

PENGARUH MODIFIKASI *SPLITTING NICKS* TOOL DRILL TERHADAP *SPINDLE LOADS* DAN WAKTU PROSES *DRILLING* MATERIAL S45C

Nanda Hadi Pranata^{1*}, Edy Suryono², Burhannudin³, Bambang Margono⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, Surakarta,
Indonesia

*E-mail: nandahadi08@gmail.com

ABSTRAK

Splitting nicks adalah modifikasi pada mata potong sebuah *tool drill* yang bertujuan untuk memotong *chips* ketika proses *drilling*. Penelitian ini membandingkan antara *tool drill* standar dan *tool drill* modifikasi pada proses *drilling* terhadap waktu proses dan spindle load. Parameter utama berupa kecepatan putaran spindle sebesar 530 RPM dan *feeding* sebesar 199,2 mm/min. Variasi yang digunakan adalah *depth of cut* pada 1 mm, 2 mm, dan 3 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *tool drill* modifikasi memiliki waktu proses yang relative lebih singkat dibanding *tool drill standart*. Waktu proses drill terlama terjadi pada parameter *depth of cut* 1 mm untuk mata bor standar, yaitu sebesar 130.51 detik. Sedangkan waktu proses tercepat terjadi pada *depth of cut* 3 mm untuk mata bor termodifikasi, yaitu sebesar 70.27 detik. Parameter *depth of cut* yang digunakan memberikan hasil yang berbanding terbalik terhadap waktu prosesnya, semakin besar *depth of cut* yang digunakan maka waktu prosesnya akan semakin cepat. *Tool drill* dengan *splitting nicks* memiliki waktu proses yang lebih cepat sebesar 2.6% dibandingkan menggunakan mata bor yang standar. *Spindle loads* terbesar terjadi pada *depth of cut* 3 mm untuk mata bor standar, yaitu sebesar 85%. Sedangkan *spindle loads* terendah terjadi pada *depth of cut* 1 mm untuk mata bor modifikasi, yaitu sebesar 58%. Selain itu modifikasi *tool drill* dengan *splitting nicks* berhasil menurunkan *spindle loads* sebesar 14.03% dibanding spindle load pada tool standart.

Kata kunci : *Drilling, Splitting nicks, Depth of cut, Spindle loads, Waktu proses*

ABSTRACT

Splitting nicks was modified to the cutting edge of a drill tool that aims to cut chips during the drilling process. This study compared standard drill tools and modified drill tools in the drilling process against processing time and spindle load. The main parameters was spindle rotation speed of 530 RPM and feeding of 199.2 mm / min. The variations used the depth of cut at 1 mm, 2 mm, and 3 mm. The results showed that the modified drill tools have a relatively shorter processing time than standard drill tools. The longest drilling process time occurs at the depth of cut parameter of 1 mm for standard drill bits, which is 130.51 seconds. Meanwhile, the fastest processing time occurs at a depth of cut of 3 mm for the modified drill bit, which is 70.27 seconds. The depth of cut parameter used gives results that are inversely proportional to the processing time, the greater the depth of cut used, the faster the processing time. Drill tools with *splitting nicks* have a faster processing time of 2.6% compared to standard drill bits. The largest spindle loads occurred at a depth of cut of 3 mm for standard drill bits, which was 85%. Meanwhile, the lowest spindle loads occurred at a depth of cut of 1mm for modified drill bits, which was 58%. In addition, the modification of the drill tool with *splitting nicks* has succeeded in reducing spindle loads by 14.03% compared to the spindle load on standard tools.

Keywords : *Drilling, Splitting nicks, Depth of cut, Spindle loads, Process time*

1. PENDAHULUAN

Manufaktur adalah kata yang berasal dari bahasa Latin, yang jika diartikan secara luas yaitu proses merubah bahan baku menjadi suatu produk [1]. Manufaktur tradisional mempunyai tingkat efektifitas yang rendah karena ketidakmampuan manusia dalam mengatasi permasalahan kompleks, ketidakmampuan manusia dalam mengingat-ingat data dalam jumlah yang besar, serta ketidakmampuan manusia dalam pengambilan keputusan secara cepat [2]. Menurut Perzylo *et. al* [3], permintaan pasar masa kini menuntut agar proses manufaktur berjalan dengan cepat menggunakan kolaborasi manusia dan robot.

Salah satu proses manufaktur yang lebih sering digunakan untuk objek penelitian adalah proses *drilling* dengan *twist drill* [4]. Mungkin proses *drilling* ini dianggap sama dengan *boring*, namun proses *drilling* ini ternyata berbeda dengan proses *boring*. Menurut Groover [5] *drilling* adalah proses pembuatan lubang dengan *twist drill* pada material bahan, sedangkan *boring* merupakan proses pelebaran lubang yang telah ada sebelumnya. Proses *drilling* ini banyak digunakan untuk penelitian karena banyaknya permasalahan yang timbul di dalamnya. Hal ini seperti yang diungkapkan oleh Sahu *et. al* [6], bahwa sering terjadi penyumbatan dalam evakuasi *chips* yang menyebabkan kerusakan pada matabor maupun mesinnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Hadiyoto [7] menjelaskan bahwa gaya potong yang tinggi otomatis akan meningkatkan tekanan pada alat potong sehingga akan berakibat pada kerusakan alat potong. Lukyanov *et. al* [4] melakukan penelitian untuk mencari parameter *feed rate* yang optimal untuk proses *drilling* menggunakan *twist drill*. *Feed rate* yang paling optimal dicapai pada penggunaan *feed rate* 60 – 120 mm/rev. Penelitian lain yang dilakukan oleh Nath & Kurfess [8], yaitu melakukan percobaan dengan pemberian *pin* pada mata bor untuk pemecah *chips* dan hasilnya meningkatkan kekuatan pemecah *chips* sebesar 5-9 % dari mata bor konvensional. Tetapi pada penelitiannya, dalam pembuatan pin pemotong cukup sulit dan masih kurang efisien untuk pengeboran yang berulang. Penelitian lain sebelumnya yang dilakukan oleh Ogawa *et. al.*[9], telah memodifikasi matabor dengan penambahan *splitting nicks* dan ternyata ini memberikan efek positif baik dari torsi pengeboran yang rendah, gaya pengeluaran *chips* yang rendah, maupun umur mata bor yang panjang. Tetapi dalam penelitiannya masih belum dijelaskan mengenai pembebanan pada spindelnya maupun mengenai waktu proses *drilling*nya, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk membahas hal tersebut.

Parameter yang tepat tidak hanya menghasilkan produk yang optimal, melainkan meningkatkan *tool life* nya. Putaran spindel dalam proses *drilling* berpengaruh terhadap hasil pengeboran. Semakin besar gerak makan akan menyebabkan besarnya getaran yang dihasilkan sehingga gaya potong yang dibutuhkan juga semakin besar. Jika gaya potongnya tinggi otomatis akan meningkatkan tekanan pada alat potong [7]. Besarnya gaya pembebanan pada spindel utama dikonversi oleh unit konversi beban spindel dan menghasilkan sebuah nilai yang menjelaskan besarnya gaya pembebanan pada spindel atau yang disebut dengan *spindle loads* [10].

Alat potong memiliki jangka waktu pemakaian sampai tidak bisa dipakai lagi untuk melakukan pekerjaan secara optimal atau disebut umur pakai. Sehingga perlu dilakukan pengasahan alat potong secara berkala, dengan maksud agar meningkatkan umur pakai [11]. Hal ini diperkuat dengan hasil percobaan yang dilakukan oleh Azwinur & Taufiq [12], yaitu pendeknya umur pahat dapat disebabkan oleh besarnya pembebanan yang terjadi. Tidak hanya menyebabkan umur pakai alat potong menjadi pendek, tetapi pembebanan berlebih juga akan mengakibatkan waktu pemesinannya semakin lama pula.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Nath & Kurfess [8], dengan pemberian *pin* pada mata bor untuk pemecah *chips* menghasilkan penurunan sekitar 5-9% beban spindel untuk pemecah *chips*. Ide pemecahan *chips* ini juga digunakan oleh Ogawa *et. al.*[9]

dalam penelitiannya dengan memberi *splitting nicks* pada mata potongnya. *Splitting nicks* yang diberikan pada matabor ini mampu meningkatkan *tool life* sebesar 30%. Penelitian setelahnya dilakukan oleh Sahu *et. al* [6], dengan memodifikasi matabor menggunakan penambahan *groove*. Modifikasi ini meningkatkan *tool life* matabor sebesar 55 % dibandingkan matabor standar. Modifikasi matabor juga dilakukan oleh E. Abele & M. Fujara [13], dengan modifikasi ini *chips* yang dihasilkan pada proses *drilling* menjadi berukuran kecil dan proses evakuasi *chips* nya menjadi lebih mudah.

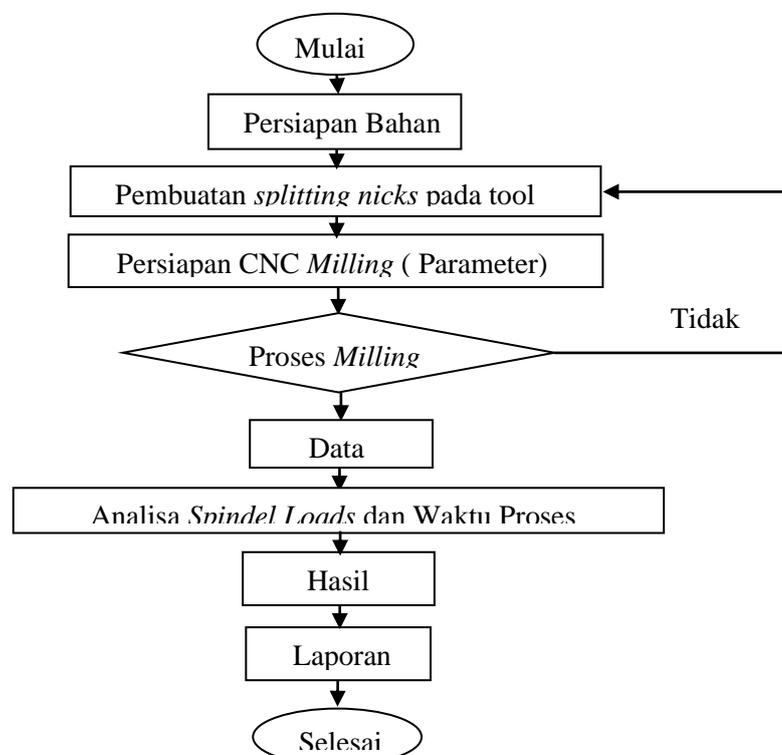
2. BAHAN DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah matabor HSS NACHI diameter 12 mm dan material S45C silinder pejal.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain,

- a) Mesin bor;
- b) Mesin bubut;
- c) Mesin *grinding tool*;
- d) Mesin gerinda;
- e) Mesin CNC *Milling*;

Pembuatan spesimen material S45C dan modifikasi matabor dengan *splitting nicks* dilakukan di Laboratorium Perkakas Teknik Mesin Akademi Teknologi Warga Surakarta. Adapun pendataan *spindle loads* dan waktu proses dilakukan di Laboratorium CNC (*Computer Numerical Control*) Teknik Mesin Akademi Teknologi Warga Surakarta. Jalan Raya Solo-Baki Km.2, Kwarasan, Solo Baru, Sukoharjo, Jawa Tengah 57552. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Juni 2020 sampai Juli 2020. Tahapan penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1.

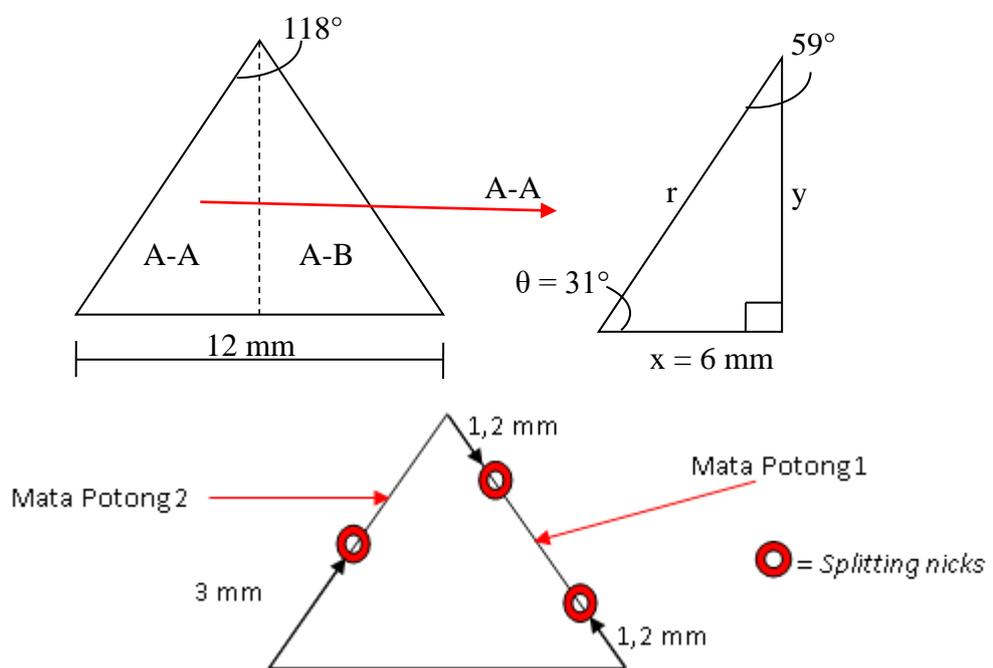


Gambar 1. Tahapan penelitian

Modifikasi *splitting nicks* pada matabor berupa profil pada mata potongnya, seperti terlihat pada gambar 2. Proses pembuatan ini dilakukan menggunakan mesin *tool grinding* dan *grinding wheel tipe disk*.



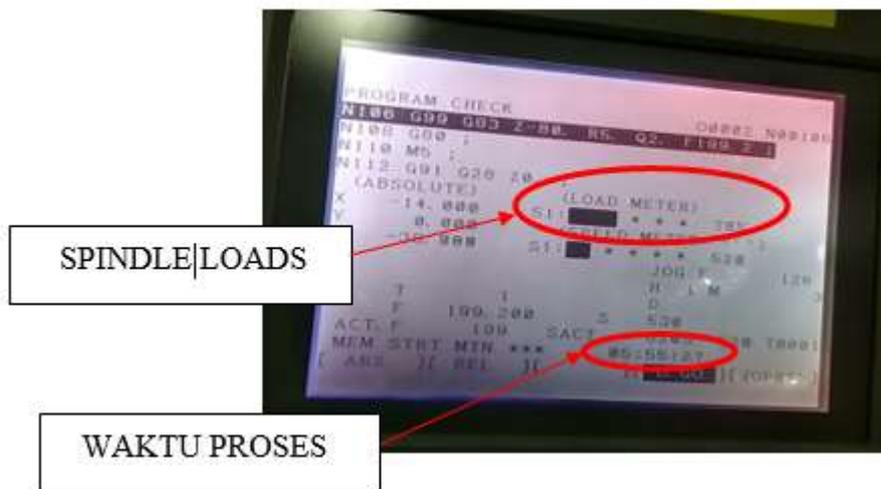
Gambar 2. Modifikasi *splitting nicks*



Gambar 3. Dimensi *splitting nicks*

Dimensi *splitting nicks* sesuai dengan gambar 3, dimana dengan kedalaman 0.42 mm, berjumlah 3 *splitting nicks*, dimana mata potong 1 diberi 2 *splitting nicks* dan mata bor 2 dibuat 1 *splitting nicks*. Selanjutnya adalah *drilling* menggunakan mesin CNC dengan parameter ; *Spindle speed* 530 RPM, *Feeding* 199,2 mm/min, model *drilling Peck drill* dan variasi *depth of cut* sebesar 1 mm, 2 mm, dan 3 mm.

Penelitian ini fokus pada pengaruh modifikasi *splitting nicks tool drill* terhadap *spindle loads* dan waktu proses *drilling* material S45C. Pengambilan data didapat pada saat proses *drilling*, seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pengambilan data pada monitor mesin CNC

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Data hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data hasil penelitian *splitting nicks*

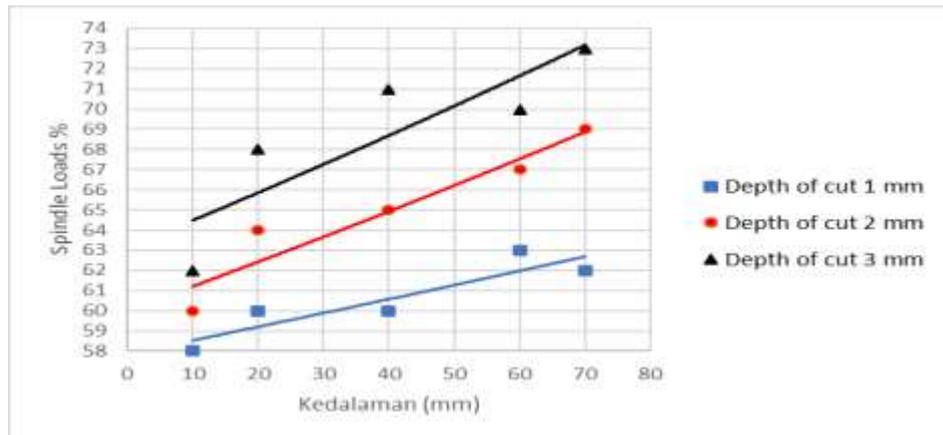
Jenis Matabor	PARAMETER		HASIL			
	<i>Depth Of Cut</i>	Kedalaman (mm)	<i>Spindle Speed</i> (RPM)	F (mm/min)	<i>AVG Spindle Loads</i> (%)	Waktu Proses (detik)
Matabor Standar	1	80	530	199,2	72	130,51
	2	80	530	199,2	74.6	86,50
	3	80	530	199,2	79.4	72,44
Matabor Modifikasi	1	80	530	199,2	60.6	127,41
	2	80	530	199,2	65	84,39
	3	80	530	199,2	68.8	70,27

Tabel 1. Menunjukkan bahwa matabor modifikasi *splitting nicks* memiliki *spindle load* yang relatif lebih rendah dibanding matabor standar. Selain itu juga mempunyai waktu proses yang relatif lebih cepat.

3.2. Pembahasan

1. *Spindle loads* dan kedalaman *drill* matabor modifikasi

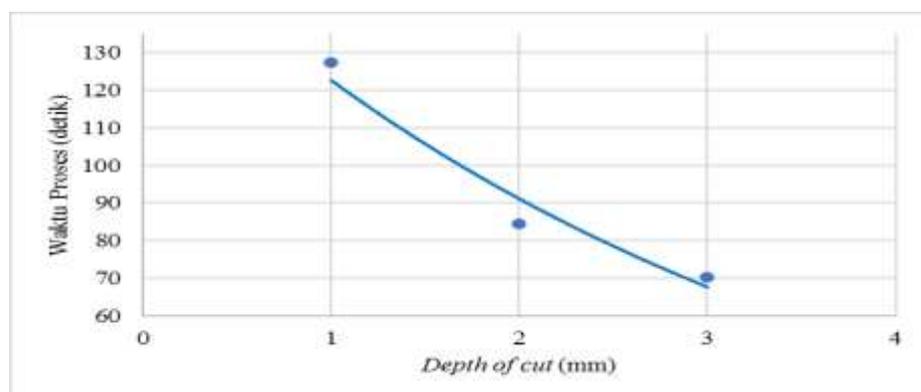
Gambar 5. menunjukkan bahwa *trendline* yang terjadi dari kedalaman 10 mm mengalami kenaikan *spindle loads* di kedalaman 70 mm. *Spindle loads* terendah didapatkan pada kedalaman 10 mm dengan rata-rata *spindle loads* 60 %.



Gambar 5. Grafik hubungan antara *spindle loads* dengan titik *drilling* matabor modifikasi

Hasil *spindle loads* terbesar didapatkan pada kedalaman 70 mm yaitu dengan rata-rata *spindle loads* 68 %. Sedangkan berdasarkan *depth of cut* yang digunakan, rata-rata *spindle loads* terendah dihasilkan pada penggunaan *depth of cut* 1 mm. Rata-rata *spindle loads* yang dihasilkan pada penggunaan *depth of cut* 1 mm adalah 60,6 %. *Spindle loads* terbesar dihasilkan dengan penggunaan *depth of cut* 3 mm yaitu sebesar 68,8 %.

Proses *drilling* menggunakan parameter *depth of cut* 3 mm mengalami kenaikan *spindle loads* sebesar 8,2 % dibandingkan menggunakan *depth of cut* 1 mm. Semakin besar *depth of cut* yang digunakan, maka *spindle loads* yang dihasilkan juga lebih besar. Hasil ini sependapat dengan penelitian yang dilakukan oleh Vadgeri *et. al* [14], penelitiannya, menyatakan bahwa besar *spindle loads* yang dihasilkan berbanding lurus terhadap *depth of cut* yang digunakan. Penggunaan *depth of cut* 1 mm ini sangat disarankan untuk proses *drilling*.

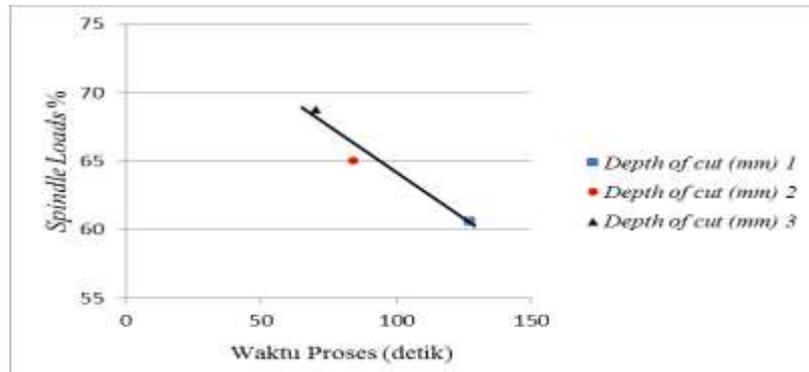


Gambar 6. Grafik hubungan antara waktu proses matabor modifikasi dengan *depth of cut*

Gambar 6. menunjukkan bahwa semakin besar *depth of cut* yang digunakan maka waktu prosesnya semakin singkat. Waktu proses terlama terdapat pada parameter *depth of cut* 1 mm yaitu selama 127,41 detik. Sedangkan waktu proses tercepat terdapat pada parameter *depth of cut* 3 mm yaitu 70,27 detik. Penggunaan *depth of cut* 3 mengalami penurunan waktu proses selama 57,14 detik atau sebesar 44,8 % dibandingkan parameter *depth of cut* 1 mm.

2. Perbandingan *Spindle loads* dan waktu proses

Hasil perbandingan *spindle loads* dan waktu proses *drilling* menggunakan matabor modifikasi ditampilkan pada gambar 7.



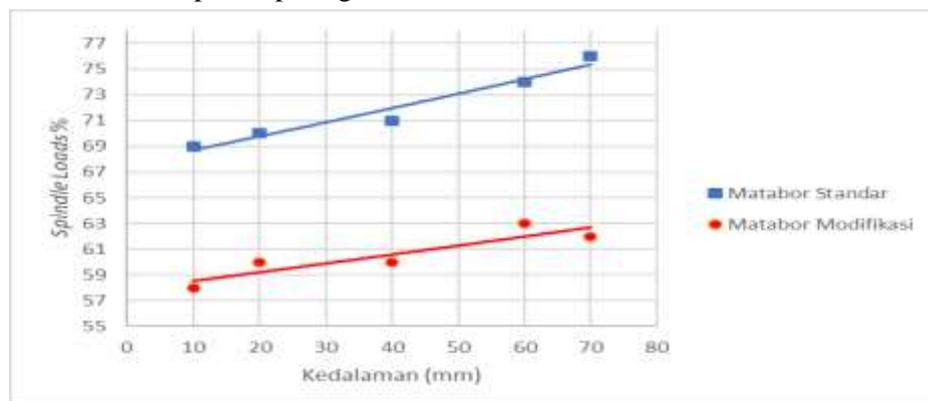
Gambar 7. Grafik perbandingan *spindle loads* dengan waktu proses *drilling* matabor modifikasi

Gambar 7. menunjukkan bahwa *spindle loads* tertinggi pada *depth of cut* 3 mm yaitu sebesar 68,8 %. *Spindle loads* terendah didapatkan pada *depth of cut* 1 mm yaitu 60,6 %. Sedangkan untuk waktu proses tersingkat didapatkan pada *depth of cut* 3 mm yaitu 70,27 detik. Waktu proses terlama didapat pada *depth of cut* 1 mm yaitu 127,41 detik.

Nilai *Spindle loads* sebanding dengan *depth of cut* dan berbanding terbalik dengan waktu proses. Dimana jika nilai *depth of cut* besar maka nilai *Spindle loads* semakin besar, namun memiliki waktu proses yang semakin singkat. Proses *drilling* yang efektif adalah yang menghasilkan *spindle loads* terendah dan waktu proses yang singkat. Sehingga untuk mencapai proses *drilling* yang efektif penulis merekomendasikan penggunaan *depth of cut* 2 mm. Karena penggunaan *depth of cut* 2 mm ini menghasilkan *spindle loads* yang tidak terlalu tinggi yaitu 65 % dan waktu proses yang cukup singkat yaitu 84,39 detik.

3. Perbandingan *Spindle loads* Matabor Standar dan Matabor Modifikasi

Hasil perbandingan *spindle loads* matabor standar dan matabor modifikasi dengan *depth of cut* 1 mm ditampilkan pada gambar 8.

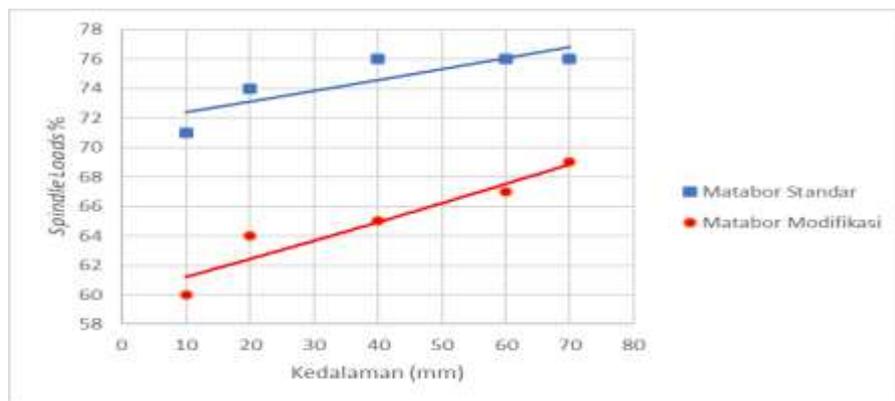


Gambar 8. Grafik hubungan antara spindle load dengan kedalaman untuk matabor standar dan modifikasi untuk *depth of cut* 1 mm

Spindle loads yang dihasilkan matabor standar dan matabor modifikasi menunjukkan *trendline* yang sama-sama naik. Hasil *spindle loads* terendah proses *drilling* nya adalah pada kedalaman 10 mm yaitu dengan rata-rata *spindle loads* 63,5 %. *Spindle*

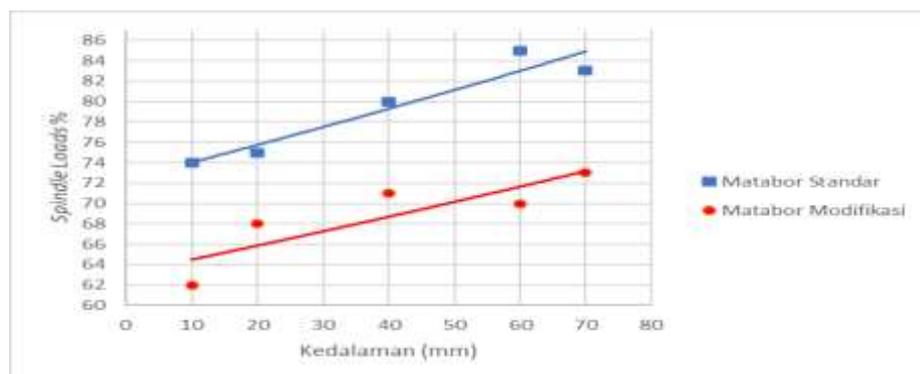
loads terbesar didapatkan pada kedalaman 70 mm dengan rata-rata *spindle loads* sebesar 69 %. Rata-rata *spindle loads* yang dihasilkan matabor modifikasi lebih rendah daripada matabor standar. Penggunaan matabor modifikasi mampu menurunkan *spindle loads* sebesar 15,8 % dari pemakaian matabor standar. Sehingga matabor modifikasi ini lebih efektif untuk proses *drilling* dengan *spindle loads* yang rendah.

Hasil perbandingan *spindle loads* matabor standar dan matabor modifikasi dengan *depth of cut* 2 mm ditampilkan pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan antara spindle load dengan kedalaman untuk matabor standar dan modifikasi untuk *depth of cut* 2 mm

Perbandingan *spindle loads* matabor standar dan matabor modifikasi dengan *depth of cut* 2 mm ini menghasilkan *trendline* yang sama-sama naik. *Spindle loads* terendah didapatkan pada kedalaman 10 mm dengan rata-rata *spindle loads* 65.5 %. *Spindle loads* tertinggi dihasilkan pada kedalaman 70 mm dengan besar rata-rata *spindle loads* sebesar 72.5 %. Penggunaan matabor modifikasi menghasilkan *spindle loads* yang lebih rendah dibandingkan matabor standar. Pada penggunaan *depth of cut* 2 mm ini, penggunaan matabor modifikasi mampu menurunkan *spindle loads* sebesar 12,9 % dibandingkan penggunaan matabor standar. Sehingga pada *depth of cut* 2 mm, penggunaan matabor modifikasi sangat direkomendasikan.



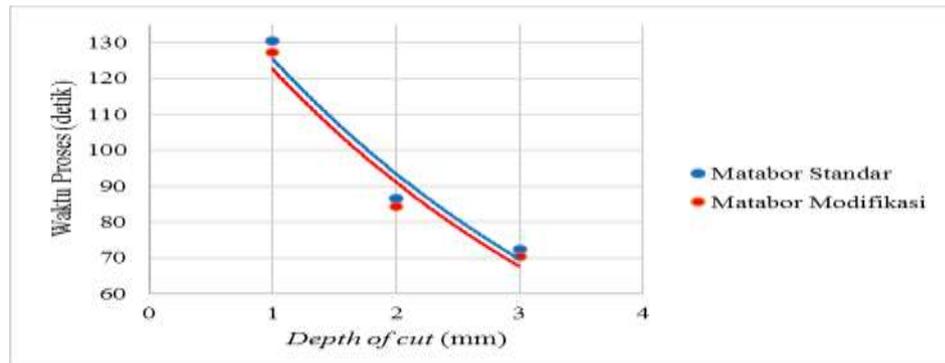
Gambar 10. Grafik Grafik hubungan antara spindle load dengan kedalaman untuk matabor standar dan modifikasi untuk *depth of cut* 3 mm

Perbandingan hasil *spindle loads* pada *depth of cut* 3 mm menghasilkan *trendline* yang naik sama seperti hasil sebelumnya. *Spindle loads* terbesar didapatkan pada kedalaman 70 mm yaitu dengan rata-rata *spindle loads* 78 %. *Spindle loads* terkecil didapatkan pada kedalaman 10 mm yaitu sebesar 68 %. Penggunaan matabor modifikasi ini memberikan penurunan *spindle loads* sebesar 13,4 % dari matabor standar.

Hasil perbandingan matabor standar dan matabor modifikasi menunjukkan bahwa matabor modifikasi lebih efektif dalam menghasilkan *spindle loads* yang lebih rendah. Secara keseluruhan penggunaan matabor modifikasi ini menurunkan *spindle loads* sebesar 14,03 %. Hasil ini sependapat dengan penelitian yang dilakukan oleh Ogawa *et.*[9], menyatakan bahwa matabor modifikasi dengan *splitting nicks* menghasilkan *spindle loads* yang lebih kecil dibandingkan matabor standar.

4. Perbandingan Waktu Proses Matabor Standar dan Matabor Modifikasi

Perbandingan waktu proses antara matabor standar dengan matabor modifikasi ditampilkan pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan antara waktu proses dengan *depth of cut*

Perbandingan hasil waktu proses *drilling* pada gambar 11. menunjukkan *trendline* yang turun. *Trendline* yang turun ini disebabkan karena semakin besar *depth of cut* yang digunakan maka waktu prosesnya semakin singkat. Waktu proses tersingkat didapatkan pada *depth of cut* 3 mm yaitu rata-rata selama 71,36 detik. Waktu proses terlama didapatkan pada *depth of cut* 1 mm yaitu dengan rata-rata waktu proses 128,9 detik. Penggunaan matabor modifikasi menghasilkan waktu proses yang lebih singkat dibandingkan matabor standar. Proses *drilling* menggunakan matabor modifikasi dengan parameter *depth of cut* 1 mm mampu menurunkan waktu prosesnya selama 3,1 detik atau 2,38 % daripada matabor standar. Proses *drilling* menggunakan matabor standar dengan parameter *depth of cut* 2 mm memberikan penurunan terhadap waktu proses selama 2,11 detik atau sebesar 2,44 %. Sedangkan proses *drilling* dengan matabor modifikasi menggunakan parameter *depth of cut* 3 mm menurunkan waktu prosesnya selama 2,17 detik atau sebesar 3 % dibandingkan matabor standar. Waktu proses yang dihasilkan oleh matabor modifikasi secara keseluruhan menghasilkan rata-rata penurunan sebesar 2,6 % dibandingkan matabor standar.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian modifikasi tool drill berupa *splitting nicks* adalah :

- Modifikasi *splitting nicks* pada matabor dilakukan menggunakan mesin *grinding* dan *grinding wheel* tipe *disk*. *Splitting nicks* dibuat berjumlah 3 buah dengan kedalaman 0,21 mm.
- Tool drill* modifikasi mengalami penurunan *spindle loads* sebesar 14.03 % terhadap *tool* standar dan mengurangi waktu proses *drilling* sebesar 2.6 % terhadap *tool* standar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada :

- a. Pengampu laboratorium CAM dan CNC jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta.
- b. Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Supriyanto, “‘Manufaktur’ dalam Dunia Teknik Industri,” *Ind. Elektro dan Penerbangan*, vol. 3, no. 3, pp. 1–4, 2013.
- [2] S. Liang, M. Rajora, X. Liu, C. Yue, P. Zou, and L. Wang, “*Intelligent manufacturing systems: A review*,” *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 7, no. 3, pp. 324–330, 2018.
- [3] A. Perzylo *et al.*, “*SMErobotics: Smart robots for flexible manufacturing*,” *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 26, no. 1, pp. 78–90, 2019.
- [4] A. D. Lukyanov, T. S. Onoyko, and T. A. Najafabadi, “*Optimization of Processing Conditions when Drilling Deep Holes: Twist Drills*,” *Procedia Eng.*, vol. 206, pp. 427–431, 2017.
- [5] M. P. Groover, *Fundamental of Modern Manufacturing Material, Processes, and System Fifth Edition*. 2012.
- [6] S. K. Sahu, O. Burak Ozdoganlar, R. E. DeVor, and S. G. Kapoor, “*Effect of groove-type chip breakers on twist drill performance*,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 43, no. 6, pp. 617–627, 2003.
- [7] A. E. Hadiyoto, “*Sudut Mata Pahat Terhadap Getaran Benda Kerja Aluminium 6061 Pada Proses Drilling Sudut Mata Pahat Terhadap Getaran Benda Kerja Aluminium 6061 Pada Proses Drilling*,” pp. 1–96, 2014.
- [8] C. Nath and T. Kurfess, “*Obstruction-type Chip Breakers for Controllable Chips and Improved Cooling/Lubrication During Drilling – A Feasibility Study*,” *Procedia Manuf.*, vol. 5, pp. 375–385, 2016.
- [9] M. Ogawa and K. Nakayama, “*Effects of Chip Splitting Nicks in Drilling*,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 34, no. 1, pp. 101–104, 1985.
- [10] T. Ando and N. Gun, “*Main Spindle Load Monitoring Device For Machine Tool*,” 2017.
- [11] G. Saputra and A. Hamsi, “*Analisa Optimasi Pemesinan pada Mesin Bor Breda Tipe R-35 dengan Algoritma Genetika*,” *J. e-Dinamis*, vol. 9, no. 1, pp. 11–18, 2014.
- [12] A. Azwinur and T. Taufiq, “*Analisis Umur Pahat Dan Biaya Produksi Pada Proses Drilling Terhadap Material S 40 C*,” *J. Polimesin*, vol. 15, no. 1, p. 1, 2017.
- [13] E. Abele and M. Fujara, “*Simulation-based twist drill design and geometry optimization*,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 59, no. 1, pp. 145–150, 2010.
- [14] S. S. Vadgeri, S. R. Patil, and S. T. Chavan, “*Static and Fatigue Analysis of Lathe spindle for Maximum Cutting Force*,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 4438–4444, 2018.