

PERILAKU MULUR (*CREEP*) POLIPROPILEN DENGAN PERUBAHAN TEGANGAN DAN TEMPERATUR

Iman Mujiarto^{*1)}, Bayuseno AP²⁾, Jamari²⁾

¹⁾Jurusan Teknika STIMART AMNI

Jl. Soekarno Hatta 180 Semarang

²⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNDIP

^{*)}E-mail: imnmu@yahoo.com

Abstrak

Pada beberapa sektor industri, ada beberapa metode pengujian yang dipakai untuk mengetahui ketangguhan suatu material. Pengujian mekanik yang lazim dilakukan adalah uji tarik, kekerasan, impak, *creep*, dan uji fatik. Penelitian pengujian mulur ini menggunakan bahan dari jenis polimer termoplastik, yaitu polipropilen. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perilaku *creep* dari bahan yang akan diuji. Bahan uji mengalami tegangan tetap pada temperatur tertentu, sementara regangan berubah terhadap waktu. Urutan proses pengujian mulur: (1) Memasang beban yang direncanakan pada penggantung beban, (2) Memasang spesimen pada dudukan dan pemanas dihidupkan. Setelah diperoleh temperatur yang konstan, baru diberi beban selama kurun waktu 10.000 detik, (3) Pemberian beban yaitu 1 lb (0,46 kg), 1,5 lb (0,68 kg), 2 lb (0,91 kg). Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa (1) Bahan Polipropilen mengalami gejala mulur bilamana mendapat aksi tegangan pada suhu tertentu. Dengan variabel beban tegangan dan suhu operasi, pada beban tegangan tetap bila suhu meningkat maka gejala mulur bahan akan lebih besar dan pada suhu tetap bila beban tegangan bertambah maka gejala mulur bahan akan lebih besar. (2) Hasil penelitian adanya kemiripan arah kurva *creep* dengan studi yang telah dilaksanakan oleh Crawford (2002), Martin J. D., et al. (2002), Ben D. B., et al. (2007) dan Siljana L., et al. (2007)

Kata Kunci : Mulur, Tegangan, Temperatur, Termoplastik, Polipropilen.

PENDAHULUAN

Dalam bidang rekayasa (*engineering*) adalah sangat penting bilamana perkiraan hasil pengujian jangka panjang dapat dilakukan melalui pengujian jangka pendek. Sementara itu untuk bidang polimer, hal yang paling penting adalah pengujian viskoelastisnya (Brostow, et al. 1999). Alasan pengujian ini untuk mengevaluasi kinerja pengujian jangka panjang dan kehandalan bahan polimer yang pada saat ini masih banyak belum dilakukan (Brostow, 2000).

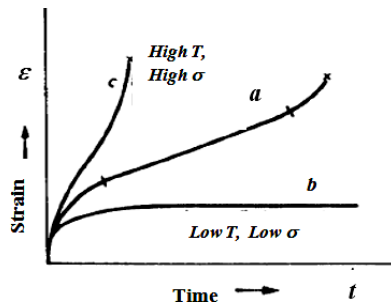
Kegagalan material dapat terjadi antara lain akibat kelelahan (*fatigue*), deformasi plastis, patah statik, korosi, mulur (*creep*) atau karena efek relaksasi. Pengujian mekanik yang lazim dilakukan adalah uji tarik, kekerasan, impak, *creep*, dan uji fatik. Hasil pengujian tidak digunakan untuk meneliti keadaan cacat tetapi ditujukan untuk mengetahui kualitas produk sesuai spesifikasi standar. Pada penelitian ini dilakukan pengujian mulur menggunakan bahan dari jenis polimer termoplastik, yaitu polipropilen. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perilaku *creep* dari bahan yang akan diuji. Bahan uji mengalami tegangan tetap pada temperatur tertentu, sementara regangan berubah terhadap waktu.

Informasi tentang perilaku *creep* pada bahan ini sangat penting untuk menentukan umur suatu rancangan produk atau konstruksi bila mendapat tegangan (beban) tetap, meskipun pada temperatur kamar. Dengan analisa ini diharapkan dapat diambil suatu kesimpulan pengaruh tegangan maupun temperatur terhadap regangan pada suatu rancangan produk atau konstruksi.

Creep (Mulur)

Sifat mekanik polimer sangat bergantung pada waktu dan temperatur, selanjutnya respon terhadap tegangan dapat bersifat viskos dan elastis. Respon viskoelastis menjadi lebih jelas dalam kondisi suhu tinggi dengan pemberian beban secara terus-menerus dan tingkat tegangan yang tinggi (Severino, et al. 2007). Pada perilaku viskoelastis, regangan total terdiri dari komponen elastis linier (sesuai Hooke) dan komponen viskos linier (sesuai Newton). Rasio tegangan-regangan bergantung pada waktu (Smallman, 2006).

Pada temperatur yang relatif tinggi, *creep* terjadi pada semua level tegangan, tetapi pada temperatur tertentu laju *creep* bertambah dengan meningkatnya tegangan.



Gambar 1. Kurva *creep* yang lazim dijumpai (Smallman, 2006)

Pada Gambar 1 pada kurva a menampilkan karakteristik kurva *creep* yang ideal. Proses *creep* dapat dibagi menjadi tiga tahapan (Harikishan Mandalapu, et al. 2007) yaitu *creep* primer atau *creep* transient, *creep* sekunder atau *creep* keadaan stasioner dan *creep* tersier atau *creep* dipercepat. Karakteristik kurva seringkali bervariasi, dan tahap *creep* tersier dapat dipercepat atau diperlambat apabila temperatur dan tegangan uji tinggi atau rendah (lihat Gambar 1 kurva b dan c).

Penelitian Soekrisno dan Jamasri tentang perilaku *creep* bahan akrilik berlubang tunggal dan ganda (Soekrisno, 1995), menjelaskan pengaruh kenaikan jumlah lubang tidak sebesar pengaruh kenaikan temperatur. Kombinasi lubang dengan beda diameter yang agak besar ternyata ketahanan terhadap *creep* lemah sekali. Pada penelitian selanjutnya tentang sifat *creep* bahan polimer polyester sebagai matrik komposit, menjelaskan bahwa resin polyester termasuk bahan yang tidak tahan temperatur tinggi (Soekrisno, 1994).

Model Matematik Bahan Viscoelastik

Pada beberapa tahun terakhir banyak percobaan dilakukan untuk mensimulasikan perilaku bahan viskoelastik (Kierfeld, et al. 2000). Model matematik yang sesuai untuk bahan plastik adalah yang berdasar pada pegas dan redaman (*dashpot*) dalam satu rangkaian. Tidak setiap model bisa digunakan untuk mendekati hasil pengujian dan sifat sebenarnya. Adapun model matematik yang sering digunakan adalah Model Maxwell, Kelvin, dan Burger (Crawford, 2002).

Model Maxwell terdiri dari pegas dan redaman (*dashpot*) dalam satu rangkaian. Pegas merupakan komponen elastis linier yang merespon dengan persamaan:

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{\xi} \dot{\sigma} + \frac{1}{\eta} \sigma \dots\dots\dots (1)$$

Regangan pada waktu (t) dan tegangan konstan (σ_0), ditunjukkan dengan persamaan:

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_0}{\xi} + \frac{\sigma_0}{\eta} t \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- $\epsilon(t)$ = regangan *creep*
- ξ = konstanta pegas (MN/m²)
- σ_0 = tegangan (MN/mm²)
- t = waktu (s)

Model Kelvin terdiri dari pegas dan redaman yang dirangkai secara parallel. Untuk model Kelvin persamaan tegangan - regangan pada pegas dan redaman, sama dengan model Maxwell. Sedangkan untuk kesetimbangan gaya dapat dilihat pada penerapan beban yang didukung dari gabungan pegas dan redaman, sehingga persamaannya menjadi:

$$\sigma = \xi \cdot \epsilon + \eta \cdot \dot{\epsilon} \dots\dots\dots (3)$$

Bila tegangan konstan (σ_0), maka persamaan (3) menjadi

$$\sigma_o = \xi \cdot \epsilon + \eta \dot{\epsilon}$$

Solusi dari persamaan diferensial untuk regangan totalnya dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

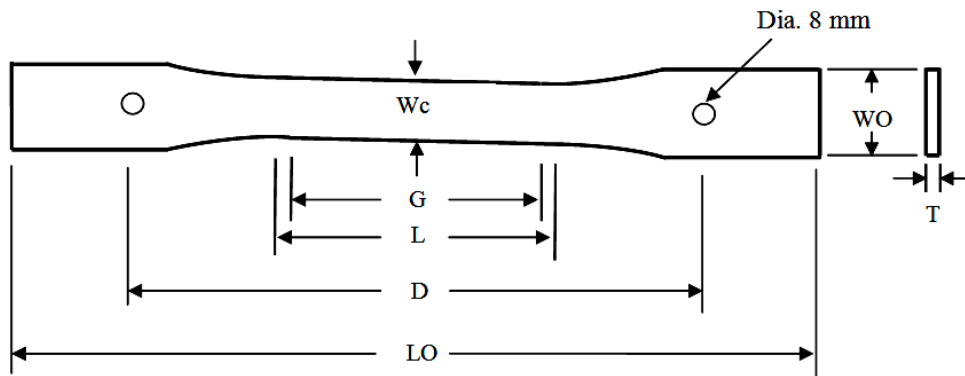
$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_o}{\xi} \left[1 - \exp\left(-\frac{\xi}{\eta} t\right) \right] \dots\dots\dots (4)$$

Model Burger (Walter, 2004) merupakan gabungan dari Model Maxwell dan Model Kelvin. Regangan totalnya jumlah regangan pegas, regangan redaman dan regangan Kelvin dengan persamaan:

$$\epsilon(t) = \frac{\sigma_o}{\xi} + \frac{\sigma_o}{\eta} t + \frac{\sigma_o}{\xi} \left[1 - \exp\left(-\frac{\xi}{\eta} t\right) \right] \dots\dots\dots (5)$$

METODOLOGI

Bentuk dan ukuran spesimen pengujian mulur menggunakan standar ASTM D 638-03 dengan jenis spesimen tipe II dan ASTM D 2990-01 (Anonim, 2006), (Siljana, et al. 2007), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 dan Tabel 1.



Gambar 2 Bentuk spesimen uji mulur

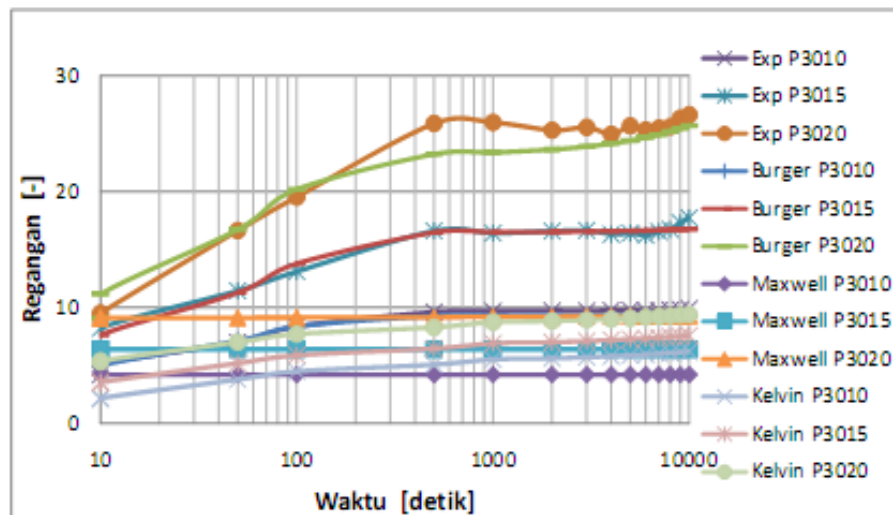
Tabel 1 Dimensi spesimen (Tipe II)

Bagian	Dimensi (mm)	Toleransi (mm)
Lebar (Wc)	6	± 0,5
Panjang (L)	57	± 0,5
Lebar keseluruhan (Wo)	19	± 6,4
Panjang keseluruhan (Lo)	183	no max
Panjang ukur (G)	50	± 0,25
Jarak antar grip (D)	135	± 5
Radius fillet (R)	76	± 1

Mesin uji yang digunakan adalah *creep testing machine* tipe JE Machine 1060, temperatur 0-500°F (-17-1371°C). Kapasitas beban mencapai 20.000 *pound* dan rasio lever arm 10 : 1. Mesin ini diproduksi oleh SATEC Systems Inc. USA.

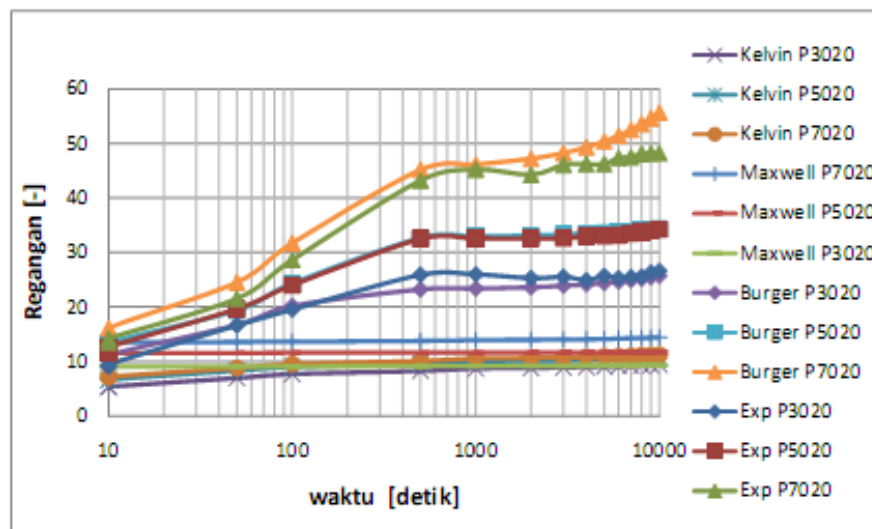
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian di atas diperoleh grafik eksperimen temperatur tetap dengan perubahan tegangan seperti terlihat pada Gambar 3, sedangkan grafik eksperimen tegangan tetap (2,47 MN/m²; 3,71 MN/m²; 4,94 MN/m²) dengan perubahan temperatur seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 3 Grafik perbandingan hasil perhitungan dan eksperimen *creep* PP pada temperatur tetap 30°C

Dari Gambar 3 menunjukkan grafik hasil perhitungan dengan pendekatan matematis untuk persamaan Maxwell, Kelvin dan Burger, dibandingkan dengan grafik hasil pengujian. Dari grafik diatas pada keadaan temperatur tetap dengan perubahan tegangan berdasarkan hasil pendekatan perhitungan matematis, dapat diketahui bahwa hasil pengujian regangan bahan polipropilen pada suhu 30°C, 50°C dan 70°C ternyata cenderung mendekati **perhitungan persamaan Burger**.

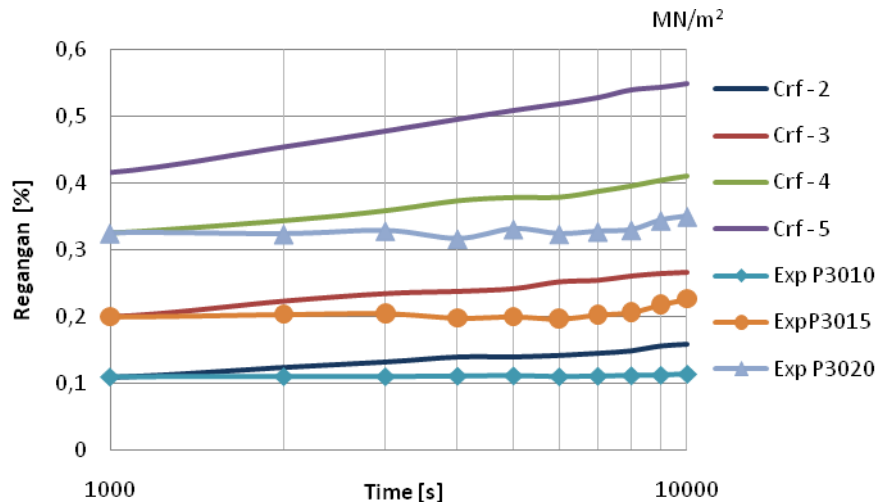


Gambar 4 Grafik perbandingan hasil perhitungan dan eksperimen *creep* PP pada tegangan tetap 4,94 MN/m²

Dari Gambar 4 yang menunjukkan gambar analisa grafik hasil perhitungan dengan pendekatan matematis untuk persamaan Maxwell, Kelvin dan Burger, dimana grafik mulur pada keadaan tegangan tetap dengan perubahan temperatur dapat dilihat bahwa berdasarkan hasil pendekatan perhitungan matematis, dapat diketahui bahwa hasil pengujian regangan bahan Polipropilen pada suhu 30°C, 50°C dan 70°C ternyata juga cenderung mendekati **Perhitungan Persamaan Burger**.

Sedangkan arah *creep* hasil pengujian sesuai dengan pendapat Barbero, et al. (2004), yang menjelaskan pada temperatur $< 0,4 T_m$ perubahan regangan *creep* konstan (tidak terjadi). Hal ini ditunjukkan seperti eksperimen pada grafik Gambar 5. Bila melihat kurva hasil pengujian, bila dibandingkan antara hasil eksperimen dengan grafik *creep* Crawford (2002), dimana pada tegangan 2 – 4 MN/m² dalam waktu pengujian selama 10.000 detik arah kurvanya mendekati rata (belum

ada kenaikan regangan yang besar), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Adanya selisih pada grafik karena pada saat melakukan pengujian ada beberapa kendala seperti adanya getaran saat pengujian sedang berlangsung, pengaruh spesifikasi mesin yang digunakan tidak sama dan spesifikasi material yang digunakan untuk pengujian yang berbeda.



Gambar 5 Grafik perbandingan *creep* PP eksperimen dengan Crawford (2002)

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan membandingkannya dengan perhitungan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pada suhu tetap bila beban tegangan bertambah maka gejala mulur bahan akan lebih besar. Saat $T = 30^{\circ}\text{C}$ regangan mulur pada $\sigma = 2,47 \text{ MN/m}^2$ adalah sebesar 9,9124, pada $\sigma = 4,94 \text{ MN/m}^2$ adalah sebesar 25,6421.
- Pada beban tegangan tetap bila suhu meningkat maka gejala mulur bahan akan lebih besar. Dengan $\sigma = 2,47 \text{ MN/m}^2$ regangan mulur pada $T = 30^{\circ}\text{C}$ adalah sebesar 9,9124, pada $T = 70^{\circ}\text{C}$ adalah sebesar 20,1346.
- Bahan mengalami kuat mulur secara teoritis cenderung mengikuti persamaan Burger dibandingkan dengan persamaan Maxwell dan Kelvin.

Hasil dari ketiga kesimpulan diatas adalah serupa dengan studi yang telah dilaksanakan oleh Crawford (2002), Martin J. D., et al. (2002), Ben D. B., et al. (2007) dan Siljana L., et al. (2007) tentang pengujian *creep* dimana adanya pengaruh perubahan tegangan dan temperatur terhadap regangan mulur (*creep*) dengan hasil yang didapat adanya kemiripan arah kurva *creep* dan pendekatan matematis yang mendekati persamaan Burger.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (2006), *Annual Book of ASTM*, Vol. 08.01, USA
- Barbero, E.J., Julius, M., and Yao, Z. (2003), "Time and frequency viscoelastic behavior of commercial polymers", Mechanical and Aerospace Engineering, West Virginia University, Morgantown.
(citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.78.2224&rep...)
- Beake, B.D., Bell, G.A., Brostow, W., and Chonkaew, W. (2007), "Nanoindentation creep and glass transition temperatures in polymers", *Polymer International*, **56**, 773–778.
- Brostow, W. (2000), "Time–stress correspondence in viscoelastic materials: an equation for the stress and temperature shift factor", *Journal Mat. Res. Innovat.*, **3**, 347–351.
- Brostow, W., d'Souza, N.A., Kubat, J., and Maksimov, R.D. (1999), "Creep and stress relaxation in a longitudinal polymer liquid crystal: prediction of the temperature shift factor", *Journal of Chemical Physics*, **110**, No. 19, 9706–9712.

-
- Callister, W.D. (2007), *Materials Science and Engineering*, Seventh Edition, Department of Metallurgical Engineering The University of Utah.
- Crawford, R.J. (2002), *Plastics Engineering*, Ed.3rd, Butterworth-Heinemann, Oxford. UK.
- Dropik, M.J., Johnson D.H., and Roth, D.E. (2002), "Developing an ANSYS Creep Model for Polypropylene from Experimental Data". Penn State-Erie, Erie, PA, USA, (www.ansys.com/events/proceedings/2002/.../161.pdf)
- Duxbury, J. and Ward, I.I. (1997), "The creep behaviour of ultra-high modulus polypropylene", *Journal of Materials Science*, **22**, 1215-1223.
- Jones, H. (2001), *Failure Analysis Case Studies II*, Pergamon, UK.
- Kierfeld, J., Nordborg, H., and Vinokur, V.M. (2000), "Theory of plastic vortex creep", *Physical Review Letters*, **85**, Number 23, 4948-4951.
- Krauss, H. (1980), *Creep Analysis*, A Wiley-Interscience Publication, New York.
- Lakes, R.S. and Vanderby, R. (1999), "Interrelation of creep and relaxation: a modeling approach for ligaments", *J Biomech. Engineering*, **121**, 612-615.
- Lietz, S., Yang, J., Bosch, E., Sandler, J.K., Zhang, Z., and Altstadt, V. (2007), *Macromol. Mater. Eng.* **292**, 23-32.
- Mandalapu, H. and Karanamsetty, S., (2007), *Parameter Analysis of Creep Models of PP/CaCo3 Nanocomposites*, Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Swedia.
- Ou, B.S. (1992), *Laser Welding of High Density Polyethylene and Polypropylene Plates*, Master Thesis, Ohio State University, Ohio, USA.
- Samsudin, S.A, Hassan, A., Mokhtar, M., and Jamaluddin, M.S. (2006), "Chemical resistance evaluation of polystyrene/polypropylene blends: effect of blend compositions and SEBS content", *Malaysian Polymer Journal (MPJ)*, **1**, No. 1, 11-24.
- Shenoi, R.A., Allen, H.G., and Clark, S.D. (1997), "Cyclic creep-fatigue interaction in sandwich beams", *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, **32**, No. 1, 1-18.
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.J. (2006), *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, Ed. 6, Penerbit Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Soekrisno, R. (1995), "Sifat rangkai bahan polimer sebagai matrik komposit", *Media Teknik*, **2**, Th. XVII, 89-93.
- Soekrisno, R. dan Jamasri. (1994), "Rangkai pada acrylic berlubang", *Media Teknik*, **2**, Th. XVI, 176-180.
- Starkova, O., Yang, J., and Zhang, Z. (2007), "Application of time-stress superposition to nonlinear creep of polyamide 66 filled with nanoparticles of various sizes", *The Journal of Composites Science and Technology*, **67**, No. 2, 2691-2698.
- Strojny, A. and Gerberich, W.W. (1998), "Experimental analysis of viscoelastic behaviour in nanoindentation", *Mat. Res. Soc, Symp. Proc.*, **522**, 159-164.
- Surdia, T. dan Shinroku. (2000), *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, Indonesia.
- Trantina, G. and Nimmer, R. (1994), *Structural Analysis of Thermoplastic Components*, Mc. Graw Hill, Singapore.
- Vinogradov, A.M. (2002), "Creep-Fatigue Interaction In Polymers", Department of Mechanical and Industrial Engineering, Montana State University, Bozeman. USA. (www.ce.washington.edu/em03/proceedings/papers/519.pdf)