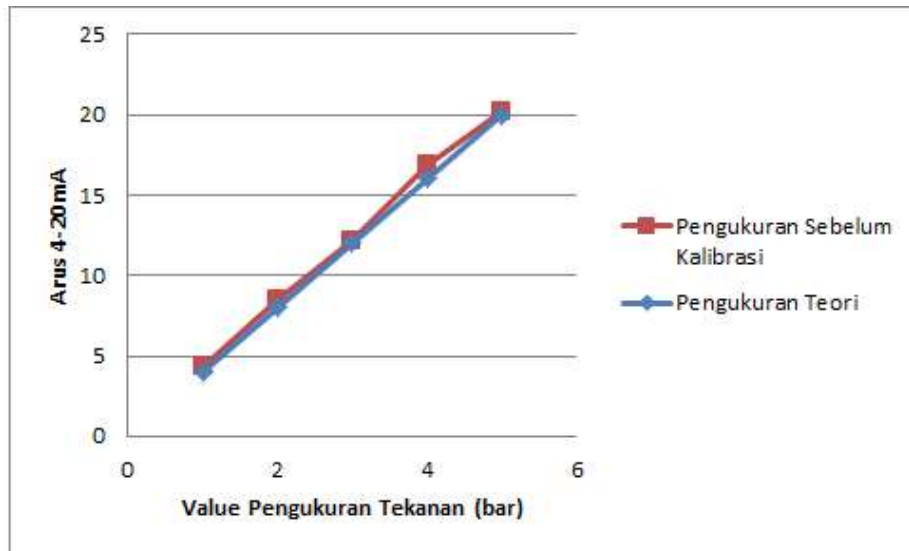
TABEL 5
DATA NILAI EROR PRESSURE TRANSMITTER SETELAH DILAKUKAN KALIBRASI

Input		Output (Hasil Bacaan Pengukuran)			%Error
%	Value (bar)	%	Value (bar)	Output (mA)	
0	0	0.14	0.0086	4.023	0.143
25	1.5	25.12	1.5073	8.020	0.123
50	3	50.137	3.0082	12.022	0.137
75	4.5	75.175	4.5106	16.028	0.176
100	6	100,162	6.0100	20.026	0.162
Rata-Rata Error (%)					0.148%

Pada tabel 5, terlihat setelah melalui proses kalibrasi dengan menggunakan metode *zero calibration*, nilai eror mengalami penurunan yang signifikan. Rata-rata nilai error mencapai 0,148%, angka ini sesuai dengan standar toleransi pengukuran, sehingga menandakan bahwa *pressure transmitter* masih bekerja dengan baik. Hal ini juga menandakan keberhasilan kalibrasi dalam meningkatkan performa kerja *pressure transmitter*, sehingga *pressure transmitter* ini dinyatakan layak untuk digunakan kembali pada proses *refining*.

Kemudian, untuk melakukan pengamatan lebih lanjut, dilakukan pengujian linearitas sebagai visualisasi respon hasil pengukuran *pressure transmitter* sebelum dan setelah dilakukan kalibrasi menggunakan metode *zero calibration*.

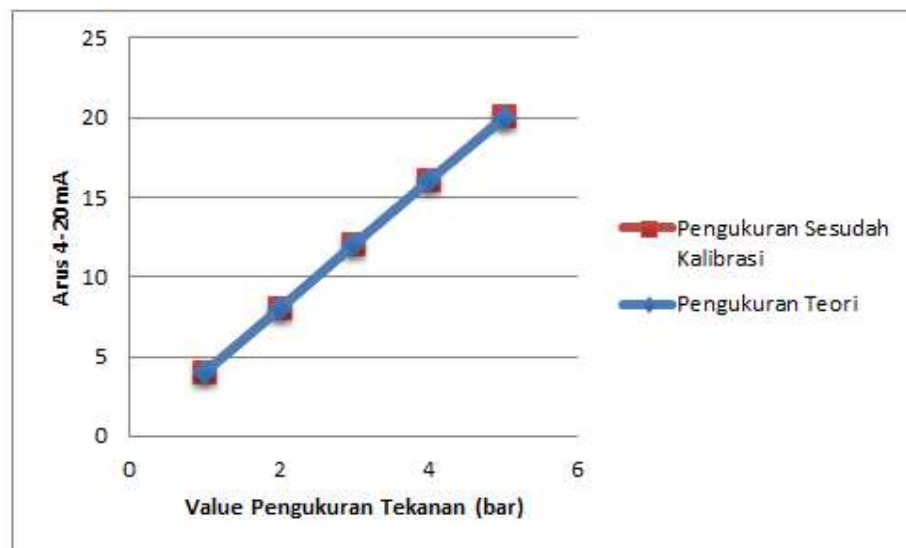
Pertama lakukan pengujian linearitas untuk respon *pressure transmitter* sebelum dilakukan kalibrasi. Perbandingannya menggunakan nilai hasil pengukuran *pressure transmitter* sebelum kalibrasi pada tabel 2 dan nilai Standar Teori Akurasi Pengukuran *pressure transmitter* pada tabel 1. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Hasil Pengujian Linearitas Pengukuran Pressure Transmitter Sebelum kalibrasi dengan Pengukuran Standar Teori

Gambar di atas menampilkan hasil pengujian linearitas pengukuran *pressure transmitter* sebelum dilakukan proses kalibrasi dengan metode *zero calibration*. Garis merah merepresentasikan nilai pengukuran sebelum kalibrasi, sementara garis biru adalah pengukuran standar teori. Terlihat bahwa pada titik pengukuran dengan nilai 4,832 bar dan arus sebesar 16,872 mA terdapat penyimpangan yang paling besar. Hal ini menyebabkan garis merah (pengukuran sebelum kalibrasi) terlihat jauh lebih tidak linear dibandingkan dengan garis biru (pengukuran teori). Namun, pada titik-titik pengukuran lainnya masih terlihat linear karena nilai error atau penyimpangannya relatif kecil.

Kemudian, setelah mengetahui hasil pengujian linearitas hasil pengukuran *pressure transmitter* sebelum kalibrasi, maka selanjutnya melihat hasil pengujian linearitas pengukuran *pressure transmitter* setelah dilakukan kalibrasi. Untuk perbandingan data menggunakan tabel 4 dan tabel 2. Sehingga didapatkan grafik seperti dibawah ini:



Gambar 5. Hasil Pengujian Linearitas Pengukuran Pressure Transmitter Sesudah kalibrasi dengan Pengukuran Standar Teori

Pada gambar diatas terlihat hasil pengujian linearitas setelah *pressure transmitter* melewati proses kalibrasi. Dengan nilai rata-rata kesalahan sebesar 0,148%, garis merah (pengukuran setelah kalibrasi) dan garis biru (pengukuran teori) terlihat berjalan secara linear. Hal ini terjadi karena nilai kesalahan yang dihasilkan masih relatif kecil.

Setelah menjalani proses kalibrasi dan pengujian linearitas, *pressure transmitter* yang telah dikalibrasi menunjukkan nilai kesalahan yang relatif kecil, yaitu 0,148%. Mengacu pada Standar IEC No. 13B-23 mengenai ketelitian alat ukur, batas kesalahan untuk setiap nilai ukuran adalah $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1,0\%$, $\pm 1,5\%$, $\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$ dari nilai maksimum yang terukur. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *pressure transmitter* ini masih layak digunakan sebagai alat ukur tekanan bubuk kertas dalam proses *refining*, karena memberikan pembacaan yang akurat dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 0,148%. Dengan hasil pengukuran yang akurat, proses *refining* kertas dapat berjalan dengan baik.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini mengindikasikan beberapa poin penting. Pertama, studi kasus dilakukan untuk menganalisis hasil dari proses kalibrasi *pressure transmitter* yang digunakan dalam proses *refining* pada suatu industri. Sebelum dilakukan kalibrasi, pengukuran *pressure transmitter* menunjukkan rata-rata nilai eror sebesar 2,702%. Meskipun rata-rata eror tersebut kecil, terdapat titik-titik pengukuran dengan nilai eror yang tinggi, seperti pada titik pengukuran 4,832 bar dan arus 16,872 mA, yang dapat mengganggu proses *refining*. Hal ini diperkuat oleh hasil pengujian linearitas yang menunjukkan adanya penyimpangan pada titik tersebut. Hasilnya menunjukkan penurunan rata-rata nilai eror menjadi 0,148%, yang terlihat pada tabel data dan visualisasi pengujian linearitas yang menunjukkan garis pengukuran yang sangat linear. Berdasarkan standar IEC no. 13B-23 tentang ketelitian alat ukur, toleransi eror yang aman berkisar antara $\pm 0,05\%$ hingga $\pm 5\%$ dari nilai maksimum. Dengan rata-rata eror pembacaan pengukuran sebesar 0,148%, *pressure transmitter* masih dapat diandalkan untuk mengukur tekanan buburan kertas pada proses *refining* dengan baik dan akurat.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam hasil penelitian ini.

REFERENSI

- [1] D. Afrizal and S. O. Kunang, "Rancang Bangun Sistem Kendali Pneumatic Pump Dalam Proses Kalibrasi Pressure Transmitter," Bina Darma Conf. Eng. Sci., vol. 4, no. 1, pp. 121–132, 2022, [Online]. Available: <http://conference.binadarma.ac.id/index.php/>
- [2] D. I. Pt and M. Energi, "Pengukuran adalah kegiatan membandingkan suatu besaran yang diukur dengan alat ukur. Pengukuran sangat penting untuk mendapatkan nilai besaran, dimensi atau kapasitas yang dilakukan terhadap suatu standar atau satuan pengukuran. Dalam dunia industri pengu," vol. 4, no. 2, pp. 187–198, 2021.
- [3] A. A. Supriyanto, R. M. Suhendar, A. Supendi, P. T. Mekatronika, and P. E. Indorama, "Kalibrasi Alat Ukur Pressure Gauge Sistem Kontrol Level Pada Flasketank 5 Calendar," J. Elektra, vol. 3, no. 1, pp. 20–25, 2018.
- [4] A. Syahputra Arief, Muhaimin, "Analisa Kalibrasi Level Transmitter Dengan Metode Uji Lineritas Arus Pada Plant Kontrol Level," J. Tektro, vol. 06, no. 01, p. 5, 2022.
- [5] M. Mansyur, S. Hanief, and Y. Yuniyanto, "Sistem Level Kontrol Menggunakan Differential Pressure Transmitter untuk Tangki Timbun CPO," IRA J. Tek. Mesin dan Apl., vol. 1, no. 3, pp. 10–19, 2023, doi: 10.56862/irajtma.v1i3.25.
- [6] A. Gatari and Y. Saragih, "Setting Parameter DP Transmitter Dengan Metode Zero Suppression Pada Tangki Setting DP Transmitter Parameters with Zero Suppression Method on Tanks," vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [7] M. S. Hidayat, D. S. A. Pambudi, and A. T. Nugraha, "Sistem Monitoring Air Compressor pada Sistem Pendistribusian Udara Berbasis IoT," Elektrise J. Sains dan Teknol. Elektro, vol. 12, no. 02, pp. 126–140, 2022, doi: 10.47709/elektrise.v12i02.1944.
- [8] M. Asrori, W. Y. Rezika, A. T. A. Salim, B. Indarto, and R. T. Nudiansyah, "Kalibrasi Alat Ukur Temperatur dan Kelembapan Kereta Rel Diesel Elektrik," J. Tek. Terap., vol. 1, no. 2, pp. 36–41, 2022, doi: 10.25047/jteta.v1i2.14.
- [9] I. Irfan, D. Cahyanto, and T. Sujianto, "Studi Kinerja Belt Scale Pada Proses Pemuatan Batubara," J. Ind. ..., vol. 2, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jieom/article/view/2320%0Ahttps://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/jieom/article/download/2320/1771>
- [10] M. Safira, A. Yusuf, T. I. Salim, and H. S. Alam, "Design and Implementation of IOT-Based Monitoring System on Nanobubble-Based Hydroponics Farming," J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng., vol. 12, no. 2, p. 470, 2023, doi: 10.23960/jtep-l.v12i2.470-483.
- [11] A. Pengaruh, P. Mobile, T. Loyalitas, and K. Kartu, "1561-Article Text-4293-1-10-20220411," vol. 8, no. April 2022, 2017, doi: 10.5281/zenodo.6446981.
- [12] I. Thein, B. B. Mitang, and Y. E. P. Bere, "Pengaruh Lingkungan Kerja Dan Komitmen Terhadap Disiplin Kerja Pegawai Pada Kantor Dinas Pariwisata Kabupaten Malaka," Inspirasi Ekon. J. Ekon. Manaj., vol. 3, no. 3, pp. 28–36, 2021, doi: 10.32938/ie.v3i3.1737.
- [13] P. Green, M. Dan, B. Image, S. Kasus, P. Followers, and A. Twitter, "PENGARUH GREEN MARKETING DAN BRAND IMAGE TERHADAP KEPUTUSAN PEMBELIAN PRODUK THE BODY SHOP INDONESIA (Studi Kasus Pada Followers Account Twitter @TheBodyShopIndo)," J. Ilm. M-Progress, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.35968/m-pu.v10i1.371.
- [14] H. Risdianto, S. K. Wirawan, and S. Sugesty, "Aplikasi Lakase pada Proses Refining Pulp," J. Selulosa, vol. 9, no. 02, p. 65, 2019, doi: 10.25269/jsel.v9i02.274.
- [15] A. E. Eryantono, S. Virdhian, D. Cahyadi, and E. Oktavia, "Pembuatan 3D Model Disc Refiner dengan Reverse Engineering untuk Mendukung Sustitusi Impor," J. Tek. Mesin Indones., vol. 17, no. 1, pp. 86–91, 2022, doi: 10.36289/jtmi.v17i1.301.
- [16] D. Sinta, F. N. Azizah, and B. Nugraha, "Analisis Pengaruh Refiner Time Terhadap Quality Tissue (Studi Kasus di PT Pindo Deli Pulp and Paper Mills 2)," Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol., vol. 13, no. 1, pp. 27–36, 2021, doi: 10.28989/angkasa.v13i1.916.
- [17] M. Irsyam and N. Nopriadi, "Analisa Proses Kalibrasi Katup Penutup Pada Pembangkit Listrik Di Pt. Mitra Energi Batam," Sigma Tek., vol. 3, no. 2, pp. 160–170, 2020, doi: 10.33373/sigma.v3i2.2745.
- [18] A. P. Sasangka, M. Musthofa, A. Ansyorie, and M. Muchlis, "UNIVERSITAS NEGERI MALANG besar menggunakan beton sebagai dilakukan dalam dunia industri adalah " Compressing Testing Machine (CTM), CTM modifikasi merupakan Pada proses pengujian kualitas beton dalam suatu Laboratorium Departemen Teknik Sipil diperlukan kondisi alat uji kuat tekan beton yang otomatis / Mesin Uji Kompresi Model digital dengan indikator laju kecepatan dengan sistem " closed loop digital Grafik pembebanan – waktu dan aktual," 2023.
- [19] Y. Wishnu Pandu Prayudha, S. Fadhill, and S. Novianto, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Alat Thermobath sebagai Alat Kalibrasi Temperatur dengan Sistem Arduino Uno," J. Asimetri J. Ilm. Rekayasa Inov., vol. 4, pp. 25–34, 2022, doi: 10.35814/asiimetri.v4i1.2541.
- [20] A. Karlström and J. Hill, "Control strategies for refiners Part I: Soft sensors for CD-refiner control," Nord. Pulp Pap. Res. J., vol. 33, no. 1, pp. 28–43, 2018, doi: 10.1515/npprj-2018-3007.