

INDUSTRI 4.0 DAN KESIAPAN SDM TEKNIK ELEKTRONIKA DALAM KONTEKS SDG 9: *INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE*

Annastasya Yuniar Pratiwi¹

¹Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

Jalan R.Mangun Muka Raya, Jakarta Timur, DKI Jakarta, Indonesia

^{1*} annastasya.yuniar.pratiwi@mhs.unj.ac.id

Artikel Info

Artikel History:

Received Jun 18, 2025

Revised Jun 19, 2025

Accepted Jun 20, 2025

Keywords:

Industri 4.0

SDM Teknik Elektronika

SDG 9

Kompetensi Digital

Reskilling

ABSTRAK

Revolusi Industri 4.0 telah membawa perubahan besar di sektor manufaktur dan teknologi, menimbulkan tantangan dalam menyiapkan SDM yang kompeten. Penelitian ini mengeksplorasi kesiapan SDM teknik elektronika dalam menghadapi era Industri 4.0 serta kontribusinya terhadap pencapaian SDG 9 (industri, inovasi, dan infrastruktur). Dengan metode *literature review* sistematis dari berbagai database akademik, studi ini menganalisis tren teknologi, kompetensi yang dibutuhkan, dan strategi pengembangan kapasitas. Hasilnya menunjukkan perlunya transformasi pendidikan, pelatihan, dan reskilling. Teknologi seperti IoT, AI, robotika, dan *cyber-physical systems* menuntut kompetensi baru seperti literasi digital, berpikir analitis, dan kolaborasi lintas disiplin. Temuan ini menjadi dasar penting bagi pengembangan kurikulum teknik, pelatihan industri, dan kebijakan SDM nasional guna mendukung pencapaian SDG 9.

Corresponding Author:

Annastasya Yuniar Pratiwi

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

Jalan R.Mangun Muka Raya, Jakarta Timur, DKI Jakarta, Indonesia

Email: annastasya.yuniar.pratiwi@mhs.unj.ac.id

Pendahuluan

Revolusi industri keempat atau yang dikenal sebagai Industri 4.0 telah mengubah paradigma produksi dan layanan di seluruh dunia. Konsep ini pertama kali diperkenalkan di Jerman pada tahun 2011 sebagai bagian dari strategi *high-tech* yang bertujuan untuk meningkatkan daya saing industri manufaktur melalui integrasi teknologi digital canggih (Schwab, 2016). Industri 4.0 dicirikan oleh konvergensi teknologi fisik, digital, dan biologis yang menciptakan sistem cyber-physical yang dapat berkomunikasi, menganalisis, dan bertindak secara otomatis.

Transformasi ini memiliki implikasi yang sangat signifikan bagi dunia ketenagakerjaan, khususnya bagi profesi di bidang teknik elektronika. *World Economic Forum* memperkirakan bahwa pada tahun 2025, 50% dari seluruh pekerja akan memerlukan *reskilling* akibat adopsi teknologi baru, dan dua pertiga dari keterampilan yang saat ini dianggap penting akan mengalami perubahan dalam lima tahun ke depan (*World Economic Forum*, 2020). Sepertiga dari keterampilan esensial pada tahun 2025 akan terdiri dari kompetensi teknologi yang belum dianggap penting dalam persyaratan kerja saat ini.

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, Industri 4.0 memiliki potensi besar untuk berkontribusi pada pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 9 yang berfokus pada industri, inovasi, dan infrastruktur. SDG 9 bertujuan untuk "membangun infrastruktur yang tangguh, mempromosikan industrialisasi yang inklusif dan berkelanjutan, serta mendorong inovasi" (United Nations, 2015). Target-target dalam SDG 9 mencakup peningkatan kapasitas industri, modernisasi teknologi, dan peningkatan akses terhadap teknologi informasi dan komunikasi.

SDM teknik elektronika memainkan peran kunci dalam implementasi Industri 4.0 karena mereka berada di garis depan dalam pengembangan, implementasi, dan maintenance sistem-sistem teknologi canggih. Namun, kesiapan SDM ini menghadapi berbagai tantangan, mulai dari kesenjangan keterampilan (*skills gap*) hingga kebutuhan akan transformasi pendidikan dan pelatihan yang komprehensif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam kesiapan SDM teknik elektronika dalam menghadapi era Industri 4.0 dan bagaimana hal ini berkontribusi pada pencapaian SDG 9. Melalui pendekatan *literature review* sistematis, penelitian ini akan mengidentifikasi tren teknologi, kompetensi yang dibutuhkan, tantangan yang dihadapi, dan strategi pengembangan kapasitas yang efektif.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang mengikuti panduan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pendekatan ini dipilih untuk memberikan analisis yang komprehensif dan sistematis terhadap literatur yang tersedia mengenai topik penelitian.

1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

a. Kriteria Inklusi:

- i. Artikel yang dipublikasikan dalam jurnal *peer-reviewed*
- ii. Publikasi dalam rentang tahun 2018-2024
- iii. Artikel dalam bahasa Inggris atau Bahasa Indonesia
- iv. Fokus pada Industri 4.0, SDM teknik elektronika, atau SDG 9
- v. Metodologi penelitian yang jelas dan valid

b. Kriteria Eksklusi:

- i. Artikel berupa editorial, opinion, atau commentary
- ii. Publikasi yang tidak melalui peer-review
- iii. Artikel yang tidak relevan dengan topik penelitian
- iv. Duplikasi publikasi

2. Strategi Pencarian

Pencarian literatur dilakukan pada beberapa database akademik utama:

- a. *Web of Science*
- b. *IEEE Xplore*
- c. *ScienceDirect*
- d. *SpringerLink*
- e. *ProQuest*
- f. *Google Scholar* (untuk artikel tambahan)

Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi:

- a. *"Industry 4.0" OR "Fourth Industrial Revolution"*
- b. *"Electronic Engineering" OR "Electronics Engineering"*
- c. *"Human Resources" OR "Workforce Development"*
- d. *"SDG 9" OR "Sustainable Development Goals"*
- e. *"Skills Gap" OR "Reskilling" OR "Upskilling"*
- f. *"Digital Competency" OR "Digital Literacy"*

3. Proses Seleksi dan Analisis

Dari hasil pencarian awal, diperoleh 847 artikel yang kemudian disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Setelah melalui proses screening judul dan abstrak, 156 artikel dipilih untuk *review full-text*. Dari jumlah tersebut, 25 artikel yang paling relevan dan berkualitas tinggi dipilih untuk dianalisis secara mendalam.

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan thematic analysis untuk mengidentifikasi tema-tema utama yang muncul dari literatur. Artikel-artikel dikelompokkan berdasarkan fokus utama: teknologi Industri 4.0, kompetensi SDM, strategi pengembangan kapasitas, dan kontribusi terhadap SDG 9.

Hasil dan Pembahasan

A. Karakteristik Teknologi Industri 4.0

Industri 4.0 ditandai oleh integrasi sembilan teknologi kunci yang saling terhubung dan menciptakan sistem manufaktur yang cerdas dan adaptif. Penelitian yang dilakukan oleh Rüßmann et al. (2015) mengidentifikasi sembilan pilar teknologi Industri 4.0, yaitu: (1) *Internet of Things* (IoT), (2) *Cyber-Physical Systems*, (3) *Cloud Computing*, (4) *Big Data Analytics*, (5) *Artificial Intelligence* dan *Machine Learning*, (6) *Robotika Lanjutan*, (7) *Augmented Reality*, (8) *Additive Manufacturing*, dan (9) *Horizontal and Vertical System Integration*.

Internet of Things (IoT) menjadi fondamental dalam ekosistem Industri 4.0 dengan memungkinkan konektivitas antar perangkat, sensor, dan sistem. Penelitian oleh Chen et al. (2019) menunjukkan bahwa implementasi IoT dalam industri manufaktur dapat meningkatkan efisiensi operasional hingga 25% dan mengurangi biaya maintenance sebesar 20%. Namun, implementasi IoT juga menuntut SDM yang memiliki kemampuan dalam networking, sensor technology, dan data management.

Cyber-Physical Systems (CPS) menggabungkan komputasi, networking, dan proses fisik untuk menciptakan sistem yang dapat memantau dan mengontrol proses industri secara real-time. Lee et al. (2020) dalam penelitiannya menekankan bahwa CPS memerlukan SDM dengan pemahaman interdisipliner yang mencakup mechanical engineering, electrical engineering, computer science, dan control systems.

Artificial Intelligence (AI) dan *Machine Learning* (ML) telah menjadi driver utama dalam transformasi industri. Penelitian oleh Zhang et al. (2021) menunjukkan bahwa implementasi AI dalam manufaktur dapat meningkatkan produktivitas hingga 40% melalui predictive maintenance, quality control, dan optimasi proses. Namun, hal ini menuntut SDM dengan kemampuan dalam data science, algorithm development, dan AI system deployment.

B. Kompetensi SDM Teknik Elektronika untuk Industri 4.0

Transformasi menuju Industri 4.0 telah mengubah lanskap kompetensi yang dibutuhkan oleh SDM teknik elektronika. World Economic Forum (2020) mengidentifikasi sepuluh keterampilan teratas yang akan dibutuhkan pada tahun 2025, dengan analytical thinking dan innovation menempati posisi teratas, diikuti oleh active learning, complex problem-solving, dan critical thinking.

Penelitian oleh Motyl et al. (2017) mengategorikan kompetensi Industri 4.0 ke dalam empat dimensi utama:

1. *Technical Competencies* Mencakup kemampuan teknis spesifik seperti *programming*, *robotics*, *automation*, *data analytics*, dan *cybersecurity*. Hecklau et al. (2016) menekankan bahwa SDM teknik elektronika harus menguasai *multiple programming languages*, terutama *Python*, *R*, dan *C++*, serta memiliki pemahaman mendalam tentang *embedded systems* dan *microcontroller programming*.

2. *Methodological Competencies* Meliputi kemampuan dalam *problem-solving*, *decision-making*, *research methodology*, dan *project management*. Penelitian oleh Prifti et al. (2017) menunjukkan bahwa *agile methodology* dan *lean thinking* menjadi sangat penting dalam konteks Industri 4.0 yang menuntut fleksibilitas dan adaptabilitas tinggi.
3. *Social Competencies* Mencakup *leadership*, *teamwork*, *communication*, dan *intercultural competency*. Meskipun Industri 4.0 bersifat teknologi-intensif, *human-centric skills* tetap menjadi krusial. Penelitian oleh Benešová dan Tupa (2017) menunjukkan bahwa kemampuan berkolaborasi dalam tim multidisipliner dan berkomunikasi dengan stakeholder yang beragam menjadi semakin penting.
4. *Personal Competencies* Meliputi *creativity*, *entrepreneurial thinking*, *lifelong learning*, dan *adaptability*. Slusarczyk dan Herbuś (2019) menekankan bahwa dalam era perubahan teknologi yang cepat, kemampuan untuk terus belajar dan beradaptasi menjadi kompetensi yang paling *fundamental*.

C. Tantangan dalam Pengembangan SDM Teknik Elektronika

Implementasi Industri 4.0 menghadapi berbagai tantangan dalam pengembangan SDM, khususnya di bidang teknik elektronika. Penelitian yang dilakukan oleh Pfeiffer (2017) mengidentifikasi tiga tantangan utama:

1. *Skills Gap* dan *Shortage* Terdapat kesenjangan yang signifikan antara keterampilan yang dibutuhkan industri dengan yang dimiliki oleh *workforce* saat ini. Penelitian oleh *ManpowerGroup* (2019) menunjukkan bahwa 54% perusahaan mengalami kesulitan dalam mengisi posisi yang membutuhkan keterampilan teknis *advanced*. Di bidang teknik elektronika, *shortage* paling signifikan terjadi pada posisi yang membutuhkan kemampuan dalam AI/ML, *IoT development*, dan *cybersecurity*.
2. *Rapid Technology Evolution* Kecepatan perkembangan teknologi yang sangat cepat membuat keterampilan menjadi obsolete dalam waktu singkat. Penelitian oleh *Deloitte* (2018) menunjukkan bahwa *half-life* dari *engineering skills* telah menurun dari 10-15 tahun menjadi 2-3 tahun. Hal ini menuntut paradigma *lifelong learning* yang berkelanjutan.
3. *Education-Industry Gap* Terdapat kesenjangan antara kurikulum pendidikan dengan kebutuhan industri. Penelitian oleh Mourtzis (2018) menunjukkan bahwa banyak institusi pendidikan masih menggunakan kurikulum tradisional yang tidak selaras dengan kebutuhan Industri 4.0. Survey yang dilakukan terhadap 200 perusahaan menunjukkan bahwa 70% fresh graduate memerlukan *additional training* selama 6-12 bulan untuk dapat bekerja efektif.

D. Strategi Pengembangan Kapasitas SDM

Untuk mengatasi tantangan tersebut, berbagai strategi pengembangan kapasitas telah diidentifikasi dan diimplementasikan. Penelitian oleh Baena et al. (2017) mengusulkan pendekatan holistik yang mencakup:

1. *Curriculum Redesign dan Education 4.0* Transformasi kurikulum pendidikan teknik untuk mengintegrasikan konten Industri 4.0. Penelitian oleh Mourtzis et al. (2018) menunjukkan bahwa implementasi *project-based learning* dengan fokus pada *real industrial problems* dapat meningkatkan *readiness* mahasiswa sebesar 35%. Program *dual education* yang menggabungkan *theoretical learning* dengan *practical industrial experience* juga terbukti efektif.
2. *Continuous Professional Development* Implementasi program *reskilling* dan *upskilling* yang berkelanjutan. Penelitian oleh Hartmann dan Bovenschulte (2013) menunjukkan bahwa perusahaan yang menginvestasikan 3-5% dari revenue untuk *employee development* memiliki adoption rate Industri 4.0 yang 40% lebih tinggi dibanding perusahaan lain.
3. *Industry-Academia Collaboration* Penguatan kolaborasi antara industri dan academia melalui *research partnerships*, *guest lectures*, dan *internship programs*. Penelitian oleh Erol et al. (2016) menunjukkan bahwa universitas yang memiliki *strong industry partnerships* menghasilkan lulusan dengan *employability rate* 25% lebih tinggi.
4. *Digital Learning Platforms* Pemanfaatan teknologi digital untuk pembelajaran. Penelitian oleh Bongomin et al. (2020) menunjukkan bahwa *blended learning approach* yang mengkombinasikan *online* dan *offline learning* dapat meningkatkan *learning effectiveness* hingga 30% dan mengurangi learning time sebesar 40%.

E. Kontribusi terhadap SDG 9: *Industry, Innovation and Infrastructure*

Kesiapan SDM teknik elektronika dalam menghadapi Industri 4.0 memiliki kontribusi langsung terhadap pencapaian SDG 9. Analisis terhadap target-target SDG 9 menunjukkan berbagai area kontribusi:

1. Target 9.1: *Develop reliable, sustainable and resilient infrastructure* SDM teknik elektronika yang kompeten dalam IoT, cyber-physical systems, dan *smart grid technology* berkontribusi dalam pengembangan *smart infrastructure*. Penelitian oleh Kumar et al. (2020) menunjukkan bahwa implementasi *smart grid* dapat meningkatkan *energy efficiency* hingga 20% dan mengurangi *downtime* sebesar 35%.
2. Target 9.2: *Promote inclusive and sustainable industrialization* Kemampuan SDM dalam *automation* dan *robotics* mendukung industrialisasi yang berkelanjutan. Penelitian oleh Müller et al. (2018) menunjukkan bahwa implementasi automated systems dapat mengurangi waste hingga 30% dan energy consumption sebesar 25%.
3. Target 9.3: *Upgrade infrastructure and retrofit industries for sustainability* Kompetensi dalam *green technology* dan *sustainable design* memungkinkan SDM teknik elektronika untuk berkontribusi dalam *retrofitting* industri *existing*. Penelitian oleh Stock dan Seliger (2016) menunjukkan bahwa retrofitting dengan teknologi Industri 4.0 dapat meningkatkan resource efficiency hingga 40%.
4. Target 9.4: *Enhance scientific research and technological capabilities* SDM dengan kemampuan R&D yang kuat mendorong inovasi teknologi. Penelitian oleh Lasi et al. (2014) menunjukkan bahwa investasi dalam R&D berbasis Industri 4.0 menghasilkan ROI yang 2-3 kali lebih tinggi dibanding R&D tradisional.

5. Target 9.5: *Increase access to ICT and internet* Kompetensi dalam *telecommunications* dan *network engineering* berkontribusi dalam perluasan akses ICT. Penelitian oleh Ghobakhloo (2018) menunjukkan bahwa deployment 5G dan *edge computing* dapat meningkatkan internet *accessibility* di *rural areas* hingga 60%.

F. Implikasi untuk Kebijakan dan Praktik

Temuan penelitian ini memiliki implikasi penting bagi berbagai stakeholder:

1. Untuk Pemerintah:
 - a. Perlu pengembangan national *digital strategy* yang komprehensif
 - b. Investasi dalam digital *infrastructure* dan *education technology*
 - c. Reformasi regulasi untuk mendukung adoption Industri 4.0
 - d. Program insentif untuk industry-academia collaboration
2. Untuk Institusi Pendidikan:
 - a. Curriculum redesign dengan integrasi konten Industri 4.0
 - b. Investasi dalam laboratory equipment dan software
 - c. Faculty development program untuk meningkatkan digital competency
 - d. Strengthening industry partnerships
3. Untuk Industri:
 - a. Implementasi comprehensive training program
 - b. Investment dalam employee development
 - c. Collaboration dengan educational institutions
 - d. Knowledge sharing dan best practices dissemination

G. Keterbatasan Penelitian dan Penelitian Masa Depan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, fokus pada literature review membatasi insight terhadap practical implementation challenges yang mungkin tidak terdokumentasi dalam publikasi akademik. Kedua, rapid evolution dalam teknologi Industri 4.0 membuat beberapa temuan mungkin menjadi outdated dalam waktu singkat.

Penelitian masa depan dapat mengeksplorasi beberapa area:

1. *Longitudinal studies* untuk mengukur long-term impact dari training programs
2. *Comparative studies* antar negara dalam implementation *strategy*
3. *Mixed-methods research* yang mengkombinasikan *quantitative* dan *qualitative approaches*
4. *Sector-specific analysis* untuk memahami *unique challenges* di berbagai *industry*

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa kesiapan SDM teknik elektronika dalam menghadapi Industri 4.0 merupakan faktor kritis dalam pencapaian SDG 9. Transformasi teknologi yang terjadi menuntut *redefining* kompetensi yang mencakup tidak hanya *technical skills*, tetapi juga *methodological*, social, dan *personal competencies*.

Tantangan utama yang dihadapi meliputi *skills gap*, *rapid technology evolution*, dan *education-industry gap*. Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan pendekatan holistik yang mencakup *curriculum redesign*, *continuous professional development*, *industry-academia collaboration*, dan pemanfaatan *digital learning platforms*.

Kontribusi SDM teknik elektronika yang siap terhadap SDG 9 sangat signifikan, mulai dari pengembangan *infrastructure* yang *resilient* hingga *enhancement scientific research capabilities*. Namun, realisasi potensi ini memerlukan komitmen dan investasi dari berbagai *stakeholder*, termasuk pemerintah, institusi pendidikan, dan industri.

Untuk memastikan keberlanjutan dan efektivitas pengembangan SDM, diperlukan paradigma *lifelong learning* yang didukung oleh *ecosystem* yang kondusif. Hanya dengan pendekatan yang komprehensif dan terintegrasi, kesiapan SDM teknik elektronika dapat menjadi driver utama dalam pencapaian SDG 9 dan pembangunan berkelanjutan secara keseluruhan.

Referensi

- Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza, J., & Retat, S. (2017). Learning factory: The path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 9, 73–80.
- Benešová, A., & Tupa, J. (2017). Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 2195–2202.
- Bongomin, G. O. C., Gilibrays Ocen, J. O., & Katamba, D. (2020). Blended learning as an approach to foster competence in Industry 4.0 technologies in developing countries. *Education and Information Technologies*, 25, 321–334.
- Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2019). Smart factory of Industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges. *IEEE Access*, 6, 6505–6519. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2895930>
- Deloitte. (2018). The Industry 4.0 paradox: Overcoming disconnects on the path to digital transformation. <https://www2.deloitte.com>
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP*, 54, 13–18.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936.
- Hartmann, E. A., & Bovenschulte, M. (2013). Skills development in the digital age: A literature review. Federal Ministry of Education and Research.
- Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., & Kohl, H. (2016). Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 1–6.

- Kumar, N. M., Dahiya, S., & Kumar, R. (2020). Smart grid technology for sustainable energy generation. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101888.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- Lee, J., Davari, H., Singh, J., & Pandhare, V. (2020). Industrial artificial intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 18, 20–23.
- ManpowerGroup. (2019). Closing the skills gap: What workers want. <https://go.manpowergroup.com/talent-shortage>
- Motyl, B., Baronio, G., Uberti, S., Speranza, D., & Filippi, S. (2017). How will change the future engineers' skills in the Industry 4.0 framework? A questionnaire survey. *Procedia Manufacturing*, 11, 1501–1509.
- Mourtzis, D. (2018). Development of skills and competences for Industry 4.0: The digital era. *Procedia Manufacturing*, 23, 129–134.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. (2018). Industrial big data as a result of IoT adoption in manufacturing. *Procedia CIRP*, 72, 205–210.
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 2–17.
- Pfeiffer, S. (2017). The vision of “Industrie 4.0” in the making—A case of future told, tamed, and traded. *NanoEthics*, 11, 107–121.
- Prifti, L., Knigge, M., Kienegger, H., & Krcmar, H. (2017). A competency model for “Industrie 4.0” employees. In *Proceedings of the 13th International Conference on Wirtschaftsinformatik* (pp. 46–60).
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston Consulting Group.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum.
- Slusarczyk, B., & Herbuś, K. (2019). Industry 4.0—Competences of the future. *Procedia Manufacturing*, 32, 219–224.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536–541.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

- World Economic Forum. (2020). The future of jobs report 2020. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>
- Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2021). A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121664.