

PERANCANGAN DAN EVALUASI PIEZOELECTRIC TRANSDUCER UNTUK MENGUKUR TEKANAN PERMUKAAN GASKET PADA SAMBUNGAN PIPA

Enda Permana¹

ABSTRAK

PERANCANGAN DAN EVALUASI PIEZOELECTRIC TRANSDUCER UNTUK MENGUKUR TEKANAN PERMUKAAN GASKET PADA SAMBUNGAN PIPA. Tujuan dari percobaan ini adalah membuat suatu disain alat ukur untuk memonitor terjadinya tekanan pada gasket pada sambungan pipa dengan menggunakan piezoelectric film (lapisan sejenis aluminum foil yang mampu menghasilkan tegangan listrik bila dibebani gaya pada permukaannya). Percobaan dilakukan untuk melihat/ mengevaluasi performance dari alat ukur tersebut dalam menentukan fluktuasi tekanan gasket pada sambungan pipa. Proses kalibrasi dilakukan pada piezoelectric film dengan tebal 25 μm . Analisa pengukuran didapat dari hasil output tegangan yang dihasilkan dibandingkan dengan gaya pembebanan yang dilakukan. Dari hasil pengukuran didapatkan suatu performance yang sangat menjanjikan ditunjukkan oleh alat ukur tersebut, diantaranya adalah: memiliki fleksibilitas yang tinggi, kemampuan untuk dibebani gaya yang besar, serta kemampuan menghasilkan output tegangan listrik yang tinggi, linier dan stabil. Disamping itu dengan fleksibilitas yang tinggi, alat ukur tersebut dapat dirancanag sesuai dengan bentuk geometri dari sambungan yang akan diukur.

ABSTRACT

DESIGN AND EVALUATION OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS TO MEASURE GASKET PRESSURE AT A PIPE JOINT. *The objective of this project is to design and fabricate a pressure transducer to facilitate on-line monitoring of the gasket stress of the joint of a pipe flange using a piezoelectric film. The experiments on the piezofilm transducer were conducted to find out its performances in the gasket stress measurement.*

In the gasket stress measurement experiments using a piezoelectric film, calibration tests were conducted onto a 25 μm thick Al-metallized film. Stress measurement is achieved by change in the film's electrical discharge/voltage as a function of load. It was found that the film exhibited promising performance, such as high flexibility, capability of withstanding very high normal stress, and capability of producing high voltage output with good stability (no drifting) and good linearity. It also can be custom-designed to fit the geometry of the joint.

Key words: Piezoelectric transducer

PENDAHULUAN

Sejak pertama kali pemakaian sambungan pipa dengan menggunakan baut terdapat beberapa cara/metoda telah digunakan dan dipelajari untuk mengetahui karakteristik tegangan yang bekerja pada sambungan tersebut, namun sampai sekarang belum ditemukan suatu metoda yang tepat untuk mengungkapkannya. Bahkan metoda-metoda yang telah dikembangkan belakangan ini hanya mampu memberikan informasi yang terbatas oleh karena sulitnya mengukur dan memonitor karakteristik tegangan yang terjadi. Misalnya, metoda-metoda yang dikembangkan tersebut hanya mampu mencatat dan mengukur gaya-gaya yang dikenakan pada sambungan tetapi tidak mampu memberikan informasi tentang interaksi pada sambungan selama proses pengencangan baut.

Sebagai akibat dari kekurangan informasi yang lengkap tentang karakteristik tegangan pada sambungan tersebut adalah terjadinya kelemahan-kelemahan dalam membuat rancangan sambungan yang selanjutnya menghasilkan suatu sistem penyambungan pipa yang kurang sempurna terutama dalam hal mengatasi kebocoran akibat tekanan yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut, maka penggunaan gasket dari bahan yang mahal tidak bisa dihindarkan.

Dalam merancang sambungan pipa, sistem penyumbatan (sealing system) yang optimal bisa dicapai bila karakteristik dari distribusi tegangan statik maupun dinamik diketahui dengan baik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan suatu metoda pengukuran tegangan yang relevan dalam menentukan distribusi tegangan pada sambungan pipa akibat beban statik dan dinamik.

Dalam penelitian ini digunakan metoda pengukuran dengan menggunakan piezoelectric film, yaitu suatu lapisan tipis yang berfungsi sebagai sensor untuk memonitor distribusi tegangan pada gasket pada waktu pengencangan maupun pelonggaran baut. Sistem pengukuran didasarkan pada sifat bahan piezoelectric yang menghasilkan arus listrik bila bahan tersebut dibebani gaya.

Alat yang dirancang dari bahan piezoelectric tersebut diharapkan dapat memonitor dan mengukur fluktuasi tegangan yang berkerja pada gasket sebagai akibat dari kondisi sambungan dimana bekerja beberapa gaya luar maupun gaya dalam yang berupa tekanan media fluida. Disamping itu alat tersebut diharapkan dapat memonitor perubahan tegangan yang terjadi sebagai akibat dari pelemahan tegangan (stress relaxation) yang dapat mengakibatkan ketidaksempurnaan suatu sistem sambungan.

KAJIAN PUSTAKA

1. Parameter Perancangan Sambungan Gasket

Maksud daripada penggunaan gasket adalah sederhana yaitu untuk mencegah kebocoran pada suatu sambungan. Untuk menghindari hal tersebut diperlukan suatu rancangan yang sesuai dengan mempertimbangkan beberapa parameter yang mempengaruhi terhadap sambungan tersebut. Diantara parameter-parameter yang harus diperhatikan dalam membuat suatu rancangan yang optimal adalah tegangan seal minimum dan gaya tekan fluida.

Tegangan Seal Minimum

Tegangan seal minimum adalah tegangan tekan awal flens yang diperlukan supaya gasket bisa menutupi seluruh permukaan flens dan mengisi kekosongan rongga-rongga diantara dua flens sehingga tidak terjadi kebocoran bila tekanan fluida bekerja. Dengan kata lain dapat diartikan sebagai tekanan kontak minimum yang diperlukan untuk menjamin kekencangan sambungan.

Tegangan seal minimum yang diperlukan tergantung pada bahan gasket, tekanan fluida, ratio tebal gasket dan kehalusan permukaan flen.

Bahan gasket : Tegangan seal minimum sangat tergantung pada bahan gasket karena setiap jenis bahan memiliki karakteristik kompresi yang berbeda-beda. Untuk bahan yang kompresibilitasnya besar maka diperlukan tegangan seal yang besar.

Tekanan Fluida: Tekanan fluida mempunyai kecenderungan untuk menekan media fluida keluar melalui sambungan, oleh karena itu faktor ini sangat penting diperhatikan. Untuk sistem sambungan yang bekerja pada tekanan tinggi yaitu diatas 100 psi, kemungkinan-kemungkinan kerusakan sambungan banyak tergantung pada tekanan tersebut, diantaranya adalah distorsi flen, elongasi baut dan juga bisa mengakibatkan meledaknya sambungan.

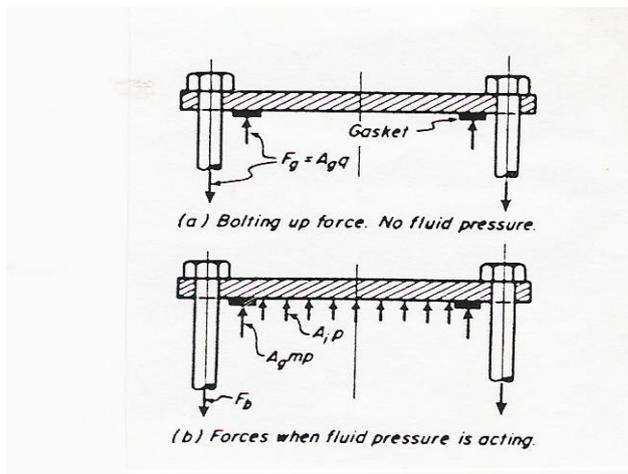
Ratio tebal gasket: Ratio tebal gasket adalah perbandingan antara lebar gasket yang dikenai gaya tekan dengan tebal gasket. Ratio tebal gasket ini mempengaruhi besarnya tegangan seal minimum yang harganya akan turun bila ratio tebal gasket naik. Harga ratio tebal gasket yang disarankan adalah lebih besar dari dua karena pada daerah ini harga tegangan seal minimum menurun dengan tajam. Hal ini akan sangat

penting dalam konstruksi sambungan pada lubang baut yang terletak pada gasket. Dalam hal ini jarak lubang baut disarankan tidak terlalu dekat dengan tepi gasket sebelah dalam.

Kehalusan permukaan flen: Biasanya kehalusan permukaan tidak begitu mempengaruhi sambungan. Namun demikian, untuk bahan gasket yang mempunyai kompresibiliti rendah, kehalusan permukaan flen perlu diperhatikan. Untuk pemakaian normal, harga tegangan seal minimum yang disarankan sudah cukup untuk digunakan pada flen-flen yang terdapat dipasaran.

Menentukan Tegangan Gasket

Dalam sistem sambungan pipa tertutup, tekanan fluida cenderung menekan flen ke arah yang berlawanan. Besarnya gaya tekan tersebut adalah tekanan fluida dikalikan dengan luas efektif gasket. Gaya tekan ini sama dengan gaya yang harus ditahan oleh baut sehingga sambungan flen tidak terpisah.



Gambar-1 Keseimbangan tekanan dalam sambungan pipa

Gambar 1 mengilustrasikan distribusi gaya yang bekerja pada sambungan pipa. Sebelum tekanan fluida bekerja, gaya yang bekerja pada baut dan gasket F_g adalah:

$$F_g = A_g q$$

Dimana A_g adalah luas gasket efektif, dan q adalah tekanan pada gasket yang disebabkan oleh pengencangan baut.

Setelah tekanan fluida p bekerja, maka dihasilkan gaya $A_i p$, dimana A_i adalah luas permukaan yang dikenai tekanan fluida. Gaya pada gasket yang dibutuhkan untuk mencegah kehilangan tekanan adalah $A_g m p$. Gaya pada baut menjadi:

$$F_1 = p(A_i + A_g m)$$

dimana m adalah gasket factor, yaitu rasio resultan tekanan kontak dengan tekanan fluida, (harga m dapat dilihat pada tabel).

Gaya F_g harus sama atau lebih besar dari gaya F_b . Oleh karena itu tegangan gasket minimum menjadi :

$$q = \frac{p(A_i + A_g m)}{A_g}$$

Tegangan gasket minimum ini harus sama atau lebih besar dari tegangan seal minimum untuk setiap bahan gasket. Tekanan ini diperoleh dari gaya pengencangan baut pada sambungan, sehingga besarnya gaya pada masing-masing baut yang harus dikenakan untuk mengimbangi tekanan q adalah :

$$F = \frac{p(A_i + A_g m)}{N}$$

dimana N adalah jumlah baut.

Torsi pada baut yang diperlukan untuk pengencangan baut dihitung dari rumus berikut:

$$T = 0.2D_n F$$

dimana D_n adalah diameter nominal baut.

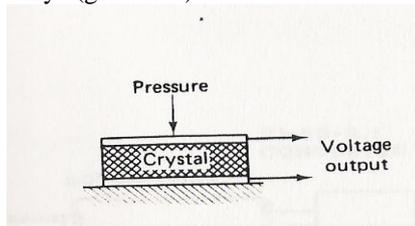
2. Pengukuran Tekanan dengan Menggunakan Transduser Piezoelektrik

Pada awal tahun 70-an telah ditemukan bahwa suatu lapisan tipis terbuat dari bahan polyvinilidene fluoride yang diproses secara khusus mempunyai aktivitas piezoelektrik yang paling baik diantara bahan-bahan plastik yang ada. Penemuan bahan ini telah memberikan banyak masukan kepada para ahli teknik untuk mengembangkan alat pengukur tekanan dalam berbagai bidang aplikasi.

Bahan ini mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan dan sesuai untuk dijadikan alat ukur tekanan, diantara sifat-sifat tersebut adalah mempunyai ketangguhan yang tinggi, liat, ringan dan tahan korosi. Berbagai penggunaan dengan memanfaatkan lapisan tipis piezoelektrik adalah sangat mungkin dilakukan terutama dalam aplikasi yang berhubungan dengan masalah-masalah pada kontak permukaan dari komponen-komponen mesin.

Prinsip kerja

Lapisan tipis piezoelektrik adalah suatu bahan tipis yang terbuat dari bahan piezoelektrik misalnya Rochelle-salt atau quartz yang memiliki kemampuan menghasilkan tegangan listrik bila dikenai tekanan. Bila bahan tersebut dikenai tekanan maka akan terjadi distorsi dan tegangan listrik akan dihasilkan dari kedua permukaannya (gambar 2).



Gambar-2 Prinsip kerja bahan piezoelektrik transducer

Pada prinsipnya, efek piezoelektrik diperoleh dari ketidakseimbangan distribusi arus listrik pada bahan piezoelektrik yang disebabkan oleh terjadinya tegangan (stress) pada bahan tersebut dan selanjutnya mengakibatkan terjadinya regangan. Bila kedua permukaan bahan tersebut dilapisi dengan bahan logam dan lempengan kecil tembaga ditempelkan padanya, maka perubahan arus listrik ini akan mengakibatkan terjadinya sinyal tegangan listrik pada lempeng tembaga tersebut. Efek ini dapat dibalik yaitu bila tegangan listrik dikenakan pada bahan tersebut maka akan terjadi regangan.

Jenis piezoelektrik yang banyak dipelajari dan banyak dipergunakan untuk berbagai keperluan adalah polyvinilidene fluoride (PVDF). Bahan ini telah diproduksi secara komersial dan dapat ditemui di pasaran, contohnya adalah: Penwalt uniaxially-stretched VF_2 , Penwalt unstretched VF_2/VF_3 , Metravib biaxially-stretched PVF_2 , mono oriented VPDF film, and Al-metallized PVDF.

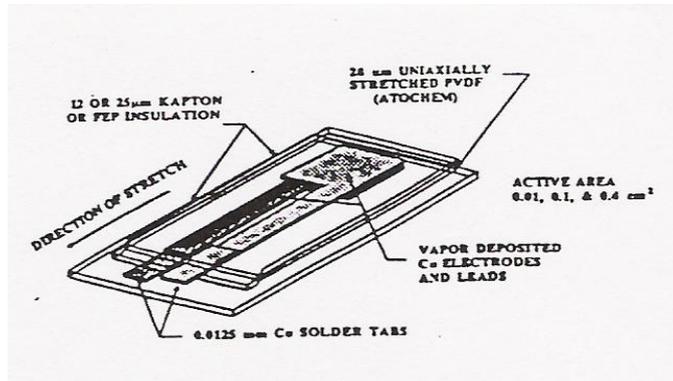
Aktivitas piezoelektrik dari bahan PVDF ditentukan oleh besarnya koefisien of proportionality (koefisien proporsi) antara gaya mekanis dan gaya efek listriknya. Koefisien proporsi ini diperoleh dengan mengukur densitas arus listrik ($Coulomb/m^2$) yang timbul pada permukaan bila tegangan mekanis besar 1 Newton/m^2 dikenakan pada bahan tersebut.

Konstruksi Alat Ukur Piezoelektrik

Konstruksi dari alat ukur (sensor) yang akan dipergunakan untuk menentukan tegangan gasket harus dibuat sedemikian rupa sehingga aplikasi alat tersebut tidak banyak mempengaruhi kondisi dari sambungan pipa. Disamping itu piezoelektrik film sangat sensitif terhadap keadaan lingkungan dan pengaruh-pengaruh

elektris lainnya, sehingga proses pengemasan/konstruksi dar piezofilm itu sendiri harus dilakukan secara optimal untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

Dari Survey jurnal dan literatur yang dilakukan, terdapat beberapa alternatif cara pengemasan (film packaging) yang disarankan untuk dipergunakan dalam aplikasi piezoelectric film, diantaranya adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 3. Konstruksi alat ukur tersebut dapat langsung ditempelkan pada sistem yang diukur dan elektroda-elektrodanya dapat langsung disambungkan dengan cara penyolderan



Gambar-3 Konstruksi pengemasan piezoelectric transducer

SPESIFIKASI PERANCANGAN

Sebagai acuan untuk mengukur keberhasilan dari perancangan piezoelectric film yang dibuat, berikut ini adalah spesifikasi teknisnya:

1. Bahan dasar piezoelectric adalah lapisan tipis tipe AL-metallized dengan ketebalan 25 μm .
2. Luas efektif piezoelectric film yang dirancang besarnya tidak lebih dari (20x20) mm sehingga dapat ditempatkan dengan tepat pada sambungan pipa.
3. Tingkat kesalahan pengukuran maksimum (overall system measurement error) dari output yang dihasilkan tidak lebih dari $\pm 3\%$.
4. Besarnya tekanan fluida pada sambungan pipa maksimum sebesar 5 MPa.

PELAKSANAAN PERCOBAAN

Prosedur eksperimen yang dilakukan dibagi dalam beberapa tahapan, yaitu:

1. Permesinan model sambungan pipa (flens).
2. Pembuatan konstruksi alat ukur.
3. Persiapan dan penyetelan alat pencatat data.
4. Kalibrasi alat ukur.
5. Pengetesan alat ukur pada sistem sambungan

Permesinan model sambungan pipa

Proses pengerjaan sambungan pipa dilakukan dengan permesinan dengan bentuk dan ukuran seperti pada gambar 4. Bahan aluminium yang dipergunakan yaitu Aluminium cor (cast aluminum). Pada masing-masing flens sambungan dibuat empat lubang dengan diameter 13 mm sebagai tempat kedudukan baut pengencang yang berdiameter luar 12 mm.

Pembuatan konstruksi alat ukur

Langkah pertama dari prosedur pengemasan adalah melakukan pemotongan terhadap bahan yang tersedia menjadi 2 lembar yang masing-masing berukuran (20x20) mm. Langkah selanjutnya adalah membuat konstruksi alat ukur dengan tahapan sebagai berikut:

1. Base film insulator dari bahan kapton/teflon dengan tebal 25 μm ditempelkan pada plat aluminium yang berfungsi sebagai landasan. Selanjutnya elektroda tembaga ditempelkan pada insulator dengan proses vapor deposition.

2. Piezofilm yang berukuran (20x20)mm ditempelkan diatas elektroda berdekatan dengan mid-plane insulator (bahan teflon atau FEP/polymide dengan tebal 25 μm) yang berfungsi mencegah terjadinya hubungan singkat antara kedua elektroda.
3. Elektroda kedua ditempelkan diatas piezofilm dan mid-plane insulator dengan cara vapor-deposition .
4. Proses laminasi insulator pada bagian atas konstruksi alat ukur. Bahan insulator adalah kapton dengan ketebalan 25 μm .
5. Pemisahan konstruksi alat ukur dari landasan aluminium dan selanjutnya dilakukan penyambungan kedua elektrodanya dengan kabel yang berdiamter 0.1 mm.

Prosedur pengambilan / pencatatan data

Prosedure pengambilan data output berupa sinyal tegangan listrik yang dilakukan dengan menggunakan Charge Amplifier merk Kistler type 5007 yang inputnya disambungkan dengan konstruksi alat ukur melalui kabel Coaxial BNC 163 C sepanjang 1.5 m. Charge Amplifier ini berfungsi mengkonversikan sinyal arus listrik yang dihasilkan piezofilm menjadi tegangan listrik dan juga berfungsi untuk melakukan pembesaran/amplifikasi data yang diperoleh. Pembacaan data dilakukan secara manual dengan menggunakan Digital Voltmeter merk Escort type EDM 168.

Kalibrasi piezofilm transducer

Kalibrasi konstruksi piezofilm yang telah dibuat dimaksudkan untuk mengetahui data output berupa nilai tegangan yang telah diperbesar sebagai akibat dari tegangan mekanis yang dibebankan pada piezofilm. Tes kalibrasi ini dilakukan dengan cara mengaplikasikan gaya tekan pada konstruksi piezofilm dengan menggunakan Pompa Hydraulic.

Konstruksi piezofilm diletakan diantara dua gasket, yang dibebani dengan gaya tekan yang dihasilkan oleh pompa hydraulic melalui batang aluminium yang diletakan pada bagian atas dari piezofilm. Besarnya gaya tekan diukur dengan menggunakan Load-cell yang sebelumnya telah dikalibrasi. Besarnya gaya tersebut didapat dengan mengkonversikan harga regangan yang dibaca dari Strain Indicator dengan formula yang diperoleh dari hasil kalibrasi, yaitu $F = 0.022 SR - 0.562$. Pencatatan data output (tegangan) dilakukan pada interval 1.4 kN dengan maksimum pembebanan sampai 21 kN. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali untuk melihat sampai sejauhmana kesetabilan dari distribusi data yang dihasilkan.

DATA DAN ANALISA DATA HASIL PERCOBAAN

Data dan Analisa Data Hasil Kalibrasi Piezoelectric Transducer

Dua parameter digunakan untuk melihat karakteristik dari konstruksi piezofilm yaitu tegangan output (V) dan drifting (ketidastabilan data output) yang terjadi dan untuk melihat kondisi pembebanan maka dilakukan kalibrasi terhadap alat ukur gaya (load cell) yang posisinya ditempatkan dibawah piezofilm pada waktu proses kalibrasi berlangsung. Hasil kalibrasi dari konstruksi piezofilm Dynasen dengan aktif area (20 x 20) mm dapat dilihat pada tabel-1.

Data-data tersebut diperoleh dengan mengaplikasikan gaya tekan dari 0 sampai 21 kN dengan interval 1.4 kN. Gaya tekan dihitung dari besarnya strain reading yang terjadi pada load-cell dengan menggunakan formula $F = 0.0222 SR - 0.562$.

Siklus pembebanan untuk setiap konstruksi piezofilm dilakukan sebanyak lima kali dan dari tabel terlihat bahwa output data menunjukkan kemampuan reliabilitas yang baik, yaitu besarnya data-data output yang terjadi mempunyai perbedaan yang kecil. Dibandingkan dengan persamaan garis lurus ideal, data pada Tabel –1 menunjukkan linieritas yang tinggi dimana penyimpangan yang terjadi hanya $\pm 0.72 \%$.

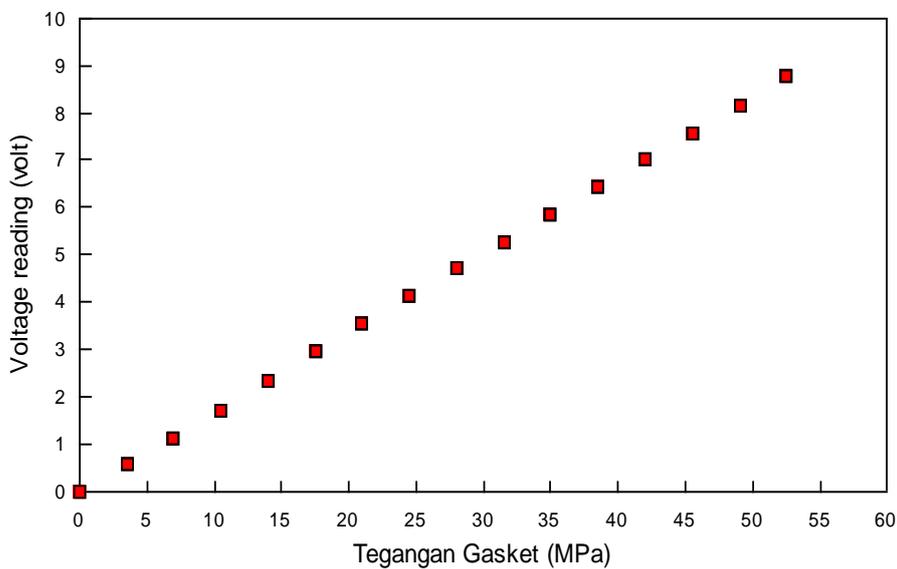
Hasil analisis regresi terhadap data ditunjukkan dengan persamaan regresi yang diperlihatkan dibawah tabel. Harga kesalahan standar (standar error) yang kecil yaitu $\pm 0.33 \%$ menunjukkan bahwa distribusi data mengikuti model garis lurus. Sensivitas dari alat ukur sebesar 0.418 V/kN cukup baik digunakan sebagai alat monitoring perubahan tekanan yang terjadi pada gasket.

Hasil analisis terhadap kondisi kestabilan data output tegangan diperoleh bahwa hanya terjadi perubahan data (drifting) yang kecil yaitu 0.004 sampai 0.007 Volt/menit. Kondisi kestabilan ini sangat diperlukan oleh suatu alat ukur tegangan gasket dimana tegangan yang terjadi relatif bersifat statis.

Secara umum dapat dikatakan bahwa hasil analisis output data dari konstruksi piezofilm menunjukkan bahwa data output bersifat linier dengan tingkat kesalahan ada pada daerah spesifikasi yang telah direncanakan, yaitu $\pm 3\%$.

Table 1 Hasil kalibrasi alat ukur dengan aktif area (20x20) mm

Strain Reading (μ)	Force (kN)	Tegangan Gasket (Mpa)	Voltage Reading (volt)					
			1st	2nd	3rd	4th	5th	Average
0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
89	1.4	3.5	0.56	0.59	0.52	0.62	0.51	0.56
153	2.8	7.0	1.13	1.15	1.09	1.18	1.09	1.13
216	4.2	10.5	1.74	1.74	1.69	1.74	1.66	1.71
280	5.6	14.0	2.38	2.35	2.32	2.36	2.25	2.33
344	7.0	17.5	3.03	2.97	2.94	3.01	2.86	2.96
407	8.4	21.0	3.64	3.51	3.60	3.59	3.39	3.55
471	9.8	24.5	4.22	4.15	4.17	4.18	4.03	4.15
535	11.2	28.0	4.84	4.71	4.65	4.67	4.61	4.70
598	12.6	31.5	5.42	5.29	5.24	5.31	5.13	5.28
662	14.0	35.0	6.01	5.95	5.77	5.79	5.66	5.84
726	15.4	38.5	6.65	6.48	6.38	6.41	6.26	6.44
789	16.8	42.0	7.23	7.01	6.91	6.92	6.94	7.00
853	18.2	45.5	7.91	7.66	7.43	7.49	7.41	7.58
916	19.6	49.0	8.49	8.23	8.03	8.05	8.03	8.17
980	21.0	52.5	9.11	8.82	8.61	8.67	8.58	8.76



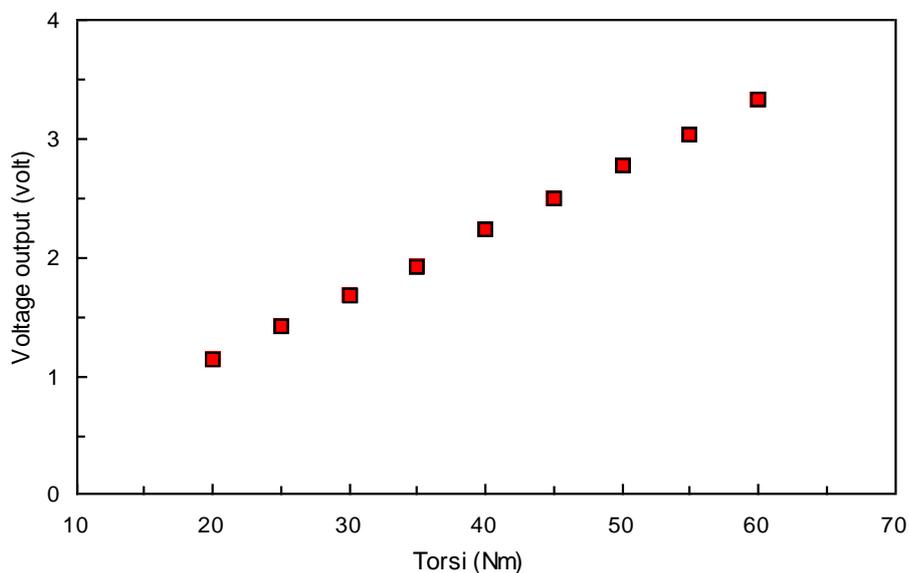
Regression equation : $F = 2.394 V + 0.006$
 Standard error of estimation : $\pm 0.33\%$ of f.s.d.
 Sensitivity : 0.418 V/kN
 Max. non-linearity : $\pm 0.72\%$ of f.s.d.

Data dan Analisa Data Hasil Pengukuran pada Sambungan Pipa

Data hasil pengukuran tekanan gasket pada sambungan pipa diperlihatkan pada Tabel-2. Data tersebut diperoleh dengan mengukur tegangan yang keluar dari piezoelectric transducer yang ditempatkan pada permukaan flens diantara dua baut yang berdekatan. Besarnya tegangan dicatat dengan interval sesuai dengan momen puntir yang dikenakan pada baut pengencang.

Tabel-2 Tegangan output hasil eksperimen piezofilm (20x20) mm pada model sambungan pipa diletakan diantara dua baut yang berdekatan.

Torsi (Nm)	Output Voltage (Volt)			Rata-rata output (volt)
	1st	2 nd	3rd	
20	1.14	1.16	1.11	1.14
25	1.36	1.47	1.41	1.41
30	1.68	1.64	1.71	1.68
35	1.89	1.96	1.90	1.92
40	2.23	2.21	2.28	2.24
45	2.52	2.53	2.47	2.51
50	2.73	2.81	2.77	2.77
55	3.04	3.02	3.07	3.04
60	3.35	3.30	3.37	3.34



Dari tabel di atas terlihat bahwa piezoelectric yang ditempatkan pada sambungan menghasilkan output tegangan listrik yang proporsional dengan besarnya torsi pengencangan baut.

Dengan aplikasi tekanan fluida cair sebesar 5 MPa dapat diamati bahwa setelah baut dikencangkan dengan torsi diatas 50 Nm dan alat ukur menunjukkan tegangan listrik 2,77 volt, pada sambungan tidak terjadi kebocoran.

Dengan membandingkan output 2,77 volt dengan hasil kalibrasi alat ukur didapat gaya tekan padagasket berdasarkan hasil pengukuran adalah 6,64 kN atau tegangan gasket sebesar 16,6 MPa.

Tegangan ini adalah lebih besar dari tegangan seal minimum gasket yaitu sebesar 13,8 MPa sehingga seluruh gasket dapat menutup rapat rongga-rongga pada sambungan sehingga tidak terjadi kebocoran.

KESIMPULAN

Pengukuran tegangan antar permukaan masih merupakan suatu masalah teknologi yang belum sepenuhnya terpecahkan oleh karena alat ukur yang digunakan harus disesuaikan sedemikian rupa sehingga mempunyai ukuran yang tipis/kecil, kuat, sensitif, dan tahan terhadap perubahan lingkungan dimana alat tersebut bekerja. Namun demikian, alat yang diuji disini yaitu sensor dengan bahan lapisan tipis piezofilm untuk keperluan pengukuran tegangan gasket pada sambungan pipa menunjukkan suatu hasil yang menggembirakan walaupun masih terdapat beberapa kekurangan yang harus diatasi.

Ada beberapa hal yang dapat disimpulkan dari hasil percobaan ini, diantaranya adalah:

1. Alat ukur Piezoelectric film mampu menghasilkan output data yang linier dengan tingkat kesalahan yang berada pada batas spesifikasi yang telah direncanakan yaitu $\pm 3\%$.
2. Dengan konstruksi yang baik, piezofilm dapat digunakan untuk memonitor besarnya distribusi tegangan gasket yang terjadi sebagai akibat tekanan fluida kerja, gaya pengencangan gasket, dan perubahan tegangan akibat terjadinya proses relaksasi.
3. Piezofilm sensor bersifat fleksibel dan sangat tipis. Hal ini memungkinkan untuk aplikasi pada permukaan kontak yang kurang rata.
4. Piezofilm sensor bersifat tahan terhadap tegangan normal yang besar. Hal ini terbukti dengan tidak terjadinya cacat pada lembaran piezofilm pada waktu kalibrasi dengan gaya normal sampai 21 kN.
5. Sensor piezofilm dapat dipergunakan berulang-ulang dan penggunaannya bisa disesuaikan dengan keadaan permukaan kontak.

Adapun kekurangan-kekurangan yang harus diperbaiki, diantaranya adalah:

1. Pengemasan piezofilm memerlukan konstruksi yang cukup rumit. Bila pengemasan ini tidak dilakukan dengan sempurna maka output data yang dihasilkan tidak beraturan, dimana akan terjadinya drifting yang tinggi..
2. Hasil pengukuran sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan dimana sering terjadi interferensi medan listrik bila tidak dilakukan insulasi yang baik pada sambungan kedua elektrodanya.
3. Untuk dapat menganalisa sinyal tegangan yang terjadi diperlukan adanya peralatan pencatat data yang kompleks dan harganya cukup mahal.

DAFTAR PUSTAKA

Armstrong, *Gasket Engineering Manual*.

Bently J. P. (1989). *Principle of Measurement Systems*, Longman Scientific & Technical, Singapore.

Charest J.A., Linch C.S. (1988). *Comparative Study of Commercial Piezofilm Stress Gauges*, 39th Aerobalistic Range Association, Albuquerque.

Charest J.A., Linch C.S. (1990). *The Use of the Piezofilm Stress Gauge Technique*, 41st Aerobalistic Range Association, California.

Charest J.A., Linch C.S. (1992). *A Simple Approach to Piezofilm Stress Gauge*, Dynasen Inc., California.

Chatigny J.V. (1987). *Switch ideas Using Piezo/pyroelectric Polymer Film*, Transducer Technology.

Crane Packing Ltd., *Seal and Sealing Handbook*, 2nd ed., England.

Czernik D. E., Miszczak F.L. (1993). *New Technique to Measure Real Time Static and Dynamic Gasket Stresses*, SAE Transaction, v100 Section 3, p254-256.

Gandelli A., Di Prisco M. (1993). *A new Experimental Approach to the Investigation of Contact Force at an Interface*, Material and Structure.

Moris A. S. (1993). *Principle of Measurement and Instrumentation*, Prentice-Hall, London.

Pearson G.H. (1978). *Valve Design*, Mechanical Engineering Publications Ltd., London.

Smoley E. M. (1966), *Sealing with Gaskets*, Machine Design.