

Identifikasi Material Polimer Pada Produk *O-Ring*

Hermawan Judawisastra

Program Studi Teknik Material, Kelompok Keahlian Ilmu dan Teknik Material,
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia
Tlp/Fax: 022-2508144, e-mail: hermawan.judawisastra@material.itb.ac.id

ABSTRAK

*Beragam aplikasi material polimer diperoleh dari tingginya variasi sifat yang dimilikinya. Namun, hal ini berakibat pada kurangnya standarisasi produk polimer yang membuat pemilihan polimer menjadi tidak semudah pemilihan material logam. Salah satu masalah yang sering timbul adalah menentukan jenis polimer untuk melakukan penggantian dari produk kadaluwarsa yang sedang digunakan. Pada makalah ini akan diuraikan metode yang dilakukan untuk identifikasi produk polimer dua jenis *O-Ring* (Seat *O-Ring* dan Body *O-Ring*) yang digunakan pada sebuah katup pipa penyalur minyak bumi.*

*Identifikasi polimer dilakukan beberapa tahap. Ketahanan *O-Ring* terhadap zat kimia dilakukan melalui perendaman dalam minyak mentah, methanol dan larutan HF. Gugus fungsi polimer dikarakterisasi dengan menggunakan Fourier Transformation Infra Red (FTIR) Spectroscopy. Batas temperatur operasi material *O-Ring* dianalisis melalui pemeriksaan dengan Differential Scanning Calorimetry (DSC) dan Thermal Gravimetry Analysis (TGA)*

*Dari berbagai hasil pemeriksaan dan karakterisasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kedua jenis *O-Ring* terbuat dari polimer jenis Vinylidene Fluoride -copolimer- Hexafluoro Propylene, yang dikenal dengan nama FKM-Viton (VDF Fluoro-elastomer). Kedua jenis *O-Ring* masing-masing memiliki perbandingan komposisi Vinylidene Fluoride: Hexafluoropropylene yang berbeda dan telah mengalami degradasi. Nilai temperatur dekomposisi dan temperatur transisi gelas pada kedua jenis *O-Ring* memperkuat hasil identifikasi yang dilakukan.*

*Kata kunci : Polimer, *O-Ring*, Viton, Fluoro-Elastomer*

1. Pendahuluan

Keberadaan material plastik dalam kehidupan manusia modern masih tergolong baru dibandingkan dengan logam yang sudah digunakan secara luas selama berabad-abad. Konsep bidang kimia polimer baru berkembang mulai tahun 1920-an. Polistirena baru diperdagangkan pada tahun 1938 yang disusul oleh polietilena pada tahun 1942. Baru sejak tahun 1950 berbagai penemuan maupun perbaikan mutu polimer yang sudah ada menghasilkan kenaikan produksi yang sangat pesat [1]. Pada tahun 1995 telah terdapat 18000 jenis plastik di pasaran, dengan perkembangan 750 jenis polimer baru rata-rata setiap tahunnya [2]. Tingginya variasi sifat polimer berakibat pada luasnya aplikasi polimer dalam kehidupan sehari-hari yang menunjang kebutuhan sandang, pangan, papan, transportasi dan komunikasi.

Pesatnya perkembangan serta sangat tingginya variasi material polimer yang relatif baru ini

menyebabkan kurangnya standarisasi dan database produk polimer dibandingkan dengan material lain, seperti logam. Beberapa masalah yang timbul adalah pemilihan untuk aplikasi material polimer dan penentuan jenis polimer untuk melakukan penggantian dari produk yang telah kadaluwarsa.

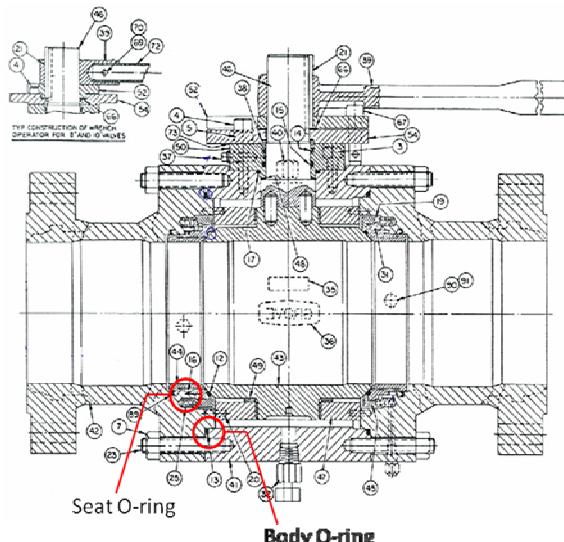
Salah satu aplikasi material polimer adalah sebagai penyekat dalam katup yang digunakan pada pipa. Dari sekian banyak jenis polimer, elastomer adalah polimer yang umum digunakan sebagai material penyusun *o-ring* [3]. *O-ring* adalah polimer berbentuk cincin yang umum digunakan sebagai penyekat, untuk mencegah bocornya fluida atau gas. Walaupun terlihat sederhana, baik ukuran maupun material *o-ring* yang tepat sangat penting untuk memastikan integrasi dari sistem mesin terkait dan penyekatan berlangsung sempurna [4].

Penggunaan *o-ring* telah digunakan secara luas, tak terkecuali dalam industri perminyakan. Saat ini diperkirakan terdapat 880.000 sumur minyak yang



berproduksi di seluruh dunia yang dilengkapi dengan dengan serangkaian katup, yang masing-masing membutuhkan lebih dari dua o-ring sebagai penyekat, untuk mengendalikan aliran fluida [5, 6, 7]. Oleh karena itu, penentuan jenis polimer yang tepat untuk melakukan penggantian pada o-ring yang kadaluwarsa sangat krusial untuk menjaga keberlangsungan aktivitas industri tersebut.

Penelitian ini membahas metode identifikasi sifat-sifat kimia elastomer menggunakan dua spesimen *o-ring* dari *ball valve* (Gambar 1) yang digunakan pada pipa penyalur gas bumi. Pada katup tersebut terdapat dua jenis *o-ring* yaitu *seat o-ring* dan *body o-ring*.



Gambar 1. Lokasi *o-ring* pada *ball valve*

2. Metodologi

Dalam penelitian ini, sampel yang menjadi objek pengamatan adalah dua buah sampel ex *o-ring* dengan diameter berbeda dari *ball valve* yang sama (Tabel 1). *O-ring* pertama merupakan *seat o-ring*, sedangkan yang kedua merupakan *body o-ring* (Gambar 2).

Tabel 1. Diameter dua jenis *o-ring*

| Jenis <i>o-ring</i> | Diameter (mm) | Berat jenis (g/cm ³) |
|---------------------|---------------|----------------------------------|
| <i>Seat o-ring</i> | 7.26 to 7.38 | 1.85 ± 0.02 |
| <i>Body o-ring</i> | 5.45 to 5.46 | 1.78 ± 0.07 |

Untuk aplikasi terkait, terdapat empat jenis elastomer yang umum digunakan sebagai bahan pembuatan *o-ring* [4, 8], yaitu:

- CR-Neoprene (Polychloroprene rubber)
- NBR-Buna-N (Nitrile rubber)

- FKM-Viton (VDF Fluoro-elastomer)
- PTFE Teflon (Polytetra-fluoroethylene)

Struktur molekul dan sifat-sifat keempat elastomer tersebut dapat dilihat di Tabel 2 [8].



a. *Seat o-ring*



b. *Body o-ring*

Gambar 2. Dua sampel *o-ring*

Identifikasi material *o-ring* dilakukan dengan studi teori dan literatur serta hasil pengujian laboratorium. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Penentuan ketahanan kimia material *o-ring* melalui dua tahap pengujian dengan cara mencelupkan spesimen ke dalam minyak mentah bersuhu 150°C, dan diikuti dengan pencelupan ke dalam methanol atau larutan HF, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.
2. Identifikasi gugus fungsi polimer pembentuk spesimen *o-ring* dengan *Fourier Transformation Infra Red (FTIR) Spectroscopy*.
3. Penentuan batas temperatur kerja spesimen dengan menggunakan *Differential Scanning Calorimetry (DSC)* dan *Thermal Gravimetry Analysis (TGA)*.
4. Analisa dan pengambilan kesimpulan dari hasil-hasil pengujian dan mengklasifikasi sifat kimia dari spesimen *o-ring*.



Tabel 2. Struktur dan sifat kimia 4 jenis elastomer [4, 8]

| Chemical Nature | | CR-Neoprene (Polychloroprene rubber) | NBR-Buna-N (Nitrile rubber) | FKM-Viton (VDF Fluoro- elastomer) | PTFE Teflon (Polytetra- fluoroethylene) |
|------------------------|--------------------|--|--------------------------------|---|---|
| Struktur Molekul | | | | | |
| Ketahanan Kimia* | Crude oil (>120°C) | 4 | 4 | 2 | 1 |
| | HF | 1 | 3 | 1 | 1 |
| | Methanol | 1 | 1 | 4 | 1 |
| Batas bawah temperatur | | -45 | -30 | -20 | -190 |
| Batas atas temperatur | | 100 | -120 | 200 | 290 |

* Catatan:
 (1) = Baik – Bekerja dengan baik dalam level zat kimia tinggi
 (2) = Cukup – Bekerja dengan baik hanya dalam temperatur rendah atau level zat kimia rendah
 (3) = Buruk – Performa bergantung pada level bahan kimia
 (4) = Sangat Buruk – Tidak memiliki toleransi terhadap zat kimia

Tabel 3. Tahap pengujian ketahanan kimia

| Tahap 1 | | |
|---------------|---------------------|---------------------------|
| Bahan Kimia | Kriteria Penerimaan | |
| Minyak Mentah | Lolos | FKM-Viton PTFE -Teflon |
| | Gagal | NBR-Buna-N CR-Neoprene |
| Tahap 2 | | |
| Bahan Kimia | Kriteria Penerimaan | |
| Methanol | Gagal | FKM-Viton |
| | Lolos | PTFE-Teflon |
| HF | Gagal | NBR-Buna-N |
| | Lolos | CR-Neoprene |

3. Data dan Analisis

Dari hasil pengujian ketahanan kimia dan karakterisasi dua sampel *o-ring*, diperoleh data sebagai berikut.

Ketahanan zat kimia *o-ring*

Kedua sampel *o-ring* mengalami degradasi kimia dalam *synthetic crude oil* bersuhu 150°C dan metanol (larutan MeOH) seperti dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5. Degradasi ditunjukkan dengan perubahan densitas dan terjadinya swelling pada spesimen. Namun,

karena perubahan rupa kurang jelas terlihat secara kualitatif dengan mata, penentuan kategori ketahanan kimia dilakukan berdasarkan perubahan densitas.

Hasil proses pengujian pertama ditunjukkan pada Tabel 4. Dari sini dapat dilihat bahwa spesimen *seat o-ring* mengalami sedikit degradasi setelah direndam dalam *synthetic crude oil* (perubahan densitas sebesar 2.7%) dan dapat diklasifikasikan sebagai FKM-Viton. Dalam pengujian ini *body o-ring* mengalami perubahan densitas yang relatif tinggi, yaitu 6.5%, dan dapat diklasifikasikan sebagai FKM-Viton, CR-Neoprene, atau NBR-Buna-N.

Dari hasil pengujian ke-2 (Tabel 5), *seat o-ring* dan *body o-ring* mengalami degradasi yang signifikan (mengalami perubahan densitas sebesar 9.2% dan 10.3%) sesudah direndam dalam methanol. Sementara itu, setelah direndam dalam larutan HF, tingkat degradasi yang dialami kedua spesimen relatif kecil (perubahan densitas sebesar 0.5% dan 1.7%). Dari sini ditarik kesimpulan bahwa material *seat o-ring* dan *body o-ring* dapat diklasifikasikan sebagai FKM-Viton

Dengan menggabungkan hasil kedua tahap penyaringan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa jenis elastomer kedua sampel *o-ring* adalah FKM-Viton (VDF Fluoro-elastomer).



Tabel 4. Hasil pengujian ketahanan kimia tahap 1

| Pengujian Tahap 1 | | Bahan Kimia: Crude Oil 150°C | |
|-------------------|--------------------|------------------------------|--|
| Seat O-ring | Perubahan Densitas | 2.7 % | FKM-Viton |
| | Perubahan Rupa | Swelling | |
| | Kategori*/kriteria | 2 / Lolos | |
| Body O-ring | Perubahan Densitas | 6.5 % | FKM-Viton, or CR-Neoprene, or NBR-Buna-N |
| | Perubahan Rupa | Swelling | |
| | Kategori*/kriteria | 3 / Mungkin Lolos | |

* Catatan: (1) = Baik – Bekerja dengan baik dalam level zat kimia tinggi
(2) = Cukup – Bekerja dengan baik hanya dalam temperatur rendah atau level zat kimia rendah
(3) = Buruk – Performa bergantung pada level bahan kimia
(4) = Sangat Buruk – Tidak memiliki toleransi terhadap zat kimia

Tabel 5. Hasil pengujian ketahanan kimia tahap 2

| Pengujian Tahap 2 | | Methanol | | HF | |
|-------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|---|
| Seat O-ring | Perubahan Densitas | 9.2 % | FKM-Viton | 0.5 % | CR-Neoprene or, FKM-Viton or, PTFE-Teflon |
| | Perubahan Rupa | Swelling | | Tidak ada | |
| | Kategori*/kriteria | 4 / gagal | | 1 / lolos | |
| Body O-ring | Perubahan Densitas | 10.3 % | FKM-Viton | 1.7 % | CR-Neoprene or, FKM-Viton or, PTFE-Teflon |
| | Perubahan Rupa | Swelling | | Tidak ada | |
| | Kategori*/kriteria | 4 / gagal | | 1 / lolos | |

* Catatan: (1) = Baik – Bekerja dengan baik dalam level zat kimia tinggi
(2) = Cukup – Bekerja dengan baik hanya dalam temperatur rendah atau level zat kimia rendah
(3) = Buruk – Performa bergantung pada level bahan kimia
(4) = Sangat Buruk – Tidak memiliki toleransi terhadap zat kimia

Komposisi material *o-ring*

Hasil pengujian FTIR pada *seat o-ring* ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan hasil uji untuk *body o-ring* ditunjukkan pada Gambar 4. Daftar gugus-gugus fungsi yang teridentifikasi dalam kedua sampel ditunjukkan pada Tabel 6.

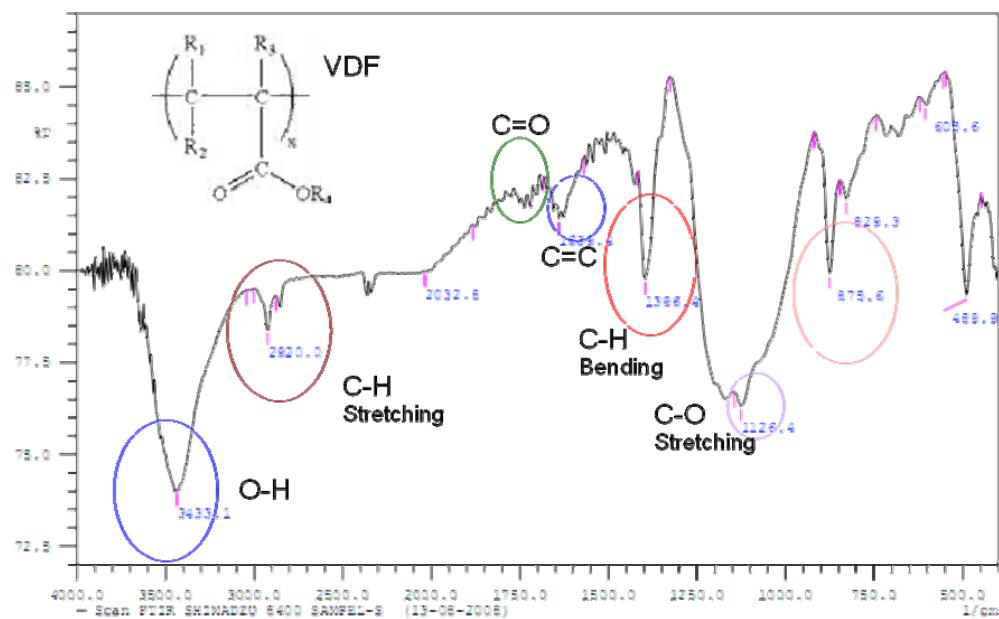
Analisis dari gugus-gugus fungsi spesifik dalam spesimen *seat o-ring* maupun *body o-ring* menunjukkan keberadaan Vinylidene Fluoride (VDF) dan Hexafluoro Propylene (HFP) yang merupakan polimer-polimer penyusun VDF-copolimer-HFP yang juga dikenal sebagai FKM (VDF Fluoro-elastomer). Analisis dari gugus-gugus fungsi spesifik dalam spesimen *seat o-ring* maupun *body o-ring* menunjukkan keberadaan Vinylidene Fluoride (VDF) dan Hexafluoro Propylene (HFP) yang merupakan polimer-polimer penyusun VDF-copolimer-HFP yang juga dikenal sebagai FKM (VDF Fluoro-elastomer).

Keberadaan puncak O-H pada 3425 - 3433 cm^{-1} menunjukkan bahwa kedua sampel *o-ring* telah mengalami degradasi selama pemakaiannya.

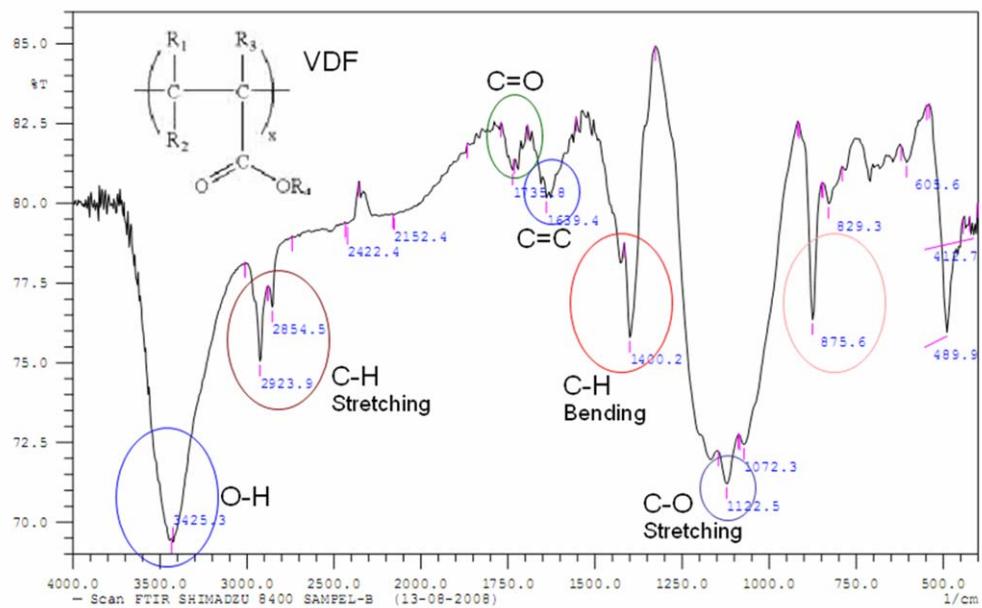
Untuk menganalisa perbandingan polimer penyusun, telah dihitung daerah puncak C=O dan C=C kedua sampel seperti dapat dilihat pada Tabel 7. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa kedua sampel memiliki persentase VDF yang lebih rendah daripada HFP. Namun *seat o-ring* memiliki rasio VDF-HFP yang lebih rendah daripada *body o-ring*.

Analisis spectrum FTIR ini memperkuat hasil yang didapatkan dari uji ketahanan kimia, yang menunjukkan bahwa *seat o-ring* maupun *body o-ring* terbuat dari FKM-Viton (VDF Fluoro-elastomer).





Gambar 3. Spektrum FTIR seat o-ring



Gambar 4. Spektrum FTIR body o-ring



Tabel 6. Gugus-gugus fungsi dalam spesimen hasil pengujian FTIR

| Gugus Fungsi (Puncak 1/cm) | | Analisa Polimer |
|---|--|------------------------------|
| Seat O ring | Body O ring | |
| C-H Stretching (2923.9) C=O (1735.8) C-H Bending (1400.2) C-O Stretching (1122.5) C-F (875.6) | C-H Stretching (2920.0) C=O (\pm 1730.0) C-H Bending (1396.4) C-O Stretching (1126.4) C-F (875.6) | VDF (Vinylidene Flouride) |
| C-H Stretching (2923.9) C=C (1639.4) C-H Bending (1400.2) C-F (875.6) | C-H Stretching (2920.0) C=C (1639.4) C-H Bending (1396.4) C-F (875.6) | HFP (Hexafluoropropylene) |
| O-H (3425.3) | O-H (3433.1) | Degradasi |

Tabel 7. Analisis Spektrum FTIR – Perbandingan Panjang Puncak C=O dan C=C

| Gugus Fungsi | Panjang Puncak | |
|----------------------|----------------|-------------|
| | Seat O-ring | Body O-ring |
| C=O (VDF) | 0.75 | 1.5 |
| C=C (HFP) | 1.5 | 2.0 |
| C=O:C=C (VDF:HFP) | 0.5 | 0.75 |

Temperatur dekomposisi *o-ring*

Temperatur dekomposisi yang didapat dari pengujian *Thermal Gravimetry Analysis* (TGA) dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Temperatur Dekomposisi *O-ring* dengan batas atas temperatur kerja FKM-Viton

| Temperatur Dekomposisi (°C) sampel O-ring | | Batas atas temperatur kerja (°C) FKM-Viton |
|---|-------------|--|
| Seat O-ring | Body O-ring | |
| 445 | 460 | 200 |

Hasil pengujian ini dibandingkan dengan batas atas temperatur kerja FKM-Viton. Temperatur dekomposisi termal *seat o-ring* dan *body o-ring* secara berurutan adalah 445°C dan 460°C. Batas atas temperatur kerja elastomer adalah setengah dari temperatur dekomposisi termal [6]. Dalam kasus ini, batas atas temperatur kerja dari kedua sampel *o-ring* berkisar antara 225°C hingga 230°C, yang mendekati batas atas temperatur kerja FKM-Viton [8]. Hasil pengujian ini pun memperkuat

analisa bahwa material *seat o-ring* dan *body o-ring* adalah FKM-Viton (VDF Fluoro-elastomer).

Konfirmasi temperatur kerja *o-ring*

Temperatur transisi gelas (Tg) spesimen *seat o-ring* dan *body o-ring* hasil pengujian *Digital Scanning Calorimetry* (DSC) dapat dilihat pada Tabel 9. Temperatur transisi gelas *seat o-ring* adalah -16,2°C, sementara *body o-ring* memiliki temperatur transisi gelas -15,3°C. Pada Tabel 9 hasil pengujian dibandingkan dengan batas bawah temperatur kerja FKM-Viton [8]. Dalam fungsinya sebagai *o-ring*, batas bawah temperatur kerja elastomer harus berada di atas temperatur transisi gelasnya [9].

Berdasarkan hasil pengujian ini temperatur transisi gelas (Tg) *seat o-ring* adalah -15,3°C dan temperatur transisi gelas (Tg) dari spesimen *body o-ring* adalah -16,2°C. Hasil pengujian tersebut menunjukkan temperatur transisi gelas yang masih mendekati namun lebih tinggi dari nilai batas bawah temperatur kerja FKM-Viton. Hal ini menguatkan analisa bahwa material penyusun kedua spesimen *o-ring* adalah FKM-Viton (VDF Fluoro-elastomer) yang telah mengalami degradasi.

Tabel 9. Perbandingan Temperatur Transisi Gelas *O-ring* dengan batas bawah temperatur kerja FKM-Viton

| Temperatur transisi gelas (°C) Spesimen O-ring | | Batas bawah temperatur kerja (°C) FKM-Viton |
|--|-------------|---|
| Seat O ring | Body O ring | |
| -15,3 | -16,2 | -20 |



4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis polimer *o-ring* pada *ball valve* dapat diidentifikasi melalui karakterisasi ketahanan zat kimia, komposisi kimia, dan sifat termal nya.
2. Berdasarkan pengujian ketahanan kimia, dapat disimpulkan bahwa jenis material penyusun *seat o-ring body* dan *o-ring o-ring* adalah elastomer dari FKM Viton. Hasil ini diperkuat oleh data komposisi kimia, temperatur dekomposisi dan temperatur transisi gelas dari hasil pemeriksaan FTIR, TGA dan DSC.
3. Hasil pemeriksaan FTIR dan DSC menunjukkan bahwa kedua sampel *o-ring* masing-masing memiliki perbandingan komposisi Vinylidene Fluoride: Hexafluoropropylene yang berbeda dan telah mengalami degradasi.
4. Hasil dari karakterisasi TGA dan DSC memberi konfirmasi bahwa, tanpa pembebanan mekanik, kedua sampel *o-ring* masih dapat digunakan pada batas temperatur antara -15°C sampai dengan 200°C

Daftar Pustaka

- [1] Radiman, C.L., Kimia Polimer, Penerbit ITB, Bandung, 2004, hal. 1-31.
- [2] Bryce, D.M., Plastic Injection Molding, Vol. 1, SME, Michigan, USA, 1999, hal. 6.
- [3] Brydson, John Andrew. *Plastics Materials 7th ed.* Butterworth-Heinemann. Oxford 1999
- [4] Flitney, R. K., Brown, Melvin W. *Seals and Sealing Handbook*, Elsevier Ltd, Burlington 2007.
- [5] <http://www.gravmag.com/production.shtml>
- [6] Szilas, A. Pál, *Production and transport of oil and gas*, Elsevier, New York (1975)
- [7] Smith, Peter, Zappe, R. W., *Valve selection handbook*, Elsevier, New York (2004)
- [8] Marston E., Piping Joints Handbook, BP-Amoco, Sunbury-Dyce, 2000, hal.114-115.
- [9] Brandrup, J., Immergut, E.H., Grulke, E.A., *Polymer Handbook 4th Edition*, John Wiley and Sons, Canada, 1999.



