

Analisis Efisiensi Tata Potong pada Praktik Kerja Plat Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin

Anwar Sukito Ardjo*, Timotius A. Kristiawan, Wahyu Isti Nugroho, Padang Yanuar

Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

*E-mail: ardjo.anwars@polines.ac.id

Diterima: 16-11-2021; Direvisi: 02-12-2021; Dipublikasi: 30-12-2021

Abstrak

Aktivitas praktik kerja plat pada program studi teknik mesin penggunaan lembaran baja masih belum efisien. Sisa pemotongan yang berukuran besar masih cukup banyak dan lembar kerja belum memberi kompetensi tata potong. Hal ini menimbulkan kerugian bila terjadi pada produksi massal. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis efisiensi tata potong plat baja pada praktik kerja plat mahasiswa jurusan teknik mesin. Obyek penelitian dilakukan untuk empat macam produk, yaitu : *coolant box*, *keys box*, *paper trays*, dan *tools box*. Metode yang digunakan adalah *System Development Life Cycle (SDLC)* yang terdiri dari prosedur-prosedur : analisis, desain, implementasi, dan evaluasi. Hasil penelitian berupa algoritma tata potong yang diimplementasikan dapat menghasilkan efisiensi untuk tiap lembar plat baja : 24 set untuk produk *coolant box*, 12 set untuk produk *keys box*, 6 set untuk *paper trays*, dan 6 set untuk *tools box*. Disarankan agar pembelajaran praktik kerja plat dapat menerapkan algoritma tata potong untuk sebuah lembaran plat baja utuh berukuran 2.400 mm x 1.200 mm.

Kata kunci: algoritma tata potong; analisis efisiensi; praktik kerja plat; SDLC; tata potong

Abstract

are still quite a lot of large pieces left and the worksheets do not provide cutting layout competence. This causes losses when it occurs in mass production. The purpose of this study was to analyze the efficiency of steel plate cutting in the plate work practice of students majoring in mechanical engineering. The object of the research was for four kinds of products, namely: coolant box, keys box, paper trays, and tools box. The method used is the System Development Life Cycle (SDLC) which consists of the following procedures: analysis, design, implementation, and evaluation. The results of the research are the cutting algorithm that is implemented to produce efficiency for each sheet of steel plate: 24 sets for coolant box products, 12 sets for keys box products, 6 sets for paper trays, and 6 sets for tools boxes. It is recommended that plate work practice learning can apply the cutting algorithm for a sheet of solid steel plate measuring 2,400 mm x 1,200 mm.

Keywords: cutting algorithm; efficiency analysis; sheet metal practice; SDLC; cutting layout

1. Pendahuluan

Mahasiswa program studi D3 Teknik Mesin dan Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan pada Semester I dan Semester II mendapatkan materi praktik kerja plat. Observasi yang dilakukan memberikan temuan-temuan terdapat : (1) banyak sisa hasil pemotongan plat lembaran baja yang tidak dapat dimanfaatkan (limbah) yang masih berukuran cukup besar, (2) aktivitas pemotongan yang kurang terbimbing yang berakibat mahasiswa memotong bahan baku praktik sesuka mereka sendiri, (3) suasana meja kerja yang tidak rapi, dan (4) lembar kerja praktik belum memuat kompetensi tata potong lembaran baja yang efisien.

Lam, Sze, and Tan [1] melakukan tata potong plat menggunakan 2 tahap utama : bersarang dua kosong dan pembentukan tata potong bagian dari dua pasang bersarang. Ide dasarnya menggunakan jumlah Minkowski dalam suatu algoritma untuk mengorientasikan bagian pada plat untuk memaksimalkan pemanfaatan bahan dan algoritma pembentukan jumlah Minkowski yang dimodifikasi. Verlinden, Cattrysse, Dufloy, dan Oudheusden [2] meneliti efisiensi material plat yang terbuang pada proses pemotongan dengan laser dengan menerapkan algoritma traveling purchaser problem (TPP) dan traveling salesman problem (TSP). Dasar tata pemotongan berdasarkan bentuk potongan yang datang secara berurutan dan

pengaturan bagian yang kosong sekecil mungkin. Wu, Ling, Li, Wu, dan Liu [3,4], Chaudhuri dan Samal [5] meminimasi bagian yang terbuang dalam pemotongan plat dengan cara memodifikasi algoritma traveling salesman problem (TSP) menjadi algoritma koloni semut (Ant Colony). Metode Minkowski, TTP dan TSP kurang tepat diterapkan pada kasus praktik kerja plat yang akan diteliti karena memerlukan ketelitian pengukuran kebutuhan plat baja.

Dagli [6], Hopper [7] mengkombinasikan metode optimisasi dan heuristik untuk memperoleh tata potong yang paling optimal. Huang, Shi, dan Xu [8], Oliverea, Gomes, dan Ferreira [9], Liu dan Ye [10], Herrmann dan Delalio [11] memanfaatkan algoritma sarang untuk menentukan tata potong yang efisien. Metode Heuristic dan algoritma bersarang dalam kasus praktik kerja plat ini membutuhkan waktu lebih lama dan ketelitian bentuk yang tinggi, sehingga tidak efektif untuk diterapkan pada praktik kerja plat.

Xie, Wang dan Liu [12] mengembangkan efektivitas tata potong plat menggunakan *Computer-Aided Nesting (CAN)*. Prinsip kerjanya gambar CAD dari bentuk yang akan dipotong diolah oleh CAN dengan mengelompokkan bentuk-bentuk identik, membuat pengelompokan, dan jumlah produk. Proses nesting melibatkan algoritma : enclosure, heuristic, genetic, dan bottom-left. Selanjutnya hasil CAN diubah menjadi kode untuk CAPP/CAM. Reddy [13] Xue, Su, and Sun [14] menyusun tata potong menggunakan algoritma genetik yang berhasil mencapai urutan bagian yang terbaik untuk menghasilkan pola bersarang yang efektif dan teknik kiri-bawah sebagai kebijakan penempatan. Parameter yang mempengaruhi algoritma genetika adalah probabilitas cross over, probabilitas mutasi, dan kriteria pemutusan. Liao, Ma, Ou, Long, dan Liu [15] meneliti kasus pengepakan menjadi lembaran segi empat untuk meminimasi limbah. Dasarnya adalah metode fisik yang menggunakan rubber band packing algorithm (RBPA) pada pengemasan bentuk yang tidak teratur. Hasil dari RBPA, mengumpulkan semua bentuk yang akan dipotong menjadi segi empat. Prinsipnya dengan cara menggerakkan kepala potong laser menurut jalur dengan lompatan antar jalur yang terpendek. Metode Can, kiri-bawah, dan mengumpulkan semua bentuk menjadi segiempat lebih tetap diterapkan pada kasus kerja plat. Implementasinya mengikuti algoritma : (1) semua ukuran komponen dibuat menjadi segiempat siku-siku, (2) mengumpulkan semua komponen untuk sisi panjang sebagai sumbu-x, (3) meletakkan sisi panjang dan pipih pada koordinat kiri-bawah atau sumbu (0,0) untuk semua kebutuhan komponen, (4) melanjutkan untuk sisi sumbu-x lebih pendek, (5) ulangi untuk semua komponen, (6) sisa bagian yang tidak dapat digunakan berada pada sisi kanan dan atas

Alwan [16] mendefinisikan System Development Life Cycle (SDLC) sebagai kombinasi lima fase utama untuk membuat sistem perangkat keras saja, sistem perangkat lunak saja atau kombinasi keduanya untuk memenuhi atau melampaui harapan pelanggan. Menurut Romney dan Steinhardt [17] : "Sistem adalah serangkaian dua atau lebih komponen yang saling terkait dan berinteraksi untuk mencapai suatu tujuan".

Literatur-literatur di atas seluruhnya diimplementasikan pada operasi menggunakan mesin potong laser dan CAM (Computer Aided Manufacturing). Sedangkan kasus pada praktik kerja plat di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang dilakukan untuk peralatan sederhana (peralatan manual) yang digunakan untuk mencapai kompetensi ketelitian memotong dan membentuk bagi mahasiswa semester I, semester II, semester III, dan semester IV. Oleh karena itu prinsip-prinsip urutan (algoritma) pada literatur di atas akan diadopsi untuk proses tata potong manual dan bentuk yang sederhana dengan jumlah potongan yang sedikit.

Algoritma Traveling Salesman Problem (TSP) yang memiliki prinsip mendapatkan perjalanan yang paling singkat dan paling murah akan dipadukan dengan heuristic algorithm (UA). Pertama, TSP dan UA diimplementasikan dengan mengurutkan komponen produk yang akan dipotong agar diperoleh cara tata potong yang cepat dan murah dengan mengawali setiap komponen yang akan ditata dimulai dari ukuran paling besar agar mendapatkan keputusan tata potong yang paling cepat. Kedua, juga akan dipadukan dengan algoritma kiri-bawah, di mana tata potong selalu dimulai dari sudut

kiri-bawah dari plat baja, sehingga akan diperoleh titik awal tata potong. Ketiga algoritma ini akan diimplementasikan pada gambar kerja yang terdapat pada lembar kerja yang digambar dengan autocad atau manual, kemudian dicetak pada kertas. Mahasiswa secara kelompok diminta mendiskusikan susunan untuk menghasilkan limbah potong paling sedikit atau sisa pemotongan yang sebesar -besarnya agar masih dapat dimanfaatkan oleh kelompok lain atau praktik benda kerja lainnya.

Berdasarkan referensi-referensi di atas, maka pada penelitian ini disusun algoritma baru yang paling sederhana yang bila dilakukan secara manual oleh mahasiswa dalam praktik kerja plat dapat menghasilkan tata potong yang paling efisien. Teori-teori yang diadopsi adalah : TSP & UA untuk dimensi komponen paling Panjang dan secara heuristic menempatkan pola secara langsung berdasarkan penglihatan, algoritma kiri-bawah untuk penempatan awal tata potong, menggunakan CAN untuk mengelompokkan komponen yang sama, mendapatkan dan RBPA untuk membuat pola dalam bentuk segi empat siku-siku.. Algoritma baru yang disusun dapat dilihat pada gambar 1.

```

START
Tools Preparation;
Providing Steel Sheet of 2.400 mm x1.200 mm as X-axis & Y-axis

Draw a pattern : /*draw of every part as pattern*/
Case Product : /*Coolant Box/Keys Box/Paper Trays/Tools Box*/
For Part = 1 to n /* part code */
    For Quantity = 1 to m /* quantity of every part is: 6,12,18,24 */
        - Length plotting /* length of part */
        - Width plotting /* width of part */
        - Draw pattern /* draw rectangular to paper */
    Next /* do until m part */
Next /* do until n part code all part patterned */
End

Layout patterns: /*Draw pattern to steel sheet*/
Case Product : /*Coolant Box/Keys Box/Paper Trays/Tools Box*/
For Part = 1 to n /* part code */
    Layout to Bottom-Left of Steel /*draw pattern to steel sheet*/
    Make row of part code to the right /* draw pattern long of X-axis*/
    If pattern > 0 Then /* pattern of part 1 ><0 */
        Draw next pattern above of pattern1 /* pattern of part 1 in the next upper row */
    End if
    Tagged every dot /*do until all part drawn*/
    Draw the line of every dot /*do until all part drawn*/
Next /*do until all part drawn*/

Calculate the quantity of Part- Product can drawn
Calculate the efficiency of steel utilization
Steel sheet is ready for cutting
END
    
```

Gambar 1: Algoritma Tata Potong

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis efisiensi tata potong plat baja pada praktik kerja plat mahasiswa jurusan teknik mesin. Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah (a) sisa hasil pemotongan yang tidak dapat digunakan lagi (limbah) sesedikit mungkin,(b) sisa hasil pemotongan yang masih dapat dimanfaatkan memiliki bentuk teratur (segi empat) dengan memiliki sisi siku-siku, (c) dosen dapat mencantumkan tata potong dalam lembar kerja, (d) mahasiswa memiliki kompetensi dalam membuat tata potong plat baja yang efektif, pada praktik berkelompok, dan (e) mahasiswa berdiskusi dan bekerja sama untuk menghasilkan tata potong yang paling efisien.

2. Material dan metodologi



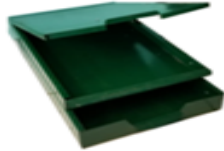

2.1. Material Benda Kerja Praktik Kerja Plat

Lembaran plat baja SPCC (*Cold Rolled Steel Sheet*) atau dikenal dengan lembaran plat baja canai dingin, diproduksi merujuk pada standard JIS G3141: 2005. SPCC sangat cocok digunakan untuk bahan baku bodi kendaraan, peralatan listrik, peralatan lainnya. Material untuk benda kerja praktik kerja plat dipilih yang mudah diperoleh dipasaran, yaitu SPCC-SD (*Dull Fisnish*). Ukuran dari lembaran plat baja adalah 2.400 mm x 1.200 mm dengan luas 2.880.000 mm².

2.2. Dimensi Bentangan Benda Kerja Praktik Kerja Plat

Benda kerja praktik kerja plat yang dianalisis pada penelitian ini terdiri dari 4 macam, yaitu : *coolant box*, *keys box*, *paper tray*, dan *tools box*. Spesifikasi dari tiap benda kerja ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Benda Kerja

Product Name	Part Code	Dimension	Qty Required	Area(mm ²)	Product Image
<i>Coolant Box</i>	CB-1	840x78x0,5	1	65.520,0	
	CB-2	187x104x0,5	1	19.448,0	
	CB-3	1.328x11x0,5	1	14.608,0	
	CB-5	82,5x25x0,5	1	2.062,5	
	CB-4	36x11x0,5	2	792,0	
			Σ	102.430,5	
<i>Keys Box</i>	KB-1	265x250x0,5	1	66.250,0	
	KB-2	195x170x0,5	3	99.450,0	
	KB-3	250x165x0,5	1	41.250,0	
			Σ	206.950,0	
<i>Paper Trays</i>	PT-1	375x310x0,5	1	116.250,0	
	PT-2	415x330x0,5	1	136.950,0	
	PT-3	485x370x0,5	1	179.450,0	
			Σ	432.650,0	
<i>Tools Box</i>	TB-1	429x350x0,5	1	150.150,0	
	TB-2	218x119x0,5	2	51.884,0	
	TB-3	350x208x0,5	2	145.600,0	
	TB-4	116x79x0,5	4	36.656,0	
	TB-5	382x110x0,5	2	84.040,0	
			Σ	468.330,0	

Tabel 2. Jumlah Produk Teoritis

Product Name	Total Area/product (mm ²)	Area of Steel sheet (mm ²)	Teoritic Set Quantity
<i>Coolant Box</i>	102.430,5	2.880.000	28,1
<i>Keys Box</i>	206.950,0	2.880.000	13,9
<i>Paper Trays</i>	432.650,0	2.880.000	6,7
<i>Tools Box</i>	468.330,0	2.880.000	6,1

2.3. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *System Development Life Cycle* (SDLC) dengan tahap-tahap seperti berikut : *Analisis*, mencakup pendefinisikan masalah, sumber daya seperti : tugas, biaya, dan cara membuat produk. *Desain*, menyiapkan pola taip komponen benda, menyusun algoritma tata potong. *Implementasi*, menerapkan algoritma yang efisien dengan melakukan pemetaan tata potong pada lembaran baja. *Pengujian*, melakukan tata potong untuk jumlah produk sesuai jumlah mahasiswa dalam tiap kelompok dan menghitung biaya produk terendah dari tiap benda praktik. *Evaluasi*, melakukan persiapan implementasi hasil penelitian dalam pembelajaran yang dituangkan dalam lembar kerja praktik.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pelaksanaan Pembelajaran Praktik Kerja Plat

Tiap kelas praktik terdiri dari 24 mahasiswa, sehingga pembagian kelompok praktik dapat terdiri dari 6,12, atau 24 mahasiswa. Prosedur pembelajaran Praktik Kerja Plat dilaksanakan berdasarkan algoritma tata potong pada Gambar 1 dengan menyediakan perlengkapan praktik dan 1 lembar plat baja berukuran 2.400 mm x 1.200 mm. Lembaran plat baja harus diposisikan 2.400 mm sebagai sumbu-x dan ukuran 1.200 mm sebagai sumbu-y.

3.2. Efisiensi Hasil Tata Potong Menggunakan Algoritma

Hasil dari pelaksanaan tata potong menggunakan algoritma pada Gambar 1 disajikan pada Tabel 3. Hasil praktik yang menerapkan algoritma potong jika dibandingkan dengan hasil teoritis ternyata memberikan hasil yang sangat signifikan. Benda kerja *Coolant Box* 28,1: 24; benda kerja *Keys Box* 13,9:13; benda kerja *Paper Trays* 6,7:6; dan benda kerja *Tools Box* 6,1:6. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma tata potong sesuai gambar 1 sangat efisien. Scrap yang dihasilkan sangat rendah dibawah 20%, hal ini memenuhi analisis dan prinsip Pareto [18]. Sejauh ini hasil penelitian yang serupa ini belum ditemukan.

Tabel 3. Efisiensi Hasil Tata Potong Menggunakan Algoritma

Product	Set Quantity	Part Required	Part Nested	Total Area	% Utilization	Layout Result	Remark
<i>Coolant Box</i>	24	144	144	2.458.332,0	82.62	<i>Excellent</i>	17.38% scrap
<i>Keys Box</i>	13	65	65	2.690.350,0	90.38	<i>Excellent</i>	9.62% scrap
<i>Paper Trays</i>	6	18	18	2.595.900,0	87.2	<i>Excellent</i>	12.8% scrap
<i>Tools Box</i>	6	66	66	2.809.980,0	94.4	<i>Excellent</i>	13.6% scrap

3.3. Contoh Pelaksanaan Tata Potong Menggunakan Algoritma Tata Potong

Contoh hasil tata potong untuk produk keys box ditunjukkan pada gambar 2. Sesuai dengan tabel 1, *Keys Box* terdiri dari 3 bagian, KB-1, KB-2, dan KB-3. Pada gambar 2, bagian KB-1 berwarna coklat muda, KB-2 berwarna kuning, dan KB-3 berwarna hijau. Penempatan dimulai dari bagian kiri-bawah untuk bagian dengan ukuran terpanjang, yaitu 265 mm. Gambar 2 membuktikan bahwa algoritma tata potong yang disajikan pada gambar 1 sangat mudah diaplikasikan. Adopsi algoritma *heuristic* muncul saat part code KB-3 berwarna hijau harus diputar 90° searah jarum jam untuk mendapatkan posisi 4 buah part di mana mahasiswa dapat melakukannya hanya dengan melihat susunan pola.



Gambar 2. Tata Potong *Keys Box* untuk 12 Set

4. Kesimpulan

Algoritma tata potong yang disusun pada penelitian ini memiliki efisiensi yang tinggi dan mudah dilaksanakan dalam praktik kerja plat. Hasil efisiensi tata potong lembaran baja untuk benda kerja *Coolant Box*, *Keys Box*, *Paper Tray*, dan *Tools Box* dapat memberikan gambaran jumlah scrap atau lembaran baja yang tidak dapat digunakan mencapai nilai terendah 17,8%, 9,62%, 12,8%, dan 13,6%. Mahasiswa dapat melaksanakan praktik kerja plat yang lebih efisien dengan menerapkan algoritma tata potong hasil penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Lam, T.F., Sze, W. S., Tan. S. T. Nesting of Complex Sheet Metal Parts. *Computer-Aided Design & Applications*. 2007; 4 (1-4): p.169-179. DOI: .1080/16864360.2007.10738537.
- [2] Verlinden B., Cattrysse, D., Duflou, J., Oudheusden, D. Van. Modeling Sheet Metal Integrated Production Planning For Laser Cutting and Air Bending. *Key Engineering Materials*. 2007; 344: p. 913-920.
- [3] Wu, Z. Y., Ling, H., Li, L., Wu, L. H., Liu, N.B. Research on Cutting Path Optimization of Sheet Metal Parts Based on Ant Colony Algorithm. *ICAMMT 2017 IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 242; 2017; 012099 doi:10.1088/1757- 899X/242/1/012099.
- [4] Wu, Z. Y., Ling, H., Li, L., Wu, L. H. and Liu, N.B. Research on NC Laser Combined Cutting Optimization Model of Sheet Metal Parts. *ICAMMT 2017 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 242; 2017; 012068 doi:10.1088/17.
- [5] Chaudhuri D, Samal A. A Simple Method for Fitting of Bounding Rectangle to Closed Regions. *Pattern Recogn*. 2007; 40: 1981–1989 .
- [6] Dagli C. Cutting Stock Problem: Combined Use of Heuristics and Optimization Methods. *Proceedings 9th International Conference on Production Research*. Cincinnati, US; August 1987. p.843–849.
- [7] Hopper E. Two-Dimensional Packing Utilizing Evolutionary Algorithms and other Meta-Heuristic Methods. PhD Thesis, University of Wales, Cardiff, 2000.
- [8] Huang Y, Shi D and Xu Q. A Better Nesting Method for Sheet Metal CAD. *J Comput Aided Des Comput Graph*. 2000; 12: p. 380–383.

- [9] Oliveira JF, Gomes AM, Ferreira JS. TOPOS—A New Constructive Algorithm for Nesting Problems. *OR Spektrum*. 2000; 22: p. 263–284.
- [10] Liu X, Ye JW. Heuristic Algorithm Based on The Principle of Minimum Total Potential Energy (HAPE): A New Algorithm for Nesting Problems. *J Zhejiang Univ: Sc A (Appl Phys & Eng)*; 2011; 12: p. 860–872.
- [11] Herrmann, J. W., Delalio. Algorithms for Sheet Metal Nesting. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*; May 2001; 17(2), p 183 – 190 DOI: 10.1109/70.928563 IEEE Xplore.
- [12] Xie, S. Q., Wang, G. G., Liu, Y.. Nesting Of Two-Dimensional Irregular Parts: an Integrated Approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2007; 20 (8): p. 741–756.
- [13] Reddy, G. H. Kumar. Genetic Algorithm Based 2d Nesting Of Sheet Metal Parts. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2016; 3 (06).
- [14] Xue Y, Xu W, Sun J. Rectangle Packing Optimization Utilizing Hybrid Genetic Algorithms. *Comput Eng*. 2007; 28: p. 5457–5460.
- [15] Liao, X., Ma, J., Ou, C., Long, F., Liu, X. Visual Nesting System for Irregular Cutting- Stock Problem Based on Rubber Band Packing Algorithm. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016; 8(6): p. 1–15.
- [16] Alwan, Motea. What is System Development Life Cycle?. <https://airbrake.io/blog/sdlc/what-is-system-development-life-cycle/>; 2015 [Diakses pada tanggal 25 April 2020].
- [17] Romney, M. B., Steinbart, P. J. *Accounting Information Systems*. 11th Ed. New Jersey: Pearson Education. 2015; pp. 2 ISBN 978-0-13-500937-6 0-13-500937-5.
- [18] Pareto Analysis-Tools Hero. <https://www.toolshero.com/problem-solving/pareto-analysis/>.