

Analisis Efektivitas dan Performa *Nesting* AutoCAD dan ProNest untuk Efisiensi Material dengan Metode SAW pada Fabrikasi *Midship Barge* 320 FT

Isromy Mukti*, Naufal Abdurrahman Prasetyo* and Oki Setiawan*

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Perencanaan dan Konstruksi Kapal

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: isromimukti@gmail.com

Abstrak

Efisiensi penggunaan material dalam proses *nesting* pelat baja sangat krusial bagi industri galangan kapal yang sarat modal. Inefisiensi penataan tata letak komponen kerap menyebabkan tingginya *waste* material yang berujung pada kerugian finansial. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas penggunaan perangkat lunak AutoCAD (metode manual) dan ProNest (metode otomatisasi) pada persiapan fabrikasi konstruksi *midship barge*. Evaluasi performa teknis dan kualitas dilakukan menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW) berdasarkan kriteria Akurasi Geometri (Q1) dan Jarak *Clearance* (Q2), lalu efisiensi material menggunakan *Material Yield* (C1) dan *Scrap Ratio* (C2). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa AutoCAD unggul dengan material *yield* 91%, *scrap ratio* 9%, dan jarak *clearance* konstan 10 mm, menghasilkan skor SAW mutlak 1. Sedangkan ProNest menghasilkan material *yield* 57%, *scrap ratio* 43%, rata-rata *clearance* 20,226 mm, dengan skor akhir 0,5822. Oleh karena itu, penataan manual menggunakan AutoCAD terbukti lebih efisien dibandingkan sistem otomatisasi standar ProNest.

Kata kunci: *Nesting*, AutoCAD, ProNest, SAW, *Quality & Cost*, Efisiensi Material.

Abstract

Material efficiency in the steel plate nesting process is crucial for the capital-intensive shipbuilding industry. Inefficient component layout often results in high material waste, which leads to financial losses. This study aims to compare the effectiveness of AutoCAD software (manual method) and ProNest (automated method) in preparing the fabrication of a midship barge structure. Technical performance and quality were evaluated using the Simple Additive Weighting (SAW) method based on the criteria of Geometric Accuracy (Q1) and Clearance Distance (Q2), while material efficiency was evaluated using Material Yield (C1) and Scrap Ratio (C2). The calculation results show that AutoCAD outperforms ProNest with a material yield of 91%, a scrap ratio of 9%, and a constant clearance distance of 10 mm, resulting in an absolute SAW score of 1. Meanwhile, ProNest yields a material yield of 57%, a scrap ratio of 43%, and an average clearance of 20.226 mm, with a final score of 0.5822. Therefore, manual nesting using AutoCAD proved to be more efficient than the standard ProNest automation system.

Keywords : *Nesting*, AutoCAD, ProNest, SAW, *Quality & Cost*, *Material Efficiency*.

1. Pendahuluan

Industri galangan kapal diakui secara luas sebagai sektor strategis dalam rantai pasok global yang berkontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi dunia melalui penyediaan sarana transportasi maritim [1]. Berdasarkan teori manajemen produksi modern, efisiensi operasional dan kemampuan adaptasi terhadap inovasi menjadi faktor determinan bagi galangan dalam menghasilkan armada yang lebih efisien serta ramah lingkungan sesuai tuntutan transformasi industri berkelanjutan [2]. Dalam kerangka teori optimasi sumber daya, utilisasi material menjadi aspek yang sangat krusial mengingat pelat baja merupakan komponen dengan struktur biaya (*cost structure*) tertinggi dalam pembangunan struktur badan kapal [3].

Prinsip pengurangan pemborosan (*waste reduction*) menempatkan strategi penataan komponen atau *nesting* sebagai elemen vital dalam proses fabrikasi untuk menekan inefisiensi penggunaan material dasar [4]. Oleh karena itu, implementasi teknologi sistem *nesting* yang tepat guna merupakan manifestasi dari upaya peningkatan keunggulan kompetitif industri maritim melalui praktik manufaktur yang efisien dan meminimalkan limbah produksi [5].

Namun, tantangan yang sering muncul di lapangan adalah pada saat proses pemotongan dan penataan komponen. Ketidakefisienan sering terjadi akibat kompleksitas bentuk komponen serta rendahnya akurasi dalam pengaturan tata letak di atas pelat, yang menyebabkan volume material sisa (*waste material*) membengkak secara tidak terkendali [4]. Secara statistik, industri galangan mencatat bahwa utilisasi pelat umumnya hanya berada di angka 85% hingga 90%, yang berarti terdapat sekitar 10% hingga 15% material yang berpotensi terbuang begitu saja [6]. Jika tidak segera ditangani dengan bantuan perangkat lunak kalkulasi yang presisi, ini akan terus menjadi beban finansial serta menghambat kapasitas *output* kerja galangan secara signifikan [4], [6].

Secara teoretis, upaya meminimalkan limbah fabrikasi sangat bergantung pada teori optimasi geometri dan algoritma penataan material yang digunakan. Berbagai literatur telah mengkaji pola pembentukan limbah pada proses fabrikasi struktur baja guna mengidentifikasi titik-titik inefisiensi yang sering terjadi akibat keterbatasan metode *nesting* konvensional [7]. Hal ini diperkuat oleh fakta bahwa penggunaan algoritma komputer secara konsisten mampu memberikan hasil *nesting* yang jauh lebih rapat dibandingkan pendekatan manual yang hanya mengandalkan intuisi operator [4]. Selain aspek teknis *nesting*, landasan pengambilan keputusan dalam memilih perangkat lunak yang paling efisien juga memerlukan pendekatan *Multi-Criteria Decision Making (MCDM)* [8]. Dalam konteks ini, metode *Simple Additive Weighting (SAW)* telah teruji secara luas sebagai instrumen yang efektif untuk mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan pembobotan kriteria yang kompleks [9]. Namun, meskipun landasan teori mengenai pola limbah dan metode SAW sudah tersedia, kajian yang membandingkan secara langsung antara fleksibilitas desain manual pada AutoCAD dengan sistem otomatisasi pada ProNest pada variabel input yang identik masih sangat terbatas. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar pentingnya studi ini dilakukan guna menemukan titik keseimbangan ideal antara kualitas hasil penataan dan tingkat efisiensi penggunaan material di galangan.

Guna menjembatani kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan efektivitas penggunaan software AutoCAD dan ProNest pada persiapan fabrikasi konstruksi *Midship Barge 320 FT*. Agar hasil yang diperoleh valid dan objektif, penelitian dibatasi pada pengujian komponen *Trans Bulkhead* dan *Long Bulkhead* serta *Web* dari konstruksi *midship barge 320ft* dengan menggunakan material *mild steel* pada dimensi pelat standar 9144 x 2438 mm. Melalui kendali variabel *input* yang konstan tersebut, evaluasi difokuskan pada parameter krusial seperti Efisiensi Material (*Yield*) dan Rasio Limbah (*Waste*). Seluruh data tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode pengambilan keputusan SAW berbasis kriteria *Quality and Cost* [10]. Melalui pemodelan SAW berbasis kriteria *Quality* dan *Cost*, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi sistem *nesting* yang paling presisi, efektif, dan efisien bagi industri galangan kapal.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan guna mendapatkan hasil dari perbandingan perangkat lunak pada lingkup proses manufaktur perkapalan. Untuk mendapatkan hasil keputusan yang objektif, evaluasi perbandingan kinerja ini dianalisis menggunakan metode *Simple Additive Weighting (SAW)* [11]. Pada tahap awal, data dikumpulkan, lalu rencana pemotongan (*cutting plan*) dirancang menggunakan perangkat lunak AutoCAD 2025 dan ProNest 2023 untuk mengetahui efisiensi material serta kapasitas output sistem. Data keluaran dari kedua software tersebut kemudian akan diproses lebih lanjut menggunakan perangkat lunak berbasis *word processing* untuk menghitung berat material dan rasio limbah. Tahapan pelaksanaan penelitian ini dirancang secara sistematis untuk membandingkan performa kedua perangkat lunak. Alur proses penelitian, mulai dari pengumpulan data hingga pengambilan keputusan akhir, ditampilkan pada Gambar 1.

standar perhitungan pelat baja [13]

$$\text{Weight (kg)} = \text{Volume} \times \text{Density} = \text{Area} \times \text{Thickness} \times 7850 \quad (1)$$

Sedangkan, persamaan (2) untuk menghitung total berat material yang terpakai dan terpasang pada konstruksi [13]:

$$W_{\text{total part \& plate}} = \sum (\text{Area}_{\text{part}} \times \text{Thickness} \times \text{Density} \times \text{Quantity}) \quad (2)$$

Persentase limbah material dihitung berdasarkan selisih antara material mentah dengan material yang berhasil dimanfaatkan. Persamaan (3) *scrap/waste ratio* mengacu pada literatur manajemen material fabrikasi baja [14]:

$$\% \text{ waste material} = \left(\frac{\text{Berat material baru} - \text{Berat material terpasang}}{\text{Berat material baru}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

2.4. Pemodelan Sistem Keputusan SAW

Data kuantitatif berupa akurasi geometri, jarak *clearance*, persentase material *yield*, dan *ratio waste* dari hasil simulasi perangkat lunak diolah melalui metode pembobotan berbasis *Quality and Cost* [10]. Pendekatan ini memungkinkan integrasi berbagai parameter teknis dan fisis yang krusial bagi efisiensi fabrikasi meskipun memiliki satuan yang berbeda (jumlah kesalahan, penilaian konsistensi, dan persentase). Selanjutnya, sub-kriteria *Quality & Cost* tersebut akan dianalisis secara matematis menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW) [11] melalui tahapan bobot kriteria dan standar penilaian berikut:

2.4.1 Penentuan Kriteria dan Bobot Penilaian (*Quality & Cost*)

Dalam metode SAW, setiap sub-kriteria didefinisikan secara spesifik untuk mewakili aspek *Quality and Cost*. Tabel 1 merupakan pembobotan kriteria yang digunakan meliputi aspek kualitas seperti akurasi geometri yang bermakna tidak ada *overlapping* antar komponen sampai dengan *waste ratio* yang merupakan persentase limbah sisa plat.

Tabel 1. Pembobotan Kriteria Evaluasi Berbasis *Quality and Cost*

Kode	Aspek	Sub-Kriteria	Parameter Ukur	Atribut	Bobot (W)
Q1	Quality	Akurasi Geometri	<i>overlapping</i> antar komponen [15]	Benefit	25%
Q2	Quality	Jarak <i>Clearance</i>	Kesesuaian jarak antar <i>part</i> (Sesuai parameter) [15]	Cost	25%
C1	Cost	Material <i>Yield</i>	Persentase pemanfaatan plat (%) [7]	Benefit	25%
C2	Cost	<i>Scrap/Waste Ratio</i>	Persentase limbah sisa plat (%) [14]	Cost	25%

Pembobotan kriteria dalam pemodelan *Simple Additive Weighting* (SAW) dirancang berdasarkan prinsip keseimbangan antara kinerja teknis manufaktur (*Quality*) dan efisiensi ekonomis bahan baku (*Cost*). Total bobot 100% dialokasikan secara proporsional dengan rasio seimbang 50% untuk aspek *Quality* (Q1 dan Q2) dan 50% untuk aspek *Cost* (C1 dan C2). Landasan teoretis penetapan bobot seimbang ini mengacu pada kerangka kerja *Quality Cost Deployment* (QCD) yang menyatakan bahwa kualitas geometris dan efisiensi biaya memiliki tingkat urgensi yang setara dalam industri manufaktur [10].

Penurunan kualitas geometri (seperti *overlapping* atau celah potong yang tidak presisi) akan memicu pengerjaan ulang (*rework*) yang berujung pada pembengkakan biaya. Sebaliknya, penghematan material tanpa mengindahkan presisi potong akan merusak integritas struktur. Oleh karena itu, sesuai dengan metodologi *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) setiap sub-kriteria (Q1, Q2, C1, dan C2) diberikan bobot sama rata masing-masing sebesar 25% (0,25) untuk merepresentasikan urgensi yang setara dalam mendukung efisiensi produksi galangan kapal [8].

2.4.2 Transformasi Data dan Normalisasi

Pada saat transformasi data dan normalisasi menggunakan data aktual hasil *output* (berupa persentase dan milimeter) sebagai matriks keputusan dalam metode SAW. Untuk parameter *Clearance* (Q2) di mana terdapat sebaran data dari beberapa sampel pengukuran, evaluasi dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi guna melihat tingkat variansi atau konsistensi sistem. Nilai rata-rata dihitung menggunakan persamaan (4):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (4)$$

Keterangan Rumus:

$\bar{x}$: Nilai rata-rata jarak *clearance* (mm); $\sum x_i$: Jumlah nilai jarak *clearance* dari sampel pengukuran; n : Jumlah sampel.

Sedangkan tingkat variansi sebaran jarak celah dihitung menggunakan persamaan standar deviasi (5):

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

Keterangan Rumus:

s : Standar Deviasi; x_i : Nilai sampel ke- i ; $\bar{x}$: Nilai rata-rata sampel; n : Jumlah sampel.

Mengingat adanya perbedaan sifat kriteria, di mana terdapat kriteria yang lebih baik jika nilainya tinggi dan ada yang lebih baik jika nilainya rendah, maka seluruh data mentah dinormalisasi menggunakan formulasi berikut:

1. Kriteria Keuntungan (*Benefit Criteria*)

Kriteria ini digunakan untuk parameter Q1 (Akurasi Geometri) & C1 (Material *Yield*), di mana nilai aktual yang lebih besar menunjukkan performa efisiensi yang lebih baik. Perhitungan menggunakan rumus normalisasi *benefit* pada persamaan (6) [8][11]:

$$\text{Skor} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (6)$$

Keterangan:

x_{ij} : Nilai aktual hasil simulasi; $\max(x_{ij})$: Nilai tertinggi di antara kedua perangkat lunak untuk kriteria tersebut.

2. Kriteria Biaya (*Cost Criteria*)

Kriteria Biaya digunakan untuk parameter Q2 (Jarak *Clearance*) dan C2 (*Scrap Ratio*), di mana nilai yang lebih kecil merepresentasikan performa yang lebih presisi dan efisien. Perhitungan mengacu ke rumus normalisasi *cost* pada persamaan (7) [8][11]:

$$\text{Skor} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}} \quad (7)$$

Keterangan:

x_{ij} : Nilai aktual hasil simulasi; $\min(x_{ij})$: Nilai terendah di antara kedua perangkat lunak untuk kriteria tersebut.

Setelah seluruh data dinormalisasi, Nilai Akhir (*Total Score*) dihitung menggunakan persamaan (8) untuk setiap perangkat lunak, berdasarkan penjumlahan sesuai dengan prinsip dasar metode SAW [11]:

$$\text{Total Score}/V_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (8)$$

Keterangan:

V_i : Nilai akhir atau skor total dari alternatif (perangkat lunak) ke- i ; w_j : Bobot kepentingan kriteria ke- j (sesuai yang ditetapkan pada Tabel 1); r_{ij} : Nilai rating kinerja ternormalisasi dari alternatif ke- i pada kriteria ke- j ; n : Jumlah kriteria yang digunakan dalam penilaian (Q1, Q2, C1, C2).

Di mana w_j merupakan bobot kriteria dan r_{ij} adalah nilai hasil normalisasi. Perangkat lunak yang menghasilkan total skor tertinggi akan direkomendasikan sebagai sistem paling optimal dalam mendukung efisiensi produksi.

3. Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengumpulan Data

3.1.1 Spesifikasi Material dan Objek Spesimen

Penelitian ini menggunakan variabel kontrol yang konstan untuk kedua perangkat lunak guna memastikan perbandingan yang adil. Objek spesimen yang digunakan adalah *part list* dari struktur *Trans Bulkhead*, *Long Bulkhead*, dan *Web* pada lambung kapal bagian *Midship Barge* 320 FT. Seluruh komponen tersebut disimulasikan *nesting* pada pelat baja karbon (*mild steel*) standar dengan dimensi panjang 9144 mm, lebar 2438 mm, dan ketebalan 8 mm. Berikut adalah data *part* yang terdapat pada *Midship Barge* 320 FT:

Tabel 2. Data part Midship Barge 320 FT

NO.	Part Name	Area M ²	QTY
1	WB-01	1301,248	541
2	WB-02	1296,896	60
3	WB-MD-01	933,504	60
4	WB-BT-01	483,072	67
5	WB-BT-02 P/S	471,6264829	60
6	WB-T/LB-01	3089,92	124
7	STR-01	1305,6	21
8	STR-02	1295,808	14
9	STR-03	1300,704	35
10	STR-04	928,608	14
11	GD-MD/BT	2487,168	256

3.1.2 Hasil Observasi Visual

Berdasarkan simulasi *cutting plan* yang telah dilakukan, *output* dari metode manual (AutoCAD) dan metode otomatis (ProNest) berhasil dikumpulkan. Hasil observasi teknis terhadap parameter *Quality* (Akurasi dan *Clearance*) ditunjukkan pada tabel rekapitulasi berikut:

Tabel 3. Data hasil observasi visual

Kode	Aspek	Sub-Kriteria	Nilai AutoCAD	Nilai ProNest
Q1	Quality	Akurasi Geometri	0 <i>overlapping</i>	0 <i>overlapping</i>
Q2	Quality	Jarak Clearance	10 mm	20.18 mm, 20.2 mm, 20.27, 20.3 mm dan 20.18 mm

3.2 Analisa Data

3.2.1 Analisa Kualitas Geometri dan *Clearance* (Q1, Q2)

Parameter akurasi geometri (Q1) dinilai dari jumlah tumpang tindih (*overlapping*) antar komponen, yang mana AutoCAD dan ProNest memiliki *overlapping* sebanyak 0. Hasil ini membuktikan konsistensi absolut dari kedua perangkat lunak dalam mencegah tumpang tindih pada seluruh percobaan. Tidak adanya kesalahan pada AutoCAD membuktikan ketelitian visual operator dalam memanipulasi posisi *part* demi menghindari singgungan dengan *part* lain. Sementara pada ProNest, hasil sempurna tersebut dicapai melalui fitur *collision detection* yang mengonfirmasi keandalan sistem otomatisasi.

Pada aspek *Clearance* (Q2), dilakukan pengukuran jarak celah antar komponen. AutoCAD mampu menjaga jarak potong seragam dan konstan sebesar 10 mm di setiap areanya. Sedangkan pada metode otomatis ProNest, berdasarkan 5 titik sampel pengukuran ($n=5$), didapatkan sebaran data jarak *clearance* sebesar 20,18 mm; 20,2 mm; 20,27 mm; 20,3 mm; dan 20,18 mm. Data sebaran ProNest tersebut kemudian dianalisis menggunakan perhitungan *Mean* ($\bar{x}$) dan Standar Deviasi (s):

$$\bar{x} = \frac{20,18 + 20,20 + 20,27 + 20,30 + 20,18}{5} = \frac{101,13}{5} = 20,226 \text{ mm} \quad (4)$$

$$s = \sqrt{\frac{(20,18 - 20,226)^2 + (20,2 - 20,226)^2 + (20,27 - 20,226)^2 + (20,3 - 20,226)^2 + (20,18 - 20,226)^2}{5 - 1}} = 0,055 \text{ mm} \quad (5)$$

Berdasarkan hasil analisis perhitungan di atas, ProNest menghasilkan rata-rata jarak *clearance* sebesar 20,226 mm dengan nilai standar deviasi 0,055 mm. Angka deviasi yang sangat kecil ini membuktikan bahwa algoritma otomatis ProNest bekerja dengan sangat stabil dan konsisten dalam menjaga jarak antar komponen di kisaran rata-rata 20,226 mm. Namun, besarnya rata-rata jarak *clearance* algoritma otomatis inilah yang pada akhirnya memicu inefisiensi ruang pada pelat dan pembengkakan limbah material jika dibandingkan dengan jarak rapat 10 mm yang dicapai melalui kontrol visual penataan manual pada AutoCAD.

3.2.2 Analisa Efisiensi Material dan Limbah (C1, C2)

Tahap awal dalam analisis ini adalah menghitung berat total dari satu lembar pelat baku yang disediakan. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut:

$$\text{Weight (kg)} = 22.293\text{m}^2 \times 0,008\text{m} \times 7.850\text{kg/m}^3 = 1.400\text{kg} \quad (1)$$

Berdasarkan kalkulasi menggunakan persamaan di atas, diperoleh berat konstan sekitar 1.400 kg per lembar pelat baku. Langkah berikutnya adalah menentukan total kebutuhan pelat yang digunakan. Berdasarkan hasil simulasi *nesting*, pengerjaan manual menggunakan AutoCAD menghabiskan 100 lembar pelat utuh, sedangkan ProNest menghabiskan 159 lembar pelat utuh.

Selama proses simulasi, data kuantitas dan luas area dari setiap komponen dikumpulkan untuk dikonversi menjadi berat total komponen efektif (W_{part}). Dari hasil konversi tersebut, diperoleh nilai berat total komponen yang sama untuk kedua perangkat lunak, yaitu sebesar 127.007.457 kg. Selanjutnya,

perhitungan kotor berat total pelat baku (W_{total} pelat) yang dihabiskan oleh masing-masing perangkat lunak adalah:

$$W_{total \text{ plate AutoCAD}} = 22.293\text{m}^2 \times 0,008\text{m}^2 \times 7.850\text{kg/m}^3 \times 100 = 140.000.492\text{kg} \quad (2)$$

$$W_{total \text{ plate ProNest}} = 22.293\text{m}^2 \times 0,008\text{m}^2 \times 7.850\text{kg/m}^3 \times 159 = 222.600.783\text{kg} \quad (2)$$

Setelah mengidentifikasi seluruh parameter berat tersebut, evaluasi performa sisa material dan efisiensi pelat langsung diklasifikasikan ke dalam nilai skor kriteria *Scrap Ratio* (C2) dan *Material Yield* (C1) untuk kebutuhan pemodelan SAW.

Tabel 4. Data total area part & plat kedua software

KET	AUTOCAD	PRONEST	SATUAN
Total Area part	2022412	2022412	m ²
Wtotal Part	127007457	127007457	kg
Wtotal Plat	140000492	222600783	kg

a) Kalkulasi Kriteria *Scrap / Waste Ratio* (C2)

Persentase limbah material (C2) bertindak sebagai *Cost Attribute* yang dihitung berdasarkan selisih antara material mentah dengan material yang berhasil dimanfaatkan menggunakan Persamaan (3). Berikut adalah rincian kalkulasinya:

$$\% \text{ waste AutoCAD} = \left(\frac{140.000.492\text{kg} - 127.007.457\text{kg}}{140.000.492\text{kg}} \right) \times 100\% = 9\% \quad (3)$$

$$\% \text{ waste ProNest} = \left(\frac{222.600.783\text{kg} - 127.007.457\text{kg}}{222.600.783\text{kg}} \right) \times 100\% = 43\% \quad (3)$$

Metode AutoCAD berhasil menekan akumulasi limbah hingga 9% berkat kecermatan penataan manual. Sebaliknya, ProNest mencatatkan angka kehilangan bahan baku yang tinggi sebesar 43% akibat susunan algoritma standar yang kaku.

b) Kalkulasi Kriteria *Material Yield* (C1)

Tingkat efisiensi pemanfaatan material (C1) bertindak sebagai *Benefit Attribute* yang nilainya ditentukan dengan mengurangi rasio limbah dari basis 100%. Berikut adalah rincian hasil perhitungannya.

$$C_1 \text{ AutoCAD} = 100\% - 9\% = 91\%$$

$$C_1 \text{ ProNest} = 100\% - 43\% = 57\%$$

Capaian material *yield* AutoCAD 91% membuktikan bahwa metode manual mampu memenuhi target efisiensi fabrikasi struktur kapal secara maksimal. Sebaliknya, efisiensi ProNest yang hanya 57% menandakan lonjakan limbah (*waste*) yang memicu pembengkakan biaya manufaktur lambung.

3.3 Pembahasan dan Pemodelan SAW

3.3.1 Penilaian Skor dan Normalisasi

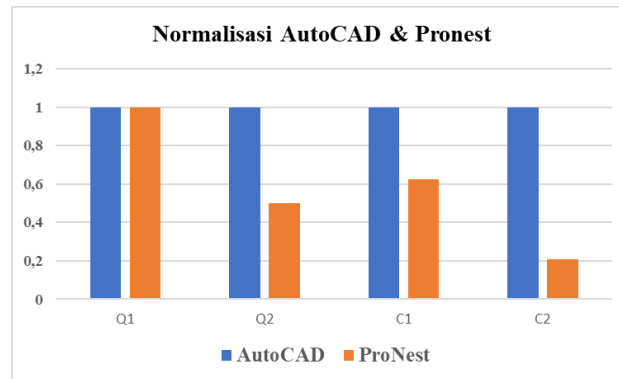
Langkah pemodelan SAW diawali dengan menyusun matriks keputusan menggunakan nilai aktual dari masing-masing kriteria. Data mentah tersebut kemudian dinormalisasi menggunakan Persamaan (6) untuk atribut *Benefit* dan Persamaan (7) untuk atribut *Cost*, sehingga menghasilkan nilai rating kinerja ternormalisasi (r_{ij}) pada kisaran skala 0 sampai 1 ($0 \leq r_{ij} \leq 1$). Khusus untuk kriteria Akurasi Geometri (Q1 - *Benefit*), AutoCAD dan ProNest sama-sama berhasil mencapai kondisi ideal mutlak dengan 0 kesalahan (*overlapping*), sehingga tingkat performa terbaik ini langsung dikonversi menjadi nilai maksimal sebesar 1 untuk kedua perangkat lunak.

Penerapan rumus normalisasi pada kriteria lainnya dikalkulasikan sesuai dengan jenis atributnya. Sebagai contoh pada kriteria *Material Yield* (atribut *Benefit*), nilai aktual AutoCAD (91%) dan ProNest (57%) masing-masing dibagi dengan nilai tertinggi yaitu 91%, sehingga menghasilkan nilai normalisasi sebesar 1 dan 0,626. Sebaliknya, untuk kriteria Jarak *Clearance* (atribut *Cost*), nilai terendah yaitu 10 mm dibagi dengan nilai aktual masing-masing perangkat lunak. Hasilnya, AutoCAD dengan jarak aktual 10 mm mendapatkan normalisasi 1, sedangkan ProNest dengan rata-rata aktual 20,226 mm mendapatkan nilai normalisasi sebesar 0,494. Hasil transformasi nilai aktual seluruh kriteria ke dalam Matriks Normalisasi SAW dirangkum pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil normalisasi

No	Kriteria	Atribut	Nilai Aktual AutoCAD	Nilai Aktual ProNest	Rumus Normalisasi	Normalisasi AutoCAD r_{1j}	Normalisasi ProNest r_{2j}
Q1	Akurasi Geometri	<i>Benefit</i>	0 (Kesalahan)	0 (Kesalahan)	0/0 (Kondisi optimal mutlak)	1	1
Q2	Jarak Clearance	<i>Cost</i>	10 mm	20 mm	$10/x_{ij}$	1	0.494
C1	Material Yield	<i>Benefit</i>	91%	57%	$x_{ij}/91$	1	0.626
C2	Scrap Ratio	<i>Cost</i>	9%	43%	$9/x_{ij}$	1	0.209

Berikut adalah kurva perbandingan hasil normalisasi kedua *software*:



Gambar 3. Kurva perbandingan hasil normalisasi

3.3.2 Perhitungan Nilai Akhir dan Rekomendasi

Nilai akhir (V) diperoleh dengan mengalikan setiap elemen matriks normalisasi dengan bobot kriteria masing-masing sebesar 25% (0.25).

Tabel 6. Total scoring AutoCAD dan ProNest

AutoCAD	$V_1 = (1 \times 0,25) + (1 \times 0,25) + (1 \times 0,25) + (1 \times 0,25) = 1$
ProNest	$V_2 = (1 \times 0,25) + (0,494 \times 0,25) + (0,626 \times 0,25) + (0,209 \times 0,25) = 0,5822$

Berdasarkan analisis *Simple Additive Weighting* (SAW), AutoCAD direkomendasikan sebagai sistem *nesting* paling sesuai untuk *midship barge* 320 ft karena meraih skor mutlak 1, mengungguli ProNest yang memperoleh skor 0,5822. Keunggulan ini dipicu oleh presisi kontrol manual operator dalam menjaga jarak rapat 10 mm secara konsisten, sehingga meminimalkan area kosong dan memaksimalkan *yield* pelat baja secara drastis dibandingkan batas algoritma standar ProNest.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis komparatif dan pemodelan *Simple Additive Weighting* (SAW) pada fabrikasi *Midship Barge* 320 FT, penataan manual AutoCAD direkomendasikan secara mutlak sebagai sistem *nesting* yang paling presisi, efektif, dan efisien dengan perolehan skor preferensi 1,0000. AutoCAD unggul melampaui sistem otomasi ProNest (skor 0,5822) karena kontrol visual operator mampu menjaga ketelitian jarak *clearance* secara konstan di angka 10 mm tanpa adanya tumpang tindih (*overlapping*). Efisiensi ruang ini berdampak langsung pada penghematan bahan baku, di mana AutoCAD mencatatkan material *yield* 91% dan menekan *scrap ratio* hingga 9% (membutuhkan 100 lembar pelat baku). Sebaliknya, batas algoritma standar ProNest menghasilkan rata-rata *clearance* yang lebih lebar yakni 20,226 mm, yang memicu lonjakan *scrap ratio* menjadi 43% dan menurunkan material *yield* ke angka 57% (membutuhkan 159 lembar pelat baku).

Selain pencapaian angka efisiensi utama, penelitian ini mengidentifikasi fakta temuan tambahan terkait karakteristik kedua sistem. Meskipun memicu pemborosan ruang, algoritma otomasi ProNest terbukti memiliki stabilitas komputasi yang sangat tinggi dengan standar deviasi *clearance* hanya sebesar 0,055 mm. Di sisi lain, metode manual AutoCAD tidak hanya sukses menghemat jumlah pelat, tetapi juga menghasilkan pola limbah (*scrap pattern*) yang masif dan terkonsentrasi di area tepi (*boundary edge*). Geometri material sisa yang utuh ini memberikan nilai tambah finansial bagi galangan karena dapat dimanfaatkan kembali sebagai material pendukung seperti *bracket* atau *stiffener* berukuran kecil pada proyek berikutnya.

Daftar Pustaka

- [1] M. Kamola-Cieřlik, “Changes in the Global Shipbuilding Industry on the Examples of Selected States Worldwide in the 21 st Century,” vol. XXIV, no. 2, pp. 98–112, 2021.
- [2] S. W. Rulita, M. Dimas, and A. Fakhri, “Optimization of Nesting Systems in Shipbuilding : A Review,” pp. 1–12, 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s11804-025-00644-1>.
- [3] S. Y. Son, K. S. Kim, and J. H. Woo, “Aggregate nesting : Transforming multi-material dynamic allocation for cost-effective manufacturing,” *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 29, no. July, pp. 21–31, 2025, doi: 10.1093/jcde/qwaf074.
- [4] W. R. Sari, G. Gunawan, and D. A. F. Muzhoffar, “Systematic Review of Optimization of Nesting System in Shipbuilding,” vol. 020002, no. November 2023, 2025, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0286217>.
- [5] M. Leal and J. M. Gordo, “Hull’s Manufacturing Cost Structure,” vol. 68, no. 3, pp. 1–25, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.21278/brod68301>.
- [6] F. L. PONDA, “Perencanaan pemanfaatan ulang pelat sisa hasil produksi dan reparasi di galangan kapal,” p. 20, 2024.
- [7] D. S. LEWA, E. Prayetno, and F. Apriansyah, “Optimasi Efisiensi Penggunaan Material Dalam Pola Plate Nesting Pada Fabrikasi Kapal Tugboat Menggunakan Metode Taguchi,” Universitas Maritim Raja Ali Haji, 2025.
- [8] H. Taherdoost, “Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts,” no. Mcdm, pp. 77–87, 2023.
- [9] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, 7th Edition*. 2019.
- [10] M. Bertolini and D. Castellano, “Quality cost deployment (QCD): a Lean-Inspired methodology for systematic reduction of total quality costs,” vol. 17, no. 8, pp. 133–160, 2026, doi: 10.1108/IJLSS-09-2025-0252.
- [11] M. I. Panjaitan, “Simple Additive Weighting (SAW) method in Determining Beneficiaries of Foundation Benefits,” vol. 13, no. 1, pp. 19–25, 2019.
- [12] D. J. Eyres and G. J. Bruce, *Ship Construction*, 7th ed. Pearson Education. doi: 10.1016/B978-0-08-097239-8.00001-5.
- [13] huaxiaometal, “How to Calculate the Weight of Steel Plate,” huaxiaometal. [Online]. Available: <https://www.huaxiaometal.com/news/industry-news/how-to-calculate-the-weight-of-steel-plate.html>
- [14] K. R. Sutanto, “Studi Kasus Waste Material Proses Fabrikasi Struktur Baja di Perusahaan EPC (Engineering, Procurement, Construction),” vol. 25, no. 1, pp. 33–40, 2018, doi: 10.5614/jts.2018.25.1.5.
- [15] T. S. Preview, “International Standard Iso Thermal Cutting — Classification Of Thermal Cuts — Geometrical Product Specification And Quality Tolerances,” *ISO 90132017*, vol. 2017, p. 28, 2017.