

**ANALISIS *WASTE MATERIAL* BAJA TULANGAN PADA PROYEK
KONSTRUKSI DENGAN PEMANFAATAN *BUILDING INFORMATION*
MODELING
(Studi Kasus: Gedung Perkantoran Bank BTN Soekarno Hatta Bandung)**



TUGAS AKHIR

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Sipil

Oleh:
Adika Bintang Bahaduri
2100898

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNIK DAN INDUSTRI
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2025**

**ANALISIS WASTE MATERIAL BAJA TULANGAN PADA
PROYEK KONSTRUKSI DENGAN PEMANFAATAN
BUILDING INFORMATION MODELING
(Studi Kasus: Gedung Perkantoran Bank BTN
Soekarno Hatta Bandung)**

Oleh
Adika Bintang Bahaduri

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri

© Adika Bintang Bahaduri 2025
Universitas Pendidikan Indonesia
November 2025

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

ADIKA BINTANG BAHADURI
ANALISIS *WASTE MATERIAL* BAJA TULANGAN PADA PROYEK
KONSTRUKSI DENGAN PEMANFAATAN *BUILDING INFORMATION*
MODELING (STUDI KASUS: GEDUNG PERKANTORAN BANK BTN
SOEKARNO HATTA BANDUNG)

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Dr. Siti Nurasiyah, M.T.

NIP. 19770208 200812 2 001

Pembimbing II

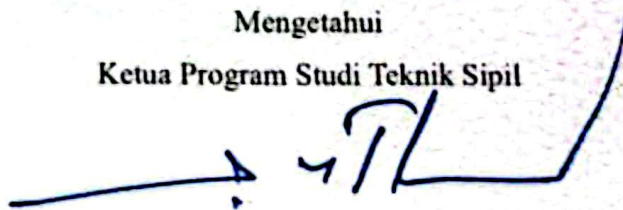


Ben Novarro Batubara, M.T.

NIP. 19801119 200912 1 003

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Juang Akbarudin, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.

NIP. 19770307 200812 1 001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adika Bintang Bahaduri

NIM : 2100898

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Karya : Analisis *Waste Material* Baja Tulangan Pada Proyek Konstruksi Dengan Pemanfaatan *Building Information Modeling* (Studi Kasus: Gedung Perkantoran Bank BTN Soekarno Hatta Bandung)

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil kerja saya sendiri. Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan, bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Pendidikan Indonesia.

Bandung, 22 Agustus 2025



(Adika Bintang Bahaduri)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur, saya panjatkan kehadiran Allah SWT sehingga atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis *Waste Material* Baja Tulangan Pada Proyek Konstruksi Dengan Pemanfaatan *Building Information Modeling* (Studi Kasus: Gedung Perkantoran Bank BTN Soekarno Hatta Bandung)” dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekeliruan dan kekurangan sehingga jauh dikatakan sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar dapat lebih baik lagi dalam penyusunan laporan. Penulis berharap agar laporan ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca laporan ini.

Bandung, Agustus 2025

Penulis

ANALISIS *WASTE MATERIAL* BAJA TULANGAN PADA PROYEK KONSTRUKSI DENGAN PEMANFAATAN *BUILDING INFORMATION*

MODELING

(Studi Kasus: Gedung Perkantoran Bank BTN Soekarno Hatta Bandung)

Adika Bintang Bahaduri; Siti Nurasiyah¹; Ben Novarro Batubara²

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri,
Universitas Pendidikan Indonesia.*

Email : adikabintang0109@gmail.com

ABSTRAK

Industri konstruksi memiliki tingkat konsumsi material yang tinggi, di mana baja tulangan menyumbang porsi biaya yang signifikan. Pengelolaan yang kurang optimal dapat menimbulkan *waste material* yang berdampak pada peningkatan biaya dan limbah konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan hasil optimasi *waste material* baja tulangan menggunakan *Cutting Optimization Pro* (COP) dan Excel Solver dengan pendekatan *Integer Linear Programming* (ILP). Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan studi kasus pada Proyek Pembangunan Gedung Perkantoran Bank BTN Soekarno Hatta Bandung. Jenis data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari As Built Drawing, Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan *Bill of Quantity* (BOQ) yang disediakan oleh PT Casa Prima Indonesia. Data tersebut diolah melalui pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit untuk menghasilkan *Bar Bending Schedule* (BBS) sebagai dasar analisis kebutuhan tulangan. Selanjutnya, proses optimasi pemotongan dilakukan menggunakan dua perangkat lunak, yaitu *Cutting Optimization Pro* dan Solver Excel, dengan mempertimbangkan variabel kontrol berupa panjang batang, diameter tulangan, kebutuhan potong, serta tipe pemasangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode konvensional menghasilkan volume baja tulangan sebesar 182.912,41 kg, sedangkan metode BIM sebesar 181.682,58 kg, dengan selisih 0,67% terhadap volume kontrak. Optimasi menggunakan COP menghasilkan *waste* sebesar 6,52%, sedangkan Excel Solver sebesar 6,74%. Metode COP memberikan biaya *waste* yang lebih rendah dengan selisih 5,43% dibandingkan Solver.

Kata Kunci : BIM, Baja Tulangan, Optimasi, *Waste Material*, *Cutting Optimization Pro*, Excel Solver.

ANALYSIS OF REINFORCING STEEL WASTE MATERIAL IN CONSTRUCTION PROJECTS USING BUILDING INFORMATION MODELING

(Case Study: Office Building Project of Bank BTN Soekarno Hatta Bandung)

Adika Bintang Bahaduri; Siti Nurasiyah¹; Ben Novarro Batubara²
*Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering and Industrial
Education, University of Education Indonesia.*
Email : adikabintang0109@gmail.com

ABSTRACT

The construction industry has a high level of material consumption, in which reinforcing steel contributes a significant portion of project costs. Inefficient management may lead to material waste, resulting in increased costs and environmental impact. This study aims to analyze and compare the optimization results of reinforcing steel waste using Cutting Optimization Pro (COP) and Excel Solver with an Integer Linear Programming (ILP) approach. This research employs a quantitative method with a case study on the Bank BTN Office Building Project, Soekarno Hatta, Bandung. The study utilizes secondary data obtained from As-Built Drawings, the Bill of Quantity (BOQ), and the Budget Plan (RAB) provided by PT Casa Prima Indonesia. The data were processed through 3D modeling using Autodesk Revit to generate a Bar Bending Schedule (BBS) as the basis for reinforcement quantity analysis. Subsequently, the cutting optimization process was carried out using two software applications, namely Cutting Optimization Pro and Excel Solver, considering control variables such as bar length, diameter, cutting requirements, and installation type. The results show that the conventional method produced a total reinforcement volume of 182,912.41 kg, while the BIM-based method yielded 181,682.58 kg, with only a 0.67% difference from the contract volume. Furthermore, optimization using COP resulted in a total waste of 6.52%, whereas Excel Solver produced 6.74%. The COP method generated a lower waste cost, with a 5.43% difference compared to Solver.

Keywords: BIM, Reinforcing Steel, Optimization, Waste Material, Cutting Optimization Pro, Excel Solver

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Siti Nurasyiah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta waktu berharga kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ben Novarro Batubara, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan banyak masukan, meluangkan waktu, serta bimbingan kepada penulis hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Prof. Dr. Rina Marina, M.P., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan nasihat dan membantu kelancaran studi penulis selama menempuh perkuliahan.
4. Bapak Dr. Ir. Juang Akbardin, ST., MT., IPM., ASEAN. Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil FPTI UPI.
5. Seluruh dosen dan staf Departemen Pendidikan Teknik Sipil Universitas Pendidikan Indonesia, atas segala ilmu, bimbingan, dan bantuan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
6. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moril dan materil, serta menjadi sumber semangat terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Rekan-rekan Program Studi Teknik Sipil FPTI UPI angkatan 2021.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan laporan ini.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Building Information Modeling</i>	6
2.1.1 Manfaat BIM.....	7
2.1.2 Dimensi BIM	8
2.2 Autodesk Revit	10
2.2.1 Manfaat Penggunaan Revit dalam Perancangan Bangunan	11
2.3 Baja Tulangan.....	12
2.3.1 Baja Tulangan Beton Polos.....	12
2.3.2 Baja Tulangan Beton Sirip/Ulir	14
2.4 Penyaluran Tulangan	15
2.5 Sambungan Lewatan	16
2.6 <i>Bar Bending Schedule</i>	17

2.7 <i>Waste Material</i>	18
2.7.1 Jenis Waste Material	18
2.7.2 Penyebab Waste Material.....	20
2.7.3 Persentase <i>Waste</i>	21
2.8 <i>Cutting Optimization Pro</i>	21
2.9 <i>Integer Linear Programming</i>	22
2.10 <i>Solver Add-ins Excel</i>	23
2.11 Penelitian Terdahulu	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Lokasi Objek Penelitian	26
3.2 Waktu Penelitian.....	26
3.3 Metode Penelitian.....	27
3.4 Data Penelitian	28
3.5 Teknik Analisis Data.....	29
3.5.1 Perhitungan Volume Baja Tulangan.....	29
3.5.2 Pemodelan 3D BIM dengan Autodesk Revit.....	35
3.5.3 <i>Bar Bending Schedule</i> dan Kebutuhan Tulangan	42
3.5.4 Optimasi <i>Waste Material</i> Baja Tulangan dengan <i>Excel Solver</i>	43
3.5.5 Optimasi <i>Waste Material</i> Baja Tulangan dengan <i>Cutting Optimization Pro</i>	43
3.6 Kerangka Berpikir	45
3.7 Diagram Alir.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Estimasi Volume Besi Tulangan Menggunakan Model BIM.....	47
4.1.1 Panjang Penyaluran dan Sambungan Lewatan Sesuai SNI 2847:2019	47

4.1.2 Pemodelan Elemen Struktur Menggunakan Autodesk Revit.....	56
4.1.3 Volume Tulangan Elemen Struktur.....	59
4.1.4 Perbandingan Volume Revit dengan Metode Konvensional	61
4.2 Perhitungan <i>Waste Material</i> Tulangan	65
4.2.1 Optimasi <i>Waste Material</i> Menggunakan COP.....	65
4.2.2 Perhitungan <i>Waste Material</i> Menggunakan Solver Excel	67
4.2.3 Perbandingan Hasil Perhitungan <i>Waste Material</i>	69
4.3 Analisis Biaya Akibat Waste Material	71
4.3.1 Rekapitulasi Pekerjaan Pembesian	72
4.3.2 Perhitungan Biaya Waste Material.....	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	74
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76
LAMPIRAN.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Baja tulangan beton polos (BjTP)	13
Gambar 2.2 Baja Tulangan Beton Sirip (BjTS)	14
Gambar 3.1 Lokasi Objek Penelitian	26
Gambar 3.2 New Project Structural Template	35
Gambar 3.3 Setting Project Unit	36
Gambar 3.4 Grid.....	37
Gambar 3.5 Level.....	37
Gambar 3.6 Level dan Grid pada 3D View	38
Gambar 3.7 New Family Revit	39
Gambar 3.8 Family Kolom	40
Gambar 3.9 Dialog Box Pengeditan Family Kolom.....	40
Gambar 3.10 Pemodelan Kolom dan Balok pada tampilan 3D View	41
Gambar 3.11 Penulangan Balok pada 3D View	42
Gambar 3.12 Output BBS Revit.....	43
Gambar 3.13 Kerangka Berpikir.....	45
Gambar 3.14 Diagram Alir.....	46
Gambar 4.1 Kondisi 1 dan Kondisi 2 Panjang Penyaluran.....	48
Gambar 4.2 Lokasi Sambungan Lewatan Pada Balok Induk.....	56
Gambar 4.3 Parameter Schedule Tulangan	57
Gambar 4.4 Pembuatan Berat Besi Tulangan	58
Gambar 4.5 Pemodelan 3D Revit.....	58
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Volume BIM dan Volume Konvensional	64
Gambar 4.7 Hasil Optimasi Menggunakan Cutting Optimization Pro	66
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Waste Menggunakan COP dan Solver.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Dimensi BIM.....	9
Tabel 2.2 Komposisi kimia billet baja tulangan kontinu (<i>ladle analysis</i>).....	12
Tabel 2.3 Ukuran baja tulangan beton polos	13
Tabel 2.4 Ukuran baja tulangan beton polos	15
Tabel 3.1 Waktu Penelitian.....	27
Tabel 3.2 Data Sekunder	29
Tabel 3.3 Geometri kait standar untuk penyaluran batang ulir pada kondisi Tarik	30
Tabel 3.4 Detail ikat sengkang, kait sengkang, dan sengkang pengekrang.....	30
Tabel 3.5 Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik	31
Tabel 3.6 Faktor modifikasi penyaluran batang ulir dalam kondisi Tarik	32
Tabel 3.7 Faktor modifikasi penyaluran dengan kait kondisi Tarik.....	33
Tabel 3.8 Panjang sambungan lewatan batang ulir dan kawat ulir kondisi Tarik .	34
Tabel 3.9 Faktor modifikasi batang ulir dan kawat dalam kondisi tekan.....	34
Tabel 4.1 Parameter dan Nilai Faktor Modifikasi untuk Perhitungan L_d	49
Tabel 4.2. Rekapitulasi Panjang Penyaluran L_d pada Kondisi 1, 2, dan 3	50
Tabel 4.3 Rekapitulasi Panjang Penyaluran Batang Tarik Lurus (L_d)	50
Tabel 4.4 Parameter Perhitungan Panjang Penyaluran dengan Kait Standar.....	51
Tabel 4.5 Rekapitulasi Panjang Penyaluran Tulangan Tarik dengan Kait (L_{dh})...	52
Tabel 4.6 Rekapitulasi Detail Kait Standar pada Tulangan Utama	53
Tabel 4.7 Rekapitulasi Detail Sengkang Ikat, Kait Sengkang, Sengkang Pengekrang	54
Tabel 4.8 Rekapitulasi Panjang Sambungan Lewatan (L_{st}).....	55
Tabel 4.9 Rekapitulasi Volume Tulangan Kolom.....	59
Tabel 4.10 Rekapitulasi Volume Tulangan Balok	60
Tabel 4.11 Rekapitulasi Volume Tulangan Pelat Lantai.....	60
Tabel 4.12 Rekapitulasi Volume Tulangan.....	61
Tabel 4.13 Rekapitulasi Total Berat Tulangan	62
Tabel 4.14 Rekapitulasi Volume Beton	64
Tabel 4.15 Rekapitulasi Optimasi Menggunakan COP.....	66

Tabel 4.16 Rekapitulasi Optimasi Menggunakan Solver	68
Tabel 4.17 Rekapitulasi Optimasi Tulangan Menggunakan COP dan Solver	70
Tabel 4.18 Rekapitulasi Pekerjaan Pembesian.....	72
Tabel 4.19 Biaya Kebutuhan Tulangan Setelah Optimasi dengan COP	72
Tabel 4.20 Biaya Kebutuhan Tulangan Setelah Optimasi dengan Solver.....	73
Tabel 4.21 Perbandingan Total Biaya Waste Material	73

DAFTAR PUSTAKA

- Alawayah, K., & Syah, N. (2024). Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Kolom Lantai 5 Metode Konvensional Dengan Software Cutting Optimization Pro (COP) Pada Proyek Pembangunan Menara BRI Medan. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 11(2), 77-84.
- Amir, M. I. (2011). *Peranan Google Sketchup Dan Autodesk Revit Architecture Terhadap Pendidikan Arsitektur*. Depok: Universitas Indonesia.
- Amruddin, Priyanda, R., Agustina, T. S., Ariantini, N. S., Rusmayani, N. G., Aslindar, D. A., & Ningsih, K. P. (2022). *Metodologi Penelitian Kuantitatif* (1 ed.). Sukoharjo: Pradina Pustaka.
- Asnudin, A. (2010). Pengendalian Sisa Material Konstruksi Pada Pembangunan Rumah Tinggal. *Majalah Ilmiah MEKTEK*, XII(3), 162-165.
- Badan Standardisasi Nasional. (2024). *SNI 2052:2024 Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Bahar, H. (2022). *Pedoman Detail Penulangan Beton Menurut SNI 2847-2019 dan ACI 315-2018*. Depok: Nas Media Pustaka.
- Baratono, P., Ciribini, A., Bew, M., & Haug, D. (2017). *Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*. Europe: EU BIM Task Group.
- Baskoro, I. A. (2019). *Penerapan Building Information Modeling Menggunakan Tekla Structures dalam Perhitungan Volume Besi Tulangan dan Bar Bending Schedule*. Jakarta: PT. Wijaya Karya Bangunan Gedung.
- Davis, J. R. (1998). *Metals Handbook Desk Edition* (2nd ed.). Ohio: ASM International.

- Djunaidi, S. E., & Prayogo, D. (2021). Optimasi Pemotongan Besi Tulangan Pada Proyek Kompleks Pergudangan Menggunakan Integer Linear Programming . *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 8(2), 84-94.
- Eastman, C., Lee, G., Sacks, R., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers* (3rd ed.). New Jersey, Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Fernando, R., Friatmojo, E. K., Ricardo, K. C., & Khairunnisa. (2024). Perbandingan Quantity Take-off Baja Tulangan Antara Metoda Konvensional Terhadap Metoda Bim 5d Cubicost Pada Struktur Gedung Fasilitas Perkeretaapian Manggarai. *ORBITH*, 25-34.
- Gunawan, J. A., Christian, D., & Alifen, R. S. (2017). Analisis Faktor Penyebab, Usaha Minimalisasi Dan Program Perhitungan Sisa Material Dinding. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 104-112.
- Hardani, Auliya, N. H., Andriani, H., Fardani, R. A., Ustiawaty, J., Utami, E. F., . . . Istiqomah, R. R. (2020). *Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif* (1 ed.). Yogyakarta: CV. Pustaka Ilmu .
- Indraprastha, A. (2018). *Panduan BIM : Adopsi BIM dalam Organisasi* (1 ed.). Jakarta: Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi.
- Jagad, S. A., & Putra, I. N. (2024). Analysis Waste Level of Column Reinforcement Work Planning with Software Cutting Optimization. *COGITO Smart Journal*, 433-446.
- Jayantari, M. W., Dewi, P. S., & Yoga, P. G. (2022). Analisa Perbandingan Volume Dan Biaya Bar Bending Schedule Dengan Metode SNI-2847:2013 Dan BS 8666:2005 Pada Proyek Pembangunan Kantor Pacto, Denpasar. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 50-58.

- Junaid, M., Shekhawat, N. S., Samant, P., & Sharma, A. K. (2021). Designing, Estimation, Bar Bending Schedule, Scheduling Of Activities For A Commercial Building. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 9(4), 4934-4949.
- Kork, M., Hartono, W., & Sugiyarto, S. (2013). Perhitungan Kebutuhan Tulangan Besi Dengan Memperhitungkan Optimasi Waste Besi Pada Pekerjaan Balok Dengan Program Microsoft Excel. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 290-295.
- Kusumaningroem, T. T., & Gondokusumo, O. (2023). Comparison of Building Information Modeling and Conventional Methods for Concrete and Rebar Quantity Take-Off. *International Journal of Application on Sciences, Technology and Engineering*, 674-684.
- Lynn, T., Rosati, P., Kassem, M., Krinidis, S., & Kennedy, J. (2023). *Disrupting Buildings : Digitalisation and the Transformation of Deep Renovation* (1st ed.). Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG.
- Marizan, Y., Purwanto, S., & Yunanda, M. (2019). Studi Literatur Tentang Penggunaan Software Autodesk Revit Studi Kasus Perencanaan Puskesmas Sukajadi Kota Prabumulih. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, 61-75.
- Megawati, W. B., & Purwanto, H. (2022). Perbandingan BIM Dengan Konvensional Pada Hasil BQ Proyek X. *Journal Of Applied Civil Engineering And Infrastructure Technology*, 1-9.
- Muka, W., Widyatmika, M. A., & Antara, I. M. (2020). Analisis Perbandingan Waste Besi Tulangan Metode Konvensional Dengan Software Cutting Optimazation Pro. *Teknika*, 41-49.
- Negara, J. B., & Suryanto, M. (2020). Analisis Sisa Material Besi Tulangan Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung. *Jurnal Rekats*, 1-11.
- Nugraha, R. W., & Jafar. (2024). Perbandingan Efektivitas antara Sambungan Lewatan dan Sambungan Mekanis Tipe Coupler pada Balok Beton Bertulang . *Jurnal Saintis*, 24(1), 1-10.

- Partama, I. G., Sudika, I. G., & Saputra, E. L. (2023). Analisis Sisa Besi Tulangan Menggunakan Software Cutting Optimization Pro Pada Konstruksi Gedung (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Villa Stilo, Tibubeneng, Kec. Kuta Utara, Kab. Badung-Bali). *Jurnal Teknik Gradien*, 15(2), 30-38.
- Poon, C. S., Yu, A. T., & Ng, L. (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(2), 157-172.
- Purwosri, V. P., Hartono, W., & Sunarmasto. (2017). Penghitungan Optimasi Baja Tulangan Pada Pekerjaan Pelat Dan Balok Dengan Menggunakan Microsoft Excel dan Autocad (Studi Kasus Pembangunan Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya). *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 1102-1111.
- Putera. (2022). Manfaat BIM Dalam Konstruksi Gedung: Suatu Kajian Pustaka. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 43-52.
- Simatupang, F. J., Hasibuan, G. C., Jaya, I., Syahrizal, Dewi, R. A., & Syafridon, G. G. (2024). Quantity Take Off Comparison Using Building Information Modelling (BIM) with Autodesk Revit Software and Traditional Method. *International Journal of Architecture and Urbanism*, 08(02), 184-190.
- Soesana, A., Subakti, H., Karwanto, Fitri, A., Kuswandi, S., Sastri, L., . . . Lestari, H. (2023). *Metodologi Penelitian Kuantitatif* (1 ed.). Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Sujarweni, W. (2014). *Metodologi Penelitian - Lengkap, Praktis dan Mudah Dipahami*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Susilawati, Nuh, S. M., & Rafie. (2019). Evaluasi Sisa Material Pada Proyek Konstruksi. *JeLast: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 1-4.
- Waas, L., & Enjellina. (2022). Review of BIM-Based Software in Architectural Design Graphisoft Archicad VS Autodesk Revit. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 1(22), 14-22.

- Walmikey, P., & Kulkarni, P. P. (2016). Construction Waste Management Through The Applications Of BIM. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 5(1), 193-200.
- Wiguna, I. P., & Iriana, H. (2009). Analisis Penanganan Material Waste pada Proyek Perumahan di Surabaya. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*, 147-154.
- Yang, A., Han, M., Zeng, Q., & Sun, Y. (2021). Adopting Building Information Modeling (BIM) for the Development of Smart Buildings: A Review of Enabling Applications and Challenges. *Advances in Civil Engineering*, 1-26.