

Penerapan *Green & Smart Learning* dengan Simulator Las di SMKN 68 Jakarta

Indra Rizky Ramadhan*, Putra Darmawan, Bagus Ilyas Ramadhan, Sarjono, Suhaeri

Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, Jakarta

*Koresponding email penulis: indrarizkyramadhan30@gmail.com

Abstrak

Konsep 5R (*Reduce, Reuse, Recycle, Replace, Repurpose*) pada *Green Manufacturing* bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas serta menciptakan keberlanjutan yang ramah terhadap lingkungan. Pada proses pembelajaran praktik pengelasan di Workshop Teknik Pengelasan SMKN 68 Jakarta, ditemukan metode pembelajaran saat ini menyebabkan pemborosan material, konsumsi energi listrik yang tinggi, serta polusi yang signifikan. Pemborosan paling besar terjadi pada proses pembelajaran praktik kelas sepuluh dan sebelas di pekerjaan pengenalan pengelasan. Setiap tahunnya workshop pengelasan memerlukan penggunaan bahan praktik mencapai 7320 kg baja dan konsumsi listrik yang mencapai 25.380,9 kWh per bulan. Tujuan dari penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan penggunaan simulator las dengan teknologi *Augmented Reality (AR)* untuk penerapan 5R dengan konsep *Green and Smart Learning*. Data diperoleh dengan wawancara, observasi langsung serta dokumentasi kondisi saat ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan simulator las berbasis *Augmented Reality (AR)* dapat menggantikan mesin las konvensional untuk tahap pengenalan pengelasan. Penerapan simulator ini ditargetkan dapat mengurangi penggunaan material praktik dari 7320 kg menjadi 4170 kg per tahun, menurunkan konsumsi listrik dari 25.380,9 kWh menjadi 16.256,7 kWh per bulan, serta mengurangi polusi asap. Penerapan *Green & Smart Learning* dengan penggantian mesin las konvensional dengan simulator las berbasis AR dapat mendukung konsep pembelajaran yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, Efisiensi, *Green Manufacturing*, Keberlanjutan, Konsep 5R

Abstract

The 5R concept (*Reduce, Reuse, Recycle, Replace, Repurpose*) in *Green Manufacturing* aims to enhance efficiency, effectiveness, and environmental sustainability. In the welding practice sessions at the Welding Engineering Workshop of SMKN 68 Jakarta, current teaching methods result in material wastage, high electrical energy consumption, and significant pollution. The most substantial waste occurs during welding introduction practices for tenth and eleventh-grade students. Annually, the welding workshop requires 7320 kg of practice materials and consumes 25380.9 kWh of electricity per month. This study aims to propose the use of welding simulators with *Augmented Reality (AR)* technology to implement the 5R principles within the *Green and Smart Learning* concept. Data were obtained through interviews, direct observation, and documentation of current conditions. The research findings indicate that AR-based welding simulators can replace conventional welding machines during the introductory welding phase. The implementation of these simulators is expected to reduce practice material usage from 7320 kg to 4170 kg per year, decrease electricity consumption from 25380.9 kWh to 16256.7 kWh per month, and reduce smoke pollution. The replacement of conventional welding machines with AR-based welding simulators can support environmentally friendly and sustainable learning process.

Keywords: *Augmented Reality*, Efficiency, *Green Manufacturing*, Sustainability, The 5R Concept

1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap dampak lingkungan dan keberlanjutan telah meningkat di seluruh dunia. Masyarakat global telah sadar pentingnya memperhatikan dampak lingkungan dan keberlanjutan yang tertuang dalam *Sustainable Development Goals (SDGs)* yang menjadi cetak biru dalam menjalankan kehidupan yang berkelanjutan. Konsep berkelanjutan



mencerminkan penggunaan sumber daya yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Tujuan ini tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan saat ini, tetapi juga memastikan bahwa generasi mendatang memiliki kemampuan yang sama untuk memenuhi kebutuhan mereka (Kustanti, 2023) Penerapan dari keberlanjutan telah dilakukan di beberapa sektor khususnya sektor industri. Namun, sektor pendidikan masih jauh dari kata optimal dalam menerapkan konsep ramah lingkungan dan keberlanjutan. Termasuk pendidikan menengah kejuruan yang memegang peran penting dalam menciptakan angkatan kerja yang kompeten dan siap menghadapi tantangan global, sering kali tertinggal dalam penerapan praktik-praktik ramah lingkungan. Banyak sekolah dan institusi pendidikan masih menggunakan metode pembelajaran tradisional yang tidak hanya kurang efisien dari segi biaya, tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan terutama pemborosan pada sumber energi.

Selama ini, penerapan pembelajaran praktik pada konsentrasi keahlian teknik pengelasan yang dilakukan di SMK Negeri 68 Jakarta masih jauh dari kata efisien dan juga ramah lingkungan. Proses praktik yang dilakukan peserta didik masih bersifat *trial and error* dalam menggunakan mesin las. Peserta didik yang diberikan *jobsheet* yang terdiri dari beberapa tingkatan level yang harus diselesaikan oleh seluruh peserta didik. Peserta didik akan melakukan praktik pengelasan di *workshop* dengan mesin las secara langsung berdasarkan pada proses pengelasan dan tingkatan yang tertera pada petunjuk kerja di *jobsheet* yang mereka dapat. Terdapat 6 kelas yang melakukan pembelajaran praktik di *workshop* teknik pengelasan SMKN 68 Jakarta. Dengan perincian rata-rata jumlah peserta didik di atas 33 siswa per kelasnya, maka sekolah harus melakukan persiapan bahan material yang cukup besar untuk mengakomodasi bahan praktik peserta didik.

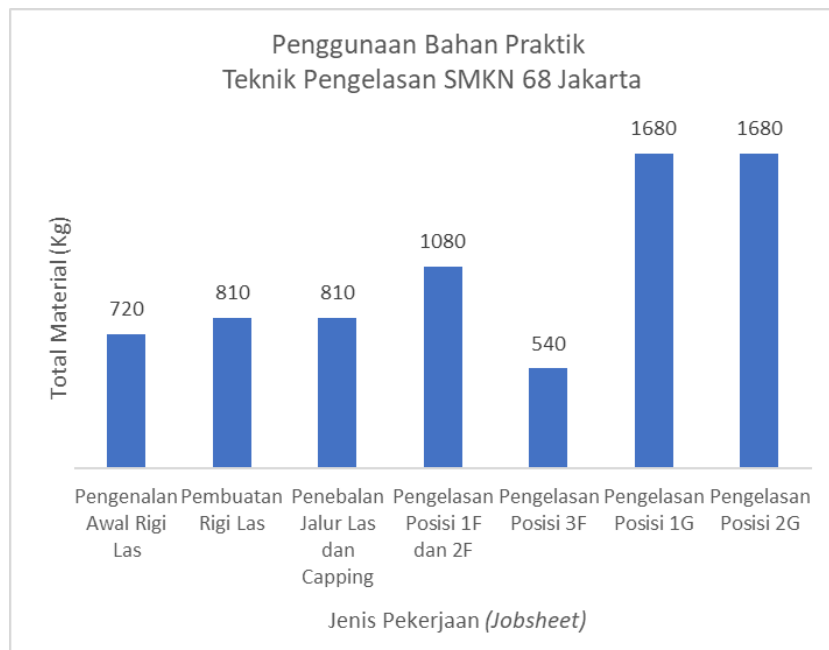
Tabel 1. Jumlah Peserta Didik Konsentrasi Keahlian Teknik Pengelasan (TP)

No	Kelas	Jumlah Siswa
1	X TP 1	34
2	X TP 2	36
3	XI TP 1	35
4	XI TP 2	33
5	XII TP 1	33
6	XII TP 2	35
Total		207

Sumber: Data Kurikulum SMKN 68 Jakarta

Terdapat beberapa capaian pembelajaran yang harus dicapai oleh peserta didik teknik pengelasan agar dapat kompeten dibidang pengelasan. Guru telah membagi capaian pembelajarn tersebut ke dalam beberapa *jobsheet* yang nantinya akan dikerjakan oleh peserta didik. Untuk peserta didik kelas sepuluh (X TP1 dan X TP2) hanya ada 1 *jobsheet* yang akan dikerjakan yaitu Pengenalan Awal Rigi Las. Selanjutnya untuk kelas sebelas (XI TP 1 dan XI TP 2) terdapat tiga *jobsheet* utama yang terdiri dari Pembuatan Rigi Las, Penebalan Jalur Las Dan Capping, Pengelasan Posisi 1F Dan 2F Serta Pengelasan Posisi 3F. Untuk kelas dua belas (XII TP 1 dan XII TP 2) terdapat 2 *jobsheet* yaitu Pengelasan Posisi 1G Dan 2G. Setiap pekerjaan memerlukan bahan praktik yang akan diberikan kepada sleuruh peserta didik. Total bahan praktik yang harus dipersiapkan oleh pihak sekolah setiap tahun ajaran baru yaitu sekitar 7320 kg baja karbon (*carbon steel*) untuk *workshop* teknik pengelasan.

Dalam poses pengelasan, terdapat pula bahan habis pakai (*consumable*) yang dipakai selama proses berlangsung (Gambar 1). Kegiatan praktik secara langsung dengan mesin las khususnya untuk kelas rendah, yaitu kelas sepuluh dan sebelas masih belum optimal. Peserta didik akan lebih banyak menghabiskan bahan dan *consumable* dengan cepat. Pemantauan dan juga arahan dari guru tentunya kurang optimal mengingat hanya ada satu guru di setiap proses praktik untuk setiap kelasnya. Terdapat pemborosan-pemborosan yang dapat terjadi dalam pembelajaran praktik pada kelas sepuluh dan sebelas. Kegiatan praktik menjadi tidak efisien pula dalam penggunaan energi, karena waktu mesin menyala untuk proses las menjadi cukup panjang dan memakan daya listrik yang besar (Tabel 1). Hal ini tentunya tidak hanya membebani pengeluaran sekolah tetapi juga berdampak buruk terhadap lingkungan akibat peningkatan emisi karbon.



Gambar 1. Peggunaan bahan praktik di Teknik Pengelasan SMKN 68 Jakarta
 Sumber : *Workshop* Teknik Pengelasan SMKN 68 Jakarta

Tabel 2. Perkiraan Peggunaan Listrik Workshop Selama Satu Bulan

No	Jenis Mesin	Waktu Menyala (5 Hari Kerja)	Jumlah Mesin	Peggunaan Listrik (kWh per Bulan)
1	SMAW Inverter DC 500A 3 Phase	8 Jam per hari	10	16751,3 kWh
2	MIG/MAG (GMAW) 500A 3 Phase	8 Jam per hari	4	7106,6 kWh
3	TIG (GTAW) 350A 3 Phase	4 Jam per hari	4	1522,8 kWh
Total Peggunaan Listrik Per Bulan				25380,9 kWh

Sumber: *Workshop* Teknik Pengelasan SMKN 68 Jakarta

Proses pengelasan yang dilakukan menghasilkan polusi asap yang cukup signifikan dari proses las tersebut. Polusi ini juga tidak hanya berdampak pada lingkungan sekitar, tetapi juga berpotensi mengganggu kesehatan peserta didik dan guru yang terlibat dalam proses tersebut dalam waktu yang lama. Terakhir, selama proses praktik pengelasan, terjadi penumpukan limbah sisa yang tidak terkelola dengan baik, mengakibatkan lingkungan belajar yang tidak bersih dan menciptakan risiko keselamatan bagi peserta didik dan guru di dalam *workshop*.

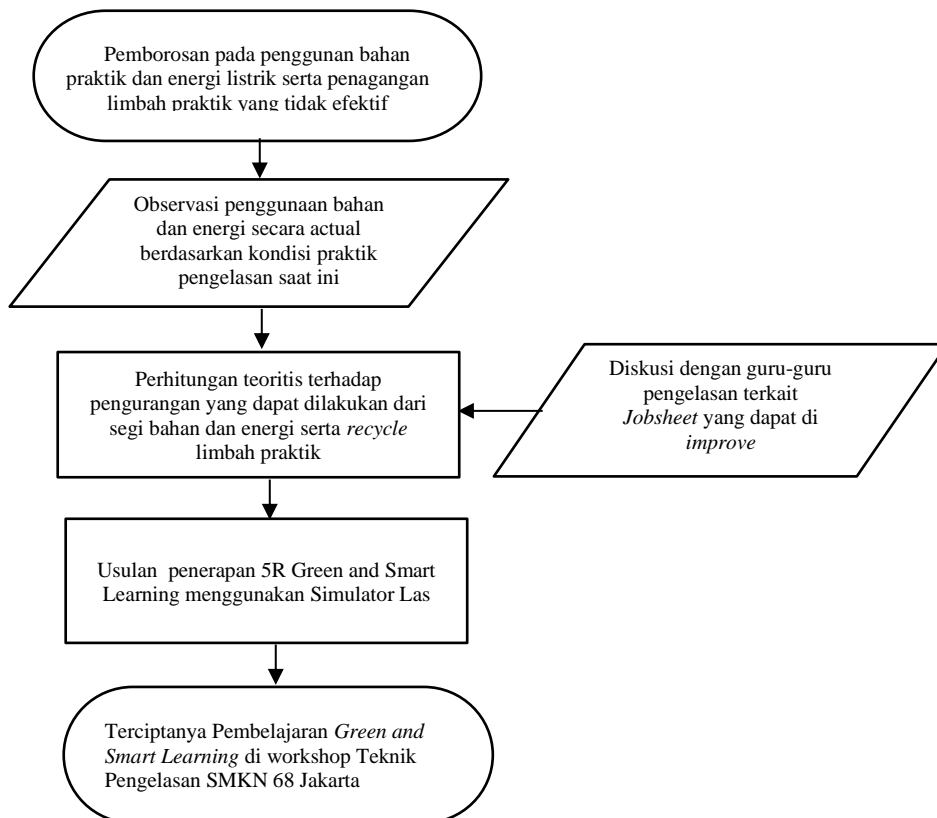
Dilihat dari permasalahan yang terjadi di *workshop* teknik pengelasan yang ternyata masih jauh dari pendekatan berkelanjutan yang ramah lingkungan, maka penelitian ini ditujukan untuk melakukan analisa penerapan usulan yang tepat terhadap masalah tersebut. Poin utama yang harus diselesaikan dengan usulan tersebut adalah untuk melakukan pengurangan (*Reduction*) yang besar terhadap pembelian bahan yang akan berpengaruh kepada *cost* dari bahan praktik. Serta tentunya dalam penerapan pembelajaran keberlanjutan, usulan penerapan tersebut harus mampu mengurangi penggunaan energi listrik yang besar dari penggunaan mesin las konvensional di *workshop* tersebut. Pengurangan pada *cost and energy* dari proses pembelajaran praktik di *workshop* teknik pengelasan SMK 68 Jakarta menjadi tujuan utama dari penelitian ini. Perlunya tujuan tersebut tercapai sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses praktik pengelasan di SMKN 68 Jakarta, yang akan memberikan dampak positif terhadap hasil pembelajaran siswa dan lingkungan serta pengelolaan sumber daya sekolah secara keseluruhan.

2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan untuk memberikan saran terhadap SMKN 68 Jakarta guna mempelajari secara mendalam optimalisasi usulan penerapan *green and smart learning* dalam perbaikan penugasan siswa dalam rangka mengurangi kerugian dan pemborosan bahan praktik, pemborosan pada energi serta polusi yang terjadi pada proses praktik peserta didik. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi saat ini (*current condition*) yang terjadi dalam praktik pengelasan yang berlangsung di *workshop* teknik pengelasan SMKN 68 Jakarta. Kerangka berpikir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Data dikumpulkan melalui teknik sebagai berikut :

- Wawancara terhadap guru dan siswa.
- Observasi praktik pengelasan secara langsung di *workshop* teknik pengelasan.
- Dokumentasi terhadap data-data aktual.



Gambar 2. Kerangka berpikir penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dan dokumentasi terhadap data-data aktual yang ada di lapangan. Data sekunder diperoleh melalui wawancara. Data primer yang dikumpulkan meliputi data penggunaan bahan praktik selama satu tahun pelajaran, data perkiraan konsumsi listrik *workshop* selama satu bulan, data jumlah peserta didik dan jumlah mesin las yang dapat digunakan serta jadwal penggunaan *workshop*.

Metode yang akan diusulkan untuk digunakan dalam penelitian ini adalah konsep 5R (*Reduce, Reuse, Recycle, Replace, Repurpose*) pada *green manufacturing*. Metode 5R adalah serangkaian prinsip yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan melalui penggunaan sumber daya yang lebih efisien. Tahap pertama adalah pemahaman terhadap fenomena yang terjadi, sektor apa saja yang dapat diperbaiki agar konsep 5R tersebut dapat berjalan. Keberhasilan dari penerapan konsep 5R ini adalah terciptanya sebuah usulan pembelajaran praktik yang dapat disebut sebagai *Green and Smart Learning* serta tercapainya *cost dan energy reduction* yang signifikan.

3. Analisis Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Hasil

1. Penerapan 5R (*Reduce, Reuse, Recycle, Replace, Repurpose*)

Hasil dari pengumpulan data didapati beberapa aspek yang harus diperbaiki dalam proses pembelajaran praktik pengelasan sesuai dengan konsep 5R agar tercapainya kondisi *Green and Smart Learning*. Aspek yang harus diperbaiki yaitu sebagai berikut :

➤ *Reduce*

Harus adanya tindakan untuk melakukan pengurangan pemakaian dari bahan praktik, konsumsi energi listrik dan juga polusi dari hasil pengelasan. Terutama praktik pengelasan yang dilakukan terkait pengenalan proses pengelasan pada kelas sepuluh dan sebelas. Berdasarkan observasi, terdapat pemborosan yang signifikan terhadap bahan praktik pengenalan pengelasan. Bahan yang diberikan, energi yang digunakan untuk menyalakan mesin las serta asap polusi yang dihasilkan tidak menunjukkan hasil yang positif pada penguasaan kompetensi peserta didik.

➤ *Reuse*

Penggunaan kembali dari beberapa plat besi sisa praktik kelas dua belas, khususnya pada praktik pengelasan posisi 1G dan 2G dapat dimanfaatkan kembali. Plat tersebut dapat dipotong untuk digunakan sebagai bahan latihan praktik kelas dibawahnya. Penggunaan kembali bahan praktik tersebut tentunya dapat mengurangi jumlah pembelian bahan praktik baru.

➤ *Recycle*

Limbah besi hasil praktik pengelasan ternyata masih dapat digunakan untuk keperluan lain dalam proses pengelasan. Limbah-limbah tersebut selama ini hanya menumpuk di tempat sampah khusus besi untuk nantinya dijadikan besi tua. Penggunaan kembali (*recycle*) limbah besi tersebut dapat dilakukan seperti memotongnya untuk dijadikan bahan baku dalam mata pelajaran kewirausahaan.

➤ *Replace*

Praktik pengelasan untuk kelas rendah yang menggunakan mesin las konvensional telah dinilai tidak efisien dan efektif dalam meningkatkan kompetensi peserta didik. Penggunaan mesin las konvensional dapat digantikan (*replace*) dengan simulator las yang menggunakan *Augmented Reality* (AR). Karena teknologi yang ditawarkan khususnya untuk tahap pengenalan awal pengelasan sudah dapat digantikan dengan simulator las tersebut. Pergantian dari mesin konvensional ke simulator las tentunya akan memiliki dampak yang signifikan terhadap penggunaan bahan praktik, konsumsi daya listrik dan polusi asap yang dihasilkan.

➤ *Repurpose*

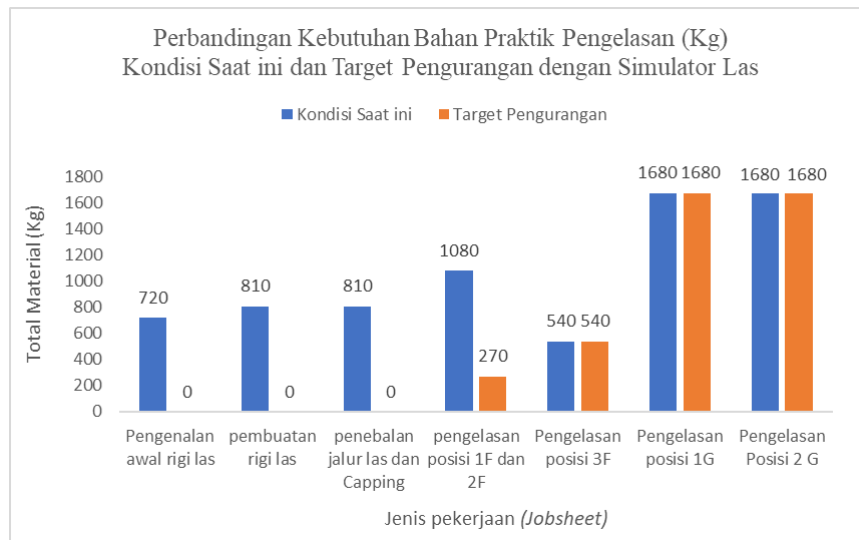
Setelah terjadinya pergantian mesin las konvensional dengan simulator las berbasis AR, maka akan terjadi *reduction* yang signifikan dari *cost* dan juga *energy*. Sumber daya sekolah yang tadinya difokuskan untuk pengadaan bahan praktik dan konsumsi listrik di workshop, dapat digunakan untuk peningkatan kualitas sekolah diberbagai bidang lainnya.

2. Usulan Perbaikan

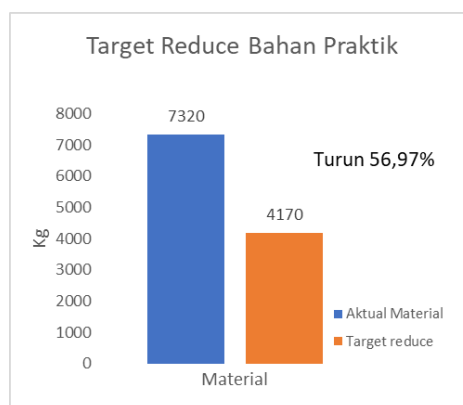
Setelah melakukan analisa terhadap faktor 5R yang dapat diterapkan di workshop pengelasan, maka usulan yang paling tepat yaitu melakukan pergantian sarana pembelajaran praktik pengenalan pengelasan dari mesin las konvensional menjadi simulator las berteknologi AR. Pergantian ini ditujukan untuk melakukan penghematan pada praktik tahap pengenalan. Pada jobsheet tahap pengenalan, simulator las yang diusulkan sudah dapat menggantikan mesin las konvensional. Dengan penggunaan simulator las tersebut, maka konsep 5R yang dikemukakan di awal dapat tercapai. Terjadi penurunan atau penghematan yang signifikan dalam pemakaian bahan praktik pengelasan.

Penggunaan simulator akan mengeliminasi beban pembelian bahan praktik dari jobsheet pengenalan awal rigi las, pembuatan rigi las, penebalan jalur las dan capping hingga nol (0). Serta memangkas jumlah bahan praktik pengelasan posisi 1F dan 2F karena ditambah pula dengan penerapan *recycle* pada limbah material bekas pakai jobsheet posisi 1G dan 2G. Sebelum adanya simulator las, jumlah material pengelasan yang digunakan mencapai 7320 kg. Namun, setelah penggunaan simulator las, jumlah tersebut berhasil turun (*reduce*) drastis menjadi hanya 4170 kg. Penurunan yang signifikan ini

menunjukkan efektivitas dan efisiensi dari usulan penggunaan simulator las dengan teknologi AR dalam penggunaan bahan praktik. Tingkat reduce yang dicapai adalah 56,79 %, melebihi setengah dari jumlah bahan praktik sebelumnya. Data ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan kebutuhan bahan praktik kondisi saat ini dan target pengurangan
 Sumber : Pengolahan data



Gambar 4. Target penurunan jumlah bahan praktik dengan penggunaan simulator las
 Sumber : Pengolahan data

Penurunan jumlah bahan praktik ini tentunya menunjukkan komitmen yang baik dalam pengelolaan material yang berkelanjutan (Gambar 4). Perbaikan dalam penggunaan material ini berhubungan juga dengan penghematan lain di sektor energi yaitu konsumsi daya listrik yang digunakan. Waktu penggunaan mesin las konvensional akan berkurang secara signifikan karena proses pembelajaran akan dialihkan menggunakan simulator las. Berkurangnya waktu penggunaan mesin las konvensional ini akan berdampak dengan berkurangnya penggunaan daya listrik yang pada akhirnya bisa digunakan (*reuse*) untuk kebutuhan lainnya. Daya listrik mengalami penurunan karena terdapat sepuluh unit mesin las konvensional SMAW yang digunakan untuk praktik dengan *jobsheet* pengenalan pengelasan hingga pengelasan posisi 1F dan 2F yang digantikan dengan mesin simulator las yang diusulkan. Kondisi sekarang dengan penggunaan mesin las konvensional maka didapatkan data penggunaan daya listrik setiap bulannya mencapai 25380,9 kWh per bulan. Dengan penggunaan simulator las, maka penggunaan daya listrik akan turun menjadi 16256,7 kWh setiap bulannya, atau terjadi penurunan sekitar 36% dari kondisi sekarang. Data ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Target penurunan pemakaian daya dengan penggunaan simulator las
 Sumber : Pengolahan data

Dengan menerapkan usulan penggunaan simulator las, proses pembelajaran yang terjadi akan mengalami perubahan yang mengarah menuju efisiensi dan efektifitas, khususnya dengan target pengurangan bahan praktik dan daya listrik. Berikut adalah aliran proses sebelum dan sesudah pelaksanaan usulandapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

A. Proses pembelajaran kondisi saat ini (menggunakan mesin las konvensional)



Gambar 6. Proses pembelajaran saat ini

B. Proses pembelajaran dengan penerapan 5R Green and Smart Learning (dengan simulator las)



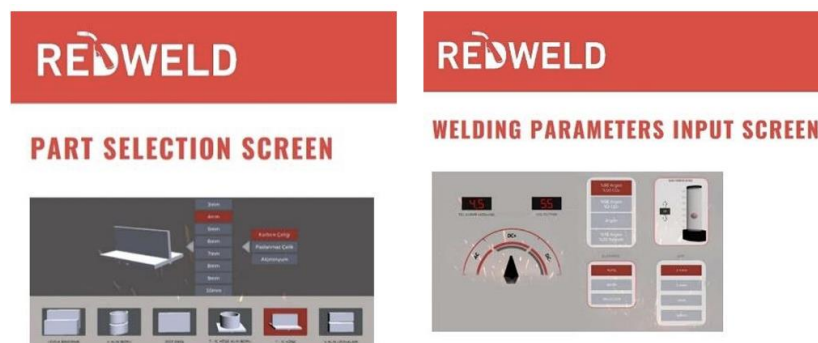
Gambar 7. Proses pembelajaran saat ini

Melalui peta aliran diatas, terjadinya pengurangan langkah pembelajaran yang bertujuan untuk terciptanya pemebelajaran praktik yang lebih efisien tanpa mengurangi kompetensi yang diharapkan dari peserta didik. Penggunaan simulator las tersebut dapat menjawab penerapan 5R *Green and Smart Learning* di *workshop* pengelasan SMKN 68 Jakarta dalam rangka menciptakan pembelajaran yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Simulator las yang diusulkan adalah simulator las dengan teknologi *Augmented Reality* (AR) yang dilengkapi dengan berbagai sensor dan memiliki *handling* yang sama dan sesuai dengan mesin las konvensional lainnya (Papakostas, 2022). Dengan menggunakan teknologi *Augmentend Reality* (AR) serta dilengkapi dengan berbagai sensor, simulator ini dapat bekerja selayaknya mesin las konvensional (Gambar 8). Dapat memberikan *output* berupa nilai dan dapat diverifikasi oleh guru.

Hasil pengelasan dapat terpantau langsung serta memberikan efek *handling* yang sama dengan mesin konvensional sehingga tidak akan mengurangi efektifitas dari pembelajaran serta skill dari peserta didik. Parameter simulator ini tentunya sudah sesuai dengan standar yang diberikan oleh *American Welding Society* (AWS) sehingga dapat dipastikan hasil dari dari output penggunaan dapat dipercaya oleh guru selaku instruktur (Gambar 9). Selain itu, konsumsi listrik dari simulator las ini jauh lebih minim dibanding dengan mesin las konvensional.



Gambar 8. Penggunaan Simulator Las Yang Diusulkan
Sumber : Soldamatic Weld Simulator



Gambar 9. Parameter Las Dan Sistem Kendali Dari Simulator Las Yang Diusulkan
Sumber : Redweld Welding Simulator

3.2. Pembahasan

Penerapan pembelajaran dengan penerapan *5R Green and Smart Learning* dengan menggunakan simulator las dapat menjadi jawaban terkait kurangnya kontribusi dunia pendidikan dalam penerapan kehidupan berkelanjutan dan ramah lingkungan seperti yang dicanangkan dalam SDGs dari PBB. Banyak faktor yang sebenarnya bisa dilakukan perbaikan terutama dalam mengurangi pengeluaran. Mengurangi polusi dan juga menciptakan sistem keberlanjutan. Tetapi masih kurangnya kesadaran dari pemangku kepentingan dalam hal tersebut, karena kurangnya pengawasan dan dorongan dari pemerintah terhadap penerapan green manufacturing di tingkat pendidikan menengah (Mutawakil Husaini, 2023). Penguasaan yang baik terhadap pembelajaran keberlanjutan dan ramah lingkungan harus ditanamkan dari tingkat pendidikan menengah, khususnya pendidikan kejuruan menengah (SMK). Karena dalam menciptakan angkatan kerja, peserta didik selain diarahkan agar memiliki kompetensi yang mumpuni dan sesuai standar industri, tetapi harus memiliki pemikiran yang berkelanjutan.

Penerapan usulan simulasi las ini diharapkan dapat menjadi titik balik bagi stakeholder terkait agar lebih memfokuskan diri pada penerapan pembelajaran keberlanjutan dan ramah lingkungan. Target secara teoritis telah menunjukkan pengurangan (*reduce*) yang besar dari segi pembelian bahan praktik dan penggunaan daya listrik. Pengurangan ini pun dapat diperbesar lagi dengan pengolahan limbah praktik pengelasan kelas dua belas yang diolah kembali (*recycle dan reuse*) menjadi bahan praktik kelas dibawahnya. Dana operasional yang tadinya digunakan untuk pembayaran listrik dan juga pembelian bahan, dapat dialihkan untuk operasional lainnya untuk meningkatkan kualitas pembelajaran secara umum (*repurpose*). Penggunaan simulator las menggantikan (*replace*) mesin las konvensional yang mengurangi waktu menyala mesin konvensional maka mengurangi pula asap polusi yang dihasilkan mesin tersebut. Pengurangan tersebut tentunya berdampak pada berkurangnya efek polusi terhadap lingkungan sekitar.

Tetapi, dalam penggunaan simulator las ini tentunya dibutuhkan investasi dengan nilai yang tidak sedikit. Jika berbicara jangka panjang serta efeknya terhadap lingkungan, investasi yang besar tentunya tidak akan menjadi masalah jika pemahaman terhadap kehidupan keberlanjutan telah dipahami secara luas. Serta faktor dari perawatan dan after sales yang menjadi pertimbangan dalam pembelian simulator tersebut. Karena masih termasuk dalam teknologi baru dan kompleks dengan berbagai macam sensornya.

4. Kesimpulan dan Saran

Penggunaan simulator las berteknologi *Augmentend Reality* (AR) dapat digunakan sebagai media atau alat utama dalam penerapan 5R *Green and Smart Learning*. Karena dalam target perbaikan yang dicapai secara perhitungan teori terdapat pengurangan yang signifikan dalam mengurangi material bahan praktik, mengurangi konsumsi energi listrik serta mengurangi polusi yang dihasilkan dari proses pengelasan konvensional pada level pengenalan pengelasan untuk kelas rendah. Perubahan tersebut jika diterapkan di workshop teknik pengelasan SMKN 68 Jakarta tentunya dapat memberikan efek yang besar terhadap proses pembelajaran yang ramah lingkungan, dengan konsep keberlanjutan dengan pemanfaatan teknologi terkini.

Masih diperlukan beberapa penelitian lebih lanjut terkait penerapan pembelajaran dengan konsep keberlanjutan secara luas di bidang pendidikan. Selain itu, perlunya pendalaman terkait sektor-sektor yang dapat diperbaiki melalui pendekatan *green manufacturing* di dalam dunia SMK, karena keterkaitannya dengan kondisi dunia industri. Perkembangan *green manufacturing* di dunia industri harus dapat diterapkan minimal dalam skala kecil agar angkatan kerja yang dibentuk di SMK nantinya sudah siap akan pemikiran dan konsep kehidupan ramah lingkungan dan keberlanjutan di dunia kerja nantinya.

Daftar Pustaka

- Bocevaska, A. (2016). Implementation of Augmented Realityini CAD Design. *Journal of emerging Research and Solution*, 26-31.
- F.N. Rusli, A. Z. (2019). A Study of students motivation in using the moblie arc welding learning app. *International Journal Interact Mob. Technol.*, 89-105.
- Fangming, Y. (2019). Real Time Construction of 3D Welding Torch in Virtual Space for Welding Training Simulator. *International Journal Engineering and Manufacturing*, 34-45.
- Filya, N. P. (2023). Penerapan Green Businness pada toko ritel dalam upaya mengurangi pencemaran lingkungan. *Synergy Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 19-25.
- Firdaus, H. J. (2019). Development of Learnng Modules Manual Shield Metal Arc Welding (SMAW) with Service Learning Approach. *International Reaserch Journal of Advanced Engineering and Science*, 247-251.
- Ismail, M. M. (2021). VR Welding Kit: Welding Training Simulation in Mobile Virtual Reality using Multiple Tracking Method. *Journal of Advanced Computing Technology and Application (JACTA)*, 1-8.
- Kustanti, E. H., Roshayanti, F., Khoiri, N., & Siswanto, J. (2023). Potensi Penerapan Education for Sustainable Development (ESD) dalam pembelajaran Teknologi Ramah Lingkungan di SMP Negeri 2 Selopampang. *Jurnal Pendidikan dan Profesi Pendidikan*, 59-65.
- Mutawakil Husaini, Q. R. (2023). Sustainable Development as the basis for environmental education in developing green school. *Ilmuna:Jurnal Studi Pendidikan Agama*, 92-111.
- Nasution, N. P. (2020). Validitas Perangkat Pembelajaran Berbasis Education for Sustainable Development pada Mata Pelajaran IPS Di Sekolah Menengah Pertama. *The Indonesian Journal of Social Studies*, 13-20.
- Papakostas, C. T. (2022). User Acceptance of Augmented Reality Welding Simulator in Engineering Training. *Educ inf Techno*, 791-817.

- Purnomo, T. D. (2024). The Innovation of Welding Virlab Apps for Prepracticum Students to Improve Learning Experience. *Educational Administration: Theory and Practice*, 6674-6683.
- Purwanto, S., Wuryandari, N. E., & Hasana, R. A. (2024). Plastic Recycle in Circular Economy: Economic & Enviromental Improvement. *International Journal of Economic Literature (INJOLE)*, 1571-1581.
- Rachman, T. (2023). Application of Environmentally Friendly Technology in the Welding Process. *Collaborate Engineering Daily Book Series*, 92-99.
- Segara, N. (2015). Education for Sustainable Development (ESD) sebuah upaya mewujudkan kelestarian lingkungan . *Sosio-Didaktika: Social Science Education Journal*, 22-30.
- Shankhwar, K. C. (2022). A Visuo Haptic Extended Reality-based training system for hands-on manual metal arcc welding training. *International Journal Adv Manuf Technol*, 249-265.