



Prediksi Keadaan Tegangan Sisa Dekat Permukaan untuk Benda Uji yang Dibulatkan Keras Menggunakan Model Nonlinier Berbasis Data

*Marcelino¹, Roy Lamrun Sianturi²

¹ Teknik Mesin Universitas Harapan Medan, Medan, Indonesia

² Teknik Mesin Universitas HKBP Nomensen Medan, Medan, Indonesia

*Corresponding author: marcelino12@gmail.com

Kata Kunci: Pemesinan keras, Stres sisa, Pemodelan berbasis data Keywords: Hard machining, Residual stress, Data driven modelling	Abstract — Advantageous near surface residual stress states, being of crucial importance for performance of components, can already be established by adequate machining strategies avoiding cost intensive post treatments. In the present work, residual stress and integral width distributions in hard-turned specimens (AISI 6150) are characterized in dependence of processing parameters and workpiece hardness. In order to provide a basis for robust control schemes, experimental results are analyzed using various data driven methods. It is revealed that sophisticated approaches such as Takagi-Sugeno multi-models accurately predict process-property relationships and eventually outperform standard approaches such as multiple linear regression. Abstrak— Keadaan tegangan sisa dekat permukaan yang menguntungkan, yang sangat penting untuk kinerja komponen, sudah dapat ditetapkan dengan strategi pemesinan yang memadai untuk menghindari perawatan pasca intensif biaya. Dalam pekerjaan ini, tegangan sisa dan distribusi lebar integral pada benda uji keras (AISI 6150) ditandai dengan ketergantungan parameter pemrosesan dan kekerasan benda kerja. Untuk memberikan dasar skema kontrol yang kuat, hasil eksperimen dianalisis menggunakan berbagai metode berbasis data. Terungkap bahwa pendekatan canggih seperti multi-model Takagi-Sugeno secara akurat memprediksi hubungan proses-properti dan akhirnya mengungguli pendekatan standar seperti regresi linier berganda.
---	---

JuKSIT is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License.



1 PENDAHULUAN

Evaluasi sifat permukaan telah menjadi subjek penelitian intensif selama beberapa dekade karena permukaan biasanya merupakan area komponen yang paling tertekan. Bukan hanya karena distribusi beban umum, tetapi juga disebabkan oleh takikan yang diperlukan secara geometris, retakan sering dimulai di permukaan. Selain itu, hanya permukaan komponen yang bersentuhan langsung dengan lingkungan, yang pada akhirnya membuatnya rentan terhadap korosi. Dalam konteks “Surface Integrity” (SI) banyak pekerjaan yang berfokus pada mempelajari sifat-sifat permukaan, seperti tegangan sisa, pengerasan kerja dan evolusi struktur mikro yang bergantung pada parameter pemesinan [1]. Karena fakta bahwa proses pemesinan terakhir menciptakan permukaan, ini sangat penting untuk kinerja dan kualitas bagian akhir.

Proses finishing yang sudah ada, seperti penggilingan, pada dasarnya dapat diganti dengan proses penggilingan atau pembubutan, karena pemesinan untuk kondisi bahan yang diperkeras masing-masing dimungkinkan oleh alat dan bahan pemotong berperforma tinggi [2]. Dalam hal ini, banyak pekerjaan bertujuan untuk pengkondisian permukaan selama pemesinan. Terutama proses belok memiliki relevansi tertinggi, seperti yang dapat dilihat mis. dalam rangka program penelitian prioritas 2086 yang saat ini didanai di Jerman [3]. Dalam pekerjaan sebelumnya, telah ditunjukkan bahwa dalam kasus pembubutan tidak hanya setiap parameter proses, tetapi juga nilai kekerasan awal benda kerja memiliki dampak penting pada sifat akhir [4,5].

Untuk dapat memprediksi parameter SI secara real time tergantung pada parameter pemesinan dan properti awal, proses harus dimodelkan secara

keseluruhan, karena faktor-faktor yang mempengaruhi sangat berinteraksi satu sama lain [6,7]. Pendekatan analitik tidak dapat mencakup kompleksitas proses, karena mereka memerlukan pengetahuan khusus yang mendalam tentang plastifikasi, transformasi fasa, perubahan struktur mikro dan faktor-faktor yang mempengaruhinya [8]. Simulasi elemen hingga seringkali terlalu memakan waktu [6]. Akhirnya, teknik pemodelan empiris memberikan keuntungan penting dalam hal pemodelan parameter SI. Pendekatan semacam itu memungkinkan akurasi aproksimasi yang tinggi dan secara bersamaan hanya membutuhkan upaya komputasi yang rendah. Selain itu, mereka dapat dihubungkan ke berbagai macam struktur model berbasis data, beberapa di antaranya dapat menangani distribusi data yang jarang [9].

Pekerjaan ini menunjukkan kemampuan pendekatan pemodelan berbasis data untuk prediksi sifat permukaan. Multi-model Takagi-Sugeno diterapkan dan dibandingkan dengan regresi linier berganda sebagai pendekatan dasar. Tegangan sisa dan distribusi lebar integral, seperti yang ditentukan oleh difraksi sinar-X, dari spesimen yang dibulatkan keras yang ditandai dengan kekerasan awal yang berbeda berfungsi sebagai basis data untuk pemodelan empiris.

2 METODOLOGI PENELITIAN

Spesimen silinder yang terbuat dari AISI 6150 dikeraskan dan ditempa pada suhu yang berbeda, menghasilkan enam tingkat kekerasan awal yang berbeda (HV 10) seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1: Nilai kekerasan untuk semua spesimen yang dipertimbangkan, rentang sebaran untuk semua kondisi adalah +/- 30 HV

Mean workpiece hardness in HV					
322	415	500	564	656	680

Setelah perlakuan panas dan sebelum percobaan pembubutan, semua spesimen dikerjakan dengan mesin dengan diameter $d = 34$ mm dan panjang $l = 200$ mm. Operasi pembubutan keras dilakukan dengan menggunakan mesin bubut yang dikendalikan NC (Monforts RNC602) di Institute of Machining Technology (TU Dortmund). Insert Polycrystalline boron nitride (PCBN) (ISO-Code CNGA 120408) dengan lebar talang $b\gamma = 0,15$ mm dan sudut $\gamma_f = 25^\circ$ dipilih, dikombinasikan dengan dudukan alat tipe DCLNL2525 (sudut penggaruk nominal $\gamma = -6^\circ$ dan sudut rake efektif $\gamma = -31^\circ$ di area talang). Feed rate (f), depth of cut (a_p) dan cutting speed (v_c) divariasikan seperti pada tabel 2.

Tabel 2: Memotong parameter untuk mengubah eksperimen, lihat teks untuk detailnya

f in mm/rev	a_p in mm	v_c in m/min
---------------	-------------	----------------

0.05	0.25	100
0.05	0.25	250
0.125	0.25	175
0.2	0.25	100
0.2	0.25	250
0.3	0.3	245

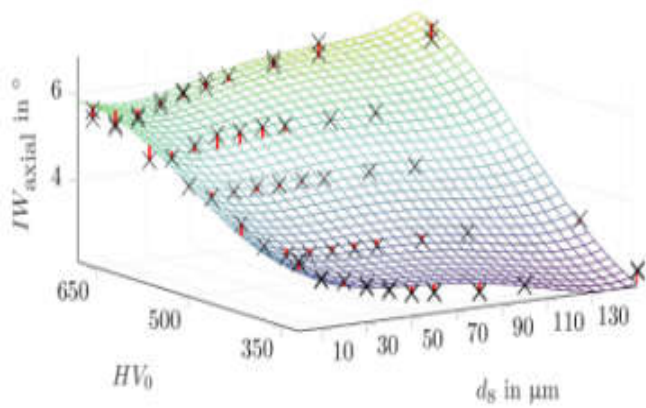
Setelah pemesinan, tegangan sisa dan pengukuran lebar integral dalam arah aksial dan tangensial dilakukan pada ψ -difraktometer. Menggunakan radiasi $\text{CrK}\alpha$, $\{211\}$ bidang kisi martensit diukur dalam rentang 148° hingga 164° (dalam 2Θ). Antara -45° dan 45° dalam ψ , 11 orientasi kristal dipertimbangkan. Kolimator $\varnothing = 1$ mm dipasang. Profil intensitas dianalisis menggunakan metode gravitasi geser untuk menghitung sudut difraksi $2\Theta\psi$. Perhitungan tegangan dilakukan dengan konstanta elastis $\frac{1}{2}S_2 = 6,09 \times 10^{-6}$ mm² /N. Untuk mengukur tegangan sisa secara mendalam, material dihilangkan secara elektrolitik. Koreksi penghapusan lapisan tidak diterapkan [4].

Pendekatan regresi linier berganda (MLR) dengan fungsi basis polinomial dipertimbangkan dalam kasus ini. Karena tingginya jumlah monomial potensial dan istilah interaksi hingga kekuatan empat, regresi bertahap (SWR) diterapkan untuk pemilihan regressor yang relevan. Ini menghasilkan model dengan 11 parameter untuk tegangan sisa dan 19 parameter untuk lebar integral. Hasil ditunjukkan pada gambar 4 dan gambar 6.

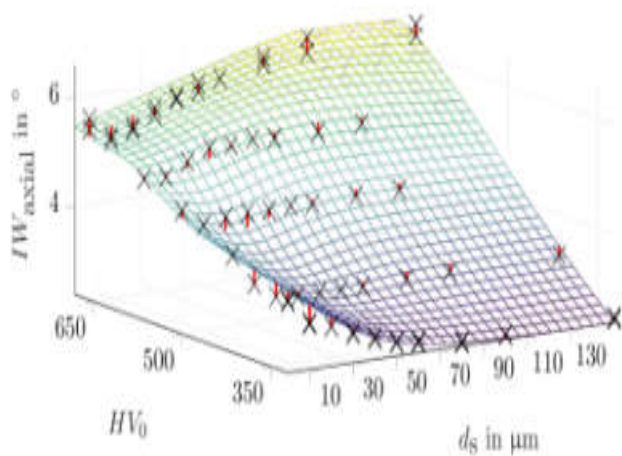
Model Takagi-Sugeno (TS) terdiri dari sub model affine superposed menggunakan fungsi keanggotaan tipe fuzzy-c-means (FCM). Untuk menentukan jumlah sub model dan parameter ketidakjelasan, kombinasi parameter yang berbeda diuji. Model terpilih terdiri dari 3 sub model untuk tegangan sisa (gambar 7) dan 4 sub model untuk lebar integral (gambar 5).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

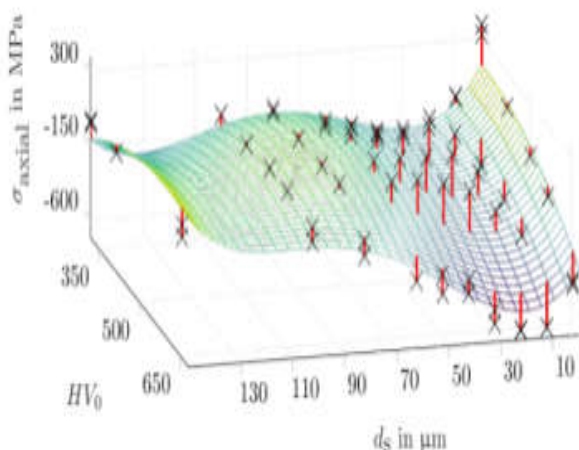
Visualisasi model cocok untuk kedua pendekatan, berfokus pada lebar integral dan tegangan sisa, ditunjukkan pada Gambar 4-7. Ukuran kinerja terkait tercantum dalam tabel 3. Kesan visual dari pemasangan lebar integral yang akurat dikonfirmasi oleh koefisien determinasi 10 kali lipat silang yang divalidasi (R^2 CV) dan disesuaikan (R^2 adj). Dengan demikian, sekilas data yang ditampilkan menunjukkan bahwa kedua pendekatan tersebut mampu memprediksi parameter SI. Perbandingan langsung hasil untuk tegangan sisa, bagaimanapun, mengungkapkan bahwa TS jelas mengungguli MLR.



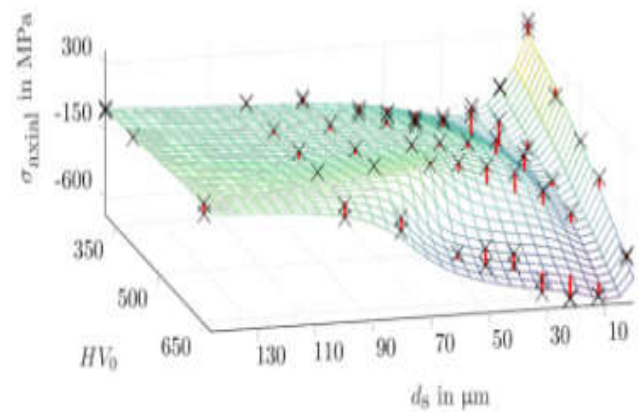
Gambar 4: Respon permukaan model regresi diperoleh dengan MLR (mash) dan lebar integral aksial terukur (x) tergantung pada kekerasan awal dan jarak permukaan ($f = 0,125$ mm/rev, $a_p = 0,25$ mm, $v_c = 175$ m/min)



Gambar 5: Respon permukaan model TS (mash) dan lebar integral aksial terukur (x) bergantung pada kekerasan awal dan jarak permukaan ($f = 0,125$ mm/rev, $a_p = 0,25$ mm, $v_c = 175$ m/min)



Gambar 6: Respon permukaan model regresi diperoleh dengan MLR (mash) dan tegangan sisa aksial terukur (x) tergantung pada kekerasan awal dan jarak permukaan ($f = 0,125$ mm/rev, $a_p = 0,25$ mm, $v_c = 175$ m/min) ; (dikompilasi ulang dari [9])



Gambar 7: Respon permukaan model TS (mash) dan tegangan sisa aksial terukur (x) tergantung pada kekerasan awal dan jarak permukaan ($f = 0,125$ mm/rev, $a_p = 0,25$ mm, $v_c = 175$ m/min); (dikompilasi ulang dari [9])

Tabel 3: Ukuran kinerja model prediksi (sebagian dikompilasi ulang dari [9])

Output	Approach	R^2_{cv}	R^2_{adj}
IW	TS	0.9829	0.9876
	MLR	0.9732	0.9772
σ_a	TS	0.8669	0.9085
	MLR	0.6806	0.7012

4 KESIMPULAN

Dalam konteks integritas permukaan, percobaan pembubutan keras menggunakan spesimen dengan nilai kekerasan awal yang berbeda dilakukan. Pengukuran pasca proses tegangan sisa dan gradien lebar integral di bawah permukaan mengungkapkan dampak simultan dari kekerasan awal dan parameter belok. Interaksi yang kuat dari faktor-faktor yang mempengaruhi membutuhkan pemodelan proses. Dua pendekatan pemodelan berbasis data yang berbeda digunakan dalam pekerjaan ini, regresi linier berganda dan model multi Takagi-Sugeno (TS). Mengingat distribusi data yang jarang, TS terbukti cocok untuk memodelkan proses pemesinan secara andal dalam fokus.

Eksperimen di masa mendatang akan memperluas basis data dengan gaya pemotongan dalam proses dan pengukuran suhu pemotongan. Model tersebut akan digunakan untuk mewujudkan sensor lunak. Invertibilitas langsung dari model TS akan memungkinkan skema kontrol model terbalik untuk proses hard turning.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penelitian ini.

REFERENCES

- [1] Johnson GR, Cook WH. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain and high temperatures. In: Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics, The Hague, The Netherlands, 1983: 541-547.
- [2] Özel, T.; Zeren, E. A Methodology to Determine Work Material Flow Stress and Tool-Chip Interfacial Friction Properties by Using Analysis of Machining. ASME J. Manuf. Sci. Eng. 128, 2006: 119-129.
- [3] Oxley, P. L. B., 1989, Mechanics of Machining, an Analytical Approach to Assessing Machinability, Ellis Horwood Limited.
- [4] Storchak, M.; Rupp, P.; Möhring, H.-C.; Stehle, T.: Determination of Johnson-Cook constitutive parameters for cutting simulations. Metals 9, 2019: 473.
- [5] Bort CG, Bruschi S, Bosetti P. Johnson Cook Parameter Identification for AISI-304 Machining Through Nelder-Mead Method. In: Proceedings of the XI International Conference on Computational Plasticity Fundamentals and Applications, 2011: 1-12.
- [6] Bosetti P, Giorgio Bort CM, Bruschi S. Identification of Johnson-Cook and Tresca's Parameters for Numerical Modeling of AISI-304 Machining. In: Processes Journal of Manufacturing Science and Engineering 135, 2013: 051021.
- [7] Eisseler, R.; Drewle, K.; Grötzinger, K.; Möhring, H.-C. Using an inverse cutting simulation-based method to determine the Johnson-Cook material constants of heat-treated steel. Procedia CIRP 77, 2018: 26-29.
- [8] Agmell M, Ahadi A, Ståhl J-E. Identification of plasticity constants from orthogonal cutting and inverse analysis. In: Mechanics of Materials 77, 2014: 43-51.
- [9] Bergs T, Hardta M, Schrakneppera D. Determination of Johnson-Cook material model parameters for AISI 1045 from orthogonal cutting tests using the Downhill-Simplex algorithm. In: Procedia Manufacturing 48, 2020: 541-552.
- [10] Bäker, M. A new method to determine material parameters from machining simulations using inverse identification. Procedia CIRP 31, 2015: 399-404.
- [11] Arrazola PJ, Villar A, Ugarte D, Marya S. Serrated chip prediction in finite element modeling of the chip formation process. In: Machining Science and Technology 11 (3): 367-390.
- [12] Agmell M, Ahadi A, Ståhl J-E. A fully coupled thermomechanical twodimensional simulation model for orthogonal cutting: formulation and simulation. In: Proc. IMechE J. Engineering Manufacture 225, 2011: 1735-1745.
- [13] Rami A, Kallel A, Sghaier S, Youssef S, Hamdi H. Residual stresses computation induced by turning of AISI 4140 steel using 3D simulation based on a mixed approach. In: Int J Adv Manuf Technol 91, 2017: 3833- 3850.
- [14] Buchkremer S, Klocke F. Compilation of a thermodynamics based processsignature for the formation of residual surface stresses in metal cutting. In: Wear 376-377, 2017: 1156-1163.
- [15] Rech J, Arrazola PJ, Claudin C, Courbon C, Pusavec F, Kopac J. Characterisation of friction and heat partition coefficients at the tool-work material interface in cutting. CIRP Annals - Manufacturing Technology 62, 2013: 79-82.
- [16] Lorentzon J, Järvstråt N. Modelling tool wear in cemented-carbide machining alloy 718. In: International Journal of Machine Tools and Manufacture 48 (10). 2008: 1072-1080.