

Review Penggunaan Metode Pengendalian Kualitas pada Proses Manufaktur Kapal

Iing Pamungkas¹, Heri Tri Irawan², Khairul Hadi³, Arhami⁴

^{1,2,3} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar

Jalan Alue Peunyareng, Meulaboh, Aceh Barat, 23615, Indonesia

⁴ Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jalan Tengku Syech Abdul Rauf, No. 7, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Indonesia

Email: iingpamungkas@utu.ac.id, heritriirawan@utu.ac.id, khairulhadi@utu.ac.id, arhami@usk.ac.id

ABSTRAK

Pembuatan kapal adalah proses manufaktur multi-tahap dengan berbagai sumber yang khas dengan fungsi kompleks dan membutuhkan kualitas konstruksi yang tinggi. Beberapa hal penting dalam pengendalian kualitas pembuatan kapal seperti perencanaan pada desain kapal, material yang digunakan, dan metode pengendalian kualitas. Era globalisasi menuntut industri galangan kapal terus meningkatkan efektivitas dan efisiensi pada proses produksinya, sehingga mampu bersaing dari segi *quality*, *cost* dan *on time delivery* (QCD). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui berbagai metode pengendalian kualitas pada proses manufaktur kapal diberbagai negara di dunia. Penelitian ini menggunakan metode sistematik kajian literatur dari berbagai artikel yang telah terbit yang kemudian diidentifikasi dan di analisis yang berfokus pada berbagai metode pengendalian kualitas pada proses manufaktur kapal. Beberapa metode diperoleh berdasarkan hasil pencarian, diantaranya adalah *function-oriented quality control* (FOQC), *quantitative evaluation method*, *artificial intelligence*, *toyota production system* (TPS), *tacheometer sensors*, *design point generation method*, *dimensional & accuracy control automation*, *a differentiation-based approach*, *computer-based applications*, *statistical process control* (SPC), *inspection test plan* (ITP), *multi-layer quality function deployment* (QFD). Industri perkapalan akan terus menghadapi berbagai tantangan di masa depan, termasuk persaingan global yang semakin ketat, tuntutan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas, serta perubahan teknologi.

Kata kunci: Galangan Kapal, Kapal, Manufaktur, Kualitas.

ABSTRACT

Shipbuilding is a multi-stage, multi-source manufacturing process with complex functions requiring high-quality of construction. Several important things in shipbuilding quality control include ship design planning, materials, and quality control methods. The era of globalization requires the shipping industry to continue improving its production processes' effectiveness and efficiency so that it can compete in terms of quality, costs and on-time delivery (QCD). This research aims to determine various quality control methods in the shipbuilding process in various countries. This study used a systematic literature review method of various published articles, which were then identified and analyzed, focusing on various quality control methods in ship manufacturing. Several methods were obtained based on the search results, including function-oriented quality control (FOQC), quantitative evaluation method, artificial intelligence, Toyota production system (TPS), tacheometer sensors, design point generation method, dimensional & accuracy control automation, a differentiation-based approach, computer-based applications, statistical process control (SPC), inspection test plan (ITP), multi-layer quality function deployment (QFD). The shipbuilding industry will continue to face various challenges in the future, including increasing global competition, demands to improve efficiency and productivity, and technological change.

Keywords: Shipbuilding, Ships, Manufacturing, Quality.

Pendahuluan

Perkembangan industri galangan kapal telah mengalami kemajuan dari kemampuan sumber daya manusia dan pemanfaatan teknologi modern. Teknologi modern yang digunakan mampu menghasilkan kapal dengan standar kualitas yang baik dan jumlah yang dapat memenuhi permintaan [1]. Era globalisasi menuntut industri galangan kapal terus meningkatkan efektivitas dan efisiensi pada proses produksinya, sehingga mampu bersaing dari segi *quality*, *cost* dan *on time delivery* (QCD) [2]. Pembuatan kapal adalah proses manufaktur multi-tahap dengan berbagai sumber yang khas dengan fungsi kompleks dan membutuhkan kualitas konstruksi yang tinggi [3]. Kualitas kapal sangat erat kaitannya dengan keselamatan dan manfaat ekonomi dari lalu lintas laut [4][5]. Pembangunan kapal melibatkan berbagai jenis proses dan

metode dengan karakteristik siklus yang panjang, penggunaan dana yang besar dan integrasi yang tinggi, yang mengakibatkan biaya konstruksi yang tinggi [6].

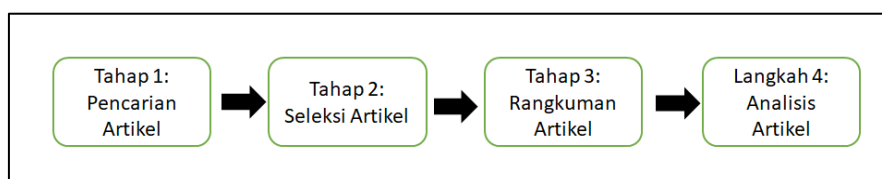
Peningkatan kualitas pembangunan kapal dapat mempersingkat siklus konstruksi dan mengurangi biaya konstruksi [7]. Kapal dengan kondisi baik akan memberikan keamanan dan kenyamanan bagi para awak selama bekerja di khususnya pada saat operasi [8]. Kualitas harus menjadi faktor yang sangat diperhatikan dalam proses pembuatan kapal. *Quality Control* (QC) dalam produksi kapal perlu dilaksanakan, karena QC memainkan peranan penting dalam jaminan kualitas produk yang dihasilkan [9]. Ada beberapa hal penting dalam pengendalian kualitas pembuatan kapal yang umumnya dilakukan. Adapun hal-hal penting tersebut seperti perencanaan pada desain kapal, material yang digunakan, dan metode pengendalian kualitas [10].

Metode pengendalian kualitas telah banyak diaplikasikan pada berbagai jenis produk [11], termasuk dalam pembuatan atau manufaktur kapal. Namun terdapat metode tersendiri atau khusus yang dikembangkan dalam mengendalikan kualitas manufaktur kapal. Maka dari itu, akan dilakukan pemetaan untuk metode pengendalian kualitas dalam manufaktur kapal menggunakan *literature review*. *Literature review* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan kegiatan penelitian dan sebagai pembuktian secara hirarki (*hierarchy of evidence*) yang populer [12]. *Literature review* menunjukkan bahwa teknik untuk melakukan pembuktian melalui pendekatan masalah tertentu secara proses ilmiah sehingga menghasilkan luaran berupa artikel yang dimaksudkan untuk melakukan pencarian kembali secara ilmiah atau dalam sebuah studi [13]. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui berbagai metode pengendalian kualitas pada proses manufaktur kapal diberbagai negara di dunia.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *review* sistematis (*systematic literature review*) untuk meringkas dan menganalisis literatur yang ada tentang berbagai metode pengendalian kualitas yang digunakan dalam proses manufaktur kapal [14][15]. Penelitian ini menggunakan data sekunder dari artikel-artikel ilmiah yang diterbitkan di jurnal internasional. Tahapan penelitian ditampilkan pada Gambar 1. Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, diantaranya:

- a. Pencarian artikel
Artikel-artikel dicari menggunakan mesin pencari artikel *Google Scholar* dengan kata kunci "*quality control in shipbuilding*", "*quality control systems for shipbuilding*" dan kata kunci lainnya terkait dengan berbagai metode pengendalian kualitas yang digunakan dalam proses manufaktur kapal. Tahun pencarian tidak dibatasi karena terbatasnya metode pengendalian kualitas manufaktur kapal yang digunakan.
- b. Seleksi artikel
Artikel-artikel yang tidak terkait dengan metode pengendalian kualitas yang digunakan dalam proses manufaktur kapal kemudian dihilangkan.
- c. Rangkuman artikel
Artikel-artikel yang tersisa dirangkum berdasarkan metode yang digunakan dan hasil penelitian yang diperoleh.
- d. Analisis artikel
Artikel-artikel dianalisis berdasarkan tahun terbit, pemanfaatan, serta ringkasan penjelasan metode pengendalian kualitas yang digunakan untuk manufaktur kapal. Selain itu juga tantangan yang dihadapi dalam industri perkapalan mengenai pengendalian kualitas.



Gambar 1. Tahapan penelitian

Hasil dan Pembahasan

Bagian ini membahas hasil dan diskusi tentang pengumpulan, pengolahan, dan analisis data yang dilakukan dalam penelitian. Selain itu, bagian ini juga membahas artikel yang dihasilkan dari tahap penyaringan. Pada tahap awal pengumpulan artikel, kata kunci yang digunakan yaitu "*quality control in shipbuilding*", "*quality control systems for shipbuilding*" dan kata kunci lainnya untuk mencari artikel-artikel yang relevan pada *Google Scholar* dan tahun pencarian tidak dibatasi. Setelah melalui tahap pengumpulan data, diperoleh beberapa artikel dan kemudian dilakukan tahap penyaringan, hanya 12 artikel yang sesuai dengan topik penelitian. Hasil pengumpulan artikel ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi artikel berdasarkan tahun penelitian, metode yang digunakan, dan hasil penelitian

No.	Nama Pengarang	Metode	Hasil
1	Wang, H., Guo, Y., Liang, X., & Yi, H. (2019).	<i>Function-oriented quality control (FOQC)</i>	Metode yang diusulkan efektif dalam mengendalikan kualitas pembuatan kapal. Metode ini mampu mengidentifikasi titik lemah dalam proses konstruksi yang memiliki dampak signifikan pada fungsi kapal. Metode ini juga telah berhasil diterapkan dalam mengendalikan getaran kapal [3].
2	Guo, Y., Wang, H., Liang, X., & Yi, H. (2018).	<i>Quantitative evaluation method</i>	Metode ini dapat digunakan sebagai referensi untuk pengendalian kualitas dan optimasi proses pembangunan kapal. Dalam contoh pemasangan poros penggerak kapal, metode ini berhasil menunjukkan dampak proses konstruksi terhadap kualitas pembangunan kapal [16].
3	Emelianov, V., Zhilenkov, A., Chernyi, S., Zinchenko, A., & Zinchenko, E. (2022).	<i>Artificial intelligence (AI)</i>	Menunjukkan bahwa potensi besar dalam meningkatkan sistem analisis metalografi untuk diagnosis kondisi logam secara otomatis. Perangkat lunak metalografi yang dikembangkan juga dapat mengotomatisasi pengenalan struktur mikro logam dan penentuan grade logam [17].
4	de Moura, D. A. (2017).	<i>Toyota Production System</i>	Penerapan <i>Toyota Production System</i> (TPS) dan praktik manufaktur yang tangkas dapat meningkatkan daya saing industri galangan kapal. Integrasi TPS dan manufaktur yang tangkas dapat membantu mengurangi biaya, meningkatkan manajemen produksi, dan meningkatkan aliran operasional yang efisien [18].
5	Anh, N. T., & Lubenko, V. N. (2014).	<i>Tacheometer sensors</i>	Penerapan <i>tacheometer</i> dalam pembuatan kapal terbukti meningkatkan kualitas <i>output</i> , produktivitas tenaga kerja dan juga daya saing galangan kapal. Perlunya instruksi tentang penggunaan sistem pengukuran tiga dimensi modern dan pengembangan perangkat lunak untuk pencapaian pengukuran yang cepat selama pembuatan, eksploitasi dan perbaikan kapal [19].
6	Kwon, K. Y. (2019).	<i>Design point generation method</i>	Metode yang diusulkan menggunakan model ringan untuk meningkatkan efisiensi manajemen kualitas dimensi. Kurva batas yang akurat dipulihkan dari model ringan yang digunakan untuk visualisasi. Setelah mencocokkan konektivitas elemen segitiga, tepi elemen batas diekstraksi. Kurva batas dihasilkan dengan menghubungkan tepi elemen batas ini [20].
7	Johnson, G. W., Laskey, S. E., Robson, S., & Shortis, M. R. (2004).	<i>Dimensional & accuracy control automation</i>	Pendekatan ini telah menurunkan biaya dan memfasilitasi pengukuran yang sangat akurat dan andal, sekaligus menyediakan pengoperasian yang mudah digunakan dan memungkinkan pertumbuhan teknologi di masa depan [21].
8	Bukša, T., Pavletić, D., Soković, M., & Bukša, J. (2013).	<i>A differentiation-based approach</i>	Dengan pendekatan berbasis diferensiasi terhadap manajemen mutu, dan dengan mengambil tindakan korektif dan proaktif yang ditargetkan pada titik-titik proses produksi yang teridentifikasi di mana kesalahan mungkin terjadi, perbaikan tertentu dapat dicapai. Luas dan durasi perbaikan tersebut bergantung pada berbagai faktor dalam sistem itu sendiri serta faktor lingkungan. Peningkatan yang dicapai dengan pendekatan berbasis diferensiasi merupakan insentif untuk mengambil langkah-langkah peningkatan kualitas lebih lanjut di galangan kapal [22].
9	Triwilaswandio, W. P., & Arif, M. S. (2017).	<i>Computer-based applications</i>	Aplikasi berbasis komputer ini dapat membantu penerapan manajemen mutu dalam mengendalikan, mencari, meninjau, mengevaluasi, dan melakukan pemeriksaan. Setelah aplikasi dirancang, aplikasi tersebut diuji dengan sistem verifikasi dan perbandingan. Disimpulkan bahwa sistem aplikasi lebih baik dibandingkan dengan sistem eksisting yang dilakukan secara langsung di Galangan Kapal [23].
10	Kattan, M. R. (1989).	<i>Statistical process control (IPC)</i>	Manfaat dari pendekatan terstruktur yang digunakan dianggap menarik bagi industri pembuatan kapal karena sangat tidak ekonomis dalam industri tersebut untuk benar-benar mengembangkan prototipe [24].

11	Savu, I. D., Savu, S. V., & Ghiba, M. G. (2015).	<i>Inspection test plan (ITP)</i>	Proses terpenting yang diperlukan untuk menjawab ITP adalah pengelasan, pengujian hasil pengelasan, penanganan distorsi dan pengecatan. Untuk masing-masingnya, kualifikasi personel, kualifikasi prosedur yang terlibat, kualifikasi bahan dan bahan habis pakai harus dievaluasi. Prosedur operasional untuk setiap langkah fabrikasi dan operasi tambahan harus diuraikan, didiskusikan dan disetujui oleh Manajer Mutu [25].
12	Duru, O., Huang, S. T., Bulut, E., & Yoshida, S. (2013).	<i>Multi-layer quality function deployment (QFD)</i>	Desain QFD <i>multi-layer</i> diusulkan untuk mengumpulkan tanggapan dari pelanggan dan penyedia layanan sehingga menjamin kepuasan semua pihak termasuk kelayakan finansial dari perbaikan yang dimaksudkan [26].

Hasil klasifikasi artikel berdasarkan tahun penelitian, metode yang digunakan, dan hasil penelitian yang ditampilkan pada tabel 1, diperoleh artikel dari berbagai tahun, mulai yang terlama yaitu tahun 1989 dan yang terbaru yaitu pada tahun 2019. Beberapa metode diperoleh berdasarkan hasil pencarian, diantaranya adalah *function-oriented quality control* (FOQC), *quantitative evaluation method*, *artificial intelligence*, *toyota production system* (TPS), *tachometer sensors*, *design point generation method*, *dimensional & accuracy control automation*, *a differentiation-based approach*, *computer-based applications*, *statistical process control* (SPC), *inspection test plan* (ITP), *multi-layer quality function deployment* (QFD). Masing-masing penggunaan metode pengendalian kualitas manufaktur kapal dijelaskan sebagai berikut.

1. *Function-Oriented Quality Control* (FOQC) mendekomposisi proses konstruksi kapal dari perspektif fungsional dan menganalisis dampak proses konstruksi terhadap fungsi kapal. Metode analisis mode kegagalan dan efek yang ditingkatkan dengan metode evaluasi fuzzy digunakan untuk menentukan titik lemah dalam proses dan mengembangkan langkah-langkah optimisasi proses. Kelayakan dan efektivitas metode ini ditunjukkan melalui studi kasus tentang kontrol kualitas pemasangan poros penggerak. Metode ini juga mengintegrasikan evaluasi fuzzy dalam kontrol kualitas dengan menghitung pusat setiap evaluasi dan menentukan jarak dan kesamaan antara pusat-pusat tersebut. Evaluasi dari beberapa ahli diintegrasikan menggunakan rata-rata tertimbang. Studi kasus tentang proses pemasangan poros penggerak dalam pembuatan kapal disajikan untuk mendemonstrasikan aplikasi metode ini. Selain itu, FOQC fokus pada dampak proses konstruksi terhadap fungsi target. Metode ini telah berhasil diterapkan dalam mengendalikan getaran kapal. Sifat subjektif dari metode evaluasi fuzzy dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknologi digital dan data pengukuran. Artikel ini juga mengakui dukungan keuangan dari berbagai dana dan program [3].
2. *Quantitative evaluation method* digunakan untuk mengukur pengaruh proses konstruksi terhadap kualitas pembangunan kapal. Metode ini memecah proses pembangunan kapal berdasarkan fungsi dan memilih kehandalan misi kapal sebagai indikator proses konstruksi. Model korelasi antara proses konstruksi dan kehandalan misi kapal dibangun untuk menghitung dampak proses konstruksi terhadap kualitas pembangunan kapal. Keberhasilan dan efektivitas metode ini ditunjukkan melalui contoh pemasangan poros penggerak kapal. Metode yang diusulkan dapat memberikan referensi untuk pengendalian kualitas dan optimasi proses pembangunan kapal. Dilakukan juga perhitungan faktor dampak untuk produk intermediate dalam proses pembangunan kapal dengan menyajikan tiga model korelasi antara proses konstruksi dan parameter kualitas: model koneksi ordinal, model koneksi seri, dan model koneksi hibrida. Model-model ini dievaluasi menggunakan angka fuzzy untuk mewakili probabilitas kegagalan dan koreksi. Model ini menghitung probabilitas parameter kualitas memenuhi spesifikasi berdasarkan korelasi antara proses-proses tersebut. Studi kasus ini berfokus pada kualitas pemasangan poros penggerak dan menganalisis dampaknya terhadap pengendalian kebisingan kapal [16].
3. Penerapan teknologi *Artificial intelligence* (AI) digunakan untuk menganalisis metalografi untuk penilaian kualitas dalam industri pembuatan kapal, dimana diusulkan sebuah algoritma yang menggunakan jaringan saraf untuk mengenali struktur mikro logam dan pendekatan pemikiran berbasis kasus untuk menentukan *grade* logam. Selain itu, perangkat lunak metalografi khusus dikembangkan untuk mengotomatisasi pengenalan struktur mikro logam dan penentuan *grade* logam. Hasil penelitian menunjukkan akurasi tinggi dalam menentukan parameter kuantitatif logam menggunakan jaringan saraf [17].
4. Penerapan *Toyota Production System* (TPS) pada industri galangan kapal digunakan untuk meningkatkan proses manufaktur dan perakitan kapal. TPS juga menekankan pentingnya produksi *lean*, meminimalkan cacat, dan mengurangi inventaris. Selain itu, konsep manufaktur yang tangkas dan relevansinya dalam industri galangan kapal. Faktor-faktor yang memungkinkan manufaktur yang tangkas meliputi strategi seperti virtual enterprise dan integrasi rantai pasokan, teknologi seperti CAD/CAM dan sistem ERP, dan faktor manusia seperti perbaikan berkelanjutan dan karyawan yang memiliki kualifikasi ganda. *Total Quality Management* (TQM) dan kompetensi inti juga merupakan faktor penting dalam menjadi lean dan tangkas. Inovasi sangat penting untuk manufaktur yang tangkas

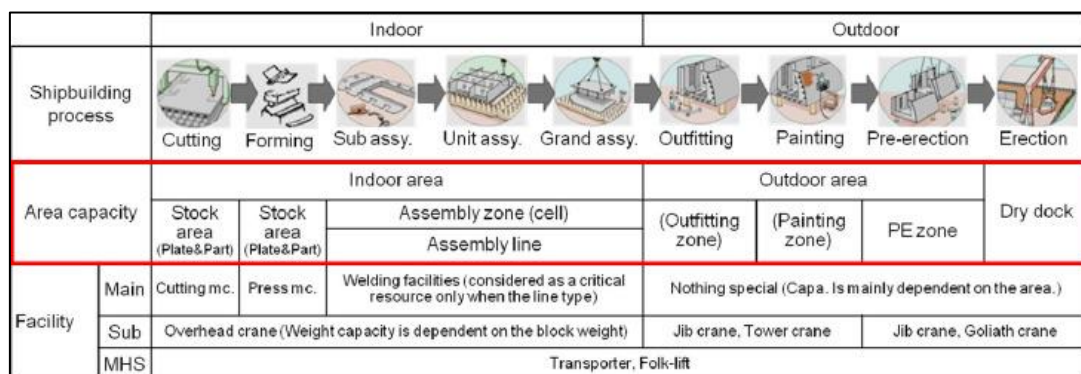
karena memungkinkan pengenalan produk baru dengan cepat dan kemampuan untuk merespons perubahan pasar dengan cepat. Inovasi dan adaptasi pasar adalah faktor kunci bagi perusahaan untuk memperoleh keunggulan kompetitif. Faktor seperti keberlanjutan keuangan, manajemen rantai pasokan, dan kualitas produk adalah pertimbangan penting untuk pengambilan keputusan strategis. Korea Selatan dan Jepang telah berhasil menerapkan strategi di industri galangan kapal, dengan fokus pada teknologi, promosi ekspor, dan integrasi dalam rantai pasokan. Namun, di Brasil, terdapat kurangnya integrasi dan kolaborasi antara galangan kapal dan aktor lain dalam industri maritim [18].

5. Sensor *tacheometer* digunakan untuk mengukur kecepatan putar peralatan, seperti mesin las, mesin bubut, dan mesin milling. Data kecepatan putar peralatan kemudian dianalisis oleh sistem kontrol kualitas untuk mengidentifikasi adanya anomali atau penyimpangan dari nilai standar. Jika sistem kontrol kualitas mendeteksi adanya anomali, maka sistem akan mengirimkan peringatan kepada operator peralatan atau melakukan tindakan korektif secara otomatis. Penggunaan sensor takometer dalam sistem kontrol kualitas di galangan kapal memiliki beberapa manfaat, antara lain meningkatkan kualitas produk, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keselamatan kerja, memperpanjang umur peralatan, mengurangi polusi lingkungan. Sensor takometer merupakan alat yang penting dalam sistem kontrol kualitas di galangan kapal. Sensor *tacheometer* dapat membantu galangan kapal untuk meningkatkan kualitas produk, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keselamatan kerja, memperpanjang umur peralatan, dan mengurangi polusi lingkungan [19].
6. *Design point generation method* digunakan untuk mengelola kualitas dimensi di industri galangan kapal. Metode ini terdiri dari ekstraksi kurva batas dari model ringan, pengaturan konektivitas elemen segitiga, ekstraksi tepi elemen batas, dan Pembuatan titik desain. Metode pembuatan titik desain dari model ringan memiliki beberapa keunggulan, diantaranya lebih cepat dan lebih efisien daripada metode konvensional yang menggunakan model komputer berukuran besar, dapat digunakan untuk menganalisis model kapal yang kompleks, dan dapat digunakan untuk menghasilkan titik desain yang akurat dan merata [20].
7. Otomatisasi kontrol dimensi dan akurasi digunakan untuk proses pembuatan kapal di Divisi Kelautan *General Dynamics di Bath Iron Works Corporation*. Teknik perolehan dan pemrosesan data fotogrametri jarak dekat digital dipadukan dengan analisis khusus dan pengembangan visualisasi untuk memberikan rantai pabrik kemampuan untuk secara otomatis mengukur dan menganalisis kualitas pembakaran pelat 3D, sekaligus menilai dampak pelat yang terbakar. kualitas hingga tahap hilir konstruksi. Keberhasilan penerapannya adalah pengembangan, evaluasi, dan integrasi pengukuran titik 3D melalui deteksi tepi dengan komponen tipe konsumen siap pakai. Pendekatan ini telah menurunkan biaya dan memfasilitasi pengukuran yang sangat akurat dan andal, sekaligus menyediakan pengoperasian yang mudah digunakan dan memungkinkan pertumbuhan teknologi di masa depan [21].
8. Dengan metode dan teknik manajemen mutu konvensional yang digunakan dalam proyek berulang, dimungkinkan untuk membangun sistem manajemen mutu dan peningkatan mutu yang efisien. Semakin efisien suatu sistem, semakin mudah untuk mengidentifikasi titik-titik di mana kesalahan mungkin terjadi dan menghilangkan konsekuensinya. Mempertimbangkan fakta bahwa, pada umumnya, galangan kapal adalah sistem bisnis yang besar, dengan kondisi industri pembuatan kapal Kroasia saat ini, sangat sulit untuk membangun sistem manajemen dan peningkatan kualitas yang efisien yang dapat bekerja secara efektif dan permanen sepanjang waktu. tahapan proses produksi. Dengan pendekatan berbasis diferensiasi terhadap manajemen mutu, dan dengan mengambil tindakan korektif dan proaktif yang ditargetkan pada titik-titik proses produksi yang teridentifikasi di mana kesalahan mungkin terjadi, perbaikan tertentu dapat dicapai. Luas dan durasi perbaikan tersebut bergantung pada berbagai faktor dalam sistem itu sendiri serta faktor lingkungan. Peningkatan yang dicapai dengan pendekatan berbasis diferensiasi merupakan insentif untuk mengambil langkah-langkah peningkatan kualitas lebih lanjut di galangan kapal [22].
9. Penerapan aplikasi berbasis komputer untuk proses manajemen kualitas di industri galangan kapal menunjukkan bahwa aplikasi berbasis komputer dapat membantu galangan kapal untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses manajemen kualitas. Aplikasi berbasis komputer untuk manajemen kualitas di industri galangan kapal mencakup berbagai fitur, seperti manajemen inspeksi, manajemen dokumen, manajemen standar, manajemen daftar periksa, manajemen laporan. Aplikasi ini dirancang untuk membantu galangan kapal dalam mengelola proses inspeksi, dokumen, standar, daftar periksa, dan laporan kualitas. Aplikasi ini dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses manajemen kualitas, serta untuk memastikan bahwa kualitas produk memenuhi standar yang telah ditentukan [23].
10. *Statistical Process Control (SPC)* digunakan untuk meningkatkan kualitas produk dan mengurangi biaya produksi di industri galangan kapal. SPC diterapkan pada proses pengelasan dan menemukan bahwa SPC dapat digunakan untuk mengurangi cacat las dan meningkatkan efisiensi proses pengelasan. Selain itu, SPC dapat diterapkan pada proses-proses lain di industri galangan kapal, seperti

proses pemotongan baja, proses perakitan, dan proses pengecatan. Galangan kapal dapat mengimplementasikan SPC dalam proses produksi mereka dengan tahapan diantaranya yaitu pilih proses yang akan dikontrol menggunakan SPC, kumpulkan data tentang proses yang dipilih, buat bagan kendali untuk setiap variabel proses yang dikumpulkan, analisis data pada bagan kendali untuk mengidentifikasi adanya variasi yang tidak diinginkan dalam proses, lakukan tindakan korektif untuk menghilangkan variasi yang tidak diinginkan, pantau proses secara terus-menerus menggunakan bagan kendali. Dengan mengimplementasikan SPC, galangan kapal dapat meningkatkan kualitas produk, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan daya saing mereka [24].

11. Manajemen Mutu menjadi alat penting untuk mengurangi kerentanan terhadap kegagalan berbagai komponen struktur. Proses khusus terlibat dalam pembuatan kapal dan Manajemen Mutu harus menangani semuanya. *Inspection test plan* (ITP) harus menjadi langkah pertama Manajemen Mutu dan langkah tersebut sebelum tindakan apa pun terkait fabrikasi. Terkadang, langkah tersebut perlu dilakukan bahkan sebelum desain struktur angkatan laut. Proses terpenting yang diperlukan untuk menjawab ITP adalah pengelasan, pengujian lasan, penanganan distorsi dan pengecatan. Untuk masing-masingnya, kualifikasi personel, kualifikasi prosedur yang terlibat, kualifikasi bahan dan bahan habis pakai harus dievaluasi. Prosedur operasional untuk setiap langkah fabrikasi dan operasi tambahan harus diuraikan, didiskusikan dan disetujui oleh Manajer Mutu [25].
12. Metode QFD pertama kali diterapkan pada industri pembuatan kapal dan tujuan utama metode ini adalah untuk meningkatkan proses produksi dengan menggunakan persyaratan pelanggan sehubungan dengan tindakan teknis terkait produk. Namun, salah satu kritik penting terhadap QFD didasarkan pada kurangnya penilaian anggaran yang tepat dan kepuasan produsen (atau penyedia layanan). Desain QFD multi-layer diusulkan untuk mengumpulkan tanggapan dari pelanggan dan penyedia layanan sehingga menjamin kepuasan semua pihak termasuk kelayakan finansial dari perbaikan yang dimaksudkan. Dengan demikian, masalah keagenan antar partai akan teratasi [26].

Industri perkapalan akan terus menghadapi berbagai tantangan di masa depan, termasuk persaingan global yang semakin ketat, tuntutan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas, serta perubahan teknologi. Secara umum, tahapan pembuatan kapal secara keseluruhan seperti ditampilkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Proses pembuatan kapal dan kapasitas serta sumber daya terkait

Tantangan-tantangan ini juga berdampak pada pengendalian kualitas produksi kapal. Beberapa tantangan di masa depan yang dihadapi dalam industri perkapalan dalam pengendalian kualitas produksi kapal, diantaranya:

- a. Kompleksitas desain kapal yang semakin meningkat. Kapal-kapal modern memiliki desain yang semakin kompleks, dengan berbagai sistem dan komponen yang saling terkait. Hal ini membuat pengendalian kualitas menjadi lebih sulit, karena lebih banyak kemungkinan terjadinya kesalahan atau cacat.
- b. Penggunaan material dan teknologi baru. Material dan teknologi baru yang digunakan dalam pembuatan kapal juga dapat menimbulkan tantangan baru dalam pengendalian kualitas. Material dan teknologi baru ini mungkin belum teruji secara luas, sehingga lebih sulit untuk memastikan kualitasnya.
- c. Perubahan peraturan dan standar. Peraturan dan standar yang mengatur keselamatan kapal terus berkembang. Hal ini menuntut industri perkapalan untuk terus menyesuaikan sistem pengendalian kualitasnya agar tetap memenuhi persyaratan.
- d. Persaingan global. Industri perkapalan adalah industri yang sangat kompetitif. Perusahaan-perusahaan perkapalan harus terus berinovasi dan meningkatkan efisiensi agar dapat bersaing dengan perusahaan-

perusahaan dari negara lain. Hal ini dapat menimbulkan tekanan untuk mengurangi biaya, yang dapat berdampak pada kualitas.

Untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut, industri perkapalan perlu menerapkan sistem pengendalian kualitas yang lebih efektif dan efisien. Sistem pengendalian kualitas yang efektif harus mampu mengidentifikasi dan mencegah terjadinya kesalahan atau cacat pada setiap tahap proses produksi. Beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan pengendalian kualitas produksi kapal, diantaranya:

- a. Investasi dalam teknologi dan peralatan canggih. Teknologi dan peralatan canggih dapat membantu meningkatkan efisiensi dan produktivitas, serta mengurangi risiko terjadinya kesalahan atau cacat.
- b. Peningkatan keterampilan dan kompetensi karyawan. Karyawan yang terampil dan kompeten dapat membantu memastikan kualitas produk yang dihasilkan.
- c. Implementasi sistem manajemen kualitas. Sistem manajemen kualitas yang terintegrasi dapat membantu perusahaan untuk menetapkan standar kualitas, memantau kinerja, dan mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan.
- d. Kerja sama dengan pemasok. Kualitas bahan baku dan komponen yang digunakan juga berdampak pada kualitas kapal yang dihasilkan. Oleh karena itu, perusahaan perkapalan perlu bekerja sama dengan pemasok untuk memastikan kualitas bahan baku dan komponen yang digunakan.

Dengan menerapkan strategi-strategi tersebut, industri perkapalan dapat meningkatkan pengendalian kualitas produksi kapal dan menghasilkan produk yang berkualitas tinggi.

Simpulan

Era globalisasi menuntut industri galangan kapal terus meningkatkan efektivitas dan efisiensi pada proses produksinya, sehingga mampu bersaing dari segi *quality*, *cost* dan *on time delivery* (QCD). Penelitian ini menggunakan metode sistematik kajian literatur dari berbagai artikel yang telah terbit yang kemudian diidentifikasi dan di analisis yang berfokus pada berbagai metode pengendalian kualitas pada proses manufaktur kapal. Beberapa metode diperoleh berdasarkan hasil pencarian, diantaranya adalah *function-oriented quality control* (FOQC), *quantitative evaluation method*, *artificial intelligence*, *toyota production system* (TPS), *tacheometer sensors*, *design point generation method*, *dimensional & accuracy control automation*, *a differentiation-based approach*, *computer-based applications*, *statistical process control* (SPC), *inspection test plan* (ITP), *multi-layer quality function deployment* (QFD). Industri perkapalan akan terus menghadapi berbagai tantangan di masa depan, termasuk persaingan global yang semakin ketat, tuntutan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas, serta perubahan teknologi.

Daftar Pustaka

- [1] Fitriadi *et al.*, "Identification of waste for shipyard through lean manufacturing approach," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2484, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.1063/5.0110526/2879703.
- [2] M. Riyadi, D. Manfaat, and B. Ma'ruf, "Kajian Efisiensi Proses Produksi Kapal dengan Pendekatan Konsep Manufacturing Cycle Effectiveness (MCE) Studi Kasus PT. PAL," *Wave J. Ilm. Teknol. Marit.*, vol. 9, no. 2, pp. 57–64, Jan. 2015, doi: 10.29122/Jurnalwave.V9I2.2658.
- [3] H. Wang, Y. Guo, X. Liang, and H. Yi, "A function-oriented quality control method for shipbuilding," *Ships Offshore Struct.*, vol. 14, no. 2, pp. 220–228, Feb. 2019, doi: 10.1080/17445302.2018.1493910.
- [4] H. Moyst and B. Das, "Factors Affecting Ship Design and Construction Lead Time and Cost," *J. Sh. Prod.*, vol. 21, no. 03, pp. 186–194, Aug. 2005, doi: 10.5957/JSP.2005.21.3.186.
- [5] E. Lee, J. G. Shin, and Y. Park, "A Statistical Analysis of Engineering Project Risks in the Korean Shipbuilding Industry," *J. Sh. Prod.*, vol. 23, no. 04, pp. 223–230, Nov. 2007, doi: 10.5957/JSP.2007.23.4.223.
- [6] A. Saputra, F. Fitriadi, I. Pamungkas, K. Hadi, and M. Muzakir, "Penerapan Lean Manufacturing di CV. Wahana Karya," *J. Pengabd. Agro Mar. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 20–25, Nov. 2021, Accessed: Nov. 19, 2023. [Online]. Available: <http://jurnal.utu.ac.id/agromarine/article/view/4402>
- [7] H. T. Irawan *et al.*, "Perancangan Ulang Tata Letak pada Galangan Kapal Tradisional menggunakan Blocplan-90," *J. Optim.*, vol. 9, no. 2, pp. 148–156, Oct. 2023, doi: 10.35308/JOPT.V9I2.8325.
- [8] Muzakir *et al.*, "Defect analysis to improve quality of traditional shipbuilding processes in West Aceh District, Indonesia," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2484, no. 1, Mar. 2023, doi: 10.1063/5.0111429/2879560.
- [9] E. Prayetno *et al.*, "Analisis Quality Control Di Galangan Kapal Tradisional," *J. Sustain. J. Has. Penelit. dan Ind. Terap.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–5, Oct. 2016, doi: 10.31629/SUSTAINABLE.V5I2.366.
- [10] M. H. Spicknall and R. Kumar, "A Dimensional Engineering Process For Shipbuilding," *J. Sh. Prod.*,

- May 2002.
- [11] I. Pamungkas, H. T. Irawan, and L. Arkanullah, "Implementasi Statistical Process Control Untuk Pengendalian Kualitas Garam Tradisional Di Kabupaten Pidie," *J. Optim.*, vol. 4, no. 2, pp. 108–118, Jan. 2020, doi: 10.35308/JOPT.V4I2.1525.
 - [12] I. Setiawan and H. H. Purba, "A Systematic Literature Review of Key Performance Indicators (KPIs) Implementation," *J. Ind. Eng. Manag. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 200–208, Oct. 2020, doi: 10.7777/JIEMAR.V1I3.79.
 - [13] H. Kurnia, "A Systematic Literature Review of Performance Pyramids System Implementation in the Manufacture Industries," *IJIEM (Indonesian J. Ind. Eng. Manag.)*, vol. 2, no. 2, pp. 115–126, 2021, doi: 10.22441/ijiem.v2i2.11150.
 - [14] I. Pamungkas, H. T. Irawan, and H. Hasnita, "Penggunaan Teknik Evaluasi Keandalan Mesin Pada Berbagai Industri di Indonesia: Literature Review," *VOCATECH Vocat. Educ. Technol. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 22–32, Sep. 2023, doi: 10.38038/VOCATECH.V5I1.128.
 - [15] I. Pamungkas *et al.*, "Metode Analisis Risiko Kerusakan Mesin Produksi di Indonesia: Literature Review," *J. INVASI Ind. dan Inov.*, vol. 1, no. 1, pp. 01–11, Sep. 2023, Accessed: Nov. 19, 2023. [Online]. Available: <http://jurnal.utu.ac.id/invasi/article/view/8090>
 - [16] Y. Guo, H. Wang, X. Liang, and H. Yi, "A quantitative evaluation method for the effect of construction process on shipbuilding quality," *Ocean Eng.*, vol. 169, pp. 484–491, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.OCEANENG.2018.09.046.
 - [17] V. Emelianov, A. Zhilenkov, S. Chernyi, A. Zinchenko, and E. Zinchenko, "Application of artificial intelligence technologies in metallographic analysis for quality assessment in the shipbuilding industry," *Heliyon*, vol. 8, no. 8, p. e10002, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.HELİYON.2022.E10002.
 - [18] D. Alves De Moura and R. Carlos Botter, "Independent Journal of Management & Production Toyota Production System-One Example To Shipbuilding Industry," *Indep. J. Manag. Prod.*, vol. 8, pp. 874–897, 2017, doi: 10.14807/ijmp.v8i3.626.
 - [19] "Nguyen Trung Anh, V. N. Lubenko, 'Use of tacheometer sensors in quality control systems in shipbuilding', Vestn. Astrakhan State Technical Univ. Ser. Management, Computer Sciences and Informatics, 2014, no. 2, 52–57." https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=vagtu&paperid=314&option_lang=en g (accessed Nov. 19, 2023).
 - [20] K. Y. Kwon, "Design Point Generation Method from a Lightweight Model for Dimensional Quality Management in Shipbuilding," *J. Sh. Prod. Des.*, vol. 35, no. 04, pp. 353–363, Nov. 2019, doi: 10.5957/JSPD.08170042.
 - [21] G. W. Johnson, S. E. Laskey, S. Robson, and M. R. Shortis, "DIimensional & Accuracy Control Automation In Shipbuilding Fabrication: An Integration Of Advanced Image Interpretation, Analysis, And Visualization Techniques".
 - [22] T. Bukša, D. Pavletić, M. Soković, and J. Bukša, "A Differentiation-Based Approach to Quality Management in Shipbuilding Taking into Consideration Errors in Manufacturing Processes," *Brodogr. An Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. Res. Dev.*, vol. 64, no. 4, pp. 488–503, Dec. 2013.
 - [23] R. R. P. T. W.P., and M. S. Arif, "Computer-Based Applications for Quality Management Process in Shipbuilding," *IPTEK J. Proc. Ser.*, vol. 3, no. 2, pp. 99–107, May 2017, doi: 10.12962/J23546026.Y2017I2.2305.
 - [24] M. R. KATTAN, "Application Of Statistical Process Control Techniques To Shipbuilding," *North East Coast Inst. Eng. Shipbuild. Trans.*, vol. 105, no. No.4, Sep. 1989.
 - [25] I. D. Savu, S. V. Savu, and M. G. Ghiba, "New Concept of Quality Management in Shipbuilding," *Adv. Eng. Forum*, vol. 13, pp. 332–340, Jun. 2015, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AEF.13.332.
 - [26] O. Duru, S. T. Huang, E. Bulut, and S. Yoshida, "Multi-layer quality function deployment (QFD) approach for improving the compromised quality satisfaction under the agency problem: A 3D QFD design for the asset selection problem in the shipping industry," *Qual. Quant.*, vol. 47, no. 4, pp. 2259–2280, Jun. 2013, doi: 10.1007/S11135-011-9653-4/METRICS.
 - [27] Y. J. Song and J. H. Woo, "New shipyard layout design for the preliminary phase & case study for the green field project," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 132–146, Mar. 2013, doi: 10.2478/IJNAOE-2013-0122.