EKLIPTIKA
Jurnal Inovasi Teknologi Berkelanjutan
ONLINE ISSN 2809-6371 | PRINT ISSN 2721-5105

ARTICLE

PENYELARASAN AKURASI DESAIN DIGITAL MELALUI SKETCHUP SEBAGAI INSTRUMEN TEKNOLOGI HIJAU DALAM MEMINIMALISIR LIMBAH MATERIAL PADA PENGEMBANGAN PRODUK BERKELANJUTAN

Adinda Agung Salsabilla[1]*, Misnatul Sa'ada[2], & Rudi Kurniawan[3]

[1]Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan, Indonesia

[2]Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan, Indonesia

[2]Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan, Indonesia

*Corresponding author: *Adindasalsabilla2006@gamil.com, alldaa201023@gmail.com, Rudi@unupasuruan.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi peran digital prototyping menggunakan SketchUp dalam meminimalkan limbah fisik selama proses desain produk. Fokus utama diarahkan pada bagaimana akurasi desain digital bertindak sebagai mekanisme preventif terhadap kesalahan produksi yang sering berujung pada pemborosan material. Dengan menggunakan metode kuantitatif deskriptif, ditemukan bahwa meskipun terdapat hambatan teknis yang signifikan sebesar 78% di kalangan mahasiswa semester awal, penggunaan model 3D secara signifikan mampu mengurangi kebutuhan akan prototipe fisik yang umumnya menggunakan material non-ramah lingkungan seperti plastik ABS dan busa sintetis. Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi positif antara peningkatan presisi desain digital dengan efisiensi sumber daya. Strategi penguatan bimbingan praktis dalam kurikulum teknik industri diusulkan untuk mendukung target Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 12 mengenai konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab. Peningkatan akurasi desain hingga tingkat toleransi mikro terbukti mampu mengurangi sisa potongan material (scrap) dan kebutuhan akan pengerjaan ulang (rework), yang merupakan pilar utama dalam implementasi teknologi hijau di sektor manufaktur modern.

Keywords: Gambar teknik, Akurasi Desain Digital, SketchUp, Teknologi Hijau (Green Technology)

1. Latar Belakang

1.1. Urgensi Manufaktur Berkelanjutan di Era Industri 4.0

Di tengah dinamika Industri 4.0, sektor manufaktur global menghadapi tuntutan besar untuk melakukan dekarbonisasi dan optimasi sumber daya. Statistik menunjukkan bahwa aktivitas manufaktur memberikan kontribusi sekitar 23% terhadap total emisi karbon global, yang menegaskan perlunya transisi menuju praktik yang lebih hijau. Manufaktur berkelanjutan (sustainable manufacturing) atau manufaktur hijau didefinisikan sebagai sistem yang mengintegrasikan aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial ke dalam seluruh siklus hidup produk. Salah satu temuan fundamental dalam literatur desain keberlanjutan adalah bahwa sekitar 80% dampak lingkungan suatu produk ditentukan sepenuhnya pada fase desain awal. Hal ini menempatkan fase perancangan sebagai titik intervensi paling kritis dalam mitigasi limbah.

1.2. Peran CAD dalam Teknologi Hijau

Teknologi Hijau (Green Technology) dalam teknik industri berperan mendukung infrastruktur yang lebih ramah lingkungan dan optimalisasi produksi. Perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD) seperti SketchUp bukan sekadar alat visualisasi, melainkan instrumen mitigasi risiko. Dengan kemampuannya dalam menciptakan model digital yang presisi hingga toleransi 0,001 mm, CAD memungkinkan desainer untuk melakukan simulasi performa produk sebelum masuk ke lantai produksi. Di Indonesia, inisiatif Pembangunan Rendah Karbon (LCDI) yang tertuang dalam RPJMN 2020-2024 mendorong industri untuk mengadopsi teknologi yang mampu menekan emisi dan limbah material secara sistematis.

1.3. Tantangan Kompetensi pada Generasi Z

Meskipun teknologi tersedia, terdapat kesenjangan kompetensi yang nyata, terutama pada mahasiswa tingkat awal atau Generasi Z yang seringkali mengalami kesulitan konseptual dalam membaca gambar teknik. Ketidakmampuan dalam menghasilkan desain digital yang akurat dapat berdampak fatal, mulai dari kesalahan interpretasi di pabrik hingga

pemborosan bahan baku akibat rework (pengerjaan ulang). Penelitian ini mendalami bagaimana bimbingan praktis menggunakan SketchUp dapat menjembatani kesenjangan ini sekaligus menjadi solusi nyata bagi pengurangan limbah material.

2. Metode Penelitian

2.1. Desain Penelitian dan Subjek

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk membandingkan efektivitas pembelajaran gambar teknik manual (kertas) dan digital (SketchUp). Subjek penelitian terdiri dari mahasiswa semester 1 Program Studi Teknik Industri Universitas Nahdlatul Ulama Pasuruan yang dipilih melalui purposive sampling untuk memastikan kesetaraan kemampuan dasar.

2.2. Prosedur Pembelajaran Berbasis Praktik

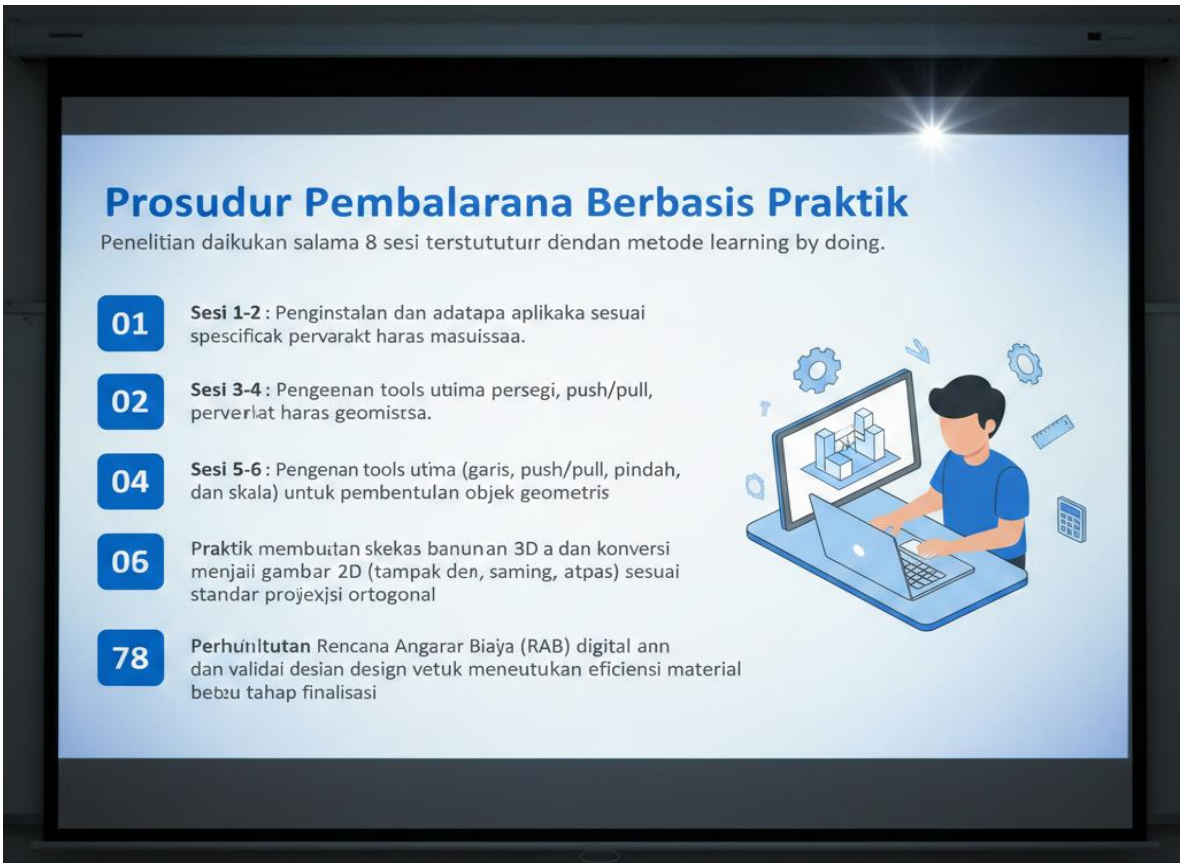
Penelitian dilakukan selama 8 sesi terstruktur dengan metode learning by doing. Alur sesi meliputi:

Sesi 1-2: Penginstalan dan adaptasi aplikasi sesuai spesifikasi perangkat keras mahasiswa.

Sesi 3-4: Pengenalan tools utama (garis, persegi, push/pull, pindah, dan skala) untuk pembentukan objek geometris.

Sesi 5-6: Praktik pembuatan sketsa bangunan 3D dan konversi menjadi gambar 2D (tampak depan, samping, atas) sesuai standar proyeksi ortogonal.

Sesi 7-8: Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) digital dan validasi desain untuk memastikan efisiensi material sebelum tahap finalisasi.



Gambar 1. Prosedur Pembelajaran

2.3. Instrumen dan Analisis Data

Data dikumpulkan melalui pre-test dan post-test yang dinilai berdasarkan tiga kriteria utama: ketepatan ukuran (presisi), kebersihan gambar, dan keakuratan proyeksi. Selain itu, dilakukan survei kualitatif untuk mengidentifikasi hambatan teknis yang dialami selama proses pemodelan digital. Analisis statistik deskriptif digunakan untuk mengukur tren peningkatan skor dan persentase keberhasilan penguasaan fitur.

3. Hasil Penelitian

3.1. Analisis Kuantitatif: Transformasi Pemahaman Mahasiswa

Hasil eksperimen menunjukkan peningkatan kemampuan yang merata di seluruh responden yang menggunakan metode digital. Tabel 1 merinci perkembangan signifikan dari empat responden utama:

Tabel 1: Data Perkembangan Kemampuan Digital Prototyping

Nama Responden	Skor Pre-test	Skor Post-test	Peningkatan	Kenaikan Pemahaman
Dinda	60,0	100,0	+40,0	+33,3%
Alif	40,0	75,0	+35,0	+16,7%
Ilfi	90,0	100,0	+10,0	+8,3%
Zidan	20,0	66,7	+46,7	+16,7%
Sumber: Data Primer Penelitian.				

Zidan mencatatkan peningkatan skor tertinggi (+46,7 poin). Hal ini membuktikan bahwa visualisasi 3D dalam SketchUp membantu mahasiswa dengan kemampuan spasial rendah untuk memahami konsep dimensi secara lebih konkret dibandingkan gambar manual. Sementara bagi mahasiswa seperti Ilfi yang sudah memiliki dasar kuat, SketchUp memperkuat pemahaman mengenai hubungan antara presisi desain dengan aspek keselamatan kerja di lapangan.

3.2. Akurasi Digital sebagai Instrumen Mitigasi Limbah

Akurasi dalam desain digital memiliki dampak ekonomi dan ekologis yang langsung. Berdasarkan data industri, penggunaan CAD mampu menekan biaya produksi dan emisi karbon melalui beberapa mekanisme:
Pencegahan Over-ordering: SketchUp memungkinkan pembuatan material takeoff (daftar kebutuhan material) yang sangat presisi. Di sektor konstruksi dan manufaktur, ketidakakuratan desain manual seringkali menyumbang lebih dari 30% limbah di tempat pembuangan akhir; dengan model digital yang akurat, limbah ini dapat dikurangi hingga 60%.
Eliminasi Prototipe Fisik: Pembuatan prototipe tradisional seringkali menggunakan bahan non-organik seperti plastik ABS, akrilik, atau busa sintetis (uretan) yang sulit didaur ulang. Teknologi virtual twin (kembaran digital) dapat mengeliminasi hingga 70% kebutuhan prototipe fisik, yang secara otomatis mengurangi jejak material secara signifikan.
Optimasi Pemotongan (Nesting): Desain yang akurat memungkinkan optimasi tata letak komponen pada bahan baku, sehingga meminimalkan sisa potongan (scrap).

3.3. Analisis Hambatan Teknis: Tantangan Performa Perangkat

Penelitian ini mengidentifikasi hambatan teknis sebesar 78% di kalangan praktisi pemula. Hambatan ini secara spesifik terjadi dalam bentuk:
System Crash: Terjadi kegagalan aplikasi saat memproses model yang memiliki jumlah permukaan (patch) dan titik (vertex) yang sangat besar.
Keterbatasan Hardware: Mahasiswa seringkali terkendala oleh spesifikasi laptop yang tidak memadai untuk menjalankan render kompleks, yang menghambat kecepatan iterasi desain.
Adaptasi Antarmuka: Kesulitan awal dalam memahami shortcut dan fungsi tools spesifik.

Tantangan ini menunjukkan bahwa implementasi teknologi hijau melalui software memerlukan dukungan ekosistem infrastruktur yang kuat. Tanpa perangkat keras yang mumpuni, efisiensi yang dijanjikan oleh digital prototyping dapat terhambat oleh inefisiensi teknis operasional.

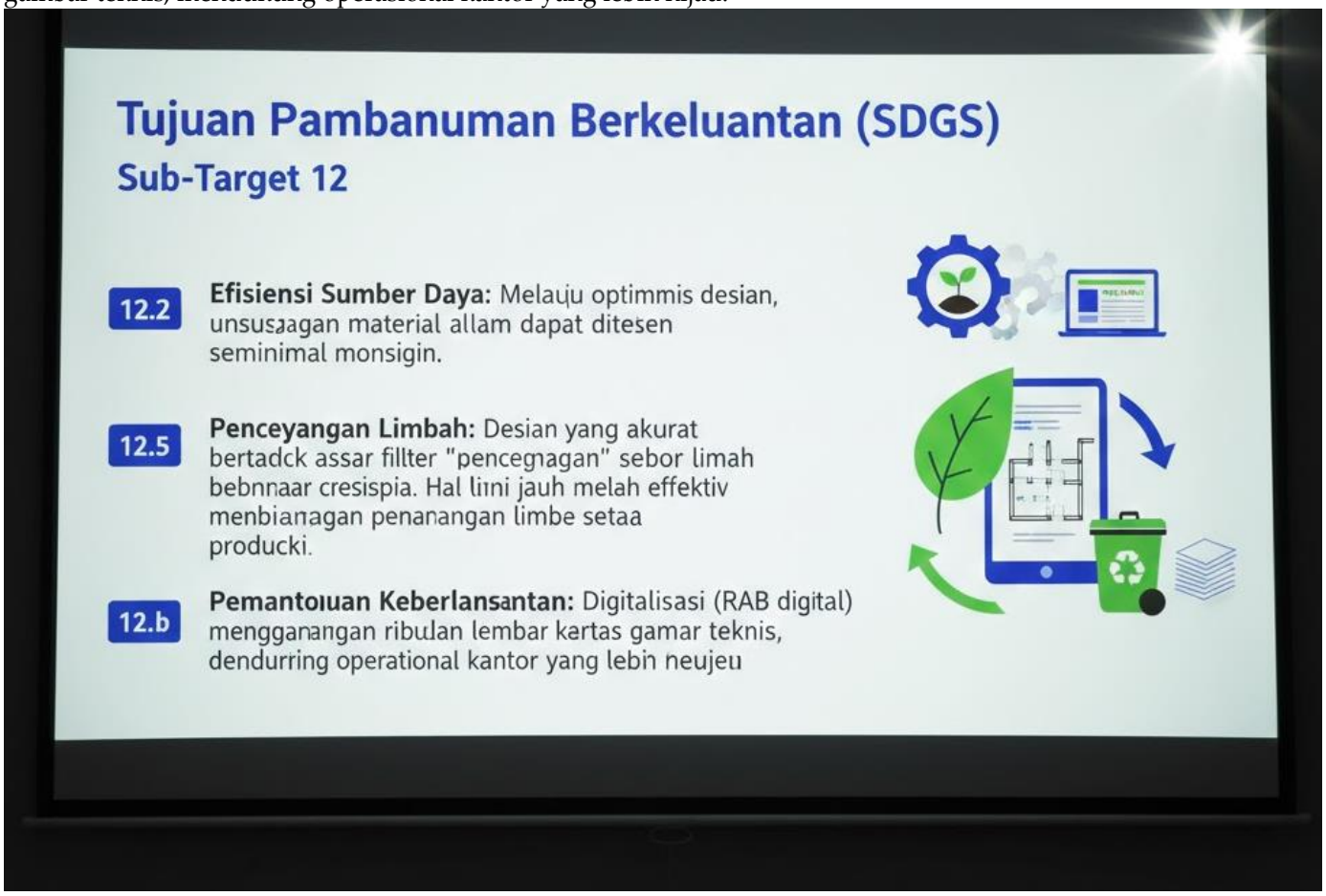
3.4. Integrasi dengan SDG 12: Konsumsi dan Produksi Bertanggung Jawab

Hasil penelitian ini selaras dengan target global Sustainable Development Goals 12. Fokus pada desain digital mendukung indikator-indikator berikut:

Target 12.2 (Efisiensi Sumber Daya): Melalui optimasi desain, penggunaan material alam dapat ditekan seminimal mungkin.

Target 12.5 (Pencegahan Limbah): Desain yang akurat bertindak sebagai filter "pencegahan" sebelum limbah benar-benar tercipta. Hal ini jauh lebih efektif dibandingkan penanganan limbah setelah produksi.

Target 12.b (Pemantauan Keberlanjutan): Digitalisasi dokumen (RAB digital) menggantikan ribuan lembar kertas gambar teknis, mendukung operasional kantor yang lebih hijau.



Gambar 2. target global Sustainable Development Goals 12

3.2. Mitigasi Limbah Melalui Akurasi Pemodelan

Dalam manufaktur tradisional, ketidakakuratan desain menyumbang lebih dari 30% limbah global di TPA. Dengan akurasi desain digital:

Optimalisasi Material: Perhitungan material (material takeoff) menjadi 100% berbasis data, mencegah pesanan berlebih (over-ordering).

Reduksi Rework: Kesalahan ditangkap di layar komputer, bukan di lantai produksi. Hal ini dapat mengurangi pengerjaan ulang yang membuang energi dan bahan.

Virtual Twin: Penggunaan virtual twin dapat mengeliminasi hingga 70% kebutuhan prototipe fisik.

3.3. Perbandingan Material Prototipe: Analisis Kimia Hijau

Sebagai bagian dari pembahasan mendalam, penelitian ini menyoroti pilihan material prototipe fisik yang seringkali tidak terelakkan dalam tahap akhir validasi.

Tabel 2: Perbandingan Material Prototipe (ABS vs PLA)

Karakteristik	Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	Polylactic Acid (PLA)	Dampak Keberlanjutan
Asal Bahan	Berbasis minyak bumi (fosil).	Berbasis pati tanaman (jagung/tebu).	PLA bersifat terbarukan (*renewable*).
Biodegradabilitas	Non-biodegradable; butuh ratusan tahun untuk terurai.	Biodegradable dalam kondisi pengomposan industri.	PLA mendukung siklus ekonomi sirkular.
Emisi Proses	Mengeluarkan uap beracun saat dipanaskan (VOC).	Emisi rendah; berbau manis seperti karamel.	PLA lebih aman bagi kesehatan kerja.
Efisiensi Energi	Titik leleh tinggi; konsumsi energi printer lebih besar.	Titik leleh rendah; lebih hemat energi.	Mendukung efisiensi energi industri (SDG 7).

Diskusi: Transisi dari ABS ke PLA dalam rapid prototyping yang dipandu oleh desain SketchUp yang akurat meminimalkan kegagalan cetak. Setiap kegagalan cetak pada material ABS menghasilkan limbah plastik non-organik yang sulit didaur ulang. Oleh karena itu, akurasi digital adalah syarat mutlak bagi keberhasilan implementasi material ramah lingkungan.

3.4. Analisis Hambatan Teknis (78%)

Penelitian ini menemukan bahwa 78% praktisi pemula mengalami hambatan teknis yang menghambat adopsi teknologi hijau ini. Hambatan tersebut meliputi:

- System Crash: Terjadi saat memproses model dengan jumlah permukaan (patch) dan titik (vertex) yang besar.
- Infrastruktur: Keterbatasan perangkat keras (laptop) mahasiswa Teknik Industri UNU Pasuruan sering menghambat proses rendering model kompleks.
- Kurva Belajar: Kesulitan dalam memahami shortcut dan pemodelan tingkat lanjut tanpa bimbingan intensif.

4. Kesimpulan

Berdasarkan 4.1. Sintesis Temuan

Penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan software SketchUp merupakan strategi vital dalam implementasi Teknologi Hijau di sektor manufaktur dan pengembangan produk. Akurasi desain digital yang dihasilkan terbukti menjadi faktor penentu utama dalam meminimalisir limbah material melalui pencegahan kesalahan produksi dan optimasi penggunaan bahan baku. Peningkatan kompetensi mahasiswa dalam penguasaan desain digital secara langsung berkontribusi pada pencapaian target SDG 12 mengenai konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab.

4.2. Implikasi Manajerial dan Pendidikan

Secara praktis, temuan ini memberikan dasar bagi institusi pendidikan dan industri untuk:
Memprioritaskan Digital-First Prototyping: Mengurangi ketergantungan pada model fisik demi menekan timbulan limbah plastik dan busa sintetis.
Investasi Infrastruktur: Mengatasi hambatan teknis 78% dengan penyediaan fasilitas komputasi yang memadai untuk mendukung simulasi desain yang lebih kompleks.

PENYELARASAN AKURASI….

Kurikulum Berbasis Keberlanjutan: Mengintegrasikan parameter "efisiensi material" sebagai standar kelulusan dalam tugas gambar teknik, di samping aspek estetika dan fungsi.

Masa depan industri hijau sangat bergantung pada presisi di layar komputer hari ini. Dengan mengoptimalkan setiap garis dan koordinat secara digital, industri dapat menghasilkan nilai ekonomi yang lebih tinggi dengan beban ekologis yang jauh lebih rendah bagi planet bumi.

5. Referensi

Jurnal Perkuliahan Teknik Industri 2022 Ganjil Universitas Krisnadwipayana, Mata Kuliah Menggambar Teknik & CAD Https://Repository.

Shubhan Alfajri[1], Irma Novrianty Nasution2 Unimed Aplikasi Menggambar Teknik Bangunan Dengan Menggunakan Metode Manual Dan Digital, Jurnal Education Buuilding Volume 2, Nomor 1, Juni 2016: 30-40, ISSN: 2477-4898 Https://Www.Researchgate.Net/Profile/

Erna Budiarti, Rani Darmayanti, And Samuel Karim, 1Jurnal Inovasi Teknologi Berkelanjutan Vol. 6 (1). 1-14 (2026) Doi: Https://Doi.Org/10.55757/Ekliptika.

Risma Dwi Atmajayani[1], Jurnal R Iset Dan Konseptual Volume 3 Nomor 2, Mei 2018 Https://Jurnal.Unublitar.Ac.Id/Index.Php/Briliant/Article/View/174

Lamtiur Harianja, Penerapan Media 3D Sketchup pada Model Pembelajaran Langsung Mata Pelajaran Menggambar dengan Perangkat Lunak di SMK Negeri 2 Medan, November 2021, JPTS, Vol. III No. 2, November 2021 https://www.researchgate.net/

Sugeng Waluya, Pengaruh Media Pembelajaran Menggunakan Progam Sketchup Terhadap Kemampuan Menggambar, Proyeksi Ortogonal Siswa Di Smk Negeri 2 Surabaya, Published 2015-07-28, Vol. 1 No. 2 (2015) https://ejournal.unesa.ac.id/

Kamiruriansah, Penerapan Media Pembelajaran Jobsheet Pada Mata Pelajaran Gambar Konstruksi Bangunan Pada Siswa Kelas Xi Tgb Di Smkn 2 Surabaya, Published 2017-05-05, Vol. 3 No. 1 (2017) Https://Ejournal.Unesa.Ac.Id/Index.Php

Rohmatul A Ini Kusnan, Jurnal Penerapan Media Sketchup Dengan Model Pembelajaran Langsung Pada Kompetensi Dasar Menerapkan Prosedur Pembuatan Gambar Detail Konstruksi Jembatan Di Smk, Published 2019-11-20, Vol. 5 No. 2 (2019) Https://Ejournal.Unesa.Ac.Id/Index.Php

Tengku Ahmad Fauzansyah, Roly Edyan, Muhammad Hakiki, JUWARA: Jurnal Wawasan dan Aksara Vol. 5 No. 1 (2025) https://jurnal.smpharapanananda.sch.id/index.php/juwara/article/view