

Proses konstruksi pada proyek jembatan beton bertulang seringkali menghasilkan *waste* tulangan baja (rebar) akibat pola pemotongan tulangan yang tidak optimal. Di Indonesia, tingkat *waste* tulangan pada proyek jembatan dapat mencapai 10-15% akibat inefisiensi dalam desain, fabrikasi, dan manajemen material. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan biaya konstruksi, tetapi juga berdampak terhadap emisi karbon yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan inovatif untuk meminimalkan *waste* tulangan secara efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi *waste* tulangan baja dengan mengoptimalkan pola pemotongan melalui integrasi Building Information Modeling (BIM) dan Genetic Algorithm (GA) menggunakan *plug-in* Dynamo for Revit. Studi kasus dilakukan pada proyek Penggantian Jembatan Air Sei Baru I di Belitung. Data diperoleh melalui observasi lapangan dan dokumen *Detail Engineering Design* (DED), yang kemudian dimodelkan secara detail menggunakan *software* Autodesk Revit.

Metode yang digunakan meliputi: (1) Pengembangan model BIM struktur jembatan; (2) Ekstraksi data tulangan menggunakan *visual programming* Dynamo; (3) Implementasi GA dengan bahasa pemrograman CPython3 untuk menentukan pola pemotongan optimal; dan (4) Validasi hasil melalui analisis perbandingan terhadap pola pemotongan eksisting. GA dijalankan melalui tujuh tahapan: inialisasi data, pembentukan populasi acak, evaluasi fungsi *fitness*, seleksi, *crossover* dan mutasi, serta pemilihan solusi terbaik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi BIM dan GA menghasilkan sistem *BIM Execution Plan* (BEP) yang efisien, dengan waktu komputasi selama $\pm 1,6$ jam untuk *population size* 50 dan 100 generasi. Sistem ini berhasil mengurangi persentase *waste* dari 8,22% menjadi 3,01% (penurunan sebesar 63,34%) dengan memanfaatkan kombinasi batang tulangan standar dan *special length*, serta memaksimalkan pemanfaatan *off-cuts*. Secara finansial, pendekatan ini mampu menghemat biaya material sebesar Rp13.893.879,- (penurunan sebesar 13,01%) dan mengurangi emisi CO₂ hingga 10 ton (penurunan sebesar 63,35%).

Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi teknologi digital melalui BIM dan algoritma metaheuristik seperti GA merupakan pendekatan multidisipliner yang efektif dalam mewujudkan konstruksi berkelanjutan. Sistem yang dikembangkan mampu merespons perubahan desain secara cepat dan memberikan solusi efisien dalam perencanaan pemotongan tulangan baja, sehingga mendukung praktik konstruksi yang lebih hemat sumber daya dan ramah lingkungan.

Kata kunci: BIM, GA, Dynamo, pola pemotongan tulangan, *special length* rebar

ABSTRACT

Reinforced concrete bridge construction projects frequently generate significant rebar waste due to suboptimal cutting patterns. In Indonesia, rebar waste in bridge projects can reach 10-15% as a result of inefficiencies in design, fabrication, and material management. This not only increases construction costs but also contributes to elevated carbon emissions. Therefore, an innovative and integrated approach is required to minimize rebar waste effectively.

This study aims to reduce rebar waste by optimizing cutting patterns through the integration of Building Information Modeling (BIM) and Genetic Algorithm (GA), utilizing the Dynamo for Revit plug-in. A case study was conducted on the Air Sei Baru I Bridge Replacement Project in Belitung. Data were collected from field observations and Detail Engineering Design (DED) documents, which were then modeled in detail using Autodesk Revit.

The methodology consists of: (1) Developing a detailed BIM model of the bridge structure; (2) Extracting rebar data using Dynamo visual programming; (3) Implementing GA via CPython3 scripting to generate optimized cutting patterns; and (4) Validating the results by comparing them with existing cutting strategies. The GA procedure follows seven key stages: data initialization, random population generation, fitness function evaluation, selection, crossover and mutation operations, and final solution extraction.

The findings indicate that the integration of BIM and GA produces an efficient BIM Execution Plan (BEP), with a computation time of approximately 1.6 hours for a population size of 50 and 100 generations. The system successfully reduced rebar waste from 8.22% to 3.01% (a 63.34% reduction) by utilizing a combination of standard and special length bars, and optimizing the use of off-cuts. Financially, the approach resulted in material cost savings of approximately IDR 13,893,879 (a 13.01% reduction) and a reduction in CO₂ emissions of up to 10 tons (a 63.35% reduction).

This study concludes that integrating digital technologies such as BIM with metaheuristic algorithms like GA provides an effective multidisciplinary approach toward sustainable construction. The proposed system offers rapid response to design changes and delivers efficient rebar cutting plans, supporting more resource-efficient and environmentally responsible construction practices.

Keywords: BIM, GA, Dynamo, rebar cutting pattern, special length rebar