

Pengaruh kedalaman *pin* terhadap sambungan *friction stir welding* pelat HDPE

Muftil Badri^{a,1}, Dodi Sofyan Arief^b, Amri Pahlevi^c

^{a,b,c}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru

¹muftilbadri@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

FSW, or friction stir welding, is a relatively new solid-state joining method. This method is energy efficient and environmentally friendly. FSW was first typically applied to metallic materials such as titanium and aluminum, which are difficult to join by fusion welding. Research on FSW is currently being developed to join non-metallic materials such as polymers. Polymers are widely used in the food, automotive, transportation, and textile industries. Polymers are lighter and more corrosion-resistant than metals. HDPE polymer is used as a material that is joined by the FSW method in this study. Spinning tool speed, welding speed, and depth of feed are the three variables used in this FSW welding. The pin depths varied were 5.65 mm, 5.7 mm, and 5.75 mm. The welding speed was 7.3 mm/min, the welding angle was 2° and the tool rotation speed was 630 rpm. The pin material used is steel, with a pin diameter of 6 mm and a shoulder diameter of 16 mm. It was found that the pin depth affects the temperature distribution, where the increasing pin depth increases the maximum temperature. The maximum tensile strength in FSW welding is obtained at a pin depth variation of 5.7 mm, which is 23.79 MPa. The tensile strength obtained at 5.7 mm pin depth FSW welding increased by 13.3%.

Keywords: FSW, depth of pin, HDPE

Received 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan material dengan memanfaatkan energi panas. Teknik pengelasan semakin berkembang seiring dengan perkembangan jenis dan aplikasi dari material tersebut. Salah satu teknik pengelasan yang sekarang ini sedang berkembang adalah *Friction Stir Welding* (FSW). FSW dikenalkan pertama kali oleh The Welding Institute (TWI) of UK 1991 sebagai teknik sambungan padat [1]. Pada penelitian [2] mempelajari aplikasi FSW pada material polimer dan menyatakan bahwa teknologi FSW dapat diterapkan pada material polimer.

Beberapa tahun terakhir penelitian tentang FSW untuk material non logam seperti polimer telah banyak dilakukan. Polimer merupakan bahan pengganti logam yang sering digunakan pada industri makanan, minuman, otomotif, transportasi, dan tekstil. Dibandingkan dengan logam, polimer memiliki keunggulan antara lain ringan, tahan korosi dan lebih murah. Salah satu jenis polimer yang memiliki ketahanan atau daya leleh yang baik adalah polyamide (*nylon*). Contoh penggunaan polyamide yaitu pada mesin EDM (*electric discharge machine*) sebagai tempat larutan dielektrik. Penerapan FSW dalam material HDPE dan menyatakan

bahwa material plastik memiliki nilai konduktivitas panas rendah yang menjadi kendala dalam proses FSW [3].

Pada penelitian [4] melakukan penelitian tentang pengaruh kedalaman *pin* terhadap sifat mekanik sambungan FSW pada plat polyamide. Kedalaman *pin* mulai dari 5,65 mm, 5,7 mm dan 5,75 mm. Pada penelitian tersebut, kedalaman *pin* yang efisien untuk mendapatkan kekuatan sambungan yang optimal adalah 5,7 mm. Namun, pada penelitian tersebut belum ada penelitian lanjutan tentang penalaran temperatur yang mempengaruhi hasil FSW pada pelat HDPE.

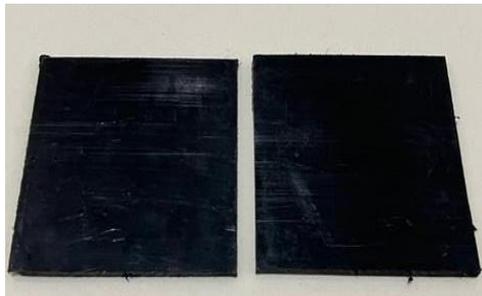
Laju pemanasan dan pendinginan terkait erat dengan temperatur sambungan secara langsung mempengaruhi tegangan residual yang dikembangkan pada sambungan tersebut. Oleh karena itu, sangat penting untuk memiliki alat yang secara cepat dan akurat memperkirakan penalaran temperatur sambungan puncak dan pendinginan berdasarkan parameter input. Metode elemen hingga dikembangkan, mensimulasikan pengelasan gesekan dengan cepat, memvisualisasikan respons spesifik proses untuk menentukan kualitas pengelasan.

Analisis fenomena ini sangat membantu dalam meningkatkan metode dan keakuratan dalam proses pengelasan [5].



Gambar 4. Thermo controller

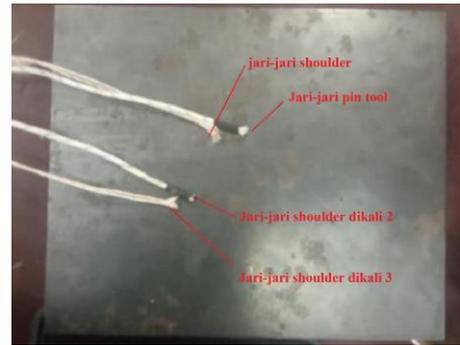
Benda kerja berupa pelat dari material HDPE digunakan pada pengelasan FSW. Gambar 5 menunjukkan pelat HDPE sesuai dengan dimensi yang benda kerja telah ditentukan. Massa jenis HDPE 940 kg/m³, konduktivitas termal 0.42 W/m.K, panas spesifik 2000 J/kg.°C, temperatur leleh 165°.



Gambar 5. Pelat HDPE

Pengelasan FSW ditentukan dengan kecepatan rotasional *tool* sebesar 620 rpm, kecepatan pengelasan 7,3 mm/min. Proses pengelasan dilakukan sampai dua buah benda kerja dapat tersambung atau menyatu dengan variasi kedalaman pemakanan 5,65 mm, 5,7 mm dan 5,75 mm. Pada pengambilan data distribusi termal benda kerja dilakukan pada saat keadaan *running* mesin milling. Sensor termokopel diletakkan pada bagian bawah spesimen yang diletakkan pada 4 titik. Pada penelitian yang dilakukan [9] menjelaskan lokasi penempatan termokopel titik 1 berjarak 1 kali jari-jari *pin*, titik 2 berjarak 1 kali jari jari *shoulder* dan titik 3 berjarak 2 kali jari jari *shoulder* ke arah luar dari garis tengah pengelasan. Gambar 6 menunjukkan 4 titik yang memiliki jarak 3 kali jari-jari *shoulder* ke arah luar dari garis tengah pengelasan.

Hasil dari proses pengelasan FSW yang dilakukan dan mendapatkan hasil sambungan yang sesuai. Gambar 7 memperlihatkan beberapa bentuk hasil sambungan pengelasan FSW dengan beberapa variasi yang sudah ditetapkan.



Gambar 6. Posisi sensor termokopel

Hasil pengelasan yang dihasilkan termasuk baik karena hasil sambungan menyatu dengan baik, kedua material bercampur dengan baik, dan bentuk hasil sambungan rapi.



Gambar 7. Hasil pengelasan FSW

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian tarik terhadap hasil sambungan. Dengan melakukan pengujian tarik terhadap material, dapat diketahui kekuatan tarik dari hasil sambungan tersebut.

2. Simulasi distribusi temperatur

Output dari hasil simulasi yang didapatkan yaitu berupa grafik temperatur di sepanjang pelat spesimen pada saat proses *friction stir welding* berdasarkan datayang sudah diinput pada simulasi. Sehingga dapat menentukan pengaruh kedalaman *pin* terhadap penjaralan temperatur pada *friction stir welding*.

Hasil yang didapat melalui simulasi menggunakan ANSYS akan divalidasi dan dibandingkan dengan hasil pengujian eksperimental dan literatur yang terkait untuk melihat hasil yang diperoleh dari penelitian ini memiliki informasi yang akurat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian eksperimental pelat HDPE dengan memvariasikan kedalaman *pin tool* pada saat melakukan pengelasan FSW, yaitu 5,65 mm, 5,7 mm, dan 5,75 mm. Adapun hasil pengukuran temperatur pada 4 titik yang sudah ditentukanyaitu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Temperatur pada kedalaman *pin* yang berbeda

No.	Temperatur maksimum (°C)		
	d ₁ = 5,65 mm	d ₂ = 5,7 mm	d ₃ = 5,75 mm
1	71,7	79,3	84,27
2	50,24	51,12	55,24
3	35,23	35,33	40,81
4	31,75	33,17	35,68

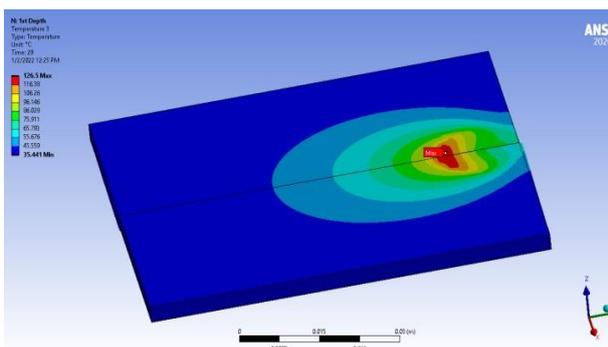
Hasil simulasi menggunakan *software* ANSYS sesuai dengan keadaan saat pengambilan data eksperimen. Model yang disimulasikan sesuai dengan dimensi benda kerja. Pengambilan data termal pada pengelasan dilakukan pada benda kerja dengan kedalaman 2 mm dari bagian bawah spesimen.

Mesh yang digunakan pada simulasi FSW ini adalah *mesh elemen-coupled field SOLID 226 (hexagonal)* yang dibentuk dengan metode *sweep*. Tipe untuk mendefinisikan ukuran *mesh* adalah *division* dengan variasi ukuran 25 sampai 10, yang berarti semakin kecil nilainya maka *mesh* yang didapat semakin akurat. Persentase error yang lebih kecil diperoleh pada *mesh* dengan ukuran 22. Tabel 2 menunjukkan perubahan ukuran *mesh* terhadap *error* yang diperoleh.

Tabel 2. Hasil Uji *Mesh Independent Study*

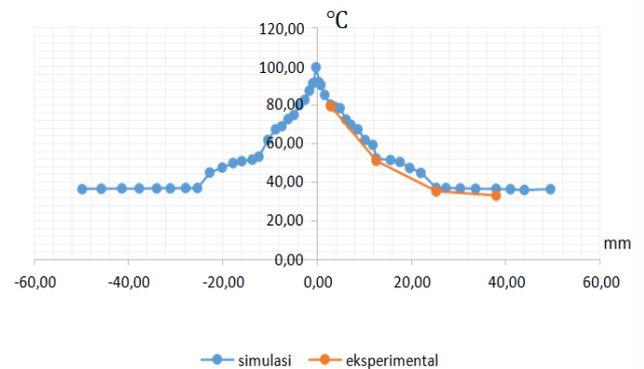
Ukuran <i>mesh</i>	Temperatur (°C)	% error
25	78,217	-
22	75,513	3,45%
19	72,429	4,08%
10	59,853	17,36%

Gambar 8 memperlihatkan hasil dari simulasi yang didapatkan dengan kedalaman *pin* 5,65 mm. Temperatur tertinggi 98,21°C yang diperoleh dari data hasil simulasi.



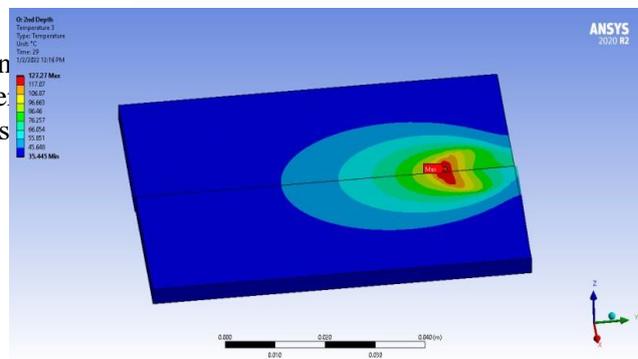
Gambar 8. Simulasi distribusi termal FSW dengan kedalaman *pin* 5,65 mm

Gambar 9 menunjukkan distribusi temperature pelat HDPE dari hasil eksperimen dan simulasi. Temperatur yang didapatkan pada titik 1 simulasi 75,5°C, titik 2 simulasi 50,9°C, titik 3 simulasi 36°C dan titik 4 simulasi 35,27°C. Sementara temperatur yang diperoleh saat eksperimen di setiap titik yaitu, titik 1 71,7°C, titik 2 50,24°C, titik 3 35,23°C dan pada titik 4 sebesar 31,75°C. Nilai error terbesar yg didapatkan pada variasi kedalaman *pin* 5,65 mm yaitu 9,98% pada titik 4 yang disebabkan oleh beberapa faktor pada saat melakukan eksperimen, di antaranya human error seperti pemasangan sensor *thermocouple* yang kurang baik. Sementara nilai error yang lebih rendah diperoleh pada titik 2 sebesar 1,3%.



Gambar 9. Eksperimen dan simulasi distribusi temperatur vs lebar pelat variasi kedalaman *pin* 5,65 mm

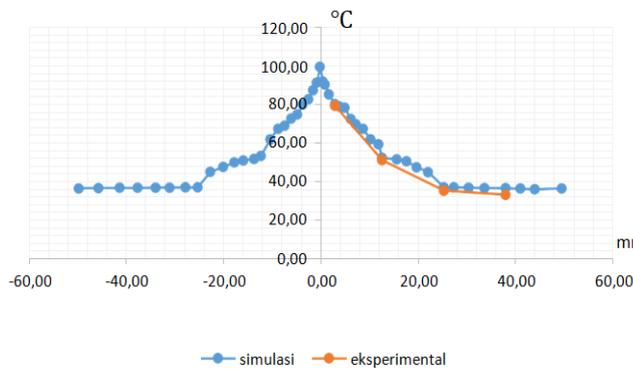
Gambar 10 menunjukkan distribusi temperatur sambungan pelat HDPE dengan kedalaman *pin* 5,7 mm. Pada Gambar 11 ditunjukkan grafik temperatur vs lebar pelat dengan variasi kedalaman *pin* 5,7 mm. Temperatur maksimum pada saat pengujian menggunakan simulasi didapatkan sebesar 99,56°C, sementara temperatur yang didapatkan pada saat simulasi di titik 1 sebesar 80,1°C, titik 2 52,3°C, titik 3 37,0°C dan pada titik 4 sebesar 36,56°C.



Gambar 10. Simulasi distribusi termal FSW dengan kedalaman *pin* 5,7 mm

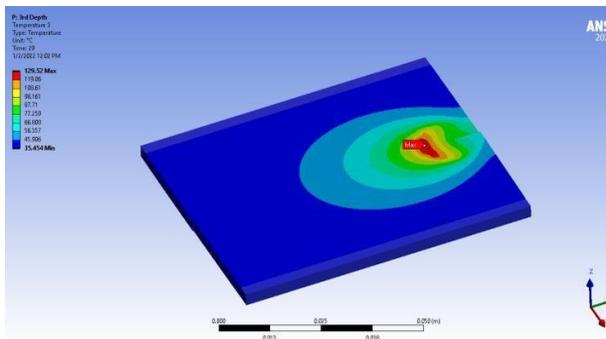
Dari hasil eksperimen diperoleh temperatur pada titik 1 79,3°C, pada titik 2 51,12 °C, titik 3 35,33°C

dan pada titik 4 33,17°C. Pada variasi kedalaman *pin* 5,7 mm, nilai persentase error terbesar didapatkan sebesar 9,27% dan terdapat pada titik 4, sementara nilai error terkecil diperoleh pada titik 1 sebesar 1,01%.



Gambar 11. Eksperimen dan simulasi distribusi temperatur vs lebar pelat variasi kedalaman *pin* 5,7 mm

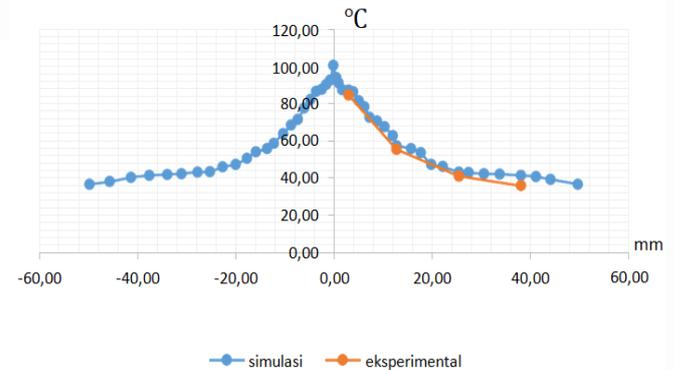
Gambar 12 memperlihatkan distribusi temperatur yang didapat melalui hasil simulasi di sekitar pelat HDPE pada variasi kedalaman *pin* 5,75 mm.



Gambar 12. Simulasi distribusi termal FSW dengan kedalaman *pin* 5,75 mm

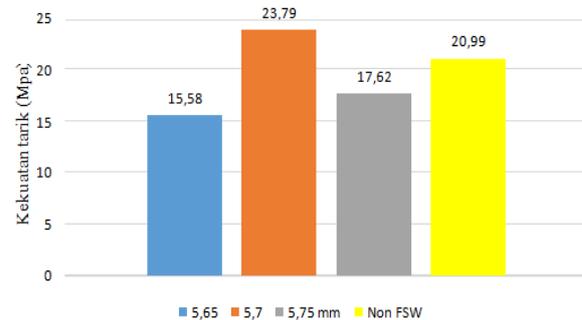
Gambar 13 menunjukkan grafik temperatur vs lebar pelat dengan variasi kedalaman 5,75 mm diperoleh data berbentuk yang dapat dilihat pada. Pada grafik dapat dilihat nilai temperatur tertinggi yang diperoleh pada saat simulasi yaitu sebesar 100,21°C, sedangkan nilai temperatur yang diperoleh pada titik 1 yaitu sebesar 86,9°C, pada titik 2 sebesar 57,2°C, pada titik 3 sebesar 43,0°C dan pada titik 4 sebesar 41,22°C. Sedangkan temperatur yang diperoleh pada eksperimen didapatkan pada titik 1 sebesar 84,27°C, pada titik 2 sebesar 55,24°C, pada titik 3 40,81 dan pada titik 4 sebesar 35,68°C. Nilai persentase error yang didapatkan pada variasi kedalaman *pin* 5,75 mm diperoleh nilai terbesar pada titik 4

13,4% dan nilai terkecil pada titik 1 sebesar 3,02%.



Gambar 13. Eksperimen dan simulasi distribusi temperatur vs lebar pelat variasi kedalaman *pin* 5,75 mm

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimal dari spesimen yang sudah melalui proses pengelasan. Gambar 14 memperlihatkan kekuatan tarik pelat HDPE dengan sambungan las FSW kedalaman *pin* divariasikan.



Gambar 14. Kekuatan tarik pelat HDPE dengan sambungan las FSW

Kekuatan tarik yang ditunjukkan pada Gambar 14 diketahui nilai kekuatan tarik maksimum pada variasi kedalaman *pin* diketahui bahwa nilai kekuatan tarik maksimum tertinggi pada spesimen hasil pengelasan dengan kedalaman *pin* 5,7 mm yaitu 23,79 MPa. Sedangkan kekuatan tarik terendah diperoleh pada spesimen hasil pengelasan menggunakan variasi kedalaman *pin* 5,65 mm yang memiliki nilai 15,58 MPa. Hal ini sejalan dengan penelitian [4] yang mendapatkan nilai kekuatan tarik maksimum pada variasi kedalaman *pin* 5,7 mm.

Dari data tersebut dapat mengetahui bahwa kedalaman *pin tool* mempengaruhi nilai kekuatan tarik maksimum dari pengelasan. Variasi kedalaman *pin tool* berpengaruh terhadap penjalaran temperatur yang berbeda-beda. Perbedaan penjalaran temperatur ini

mempengaruhi gaya intermolekuler pada HDPE. Pada kedalaman *pin* 5,7 mm merupakan kedalaman pemakanan yang ideal untuk digunakan pada spesimen uji, karena pada kedalaman *pin* 5,7 mm ini memiliki kekuatan tarik tertinggi dibandingkan variasi kedalaman *pin tool* yang lain.

Berdasarkan data yang diperoleh selama pengujian dengan variasi perbedaan kedalaman *pin tool* terhadap distribusi temperatur dan kekuatan tarik yang diperoleh selama pengelasan mendapatkan temperatur maksimum berbeda beda di masing masing variasi nya. Kedalaman *pin*, mempengaruhi temperatur yang dihasilkan, dan menyebabkan hasil pengelasan yang berbeda pula. Namun, semakin tinggi temperatur yang dihasilkan, belum tentu mendapatkan hasil pengelasan yang lebih baik. Seperti yang diperoleh dari hasil penelitian ini, temperatur tertinggi diperoleh pada variasi kedalaman *pin* 5,75 mm yaitu 86,9°C pada titik 1 simulasi dan 84,27°C pada titik 1 eksperimental, namun saat dilakukan pengujian tarik terhadap hasil pengelasan, diperoleh kekuatan tarik yang lebih baik pada variasi kedalaman *pin* 5,7 mm.

Lebih lanjut, kekuatan tarik yang dihasilkan dari pengelasan FSW dengan variasi kedalaman *pin* 5,7 mm meningkat sebesar 13,3% dari pelat HDPE yg belum diberikan perlakuan apapun. Sementara pada variasi kedalaman *pin* 5,65 mm dan 5,75 mm masing masing menurun sebesar 25,7% dan 16%.

Friction heat yang meningkat, selanjutnya membuat *soft material* yang lebih banyak dan membuat sambungan terisi penuh. Semakin dalam pemakanan akan meningkatkan homogenitas HDPE.

KESIMPULAN

Kedalaman *pin* mempengaruhi distribusi temperatur maksimum yang diperoleh, dan didapatkan temperatur maksimum pada masing masing variasi kedalaman *pin* yaitu, pada kedalaman *pin* 5,65 mm sebesar 71,7°C, kedalaman *pin* 5,7 mm sebesar 79,3°C dan kedalaman *pin* 5,75 mm sebesar 84,27°C, dimana semakin dalam maka semakin besar temperatur yang diperoleh.

Kekuatan tarik sambungan pengelasan FSW didapatkan dari tegangan tarik maksimum pada variasi kedalaman *pin tool* 5,7 mm yaitu 23,79 MPa. Pada kedalaman *pin tool* 5,65 mm diperoleh kekuatan tarik paling rendah yaitu 15,58 MPa. Simpulannya, pada kedalaman *pin tool* 5,7 mm diperoleh kekuatan tarik maksimum

dibandingkan dengan variasi kedalaman *pin* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mishra RS, Ma ZY. "Friction Stir Welding and Processing". *Material Science and Engineering*. 2005. 50 : 1 – 78.
- [2] Z. Kiss, T Czigany. "Applicability of Friction Stir Welding in Polymeric Materials". *Per. Pol. Mech. Eng*. 2007. 51 : 15 – 18.
- [3] K. Mustafa, I Ahmet. "Effect Of Welding Parameters On Friction Stir Spot Welding Of High Density Polyethylene Sheets". Department Of Material Technology, Marmara University. 2011. Istanbul 34722, Turkey.
- [4] Nugroho, B.T., dan Muhayat, N. "Pengaruh *plunge depth* dan *preheat* terhadap sifat mekanik sambungan friction stir welding polyamide". *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*. 2016. 11(2) 77.
- [5] Khany, S. E., K. N. Krishnan, M. A. Wahed. "Study of transient temperature distribution in a friction welding process and its effects on its joints". *International Journal of Computational Engineering Research*. 2012 Vol. 2 Issue. 5.1645-1655.
- [6] Lohwasser. D, Zhan Chen. 2010. Friction Stir Welding (FSW) From basic to applications. New York Washington, D.C, Woodhead Publishing Limited.
- [7] Rahayu Deden. 2012. "Analisis Proses Friction Stir Welding (FSW) Pada Plat Tipis Aluminium". Universitas Indonesia.
- [8] Wartono. 2017. "Pengaruh Putaran Tools Terhadap Kekuatan Impak dan Laju Korosi Sambungan Friction Stir Welding pada Aluminium".
- [9] Chao, Y. J., Qi, X., & Tang, W. "Heat transfer in friction stir welding - Experimental and numerical studies". *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. 2003. 125(1), 138–145.