

## Penurunan Sifat Mekanis Terpal PE Akibat Paparan Lingkungan dan Beban Kontinu

Julian Anindito Wdiatmoko<sup>1\*</sup>, R. Faiz Listyanda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Tidar,

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar,.,

Jl. Kaptan Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116

\*E-mail: julian\_w@untidar.ac.id

Diajukan: 28-11-2023; Diterima: 28-04-2024; Dipublikasi: 29-04-2024

### Abstrak

Aplikasi terpal PE (*polyethylene*) sering melibatkan interaksi langsung dengan lingkungan luar dan beban, misalnya dari tekanan air, udara atau tanah. Hal ini dapat mengakibatkan perubahan pada sifat-sifatnya sehingga mempengaruhi umur pemakaian. Sejauh ini, penurunan sifat-sifat mekanis material *polyethylene* telah diamati pada berbagai penelitian, namun belum ada yang secara khusus berfokus pada struktur anyaman seperti terpal. Artikel ini menginvestigasi penurunan sifat mekanis yang disebabkan oleh kedua faktor di atas pada bahan terpal, sehingga diketahui karakteristik kerusakannya. Uji tarik dan uji jebol dilakukan terhadap spesimen bahan terpal yang telah dipapar cuaca selama 1, 2, dan 3 bulan, dengan dan tanpa beban kontinu. Data kekuatan tarik, kemuluran dan kekuatan jebol kemudian dibandingkan berdasarkan waktu paparan dan keberadaan beban kontinu. Ditemukan penurunan sifat-sifat mekanis secara bertahap seiring dengan lama paparan. Perbandingan antara spesimen terpal baru dan yang telah diberi perlakuan paparan selama 3 bulan menunjukkan penurunan kekuatan tarik dan kemuluran sebesar 56% dan 67%. Pada semua variasi waktu paparan, spesimen dengan beban kontinu mengalami penurunan sifat yang lebih besar daripada spesimen tanpa beban. Baik degradasi bahan *polyethylene* maupun perubahan struktur anyaman disinyalir berpengaruh terhadap perubahan karakteristik mekanis pada spesimen dengan beban kontinu.

**Kata kunci:** anyaman; komposit; *polyethylene*; terpal

### Abstract

The applications of polyethylene tarpaulin are often related to environment and load exposure such as pressure from air, water or soil. This can lead to changes in its properties that affect the useful life. So far, researches has been conducted to observe degradation in mechanical properties of polyethylene, but not specifically with woven structure like in tarpaulin. This article investigates the mechanical properties degradation of tarpaulin which is caused by two factors mentioned earlier to determine its detriment characteristics. Tensile dan bursting tests were conducted on tarpaulin specimens that have been exposed to weather for 1, 2, and 3 months, with or without continuous loads. Tensile strength, elongation, and bursting strength were compared basen on exposing time and the existence of continuous load. It was found that mechanical properties were decreased along with exposure time. Comparison between new and 3-month exposed tarpaulin showed that there were 56% and 67% decreases in tensile strength and elongation. In all exposure times, specimens with continuous load present higher mechanical properties degradation than specimens without load. Both polyethylene degradation and changes in wove structure are allegedly causes of these changes.

**Keywords:** composite; polyethylene; tarpaulin; woven

### 1. Pendahuluan

Terpal merupakan salah satu jenis *wooven fabric* yang digunakan dalam banyak aplikasi seperti, penutup muatan truk, *cover material* bangunan, sebagai atap dan dinding bangunan non permanen. Dilihat dari material yang dipakai, terdapat dua jenis terpal yaitu terpal PVC (*poly vinyl-chloride*) dan terpal PE (*polyethylene*). Selain kuat dan fleksibel, jenis terpal PE juga tahan air dan tahan rembes [1], sehingga banyak digunakan sebagai *liner* kolam budidaya ikan. Di pasaran, terpal PE sering dikenal dengan istilah terpal plastik. Struktur terpal PE berupa anyaman benang HDPE (*high density polyethylene*) yang dilapisi oleh LDPE di kedua sisinya [2]. *Polyethylene* sendiri merupakan salah satu polimer yang memiliki struktur paling sederhana dengan rumus kimia ( $CH_2$ )<sub>n</sub> [3].

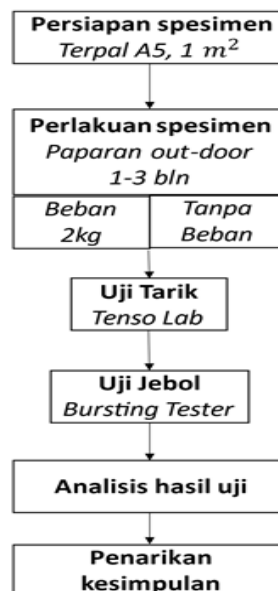
Aplikasi terpal sering melibatkan interaksi langsung dengan lingkungan terbuka. Misalnya saat digunakan sebagai penutup material bangunan, terpal akan langsung terpapar oleh cuaca udara luar dan panas matahari. Pada aplikasi

sebagai *liner* kolam ikan, terpal selain terpapar dengan air kolam dan cahaya matahari, juga menahan beban dari berat air. Pada aplikasi lain, tekanan pada bahan bersumber dari angin atau benda padat yang digantung. Gabungan kedua faktor tersebut seharusnya berpengaruh pada perubahan karakteristik terpal. Apalagi jamak diketahui bahwa *polyethylene*, sebagaimana plastik pada umumnya, memiliki limitasi atas ketahanannya terhadap paparan sinar matahari. Dalam banyak kasus, terpal yang dipakai dalam jangka waktu lama warnanya memudar dan menjadi lapuk yang tentu saja diikuti dengan penurunan kekuatan. Memperhatikan hal tersebut, artikel ini mengkaji penurunan sifat mekanis terpal berbahan *polyethylene* dalam hubungannya dengan paparan lingkungan dan beban kontinu.

Lingkungan yang terpapar cahaya matahari dapat menyebabkan penurunan sifat mekanis pada bahan berbasis *polyethylene* [4]. Pada HDPE struktur polimer ini dapat berubah karena radiasi sinar UV yang menurunkan nilai kekuatan tarik secara bertahap tergantung lama paparan [5]. LDPE memiliki ketahan UV yang lebih rendah daripada HDPE [6]. Perlakuan *artificial ageing* dengan sinar UV terhadap LDPE menunjukkan penurunan nilai kemuluran yang signifikan. Penyinaran UV selama 240 jam yang setara dengan 4 bulan paparan UV natural menghasilkan spesimen yang sangat getas, sehingga tidak mungkin dilakukan uji kemuluran [7]. Degradasi lapisan LDPE karena kombinasi paparan cahaya matahari dan air laut [8]. Pengujian dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectrometry*) menunjukkan laminasi LDPE terdegradasi dengan tingkat yang berbeda dibandingkan dengan yang hanya terpapar oleh cahaya matahari saja. Tingkat degradasi akan bertambah pada air yang mengalir [9].

Pengaruh beban dan faktor lingkungan pada material *polyethylene* pada aplikasi HDPE sebagai pembungkus kabel penopang jembatan gantung. Ditemukan bahwa beban terus-menerus oleh jembatan dan kendaraan dapat menyebabkan *stress* pada lapisan *polyethylene*. Bila beban ini sampai pada level tertentu, tanda-tanda kelelahan akan muncul pada material [10]. Beban kontinu juga dapat mempercepat pertumbuhan *crack* pada *polyethylene* [11]. Fenomena yang sama namun pada pipa berbasis *polyethylene* [12]. Penelitian-penelitian yang telah disebutkan berfokus pada perubahan karakteristik *polyethylene* sebagai material tunggal karena pengaruh lingkungan maupun beban. Pada bahan terpal, *polyethylene* dianyam dan saling melapisi, sehingga dimungkinkan ada mekanisme tambahan yang mempengaruhi perubahan sifat mekanismenya sebagai komposit.

## 2. Material dan metodologi

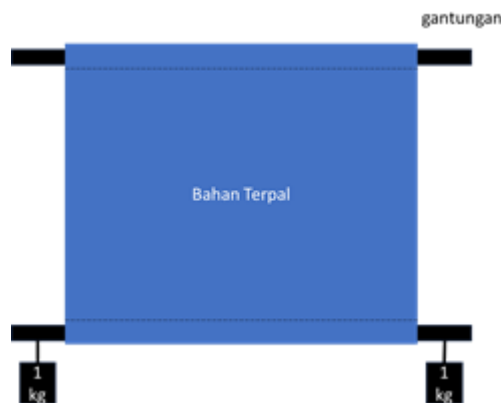


Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 2.1 menampilkan diagram alir metodologi yang digunakan pada artikel ini. Terpal berbasis *polyethylene grade A5* digunakan sebagai spesimen eksperimen. Terpal ini memiliki berat 167 gram per- $m^2$ . Mula-mula terpal dipotong dengan ukuran 1 m x 1 m kemudian digantung pada gantungan khusus. Spesimen ini diposisikan di luar ruangan sehingga terkena pengaruh cuaca, terutama sinar matahari, secara langsung. Dua spesimen digantung pada gantungan yang sama sehingga posisinya saling membelakangi. Hal ini sekaligus sebagai cara agar paparan matahari hanya mengenai satu sisi saja. **Gambar 2.2** menampilkan foto spesimen yang digantung sebagaimana diterangkan.



**Gambar 2.2** Spesimen digantung di ruangan terbuka

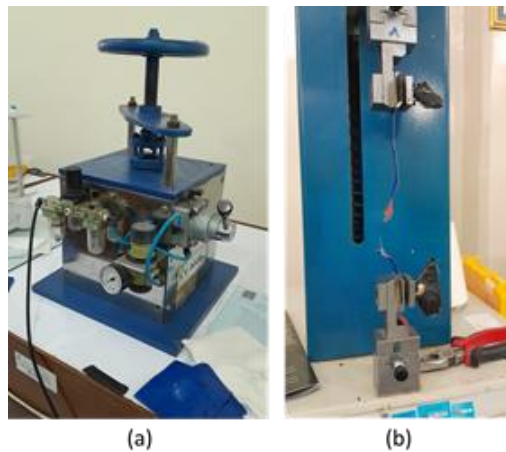


**Gambar 2.3** Diagram gantungan specimen

Dua jenis perlakuan diberikan kepada spesimen. Sebagian diberikan beban merata sebesar 2 kg dengan cara menempatkan batang tambahan di bawah menggantungkan beban di kedua sisinya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Kelompok spesimen yang lain tidak diberi beban. Masing-masing kelompok dipapar udara luar selama 1, 2, dan 3 bulan. Terdapat satu spesimen lagi yang tidak diberi perlakuan apapun sebagai representasi karakteristik awal bahan terpal.

Setelah masa paparan selesai, spesimen diangkat kemudian dikirim untuk uji laboratorium. Terdapat dua uji, yaitu pengujian kekuatan tarik dan mulur dan pengujian kekuatan jebol. Keduanya dilakukan di Laboratorium Rekayasa Tekstil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Masing-masing spesimen dilakukan pengulangan ujian tiga kali. Uji kekuatan tarik dan jebol dilakukan dengan alat uji Tensolab Tensolab tipe 168 E. Spesimen dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 20 cm kemudian dijepit kedua sisinya pada klem penjepit. Area terpal yang digunakan sebagai specimen uji minimal berjarak 10 cm dari pinggir, hal ini untuk meminimalkan diambil bagian terpal yang rusak karena gesekan dengan gantungan dan batang beban. Jarak klem penjepit atas-bawah adalah 15 cm, kecepatan tarik di-set 296,15 mm/menit. Alat kemudian menarik spesimen sampai putus, kekuatan tarik dan mulur yang ditampilkan di monitor lalu dicatat.

Uji kekuatan jebol dilakukan dengan Bursting Tester kustomisasi yang dibuat oleh P.T. Sekawan Solo. Spesimen dipotong dengan ukuran 10 cm x 10 cm kemudian ditempatkan di atas sebuah lubang baja kemudian dikepit ke-empat sisinya. Sebuah bola baja menekan spesimen dari bawah sampai jebol. Nilai kekuatan jebol ditunjukkan pada alat kemudian dicatat. Kedua alat uji ditampilkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Alat uji spesimen (a) Tenso Lab (b) Bursting tester

### 3. Hasil dan pembahasan

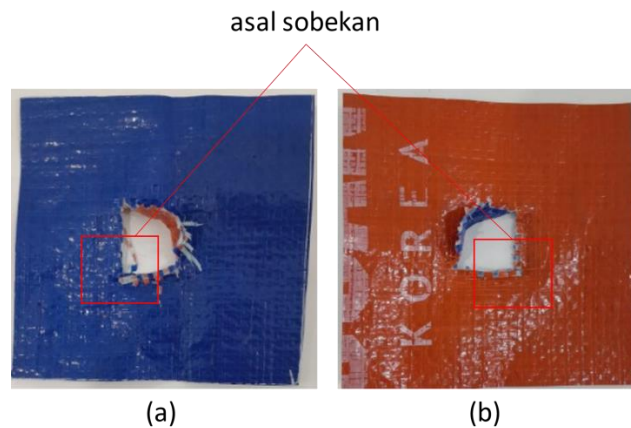
Hasil pengujian laboratorium disajikan pada Tabel 1. Terpal A5 memiliki kekuatan tarik awal 226 N dengan kemuluran 25%. Hasil uji jebol menunjukkan bahwa bahan ini tidak dapat ditembus oleh bola baja pada *bursting tester* yang mengindikasikan kekuatan jebolnya melebihi kapasitas alat (sekitar 140 psi). Hal ini dapat dimaklumi karena alat yang dipakai diperuntukkan untuk material yang lebih mudah sobek, seperti kain tekstil, goni, anyaman serat umbuhan, dan sebagainya. Dalam aplikasinya, bahan terpal meskipun dengan *grade* A5 yang relatif rendah ini memang relatif kuat menahan beban pada arah permukaan karena keberadaan struktur anyaman. Secara umum, kekuatan mekanis bahan anyaman memang dipengaruhi oleh struktur anyamannya [13]. Pada spesimen lain yang berhasil jebol, kekuatannya ada di kisaran 103 psi sampai 100 psi.

**Tabel 1** Hasil Uji Laboratorium

Perlakuan	Kekuatan Tarik (N)	Kemuluran	Kekuatan Jebol (psi)
Tanpa perlakuan	226	25%	Tidak jebol
1 bulan dengan beban	145	18%	105
2 bulan dengan beban	186	12%	Tidak jebol
3 bulan dengan beban	99	8%	105
1 bulan tanpa beban	166	26%	110
2 bulan tanpa beban	208	16%	103
3 bulan tanpa beban	160	20%	109

Bila Gambar 3.1 diperhatikan dengan lebih detail, karakteristik deformasi jebol dapat sedikit banyak dipahami. Pada uji sobek, terpal ditekan dengan bola baja berdiameter 35,7 mm tepat di tengah. Namun, asal sobekan yang

menyebabkan bahan jebol, ternyata tidak berada di titik tengah bola baja. Terdapat titik di pojok lubang tempat yang merupakan lokasi pertamakali sobekan terjadi. Deformasi bahan kemudian merembet ke arah x-positif dan y-positif secara bersamaan dan berakhir setelah panjang sobekan kira-kira sebesar diameter boal baja. Panjang maksimum sobekan terjadi saat bola baja berhasil menembus bahan. Fenomena ini dapat dipahami dengan mengingat bahwa anyaman terpal merupakan jenis anyaman polos yang memiliki jalinan seimbang pada dua arah. Jenis anyaman ini paling sederhana namun dapat memberikan kekuatan yang lebih besar karena jumlah titik ikatan yang lebih banyak [14].



**Gambar 3.1** Sobekan terpal pada uji jebol (a) tampak atas (b) tampak bawah

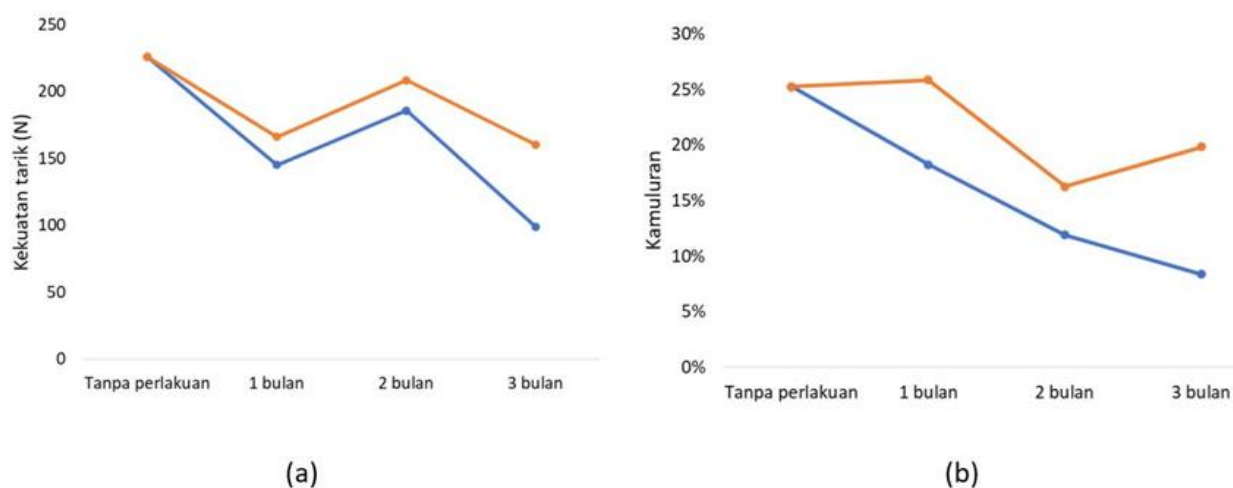


**Gambar 3.2** Spesimen hasil uji tarik

Berbeda dengan uji tarik material tunggal pada seperti logam, pada terpal tidak terjadi fenomena *necking*, paling tidak bila dilihat dari dimensi bahan secara utuh. **Gambar 3.2** menunjukkan bahwa deformasi pada bahan memiliki arah yang tegak lurus terhadap arah gaya. Perbesaran gambar juga menampilkan bahwa komponen LDPE terpal terekspos akibat rusaknya struktur anyaman. Dapat diuraikan bahwa putusya spesimen berawal dari rusaknya anyaman LDPE pada arah horizontal. Diikuti dengan putusya anyaman HDPE yang posisinya diapit oleh dua lapisan LDPE. Titik ikatan terlepas dan gaya gesek anyaman menjadi minimal, benang HDPE maupun LDPE yang dianyam pada arah vertikal kemudian ikut putus. Pada spesimen yang tidak diberi perlakuan, nilai kemuluran mencapai 25% sebelum putus. Nilai ini jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan kemuluran polimer tunggal yang hanya sampai 5% [15]. Bila

dilihat dari bentuk patahannya, karakteristik putus LDPE menyerupai material getas dengan tidak dapat diobservasinya *necking*. Ini mengindikasikan bahwa secara individual, material penyusun terpal tidak memiliki nilai kemuluran relatif besar dibandingkan kompositnya. Kemampuan terpal dalam menahan beban tarik didapat dari struktur anyaman-nya, sebagaimana disebutkan sebelumnya.

Uji laboratorium yang dilakukan tidak mengukur kekuatan tarik benang LDPE dan HDPE yang digunakan pada anyaman terpal secara terpisah. Namun secara umum, HDPE memiliki kekuatan mekanik yang lebih baik daripada LDPE. *Tensile strenght* HPDE hampir tiga kali LDPE, sementara *tensile elongation*-nya 20% lebih tinggi [16]. Setelah struktur anyaman dalam arah horizontal terlepas, kedua benang menahan beban tarik dengan bersama-sama menggunakan kekuatan *tensile*-nya. Pada tahap ini, HDPE memberikan kontribusi yang lebih besar pada nilai kekuatan tarik.



**Gambar 3.3** Plot data hasil uji (a) kekuatan tarik (b) kemuluran

Telah diketahui sebelumnya bahwa karakteristik mekanikal *polyethylene* menurun karena paparan lingkungan, terutama sinar ultraviolet pada cahaya matahari [4]. Hal ini berlaku baik untuk HDPE maupun LDPE [5,7]. Perubahan sifat ini tidak dikecualikan untuk terpal yang merupakan anyaman benang *polyethylene*. Gambar 3.3 yang menampilkan hasil uji tarik spesimen, mengkonfirmasi pernyataan ini. Secara umum, nilai kekuatan tarik maupun kemuluran turun dengan signifikan dibandingkan bahan tanpa paparan. Pada kondisi asal, spesimen terpal A5 putus pada pembebanan sebesar 226 N dengan mekanisme yang telah dijelaskan sebelumnya. Nilai ini turun secara bertahap mengikuti lama paparan lingkungan luar menjadi hanya 160 N dan 99 N, tergantung ada tidaknya beban kontinu, setelah tiga bulan. Persentase kemuluran mengikuti tren ini, yang mengindikasikan bahwa semakin lama paparan, terpal menjadi semakin getas. Meskipun menggunakan paparan UV artifisial, peningkatan kegetasan ini juga sesuai dengan temuan yang disampaikan pada penelitian sebelumnya [7].

Pada material lain yang dibuat dari *blending* kedua jenis *polyethylene* ini, LDPE memiliki kontribusi terhadap perbaikan sifat mekanis seperti kemuluran, *impact strenght*, *ductility*, dan *thoughness*. Namun, pada saat yang bersamaan, adanya komposisi LDPE akan menurunkan kekuatan dan kekerasan [17]. Untuk terpal, penggunaan benang HDPE saja akan menjamin kekuatan bahan terhadap beban yang lebih tinggi. Selain itu, ketahanannya terhadap faktor lingkungan juga lebih baik karena HDPE relatif lebih sulit terdegradasi [6] serta memiliki ketahanan thermal yang lebih

tinggi [16]. Di sisi lain, stabilitas LDPE terhadap paparan UV lebih rendah sehingga seringkali membatasi area aplikasinya [18]. Namun, aplikasi terpal membutuhkan fleksibilitas bahan yang tinggi karena sering digunakan sebagai lembaran *liner* atau penutup, sehingga peran LDPE diperlukan. Sayangnya, benang LDPE berada pada sisi luar sehingga langsung terpapar UV maupun panas.

Terpal yang mendapatkan beban kontinu mengalami penurunan sifat mekanik yang lebih besar. Pada semua variasi waktu paparan, kekuatan tarik maupun kemuluran untuk terpal dengan beban memiliki nilai yang lebih rendah. Untuk waktu paparan 3 bulan, kekuatan tarik spesimen dengan beban lebih rendah 48% dari tanpa beban, sementara kemulurannya 58% lebih rendah. Pada bahan yang berupa anyaman, perubahan sifat karena pembebanan disebabkan oleh pergeseran/perubahan struktur anyaman. Gaya tarik yang diaplikasikan pada bahan akan mengakibatkan perubahan kurvatur benang anyaman yang disebut tarikan konstruksional (*constructional strain*). Tarikan ini dipengaruhi baik oleh besarnya beban maupun waktu pembebanan [19]. Di sisi lain, beban kontinu juga mempengaruhi sifat bahan terpal. Beban yang terus menerus akan memunculkan gejala kelelahan pada material HDPE [10]. Beban kontinu juga meningkatkan pertumbuhan *crack* pada *polyethylene*, yang semakin cepat dengan suhu yang lebih tinggi [11]. Kedua faktor tersebut (*constructional strain* dan penurunan sifat bahan) secara bersama-sama mempengaruhi penurunan kekuatan terpal dengan beban kontinu. Mengenai perbandingan kontribusi setiap faktor, hal ini perlu di-investigasi lebih lanjut.

#### 4. Kesimpulan

Uji tarik dan uji jebol telah dilakukan terhadap tiga spesimen yang telah ditempatkan di ruangan terbuka selama 1, 2, dan 3 bulan, dengan dan tanpa beban kontinu. Hasilnya adalah nilai kekuatan tarik, persentase kemuluran, dan kekuatan jebol untuk setiap spesimen yang menggambarkan karakteristik mekanikal dari bahan terpal. Analisis pada data menunjukkan terjadinya penurunan nilai tiga parameter tersebut, terutama kekuatan tarik dan kemuluran, akibat paparan di ruangan terbuka. Pada spesimen dengan beban kontinu dan paparan selama tiga bulan, terjadi penurunan kekuatan tarik dan kemuluran sebesar 56% dan 67% secara berturut-turut. Adanya beban kontinu berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan sifat terpal. Spesimen dengan beban kontinu mengalami perubahan karakteristik yang lebih banyak sehingga menghasilkan nilai kekuatan tarik 48% dan kemuluran 58% lebih kecil dari spesimen tanpa beban. Perubahan karakteristik ini disebabkan baik oleh pergeseran struktur anyaman maupun penurunan sifat material (*polyethylene*) penyusun terpal.

#### Ucapan terima kasih

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendanaan dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2023.

#### Daftar Pustaka

- [1] Bauer R, Saunde G. Panduan tentang Spesifikasi dan Penggunaan Terpal Plastik dalam Bantuan Kemanusiaan dalam Bahasa Indonesia. Vol. I. UK: Oxfam; 2007.P.6.
- [2] Desai PC. High Density Polyethylene Tarpaulins - Multiple End Use sectors n.d. <http://atozplastics.com/upload/literature/High-density-Polyethylene-HDPE-Tarpaulins.asp> (diakses pada 27 November 2023).
- [3] Ronca S. Polyethylene. Brydson's Plastics Materials: Eighth Edition 2017:247–78.

- [4] Aljoumaa K, Abboudi M. Physical ageing of polyethylene terephthalate under natural sunlight: correlation study between crystallinity and mechanical properties. *Appl Phys A Mater Sci Process* 2016;122:1–10..
- [5] Gong Y, Wang SH, Zhang ZY, Yang XL, Yang ZG, Yang HG. Degradation of sunlight exposure on the high-density polyethylene (HDPE) pipes for transportation of natural gases. *Polym Degrad Stab* 2021;194:109752..
- [6] Bhuyar P, Tamizi NABM, Rahim MHAb, Maniam GP, Govindan N. Effect of ultraviolet light on the degradation of Low-Density and High-Density Polyethylene characterized by the weight loss and FTIR. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication* 2019;1:26–31.
- [7] Rodriguez AK, Mansoor B, Ayoub G, Colin X, Benzerga AA. Effect of UV-aging on the mechanical and fracture behavior of low density polyethylene. *Polym Degrad Stab* 2020;180:109185.
- [8] Andrady AL, Lavender Law K, Donohue J, Koongolla B. Accelerated degradation of low-density polyethylene in air and in sea water. *Science of The Total Environment* 2022;811:151368.
- [9] Lestari P, Trihadiningrum Y, Warmadewanthi I. Simulated degradation of low-density polyethylene and polypropylene due to ultraviolet radiation and water velocity in the aquatic environment. *J Environ Chem Eng* 2022;10:107553.
- [10] Dan D, Cheng W, Sun L, Guo Y. Fatigue durability study of high density polyethylene stay cable sheathing. *Constr Build Mater* 2016;111:474–81.
- [11] Lu X, Qian R, Brown N. Discontinuous crack growth in polyethylene under a constant load. *J Mater Sci* 1991;26:917–24.
- [12] Plummer CJG, Goldberg A, Ghanem A. Micromechanisms of slow crack growth in polyethylene under constant tensile loading. *Polymer (Guildf)* 2001;42:9551–64.
- [13] Daniel PL, Ioan SD, Liviu M. Studies on tensile and tear fracture of the S8210 tarpaulin. *Vibroengineering Procedia* 2022;46:80–5.
- [14] Wilson J. Woven structures and their characteristics. *Woven Textiles: Principles, Technologies and Applications* 2012:163–204.
- [15] Astakhov VP. *Mechanical Properties of Engineering Materials: Relevance in Design and Manufacturing* 2018:3–41.
- [16] VEM Tooling. LDPE Versus HDPE. VEM Tooling 2023. <https://www.vem-tooling.com/ldpe-vs-hdpe/> (diakses pada 20 November 2023).
- [17] Klash A, Shebani A, Elhabishi R, Abdsalam S, Elbreki H, Elhrari W. *The Influence of LDPE Content on the Mechanical Properties of HDPE/LDPE Blends* 2018.
- [18] Kim YJJHJN. UV Stability of LDPE Films for Tarpaulin. *Textile Science and Engineering* 2017;54:164–70.
- [19] El Tantawy AR.EL-Tantawi HM. The ratio between applied stresses and resultant strain behavior of textile materials (yam and woven fabric). *Journal of Architecture Arts and Humanistic Science* 2020;5:940-69