



Pengujian Pipa Polietilen (PE) untuk Pemenuhan Standar pada Distribusi Gas Bumi Sektor Rumah Tangga

Lusyana, dan Fadjar Hidayat

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

Artikel Info:

Naskah Diterima:
3 September 2020
Diterima setelah perbaikan:
15 November 2020
Disetujui terbit:
30 Desember 2020

Kata Kunci:

Pipa
Polietilen
Pengujian
Gas
ISO 4437

ABSTRAK

Konsumsi LPG yang merupakan sumber energi utama pada sektor rumah tangga terus meningkat. Peningkatan tersebut tentunya berakibat pada bertambahnya anggaran subsidi mengingat suplai LPG kebanyakan dari impor. Gas bumi sebagai energi alternatif pengganti LPG terus digalakkan melalui pembangunan jaringan pipa distribusi. Pada umumnya jenis pipa yang digunakan untuk jaringan pipa distribusi adalah pipa yang berbahan polietilen (PE). Hal ini disebabkan pipa PE tidak mengalami korosi sehingga penanganannya lebih mudah dan umur pemakaian (*lifetime*) yang lebih panjang. Akan tetapi, pengaplikasian pipa PE pada jaringan distribusi harus mengikuti standar yang ketat guna menjamin tingkat keamanannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengujian kualitas pipa PE yang diproduksi oleh salah satu pabrikan di Indonesia dan membandingkannya dengan persyaratan lolos uji yang telah ditetapkan di dalam SNI ISO 4437:2015. Karakteristik pipa yang diuji adalah densitas, *melt flow rate* (MFR), *heat reversion*, *hidrostatik*, *oxidation induction time* (OIT) dan uji tarik. Pipa yang telah diuji memperlihatkan hasil: densitas pipa lebih dari 930 kg/m³ (kelompok MDPE), MFR pipa tidak banyak berbeda dengan bahan baku, tidak terjadi penyusutan yang signifikan ketika dilakukan pemanasan, tidak terjadi kebocoran maupun pecah setelah diuji hidrostatik, memiliki ketahanan termal yang baik, dan memiliki pemuluran lebih dari 350%.

© LPMGB - 2020

PENDAHULUAN

Saat ini Indonesia sedang menggalakkan pemanfaatan gas bumi di sektor rumah tangga sebagai wujud dari pelaksanaan program diversifikasi energi. Terlebih lagi, konsumsi elpiji yang merupakan sumber energi utama pada sektor rumah tangga terus meningkat. Pada tahun 2018 konsumsi elpiji meningkat hampir lima kali lipat dibanding tahun 2008 dimana pada tahun tersebut elpiji mulai didiseminasikan penggunaannya (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018). Peningkatan

konsumsi elpiji tentunya berakibat pada peningkatan anggaran subsidi mengingat suplai elpiji kebanyakan dari impor.

Penggalakkan pemanfaatan gas bumi pada sektor rumah tangga dilakukan melalui pembangunan jaringan pipa distribusi. Pada umumnya jenis pipa yang digunakan untuk jaringan pipa distribusi adalah pipa yang berbahan polietilen (PE). Hal ini disebabkan pipa PE tidak mengalami korosi sehingga penanganannya lebih mudah dan umur pemakaian (*lifetime*) yang lebih panjang daripada pipa jenis *carbon steel* atau galvanis.

Akan tetapi, pengaplikasian pipa PE pada jaringan distribusi harus mengikuti standar yang

Korespondensi:

E-mail: lusyanat@gmail.com (Lusyana)
fadjar_hidayat@yahoo.com (Fadjar Hidayat)

ketat guna menjamin tingkat keamanannya ketika digunakan. Terlebih lagi gas yang dialirkan termasuk B3 (bahan beracun dan berbahaya). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengujian kualitas pipa PE yang diproduksi oleh salah satu pabrikan di Indonesia dan membandingkannya dengan persyaratan lolos uji yang telah ditetapkan di dalam SNI ISO 4437:2015 agar diketahui kelayakan pipa tersebut. Standar SNI ini merupakan adopsi identik dari ISO 4437:2014.

A. Tinjauan Pustaka

Poliethilen yang mempunyai rumus bangun seperti pada Gambar 1 merupakan polimer padatan semi-kristal bersifat termoplastik yang diperoleh dari polimerisasi etena (C_2H_4) dengan menggunakan katalisator pada kondisi tekanan dan suhu tertentu.

B. Karakteristik Pipa Polietilen

Dibandingkan dengan pipa logam, pipa berbahan polietilen mempunyai karakteristik yang lebih unggul, diantaranya adalah (PAMSIMAS, 2019):

- Memiliki fleksibilitas tinggi (kekuatan *tensile* >22 mPa dan elastisitas >700%)
- Memiliki kemampuan dalam menahan benturan (*impact strength*)
- Memiliki ketahanan akan temperatur rendah bahkan temperatur air beku
- Ringan (mengapung di air) dengan densitas = 0.94 gr/cm^3 sehingga mudah dalam penanganan transportasi
- Metode penyambungan yang cepat dan mudah
- Tahan terhadap korosi dan abrasi
- Jangka waktu pemakaian 50 tahun

C. Klasifikasi

Senyawa polietilen sebagai bahan baku pembuat pipa diklasifikasikan menjadi 3 kelompok seperti yang terlihat pada Tabel 1. Pengelompokan didasarkan pada tingkat kepadatan (densitas) senyawa polietilen (Sojobi & Owamah, 2014).

BAHAN DAN METODE

Pengujian pipa PE pada umumnya menggunakan SNI ISO 4437:2015 sebagai acuan dimana di dalam standar tersebut telah ditentukan metode yang digunakan untuk pengujian setiap karakteristik pipa PE seperti yang terangkum di dalam Tabel 2. Tiap jenis pengujian tersebut menggunakan spesimen sebanyak 3 buah.

A. Densitas

Prosedur (ISO 1183, 2004):

Piknometer kosong ditimbang terlebih dahulu, lalu dilanjutkan dengan penimbangan sampel uji. Setelah itu sampel dimasukkan ke dalam piknometer yang telah diisi air sampai penuh dan ditimbang. Selanjutnya sampel dikeluarkan dan timbang air yang didalam piknometer. Data hasil penimbangan dimasukkan ke dalam formula berikut untuk mendapatkan nilai densitas pipa PE.

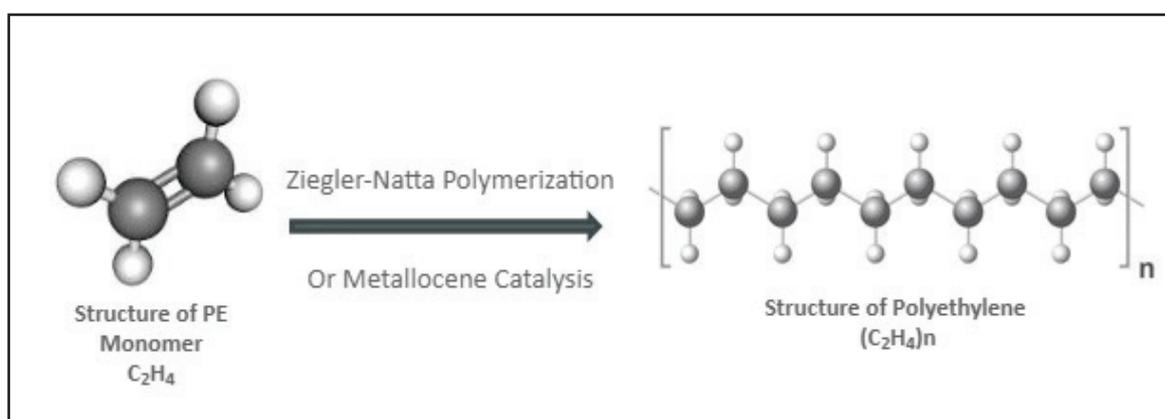
$$\rho_s = \frac{m_s + \rho_l}{m_1 - m_2} \quad (1)$$

dimana:

ρ_s = densitas pipa PE (gr/cc)

m_s = massa sampel pipa PE (gr)

m_1 = massa air (gr)



Gambar 1
Polimerisasi polietilen (*Omnexus*).

Pengujian Pipa Polietilen (PE) untuk Pemenuhan Standar
pada Distribusi Gas Bumi Sektor Rumah Tangga (Lusyana dan Fadjar Hidayat)

Tabel 1
Klasifikasi senyawa polietilen

Kategori	Densitas (kg/m ³)
Low Density Polyethylene (LDPE)	910 – 925
Medium Density Polyethylene (MDPE)	926 – 940
High Density Polyethylene (HDPE)	940 – 958

Tabel 2
Standar pengujian pipa PE

Karakteristik	Standar
1. Densitas	ISO 1183
2. Melt Flow Rate (MFR)	ISO 1133
3. Heat Reversion	ISO 2505
4. Hidrostatik	ISO 1167
5. Oxidation Induction Time (OIT)	ISO 11357-6
6. Tensile	ISO 6259

m_2 = massa sampel dan air di dalam pikno (gr)

ρ_l = densitas air (gr/cc)

B. Melt Flow Rate (MFR)

Prosedur (ISO 1133, 2011):

Pipa PE yang telah dipotong kecil-kecil dimasukkan ke dalam alat MFR yang sebelumnya telah diatur temperaturnya menjadi 190°C dan didiamkan terlebih dahulu agar panas sampel menjadi merata atau homogen. Selanjutnya pasang beban piston seberat 5 kg. Potongan pipa PE yang telah meleleh akan terdorong akibat beban dan mulai diukur waktunya. Setiap 10 menit lelehan pipa PE yang keluar dari alat MFR dipotong dan ditimbang beratnya. Nilai MFR dinyatakan dalam gr/10 menit.

C. Heat Reversion

Prosedur (ISO 2505, 2005):

Buat dua titik pada pipa dengan jarak L_0 menggunakan jangka sorong. Pipa kemudian dipanaskan di dalam oven dengan suhu 110 ± 2 °C. Durasi pemanasan pipa tergantung ketebalan pipa seperti yang terangkum di dalam Tabel 2. Setelah pemanasan selesai, pipa didinginkan dan diukur kembali jarak antara dua titik (L). *Heat reversion* pipa (R_L) dinyatakan dalam persen yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_L = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

$$\Delta L = L_0 - L$$

dimana:

L_0 adalah jarak sebelum dimasukkan oven (mm)

L adalah jarak setelah dimasukkan oven (mm)

D. Hidrostatik

Prosedur (ISO 1167, 2012):

Ukur diameter rata-rata dan ketebalan minimum pipa untuk menghitung tekanan uji hidrostatik dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{2 \times T_{min} \times 4.5 \times 10}{OD_{rata-rata} - T_{min}} \quad (3)$$

dimana:

P adalah tekanan uji hidrostatik

T_{min} adalah tebal minimum pipa

$OD_{rata-rata}$ adalah diameter luar rata-rata pipa

Pipa yang telah diukur dimensinya ditutup pada kedua ujungnya dengan *endcap* (penutup) seperti terlihat pada Gambar 5. Lalu pipa diisi dengan air panas hingga tekanan uji tercapai. Pipa yang telah bertekanan tersebut selanjutnya direndam di dalam bak hidrostatik yang berisi air panas dengan temperature 80°C. Pengujian hidrostatik dilakukan selama 165 jam.

E. Oxidation Induction Time (OIT)

Prosedur (ISO 11357-6, 2018):

Spesimen pipa yang telah diletakkan di dalam wadah uji/*crucible* dipanaskan di dalam alat DSC

(*Differential Scanning Calorimetry*) dipanaskan dalam lingkungan *inert* dengan mengalirkan gas nitrogen (N_2). Setelah suhu uji tercapai yaitu $200^\circ C$, aliran gas dialihkan dari lingkungan *inert* ke lingkungan O_2 , atau udara. Waktu yang digunakan mulai dari peralihan gas O_2 ke permulaan reaksi oksidasi didefinisikan sebagai OIT.

F. Tensile (Uji Tarik)

Prosedur (ISO 6259, 2015):

Pipa dipotong dengan bentuk seperti yang terlihat pada Gambar 7. Selanjutnya pipa ditarik dengan laju tertentu hingga diperoleh nilai pemulurannya (*elongation*). Ukuran sampel uji dan laju tarik tergantung diameter pipa yang akan diuji.

HASIL DAN DISKUSI

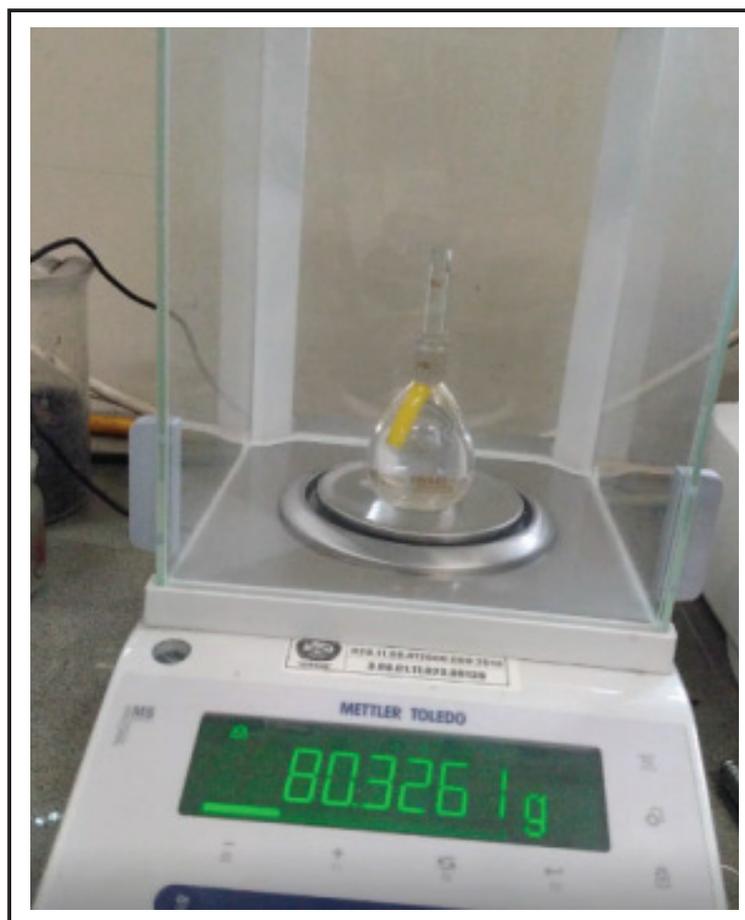
Dari pengujian kualitas pipa yang telah dilakukan terhadap salah satu pabrikan diperoleh hasil seperti terlihat dalam Tabel 4.

A. Densitas

Dari hasil pengujian pada Tabel 4 di atas terlihat jika densitas pipa memenuhi persyaratan lolos uji. Pipa untuk penyaluran gas disyaratkan mempunyai densitas dengan kategori MDPE atau HDPE yaitu lebih dari 930 kg/m^3 .

Nilai densitas pipa mempengaruhi sifat fisika pipa yang terkait dengan kinerjanya. Karakteristik seperti ketahanan retak tegangan, kekuatan tarik dan kekakuan dipengaruhi oleh densitas resin bahan baku pipa PE.

Secara kimiawi, pipa yang terbuat dari LDPE mempunyai struktur dengan percabangan sehingga lebih fleksibel dan ulet, sedangkan pipa MDPE dan HDPE struktur kimianya linear sehingga lebih kuat, kaku dan tahan terhadap bahan kimia (Zehtabeyzdi, dkk., 2007).



Gambar 2
Pengujian densitas pipa.



Gambar 3
Pengujian *Melt Flow Rate* (MFR) pipa.



Gambar 4
Pengujian *heat reversion*.



Gambar 5
Sampel pipa polietilen (PE) uji hidrostatis.

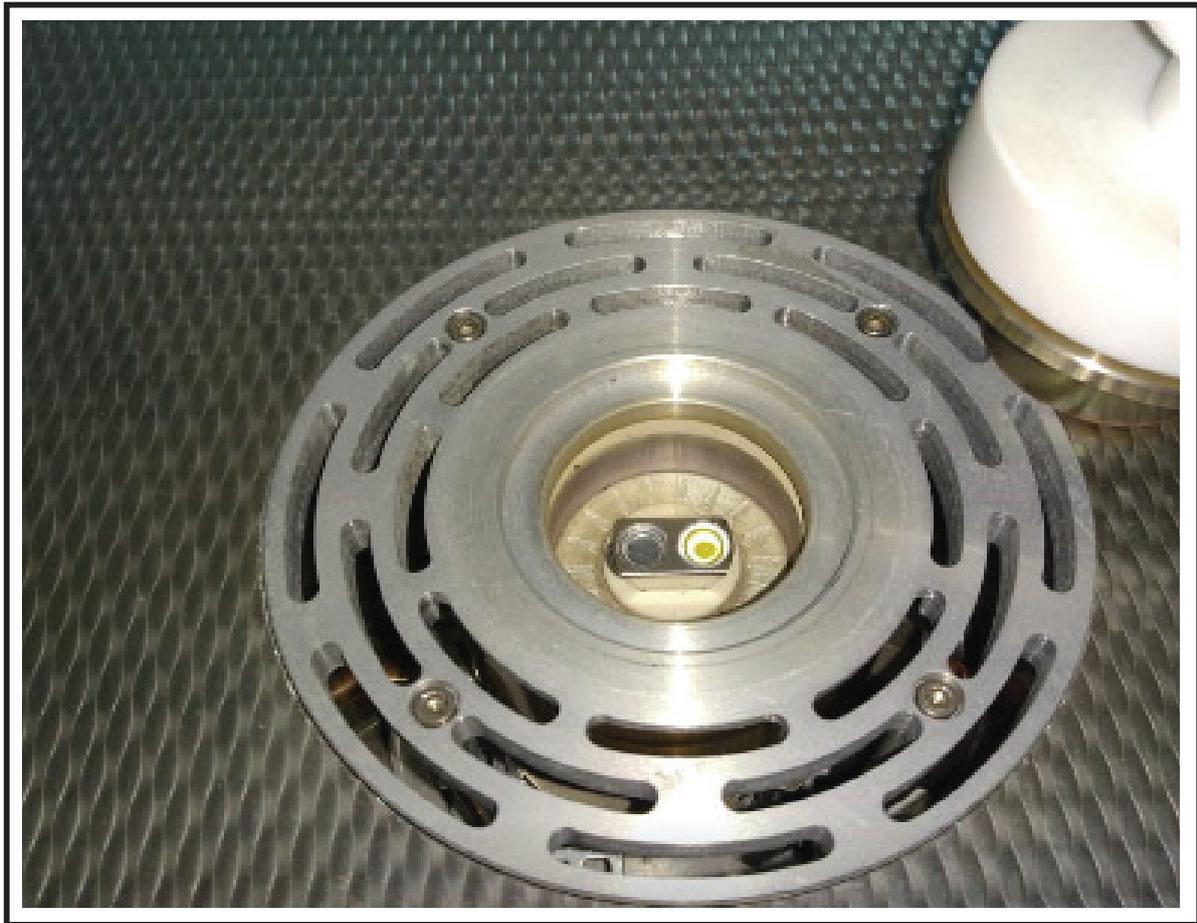
B. Melt Flow Rate (MFR)

Pada pengujian MFR diperoleh jika pipa memenuhi syarat lolos uji karena perubahan MFR akibat proses produksi pipa kurang dari 20%. Hal ini berarti MFR pipa tidak jauh berbeda dengan MFR bahan baku polietilen.

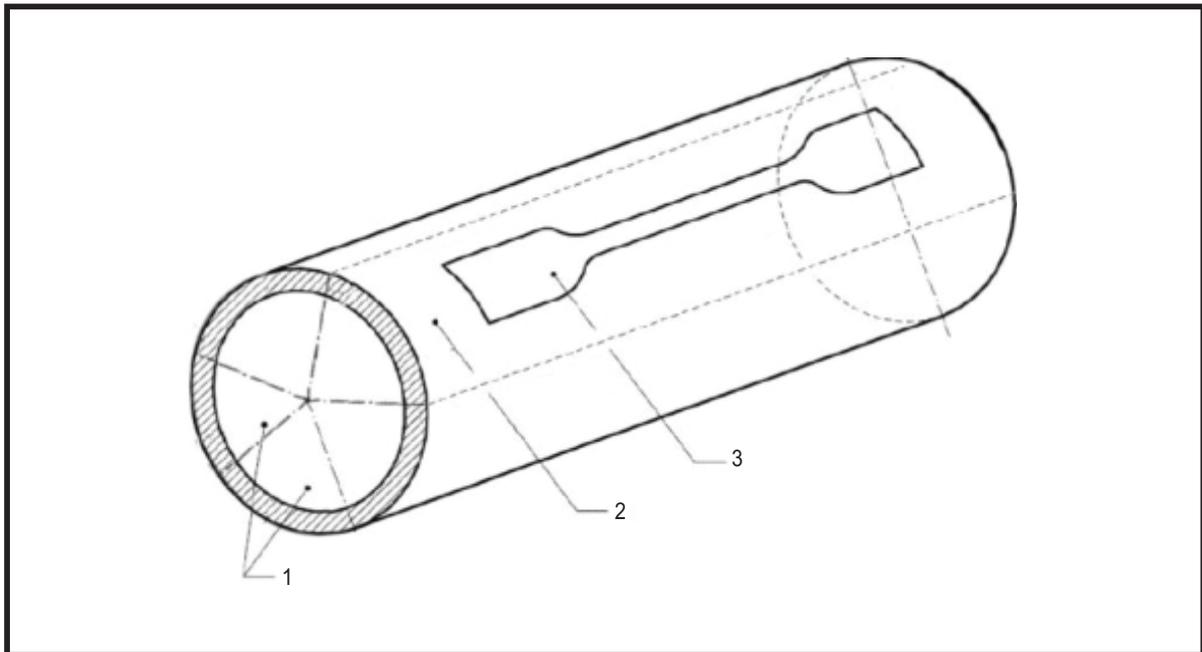
MFR merupakan salah satu parameter yang menggambarkan kemudahan aliran lelehan polietilen.

Tabel 3
Durasi pemanasan pipa

Ketebalan pipa €	Durasi pemanasan (menit)
$e \leq 8$ mm	60
$8 \text{ mm} < e \leq 16$ mm	120
$e > 16$ mm	240



Gambar 6
Pengujian *Oxidation Induction Time* (OIT) pipa.



Gambar 7
Preparasi sampel uji *tensile*.

Semakin tinggi MFR mengindikasikan senyawa polietilen mudah meleleh sehingga mudah diproses (Ramkumar, dkk., 2014).

C. Heat Reversion

Secara struktur pipa PE merupakan plastik semi-kristalin. Hal ini disebabkan adanya molekul yang tersusun teratur di antara molekul acak lainnya. Pada Gambar 10 kristal tersebut diilustrasikan dengan garis biru. Ketika proses produksi senyawa PE mengalami pemanasan yang berakibat pada meningkatnya

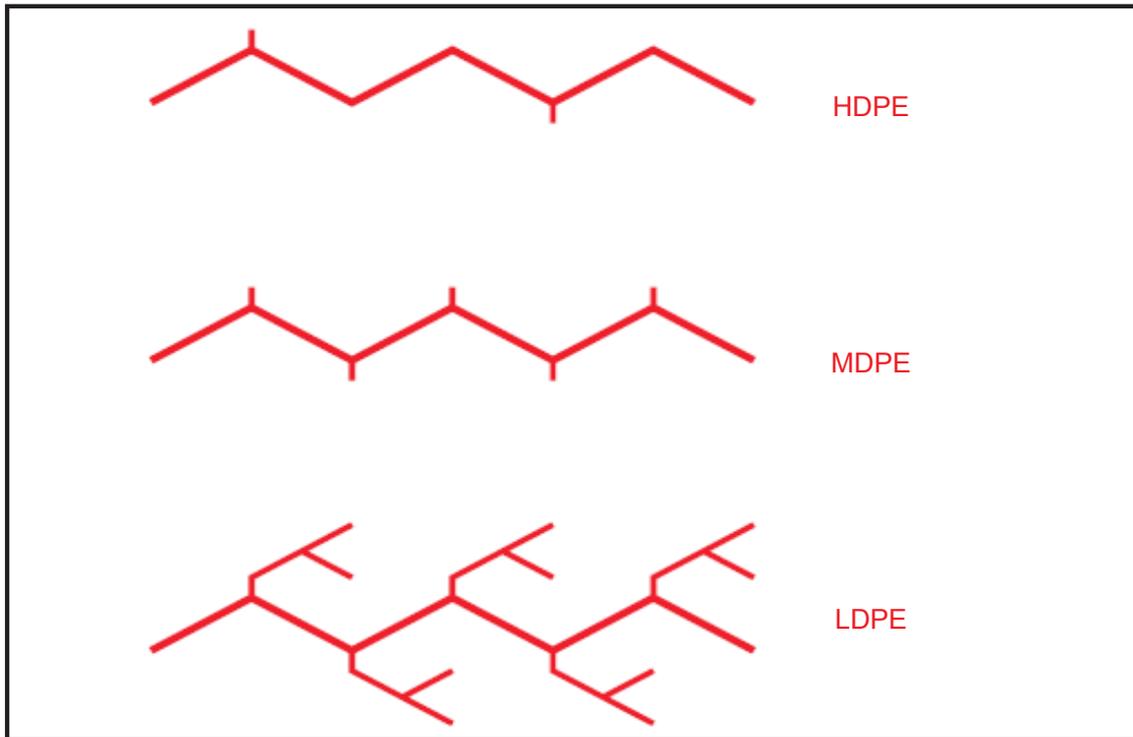
jumlah kristal. Peningkatan jumlah kristal terus terjadi hingga terjadi kesetimbangan dimana derajat kristalinitas akan berpengaruh terhadap penyusutan dan deformasi pipa. Oleh karena itu, pipa yang telah diproduksi perlu diuji *heat reversion* guna melihat seberapa besar terjadinya penyusutan atau deformasi pipa akibat jumlah kristal yang dikandungnya. Agar pipa lolos uji maka penyusutan harus di bawah 3% dan hasil uji pipa menunjukkan penyusutan pipa hanya 1.07%. Ini berarti pipa tidak akan menyusut lagi saat diaplikasikan di lapangan.

Tabel 4
Hasil uji kualitas pipa polietilen (PE)

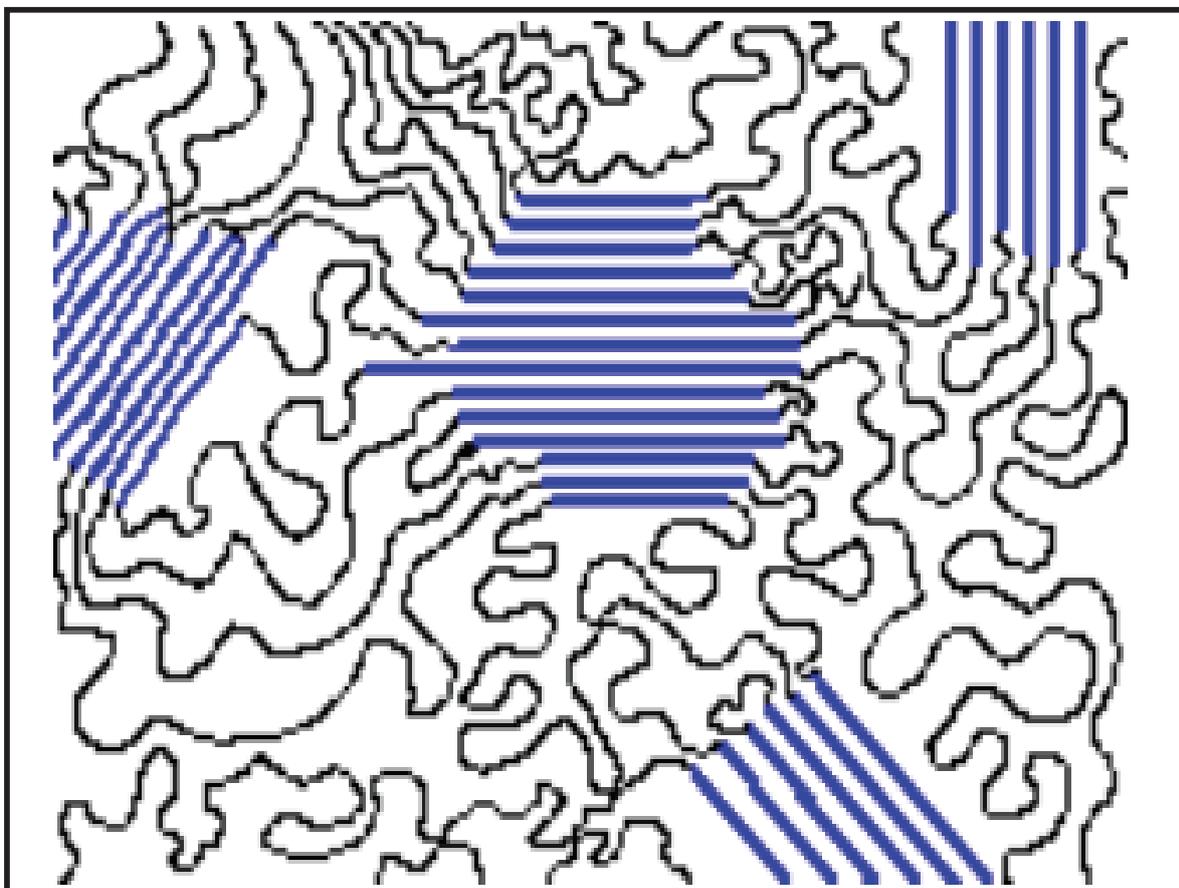
Parameter	Lolos Uji	Hasil uji
1. Densitas	$\geq 930\text{kg/m}^3$	938 kg/m^3
2. Melt Flow Rate (MFR)	Perubahan MFR akibat proses produksi <20%	0.12%
3. Heat Reversion	Efek pada permukaan $\leq 3\%$	1.07%
4. Hidrostatik	Tidak bocor, tidak pecah	Tidak bocor, tidak pecah
5. Oxidation Induction Time (OIT)	> 20 menit	69 menit
6. Tensile	$\geq 350\%$	717%



Gambar 8
Pengujian *tensile* pipa.



Gambar 9
Struktur bangun *High Density Polyethylene* (HDPE),
Medium Density Polyethylene (MDPE) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE).



Gambar 10
Ilustrasi molekul polietilen (Ryan, 2008).

D. Hidrostatik

Gas yang akan disalurkan di dalam pipa PE merupakan gas bertekanan sehingga pipa harus tahan terhadap tekanan operasi gas. Pengujian ketahanan terhadap tekanan internal pipa dikenal dengan uji hidrostatik. Di dalam pengujian ini, tekanan hidrostatik yang digunakan sebesar 9.36 bar yang dihitung dari rumus (3) di atas.

Selain itu, uji hidrostatik dapat digunakan di dalam proses penentuan umur pakai pipa melalui pengujian jangka panjang hingga pipa pecah. Grafik simulasi yang dibuat oleh Andreas Frank dkk. menunjukkan bahwa ketika pipa diuji pada berbagai temperatur maka titik pecah tersebut merupakan titik awal untuk ekstrapolasi umur pipa. Pada Gambar 11 pipa yang pecah pada *temperature* 20°C memiliki umur pakai 50 tahun.

E. Oxidation Induction Time (OIT)

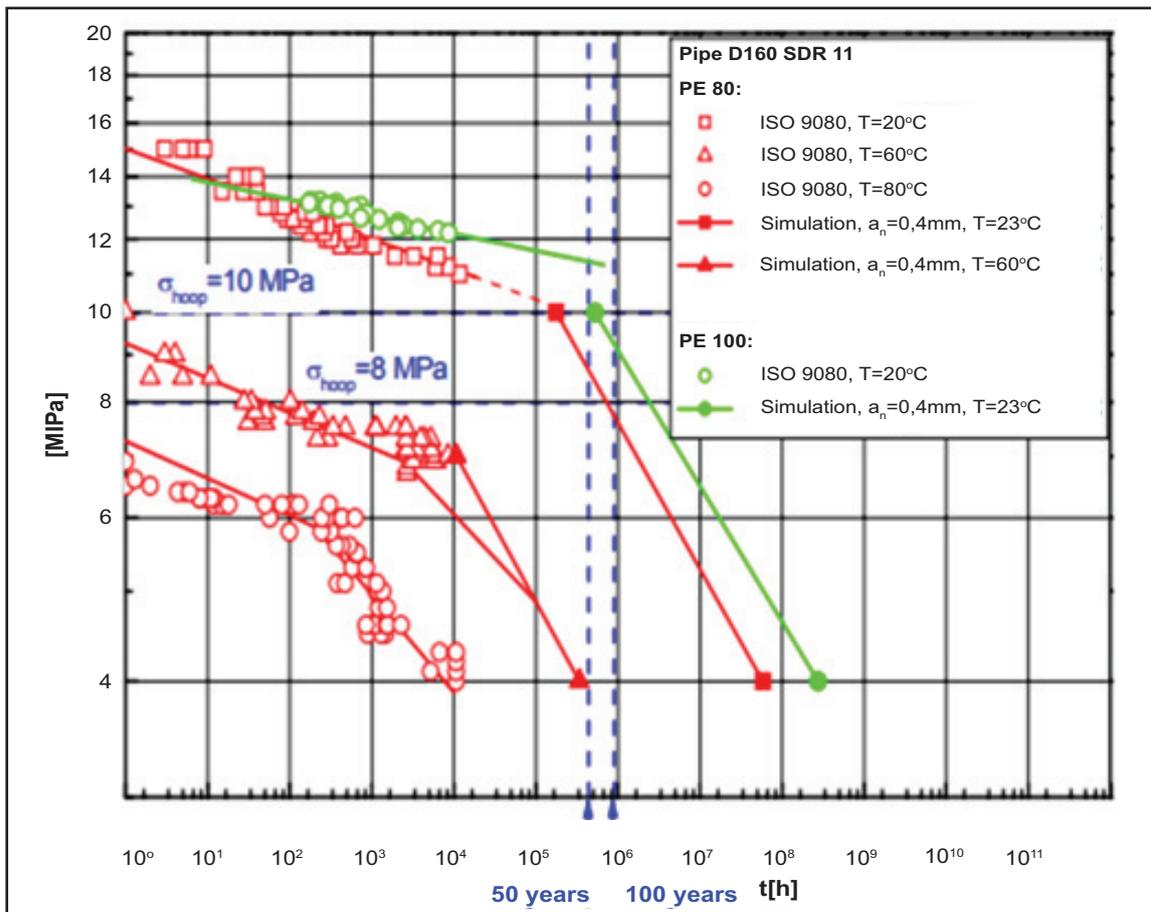
OIT memberikan informasi tentang stabilitas termal bahan polietilen. Informasi ini penting karena

pipa PE mengalami penuaan selama pemakaian di lapangan akibat terpapar panas, oksigen, cahaya dan radiasi. Penuaan menyebabkan degradasi sifat fisik polimer dan akan menyebabkan kerusakan pada pipa. Hasil pengujian menunjukkan OIT pipa lolos uji karena OIT mencapai 69 menit atau lebih dari yang disyaratkan.

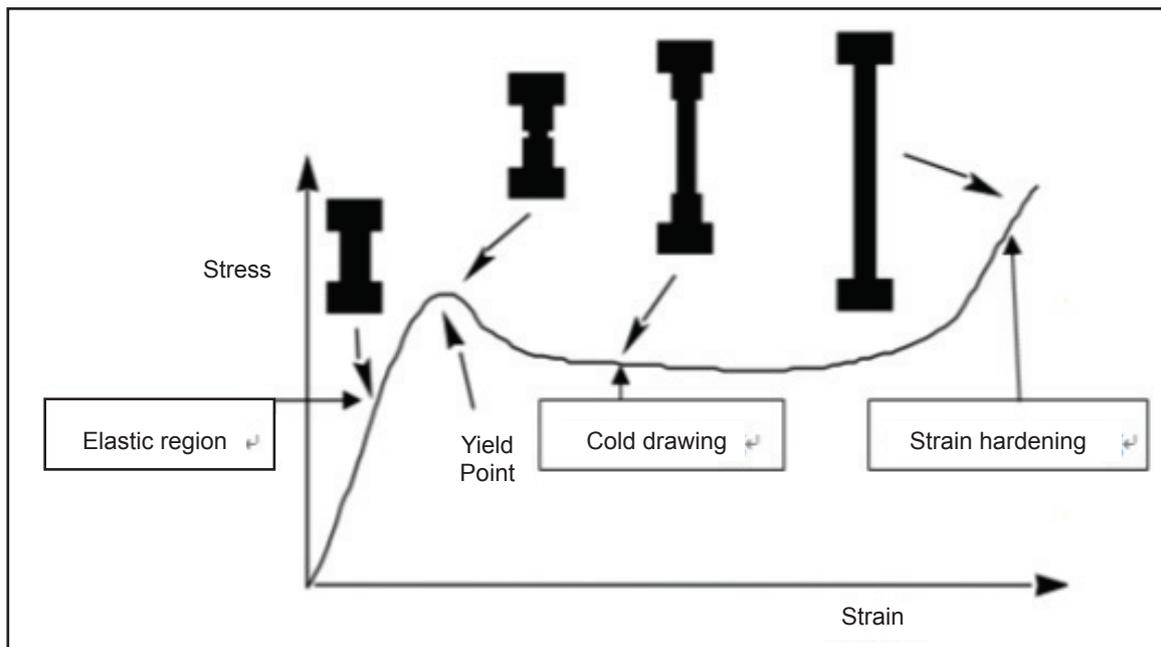
F. Tensile (Uji Tarik)

Karakteristik pipa lainnya yang tidak kalah penting adalah pemuluran yang dapat diketahui melalui uji tarik (*tensile*). Kurva uji tarik pipa PE pada umumnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Titik dimana tegangan menyebabkan perubahan bentuk pada pipa di luar wilayah elastisnya (deformasi permanen) disebut kekuatan tarik (*tensile strength*).

Pipa yang terbuat dari material PE dengan densitas tinggi mempunyai kekuatan tarik yang lebih besar, tetapi juga lebih rapuh dan pemuluran rendah. Bahan dengan tingkat pemuluran yang relatif



Gambar 11 Waktu kegagalan uji hidrostatik berdasarkan simulasi (Andreas Frank, 2010).



Gambar 12
Kurva tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*) (Qi, 2014).

tinggi mengindikasikan tingginya kelenturan pipa. Saat ini pipa yang kebanyakan digunakan memiliki pemuluran 400% hingga 800%. Hasil uji pipa pun menunjukkan pemuluran dalam rentang tersebut yaitu 717%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih pada PPPTMGB “Lemigas” atas dukungan yang telah diberikan melalui penyediaan alat dan pendanaan kegiatan ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian pipa dari salah satu pabrikan diperoleh bahwa karakteristik pipa memenuhi syarat lolos uji SNI 4437:2015. Pada pengujian pipa polietilen ini memiliki densitas 938 kg/m^3 merupakan bagian dari *Medium Density Polyethylene* (MDPE) dari yang dipersyaratkan standar sebesar $\geq 930 \text{ kg/m}^3$, sedangkan perubahan pada *Melt Flow Rate* (MFR) akibat proses produksi sebesar 0,12% dimana syarat lulus uji harus $< 20\%$. Selain itu efek perubahan yang dialami pada permukaan pipa saat pengujian heat reversion 1,07%, dimana agar lulus uji harus memenuhi nilai $\leq 3\%$.

Hasil lainnya tidak terjadi kebocoran maupun pecah setelah diuji hidrostatis sesuai syarat lolos uji dan juga terdapat nilai *Oxidation Induction Time* (OIT) pipa sebesar 69 menit dari yang dipersyaratkan standar sebesar ≥ 20 menit serta setelah hasil pengujian diketahui pipa mempunyai kemuluran hingga 717%, dimana syarat lulus uji harus memiliki kemuluran $\geq 350\%$.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
PE	Polietilen	
<i>Lifetime</i>	Umur pemakaian panjang	
OIT	<i>Oxidation Induction Time</i> (OIT)	
MFR	<i>Melt Flow Rate</i>	
MDPE	<i>Medium Density Polyethylene</i>	
HDPE	<i>High Density Polyethylene</i>	
B3	Bahan beracun dan berbahaya	

KEPUSTAKAAN

- Frank, A., Pinter, G. & Lang, R. W.**, 2010. Fracture Mechanics Lifetime Prediction of PE 80 and PE 100 Pipes Under Complex Loading Conditions. Vancouver, Canada.
- International Standard Organization (ISO) 1133-1:2011**, 2011. Determination of The Melt Mass-Flow Rate (MFR) and Melt Volume-Flow Rate (MVR) of Thermoplastics, Jakarta: International Standard Organization (ISO).
- International Standard Organization (ISO) 11357-6**, 2018. Plastics - Differential scanning calorimetry (DSC) - Part 6: Determination of oxidation induction time (isothermal OIT) and oxidation induction temperature (dynamic OIT), International Standard Organization (ISO).
- International Standard Organization (ISO) 1167-1**, 2006. Thermoplastics Pipes, Fittings and Assemblies for The Conveyance of Fluids - Determination of The Resistance To Internal Pressure. International Standard Organization (ISO).
- International Standard Organization (ISO) 1183-1**, 2019. Plastics - Methods for Determining The Density of Non-Cellular Plastics, International Standard Organization (ISO).
- International Standard Organization (ISO) 6259-1**, 2015. Thermoplastics Pipes - Determination of Tensile Properties, International Standard Organization (ISO).
- International Standard Organization (ISO) ISO 2505**, 2005. Thermoplastics Pipes - Longitudinal Reversion - Test Method and Parameters, International Standard Organization (ISO).
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM)**, 2018. Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia, Jakarta : Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).
- Li, S. & Qi, K.**, 2014. The Mechanical and Fracture Property of HDPE-Experiment Result Combined with Simulation. Karlskrona, Sweden: Department of Mechanical Engineering Blekinge Institute of Technology.
- Omnexus**, 2019. Omnexus. [Online] Available at: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-plastic> [Accessed 2 August 2019].
- Ramkumar, P., Kulkarni, D., Abhijit, V. & Cherukumudi, A.**, 2014. Investigation of Melt Flow Index and Impact Strength of Foamed LLDPE for Rotational Moulding Process. Procedia Materials Science, Volume 6, pp. 361-367.
- Ryan, D.**, 2008. Annealing Polyethylene Pipe, Panningen, Netherland: Akatherm.
- Sojobi, A. & Owamah, H.**, 2014. Evaluation of The Suitability of Low Density Polyethylene (LDPE) Waste As Fine Aggregate In Concrete. Nigerian Journal of Technology, 33(4), pp. 409-425.
- Wikipedia**, 2019. Wikipedia. [Online] Available at: <https://id.wikipedia.org/wiki/Polietilena> [Accessed 15 August 2019].
- Zehtabeyazdi, A., Zebarjad, S. M., Sajjadi, S. A. & Esfahani, J. A.**, 2007. On the sensitivity of dimensional stability of high density polyethylene on heating rate. eXPRESS Polymer Letters, 1(2), p. 92-97.