BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada bagian ini disajikan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan pengendalian kualitas, penurunan *customer claim*, serta pengelolaan *defect* pada industri manufaktur, khususnya sektor otomotif. Tinjauan pustaka ini digunakan sebagai landasan konseptual dalam memahami hubungan antara kegagalan pengendalian kualitas internal dengan munculnya klaim pelanggan, serta sebagai acuan dalam perancangan solusi perbaikan yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi perusahaan.

Beberapa kajian menunjukkan bahwa *customer claim* merupakan indikator kegagalan kualitas eksternal yang dipengaruhi oleh ketidaksesuaian produk yang lolos ke pelanggan. Susilawati dan Fatkhurozak (2018) menyatakan bahwa rendahnya nilai *First Pass Yield* (FPY) yang mencerminkan tingginya *defect* berbanding lurus dengan meningkatnya *customer complaint*. Oleh karena itu, pengendalian kualitas internal menjadi faktor penting dalam upaya menurunkan *customer claim.* Literatur yang digunakan diperoleh dari jurnal nasional dan internasional yang membahas praktik pengendalian kualitas di industri otomotif sebagai dasar dalam perancangan sistem penurunan *customer claim* pada PT XXX.

2.1.1 Strategi pengendalian *defect* akibat faktor mesin sebagai upaya penurunan *customer claim*

Defect dalam proses produksi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya berasal dari mesin produksi. Pada industri otomotif, keandalan dan stabilitas mesin sangat memengaruhi kualitas hasil produksi. Kondisi mesin yang tidak terawat, tekanan kerja yang tidak stabil, serta *dies* yang aus dapat menyebabkan produk tidak memenuhi standar spesifikasi.

Wicaksono *et al*. (2025) mengidentifikasi bahwa kondisi mesin menjadi salah satu akar utama *defect* pada proses *stamping* komponen otomotif, khususnya pada cacat *surface NG* dan *outline NG*. Permasalahan tersebut disebabkan oleh tekanan mesin yang tidak sesuai, *dies* yang aus, serta mesin yang tidak dibersihkan secara rutin. Pendekatan *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) memiliki kekuatan dalam memetakan hubungan sebab-akibat dan memprioritaskan perbaikan berdasarkan tingkat risiko.

Jika dibandingkan, pendekatan Wicaksono et al. (2025) melalui FTA dan FMEA mampu memetakan hubungan sebab-akibat secara sistematis dan memprioritaskan risiko,

namun hanya berfokus pada faktor mesin tanpa mempertanyakan validitas data pengukuran yang menjadi dasar keputusan accept/reject. Pendekatan ini berbeda dengan studi-studi yang mengintegrasikan evaluasi sistem pengukuran sebagai bagian dari pengendalian kualitas, seperti yang direkomendasikan dalam standar IATF 16949 klausul 7.1.5.1.1. Artinya, meskipun perbaikan mesin berhasil dilakukan, keandalan hasil inspeksi tetap tidak terjamin selama sistem pengukuran yang digunakan inspektor belum dievaluasi secara terstandar dan berkelanjutan. Hal ini menjadi gap yang tidak ditangani oleh studi berbasis faktor mesin semata, dan menjadi salah satu landasan perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA dalam tugas akhir ini.

2.1.2 Strategi pengendalian *defect* akibat faktor operator (*human error*) sebagai upaya penurunan *customer claim*

Selain faktor mesin, kesalahan operator (*human error*) juga menjadi penyebab signifikan terjadinya *defect* pada proses produksi. Kurangnya ketelitian, ketidakpatuhan terhadap prosedur kerja, serta rendahnya pemahaman terhadap standar kualitas dapat menghasilkan produk tidak sesuai spesifikasi yang berpotensi lolos ke pelanggan dan memicu *customer claim*.

Arfelli dan Hapsari (2024) menunjukkan bahwa *defect* pada proses *assembly*, seperti *coupler wire harness* pecah, disebabkan oleh perilaku operator yang kurang berhati-hati dan lemahnya prosedur inspeksi. Melalui pendekatan Six Sigma DMAIC dan FMEA, perbaikan dilakukan melalui sosialisasi prosedur kerja, penyederhanaan SOP, dan penambahan pelindung pada *jig conveyor*. Baesuni *et al*. (2025) juga menemukan bahwa rendahnya fokus operator dan tidak dilakukannya pengecekan alat sebelum proses menjadi penyebab *defect* pada komponen *low pressure pipe*, yang kemudian dikendalikan melalui *retraining*, pengawasan parameter kerja, dan evaluasi kinerja harian. Berbeda dari kedua studi tersebut, Adyatama dan Handayani (2018) menekankan pentingnya standardisasi melalui pendekatan Kaizen-PDCA, sehingga *defect dust seed* pada proses pengecatan dapat ditekan dan hasil perbaikan diformalisasi ke dalam standar kerja.

Jika dibandingkan, ketiga studi menunjukkan pendekatan yang berbeda dalam menangani *human error*: Arfelli dan Hapsari (2024) mengutamakan penyederhanaan prosedur dan perlindungan fisik *jig*, Baesuni *et al*. (2025) menekankan *retraining* dan pengawasan parameter, sementara Adyatama dan Handayani (2018) berfokus pada formalisasi perbaikan ke dalam standar kerja melalui Kaizen-PDCA. Meski berbeda pendekatan, ketiga studi ini memiliki kelemahan yang sama: intervensi dilakukan setelah *defect* terjadi, bukan membangun sistem yang memastikan operator baru memiliki pemahaman kualitas yang terukur sejak awal. Tidak ada yang mengidentifikasi

kesenjangan kompetensi awal sebagai dasar perancangan materi, sehingga efektivitas pelatihan tidak dapat dievaluasi secara berkelanjutan. *Gap* ini menjadi dasar perlunya sistem peningkatan *awareness* kualitas operator baru yang lebih terstruktur dan dapat dievaluasi sebagai bagian dari pengendalian kualitas yang komprehensif.

2.1.3 Strategi pengendalian *customer claim* yang disebabkan oleh material dan *supplier* sebagai upaya penurunan *customer claim*

Material dan pemasok memiliki peran penting dalam menjaga konsistensi kualitas produk. Material yang tidak sesuai spesifikasi atau kualitas pemasok yang tidak stabil dapat menyebabkan *defect* meskipun proses produksi telah berjalan sesuai prosedur. Kurniawan *et al*. (2019) menunjukkan bahwa pemilihan *supplier* perlu dilakukan secara objektif menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan mempertimbangkan beberapa kriteria, seperti kualitas, harga, kapabilitas, dan fleksibilitas. Pendekatan ini membantu perusahaan menentukan *supplier* yang lebih sesuai dengan kebutuhan. Namun, studi tersebut masih berfokus pada tahap pemilihan *supplier*, sehingga belum membahas mekanisme pemantauan kualitas *supplier* secara berkelanjutan setelah kerja sama berjalan.

Suhendi *et al*. (2025) mengembangkan pendekatan evaluasi *supplier* menggunakan *Fuzzy Analytic Network Process* (F-ANP), yang mampu mempertimbangkan keterkaitan antarkriteria dan ketidakpastian dalam penilaian. Sementara itu, Yahyaoui dan Zaim (2025) membahas re-evaluasi *supplier* berbasis data kinerja kualitas aktual, sehingga *supplier* dengan performa rendah dapat diidentifikasi dan diberikan tindakan korektif. Kedua studi tersebut menunjukkan bahwa pengendalian kualitas *supplier* tidak cukup hanya dilakukan pada tahap pemilihan, tetapi juga perlu dievaluasi secara berkala. Namun, pembahasan mengenai pengelolaan dokumen kualitas *supplier* sebagai dasar monitoring masih belum dijelaskan secara spesifik.

Jika dibandingkan, Kurniawan *et al*. (2019) menggunakan AHP untuk pemilihan *supplier* di tahap awal, sedangkan Suhendi *et al*. (2025) memperluas perspektif dengan F-ANP yang mampu mempertimbangkan keterkaitan antarkriteria. Yahyaoui dan Zaim (2025) melangkah lebih jauh dengan evaluasi berbasis kinerja aktual untuk identifikasi *supplier* berperforma rendah. Meski ketiga studi saling melengkapi dari sisi pemilihan hingga evaluasi berkala, tidak satupun yang merancang sistem untuk memastikan kesiapan *supplier* sejak tahap awal melalui pengelolaan dokumen kualitas secara sistematis. Tanpa visibilitas terhadap kelengkapan dokumen PPAP per *supplier*, potensi ketidaksesuaian material tetap dapat terjadi meskipun proses inspeksi *incoming* telah dilakukan. *Gap* inilah yang menjadi dasar perancangan sistem pengelolaan dan *monitoring* dokumen kualitas *supplier* berbasis digital dalam tugas akhir ini.

2.1.4 Strategi pengendalian *defect* yang disebabkan oleh sistem dan metode produksi sebagai upaya penurunan *customer claim*

Sistem dan metode produksi yang tidak terstandar dapat meningkatkan variasi proses dan menghasilkan defect pada produk akhir. Lemahnya pengendalian proses, ketidaktepatan SOP, dan tidak konsistennya sistem inspeksi berpotensi meningkatkan risiko lolosnya produk cacat ke pelanggan.

Ramadhani *et al*. (2025) menunjukkan bahwa ketidakstabilan parameter proses *injection molding* menjadi penyebab utama tingginya *reject rate*, dan berhasil diturunkan dari 4,8% menjadi 2,62% melalui revisi SOP dan kalibrasi mesin berkala menggunakan pendekatan Six Sigma dan *Define, Measure, Analyze, Improve*, *& Control* (DMAIC). Sejalan dengan itu, Rani dan Wahyudi (2021) menemukan bahwa standardisasi metode kerja dan pencatatan inspeksi melalui *check control sheet* mampu menurunkan *defect* dari 25,5% menjadi 1,92% pada proses pengecatan plastik. Dibandingkan keduanya, Memon *et al*. (2019) menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan *Seven Quality Control Tools* secara berurutan sehingga sumber defect dapat diidentifikasi dari berbagai dimensi sekaligus, menghasilkan penurunan defect sebesar 70%. Sementara itu, Tamason *et al*. (2026) memperluas perspektif dengan menunjukkan bahwa akar masalah *defect* tidak selalu bersumber dari parameter teknis, melainkan juga dari sistem penjadwalan dan komunikasi internal yang tidak terstruktur, yang setelah diperbaiki melalui SOP lintas bagian berhasil menurunkan cacat dari 3,64% menjadi 0,99%.

Jika dibandingkan, Ramadhani *et al*. (2025) dan Rani & Wahyudi (2021) sama-sama menggunakan DMAIC namun berfokus pada parameter proses dan SOP, sementara Memon *et al*. (2019) melangkah lebih jauh dengan mengintegrasikan *Seven Quality Control Tools* secara berurutan sehingga sumber *defect* dapat diidentifikasi dari berbagai dimensi sekaligus. Tamason *et al*. (2026) memperluas perspektif keempat studi tersebut dengan menunjukkan bahwa akar masalah tidak selalu bersifat teknis, melainkan juga dari sistem komunikasi dan penjadwalan internal. Meskipun demikian, keempat studi memiliki kelemahan yang sama: seluruhnya mengasumsikan bahwa data hasil inspeksi sudah valid, tanpa mempertanyakan apakah sistem pengukuran yang digunakan inspektor sendiri sudah dievaluasi keandalannya. Perbaikan SOP dan parameter proses tidak akan menghasilkan keputusan kualitas yang valid jika sistem pengukurannya belum terstandardisasi sesuai standar AIAG MSA 4th Edition dan IATF 16949 klausul 7.1.5.1.1. *Gap* ini menjadi dasar perlunya perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA di Departemen QC area *machining* dalam tugas akhir ini.

2.1.5 Strategi pengendalian *defect* yang disebabkan oleh manajemen dan lingkungan produksi sebagai upaya penurunan *customer claim*

Faktor manajemen kualitas memiliki peran penting dalam mencegah terjadinya *defect* dan *customer claim*. Sistem pengawasan yang lemah, dokumentasi inspeksi yang belum terstandar, serta pengendalian kualitas input dari pihak eksternal yang belum terstruktur dapat menyebabkan produk tidak sesuai spesifikasi lolos hingga ke pelanggan. Oleh karena itu, pengendalian kualitas tidak hanya bergantung pada faktor teknis, tetapi juga pada bagaimana sistem manajemen kualitas dijalankan secara konsisten.

Rocha *et al*. (2025) menunjukkan bahwa *defect* dari *supplier* dapat terjadi ketika sistem monitoring kualitas input belum berjalan secara terstruktur, dan menekankan pentingnya pemantauan berkelanjutan berbasis data aktual. Namun studi ini belum membahas secara spesifik bagaimana dokumen kualitas *supplier* diverifikasi sebagai dasar pengambilan keputusan. Sofani *et al*. (2023) melengkapi perspektif ini dari sisi internal, dengan menemukan bahwa *customer claim* produk tercampur justru bersumber dari lemahnya dokumentasi proses inspeksi tidak adanya checksheet pergantian produk dan konfigurasi mesin per tipe yang selama ini tidak terdeteksi karena tidak ada mekanisme kontrol terformalkan. Dibandingkan keduanya yang berfokus pada sistem dokumentasi, Teplická *et al*. (2023) menawarkan pendekatan yang lebih menyeluruh dengan mengintegrasikan *Quick Response Quality Control* (QRQC), Pareto, *Ishikawa*, FMEA, dan *training center* dalam satu sistem *complaint management*, sehingga pengendalian tidak hanya menyentuh aspek proses tetapi juga kapabilitas SDM secara bersamaan.

Jika dibandingkan, Rocha *et al*. (2025) menekankan pentingnya pemantauan *supplier* berbasis data aktual namun belum merancang sistem verifikasi dokumen kualitas *supplier* secara preventif. Sofani *et al*. (2023) melengkapi perspektif ini dari sisi internal dengan memperbaiki sistem dokumentasi inspeksi, namun tidak menyentuh aspek kesiapan *supplier* maupun validasi sistem pengukuran. Teplická *et al*. (2023) menawarkan pendekatan paling menyeluruh dengan mengintegrasikan QRQC, FMEA, dan *training center* dalam satu sistem, namun tetap tidak membahas bagaimana kesenjangan kompetensi operator baru diidentifikasi secara terukur sebelum terlibat dalam produksi, maupun bagaimana kelengkapan dokumen PPAP *supplier* diverifikasi secara sistematis. Ketiga gap utama yang tersisa yaitu validasi keandalan sistem pengukuran inspektor, pengukuran kesenjangan kompetensi awal operator baru, dan pengelolaan dokumen PPAP supplier secara preventif dan digital yang menjadi landasan ilmiah dari ketiga solusi yang dirancang dalam tugas akhir ini

Tabel 2.1 Rekapitulasi Tinjauan Pustaka Strategi Pengendalian Defect sebagai Upaya Penurunan *Customer Claim*

No.	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil	Gap
1	Ramadhani *et al*. (2025)	Perusahaan komponen otomotif	Terdapat masalah *reject* produk *Floor Under Tunnel Protector Base* oleh proses *injection molding.* Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan kerugian finansial perusahaan.	Pelatihan untuk operator produksi dan pengawas QC, memperketat pengawasan selama proses produksi, melakukan pemelihataan rutin dan kalibrasi ulang, mengevaluasi pemasok dan standardisasi bahan, serta merevisi SOP.	Six Sigma dan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*)	Penurunan proporsi cacat produk *Floor Under Tunnel Protector Base* serta penurunan kerugian.	Tidak membahas validasi keandalan sistem pengukuran (MSA) sebagai prasyarat keputusan inspeksi yang valid, serta tidak mengidentifikasi kesenjangan kompetensi awal operator sebagai dasar perancangan pelatihan yang terukur. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA dan perancangan sistem peningkatan *awareness* kualitas operator baru.
2	Baesuni *et al*. (2025)	Perusahaan manufaktur komponen kendaraan bermotor dan roda empat	Terjadinya peningkatan *defect* pada *sparepart pipa Low Pressure* bila dibandingkan tahun sebelumnya, sehingga berdampak dengan peningkatan *cost* perusahaan.	Melakukan *retraining* kepada para operator dalam menangani potensi abnormal dan melakukan pengecekan kualitas pada alat *bending* setiap minggu (mengisi checksheet dan kalibrasi ulang).	Six Sigma dan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control)*	Penurunan tingkat *defect*.	Pelatihan dilakukan secara reaktif setelah *defect* terjadi tanpa mengukur kompetensi awal operator. Tidak ada sistem evaluasi terstruktur berbasis *pre-test* dan *post-test* untuk memastikan efektivitas pelatihan secara berkelanjutan. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem peningkatan *awareness* kualitas operator baru yang mengukur kesenjangan kompetensi awal melalui *pre-test* dan *post-test* terstruktur.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil	Gap
3	Rani dan Wahyudi (2021)	Perusahaan manufaktur otomotif roda dua	Jumlah *reject* painting selama 8 bulan dari bulan Januari 2019 hingga 2020 tidak memenuhi standar *reject* yang diizinkan yang menyebabkan kerugian perusahaan.	Melakukan *training* tentang kualitas produk, membuat lembar pemeriksaan, membuat standardisasi metode pembersihan yang benar, membuat panduan instruksi pemakaian yang benar, membuat *check control sheet*, mengontrol kualitas barang dari QCO.	Six Sigma dan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Contro*l)	Penurunan *reject* di Departemen Painting Plastic serta penurunan kerugian finansial perusahaan.	Intervensi hanya berfokus pada perbaikan SOP dan kontrol proses, tanpa membangun sistem yang memastikan operator baru memiliki pemahaman kualitas yang terukur sejak awal keterlibatannya dalam proses produksi. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem peningkatan *awareness* kualitas operator baru berbasis *onboarding* yang terstruktur dan dapat dievaluasi.
4	Adyatama dan Handayani (2018)	Perusahaan produsen otomotif	Kualitas produksi pada *Painting Shop* Karawang Plant 1 belum mencapai target. Tingkat OK ratio yang rendah menyebabkan penurunan efisiensi produksi, *line stop,* meningkatkan biaya repair, dan berpotensi tidak dapat memenuhi permintaan sesuai waktu yang ditentukan.	Menetapkan standar untuk mendukung berjalannya perbaikan, pembuatan *Element Instruction Sheet* (EIS) proses vacuum cleaning, serta standar perawatan dust catcher.	Prinsip Kaizen melalui siklus PDCA, *Seven tools of quality*, dan 5Why's	Penurunan *reject* pada *dust seed* di area *front door opening,* serta penurunan proses *repair*.	Pendekatan standardisasi berfokus pada perbaikan metode kerja, namun tidak menyentuh aspek evaluasi kompetensi operator secara terukur maupun validasi keandalan sistem pengukuran yang digunakan dalam proses inspeksi. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA dan perancangan sistem peningkatan *awareness* kualitas operator baru.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil	Gap
5	Kurniawan *et al*. (2019)	Perusahaan manufaktur suku cadang	Adanya temuan material NG yang dikirim oleh *supplier* menyebabkan terhambatnya proses produksi sehingga terjadi keterlambatan pemenuhan permintaan konsumen.	Melakukan penilaian berdasarkan kriteria-kriteria yang menjadi prioritas dari perusahaan.	Analisis Hirarki Proses (AHP)	Perusahaan dapat menentukan *supplier* secara lebih objektif, mengurangi risiko material *defect*, serta meningkatkan efisiensi proses pengadaan.	Hanya berfokus pada tahap pemilihan *supplier*, belum merancang sistem pemantauan kualitas *supplier* secara berkelanjutan melalui pengelolaan dan verifikasi kelengkapan dokumen kualitas seperti PPAP setelah kerja sama berjalan. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem pengelolaan dan *monitoring* dokumen kualitas *supplier* berbasis digital.
6	Rocha *et al*. (2025)	Perusahaan manufaktur otomotif di Portugal	Tingginya tingkat *defect* yang dihasilkan dari *supplier* seperti *dirt*, *scratch, stain*, dan *leak*, terutama pada komponen AV5.	Menerapkan sistem *quality control* berbasis data dan *Statistical Process Control* (SPC). *Supplier* diwajibkan membuat 8D report, *Quality Control Plan*, dan *Improvement Action Report*. Selain itu, juga disarankan untuk melakukan sertifikasi VDA 6.3 dan IATF 16949 untuk memastikan kualitas dan konsistensi.	*Statistical Process Control* (SPC) dan analisis Pareto	Penurunan *reject* dan proses yang lebih terkendali.	Penanganan *defect supplier* bersifat reaktif berbasis data kinerja aktual. Belum ada sistem preventif yang memastikan kesiapan *supplier* sejak awal melalui verifikasi kelengkapan dokumen kualitas seperti PPAP secara digital dan terstruktur. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem pengelolaan dan *monitoring* dokumen kualitas *supplier* berbasis digital.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil	Gap
7	Suhendi *et al*. (2025)	Perusahaan otomotif di Jepang	Terdapat ketidaksesuaian jumlah pesanan, keterlambatan pengiriman, serta material yang tidak sesuai standar dari beberapa *supplier*, yang menyebabkan proses produksi terhambat, tidak sesuai jadwal, dan macet.	Penerapan *Fuzzy Analytic Network Process* (F-ANP) untuk mengevaluasi kinerja *supplier*. Hasil perhitungan bobot digunakan sebagai dasar rekomendasi *supplier* terbaik dan acuan perbaikan kinerja *supplier* lain.	PDCA	Penurunan potensi *defect* material	Evaluasi *supplier* berbasis bobot kriteria F-ANP belum membahas mekanisme pengelolaan dan verifikasi dokumen kualitas *supplier* (PPAP) secara sistematis sebagai dasar pengambilan keputusan yang preventif dan terdokumentasi. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem pengelolaan dan *monitoring* dokumen kualitas *supplier* berbasis digital.
8	Arfelli dan Hapsari (2024)	Perusahaan manufaktur otomotif	Tingginya nilai *reject* pada proses *assembly* periode Januari hingga Desember 2023. Hal ini ditunjukkan dari nilai *defect per million opportunities* (DPMO) yang masih di atas target perusahaan serta target level sigma yang tidak tercapai.	Melakukan sosialisasi keselamatan kerja dalam memindahkan *coupler wire harness*, menambahkan lapisan empuk pada *jig conveyor belt*, melakukan perbaikan SOP QCP, dan menambahkan fasilitas air minum di area istirahat lantai produksi.	Six sigma, DMAIC, dan FMEA	Penurunan nilai DPMO serta peningkatan level sigma.	Perbaikan dilakukan setelah *defect* teridentifikasi tanpa mengukur kesenjangan kompetensi awal operator. Tidak ada sistem *onboarding* terstruktur yang memastikan pemahaman kualitas operator baru dapat dievaluasi secara terukur sebelum terlibat dalam proses produksi. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem peningkatan *awareness* kualitas operator baru yang dilengkapi mekanisme evaluasi terstruktur sejak awal *onboarding*.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil	Gap
9	Teplická *et al*. (2023)	Perusahaan otomotif di Slovakia	Tingginya jumlah keluhan pelanggan (*customer complaints*) akibat cacat produk pada sistem pengunci pintu. Masalah ini menyebabkan peningkatan biaya keluhan (COPQ) serta risiko kehilangan kepercayaan dari OEM.	Mengintegrasikan QC, produksi, dan pelanggan, sehingga keluhan OEM dapat ditangani cepat oleh tim QRQC. Analisis FMEA dan *Ishikawa* (5M) digunakan untuk menentukan prioritas dan akar penyebab *defect*, disertai pemasangan sensor *riveting*, inspeksi visual rutin, pelatihan operator, serta audit *supplier*.	PDCA	Nilai RPN tertinggi untuk cacat *bent pin* berhasil diturunkan. Selain itu, jumlah jenis *defect* kritis berkurang, serta nilai COPQ yang menurun.	Sistem *complaint management* yang dibangun bersifat reaktif. Belum membahas secara spesifik bagaimana keandalan sistem pengukuran inspektor divalidasi sesuai standar sebagai prasyarat keputusan inspeksi yang dapat dipercaya. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA yang memvalidasi keandalan sistem pengukuran inspektor sesuai standar AIAG MSA 4th *Edition*.
10	Wicaksono *et al*. (2025)	Perusahaan manufaktur komponen otomotif	Tingkat cacat yang sangat tinggi pada bagian *stamping Reinforcement Panel FR* dari periode bulan Januari hingga April 2024. Tingkat cacat tersebut melebihi standar perusahaan.	Melakukan pengecekan mesin secara berkala sesuai dengan instruksi kerja, melakukan perbaikan berkala pada *dies*, melakukan *training* pada operator, dan membersihkan mesin secara rutin.	*Fault Tree Analysis* (FTA) dan FMEA	Penurunan *defect* pada area *stamping*.	Hanya mengidentifikasi dan memperbaiki sumber defect dari sisi kondisi mesin, tanpa mengevaluasi apakah data pengukuran yang menjadi dasar keputusan *accept/reject* sudah valid melalui MSA yang terstandar dan berkelanjutan. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA di Departemen QC area *machining*.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil	Gap
11	Tamason *et al*. (2026)	Perusahaan manufaktur tekstil	Tingginya tingkat *defect* benang pada mesin *ring frame* di PT XYZ, yaitu sebesar 3,64% dan melebihi target perusahaan. Jenis cacat dominan berupa gulungan jelek, *ne out* standar, IPI tinggi, dan *slub*.	Membuat SOP komunikasi internal, menyusun jadwal *preventive maintenance* tertulis, melakukan pengawasan rutin, serta menggunakan *form checklist* untuk memastikan pelaksanaan perbaikan berjalan konsisten.	Six Sigma, DMAIC, Diagram Pareto, Fishbone Diagram, FTA, P-Chart	Penurunan tingkat *defect*, peningkatan kualitas proses produksi, serta peningkatan konsistensi pelaksanaan *preventive maintenance* dan komunikasi internal.	Perbaikan berfokus pada sistem penjadwalan dan komunikasi internal, namun tidak membahas bagaimana keandalan sistem inspeksi dari sisi alat ukur maupun konsistensi inspektor dijamin melalui evaluasi MSA yang terstandar. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA di Departemen QC area *machining*.
12	Yahyaoui dan Zaim (2025)	Perusahaan otomotif multinasional di Maroko	Penurunan KPI kualitas akibat *non-conforming* material atau material cacat dari pemasok.	Menerapkan sistem *supplier re-evaluation* berbasis AHP untuk menentukan *ranking supplier*, melakukan tindakan korektif, pengawasan ketat pada *supplier* dengan skor rendah, penggantian *supplier*.	Pareto *Chart* & Kurva Lorenz, *Analytic Hierarchy Process* (AHP)	Peningkatan kinerja kualitas, pengurangan keluhan, peningkatan kepuasan pelanggan, efisiensi produksi.	Re-evaluasi *supplier* berbasis kinerja aktual belum merancang mekanisme preventif berupa pengelolaan dokumen kualitas *supplier* (PPAP) secara sistematis dan digital sebagai dasar verifikasi kesiapan *supplier* sebelum material diproduksi massal. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem pengelolaan dan *monitoring* dokumen kualitas *supplier* berbasis digital.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil	Gap
13	Memon *et al*. (2019)	Perusahaan otomotif di Pakistan	Tingginya tingkat cacat atau *defect* pada hasil pengecatan mobil.	Penerapan *Seven Quality Control Tools* untuk mengidentifikasi dan mengendalikan sumber penyebab cacat di area pengecatan.	*Seven Quality Control Tools*	Penurunan tingkat cacat.	Pendekatan hanya berfokus pada identifikasi dan pengendalian sumber cacat secara teknis, tanpa membahas evaluasi keandalan sistem pengukuran yang digunakan sebagai dasar keputusan kualitas maupun pengembangan kompetensi operator secara terstruktur. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA dan perancangan sistem peningkatan *awareness* kualitas operator baru.
14	Susilawati dan Fatkhurozak (2018)	Perusahaan manufaktur	Rendahnya nilai *First Pass Yield* (FPY) yang menunjukkan tingginya tingkat *defect* pada proses produksi, sehingga meningkatkan jumlah *customer complaint*.	Penerapan pengendalian kualitas melalui pengukuran FPY dan analisis penyebab *defect* untuk meningkatkan efektivitas proses produksi.	*First Pass Yield (FPY), Fishbone Diagram*	Peningkatan FPY, penurunan jumlah *defect*, serta penurunan *customer complaint*.	Pengukuran menggunakan FPY memberikan gambaran output kualitas secara keseluruhan, namun tidak membahas apakah variasi yang terukur berasal dari proses produksi atau dari ketidakandalan sistem pengukuran itu sendiri. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA yang membedakan variasi proses dari variasi sistem pengukuran secara terstruktur.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil	Gap
15	Sofani *et al.* (2023)	Perusahaan manufaktur otomotif	Terjadinya *customer claim* akibat tercampurnya produk yang disebabkan oleh lemahnya sistem inspeksi dan pengendalian kualitas.	Penerapan *Quality Control Circle* (QCC) untuk mengidentifikasi akar masalah, meningkatkan kesadaran kualitas, dan memperbaiki sistem inspeksi.	*Quality Control Circle (QCC), Root Cause Analysis, Fishbone Diagram*	Penurunan *customer claim*, peningkatan akurasi inspeksi, dan perbaikan konsistensi kualitas produk.	Perbaikan sistem inspeksi berfokus pada *worksheet* dan kontrol dokumen internal, namun tidak membahas validasi keandalan sistem pengukuran melalui MSA maupun pengelolaan dokumen kualitas *supplier* sebagai komponen pengendalian kualitas input yang preventif. Gap ini dijawab dalam tugas akhir ini melalui perancangan sistem standardisasi pelaksanaan MSA dan perancangan sistem pengelolaan dan *monitoring* dokumen kualitas supplier berbasis digital.

2.2 Dasar Teori

Teori yang diuraikan pada bagian ini digunakan untuk merancang tiga solusi yang dikembangkan dalam tugas akhir, yaitu perancangan sistem standardisasi pelaksanaan *Measurement System Analysis* (MSA) pada Departemen QC, perancangan sistem peningkatan *awareness* kualitas operator baru dalam proses produksi, serta pengembangan sistem pengelolaan kualitas supplier melalui standardisasi dan evaluasi dokumen. Teori mengenai DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) dan *Measurement System Analysis* (MSA) merujuk pada mata kuliah Pengendalian Kualitas (STIN48603). Teori mengenai *gap analysis* merujuk pada mata kuliah Analisis dan Perancangan Sistem Kerja (STIN28402). Teori mengenai *Human Factors, Human Error*, dan *awareness* kualitas operator merujuk pada mata kuliah Ergonomika (STIN17302). Selain itu, teori mengenai manajemen hubungan supplier atau *Supplier Quality Management* serta *Production Part Approval Process* (PPAP) merujuk pada mata kuliah Sistem Rantai Pasok (STIN49602). Dengan demikian, teori-teori yang disajikan pada bagian ini digunakan sebagai landasan konseptual dan teknis dalam mendukung proses perancangan sesuai fokus masing-masing solusi.

2.2.1 Industri Otomotif dan Mesin Diesel

Industri otomotif merupakan salah satu sektor manufaktur dengan tingkat kompleksitas tertinggi karena mencakup proses yang luas mulai dari desain, industrialisasi, hingga produksi massal yang harus berjalan stabil dan konsisten. Dalam pembahasannya, Gobetto (2014) menegaskan bahwa sistem operasi industri otomotif dibangun di atas prinsip fleksibilitas, standardisasi, dan stabilitas proses untuk menangani variasi model serta volume produksi yang besar dalam rantai proses terintegrasi. Gobetto (2014) menjelaskan bahwa keberhasilan industri otomotif sangat bergantung pada kemampuan sistem operasi untuk menjamin efisiensi, konsistensi mutu, serta pemenuhan standar keselamatan dan performa kendaraan yang berlaku.

Di dalam produk otomotif, salah satu komponen yang memiliki tuntutan kualitas dan keandalan tinggi adalah mesin diesel, terutama karena mesin yang diproduksi digunakan pada kendaraan yang beroperasi dengan beban berat dan durasi kerja panjang. Heywood (2018) menjelaskan bahwa mesin diesel bekerja dengan prinsip kompresi tinggi yang memanaskan udara di dalam silinder hingga mencapai temperatur yang cukup untuk menyalakan bahan bakar secara otomatis, sehingga proses pembakaran berlangsung pada tekanan dan temperatur yang tinggi. Kondisi kerja yang ekstrem ini membuat komponen-komponen utama harus memiliki kekuatan struktural yang tinggi. Karena itu, sebelum mesin dapat dirakit, setiap komponen harus melalui

proses manufaktur yang ketat untuk memastikan bentuk, dimensi, dan kualitas permukaannya sesuai dengan kebutuhan performa mesin diesel.

Pada produksi komponen mesin diesel, *machining* dilakukan untuk menghasilkan bentuk akhir yang presisi setelah proses pembentukan awal seperti *casting* atau forging. Gobetto (2014) menjelaskan bahwa dalam produksi komponen mesin diesel, proses *machining* biasanya dijalankan di sistem *machining centre* atau *transfer line*, yaitu susunan mesin pemotong yang bekerja secara berurutan dan terintegrasi untuk mencapai akurasi dimensi dalam volume produksi besar. Sistem seperti ini umum digunakan pada industri otomotif karena memungkinkan setiap operasi dilakukan pada urutan yang tetap dan stabil sehingga kualitas geometri komponen utama dapat dijaga secara konsisten dari satu unit ke unit berikutnya. Operasi yang digunakan dapat meliputi pembentukan lubang, perataan permukaan, hingga proses *finishing* yang memastikan setiap area kritis memiliki geometri sesuai spesifikasi fungsi mesin. Prinsip tersebut sejalan dengan penjelasan Groover (2010), yang menyatakan bahwa machining mencakup berbagai proses pemotongan seperti *milling, drilling, boring*, dan *grinding*, dan digunakan ketika suatu komponen membutuhkan toleransi kecil dan kualitas permukaan yang tinggi agar dapat dirakit dan berfungsi dengan baik dalam sistem mekanis.

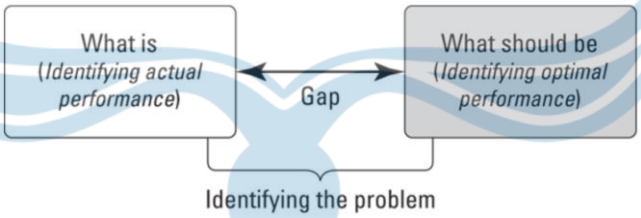
Setelah proses *machining* selesai, komponen-komponen mesin mulai memasuki tahap *assembly*, yaitu proses penyusunan seluruh bagian mesin menjadi satu unit yang lengkap. Groover (2010) menjelaskan bahwa *assembly* meliputi pemasangan komponen secara berurutan, pengencangan baut dengan nilai torsi tertentu, penyelarasan posisi bagian-bagian yang saling terhubung, serta pengecekan awal untuk memastikan setiap komponen terpasang dengan benar. Tahap ini membutuhkan komponen yang presisi, karena perbedaan kecil pada ukuran atau bentuk dapat mengganggu proses pemasangan dan memengaruhi performa mesin.

2.2.2 *Gap Analysis*

Gap analysis merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk membandingkan kinerja aktual suatu proses dengan kinerja ideal atau standar yang ditetapkan organisasi. Montgomery *et al*. (2011) menjelaskan bahwa kesenjangan kualitas muncul ketika variasi proses menyebabkan output tidak berada dalam batas spesifikasi, sehingga menghasilkan ketidaksesuaian atau *nonconformity*. Pada kerangka manajemen kualitas, *gap analysis* berfungsi sebagai alat evaluasi awal untuk memahami sejauh mana proses telah menyimpang dari target serta menentukan apakah kondisi tersebut masih berada dalam batas kapabilitas yang dapat diterima. Mitra (2021) menambahkan bahwa *gap* dapat disebabkan oleh ketidakstabilan proses,

ketidakkonsistenan pelaksanaan SOP, lemahnya mekanisme pengendalian, maupun keterbatasan kompetensi sumber daya manusia. Dengan membandingkan performa aktual terhadap standar, organisasi dapat mengukur besar kesenjangan, mengidentifikasi akar penyebabnya, dan menentukan area prioritas perbaikan yang memiliki dampak terbesar terhadap performa operasional.

Pada konteks *operational excellence*, Mitchell (2015) menekankan bahwa *gap analysis* tidak hanya mencakup evaluasi kesenjangan performa proses, tetapi juga *capability gaps* yang muncul ketika kapabilitas organisasi belum mampu mendukung pencapaian kondisi ideal. Evaluasi *current state* dan *future state* digunakan untuk menetapkan prioritas peningkatan berdasarkan risiko, kebutuhan operasional, serta kesiapan organisasi dalam melakukan perubahan. Perspektif tersebut sejalan dengan Land (2024), yang menjelaskan bahwa *gap analysis* juga menjadi komponen penting dalam desain instruksional karena membantu mengidentifikasi selisih antara kemampuan aktual pembelajar dan kemampuan yang seharusnya dicapai, sehingga instruksi dapat dirancang secara tepat sasaran. Dengan demikian, baik dalam pengendalian kualitas, peningkatan proses, maupun pengembangan instruksional, *gap analysis* berfungsi sebagai instrumen objektif untuk mendefinisikan masalah, merumuskan kebutuhan perbaikan, dan memastikan proses peningkatan dilakukan secara terarah dan berkelanjutan. Gambar 2.1 menjukan cara mengidentifikasi kinerja optimal sesuai dengan *gap analysis*.



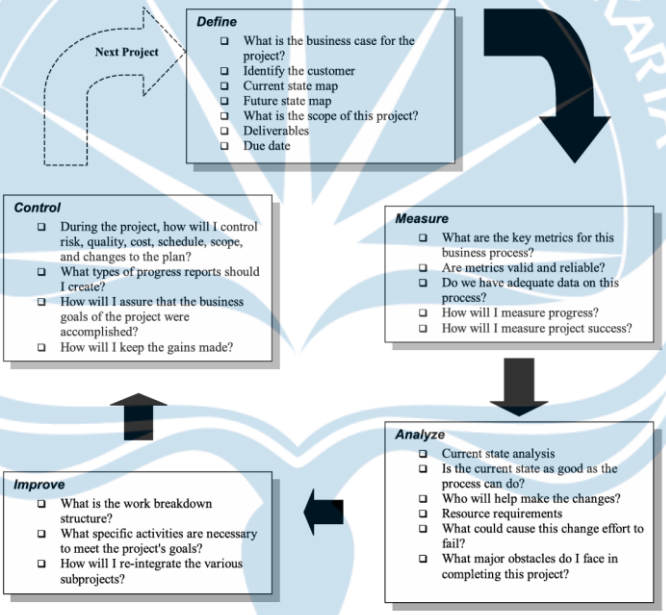
Gambar 2.1 Identifikasi masalah menggunakan *gap analysis* (Land, 2024)

2.2.3 Define, Measure, Analyze, Improve, & Control (DMAIC)

DMAIC merupakan pendekatan inti dalam Six Sigma yang digunakan untuk meningkatkan kualitas proses melalui tahapan yang terstruktur dan berbasis data. Pyzdek dan Keller (2014) menjelaskan bahwa DMAIC terdiri dari lima fase utama, yaitu *define, measure, analyze, improve, dan control*, yang berfungsi sebagai kerangka pemecahan masalah untuk mengidentifikasi penyebab variasi proses serta menghilangkan sumber *defect* secara sistematis. Pendekatan ini terutama digunakan ketika proses telah berjalan namun memerlukan peningkatan performa, pengurangan kesalahan, serta peningkatan konsistensi hasil. Six Sigma *Body of Knowledge* bahwa

DMAIC membantu organisasi menstabilkan proses melalui analisis faktual, pengembangan solusi berbasis data, serta pengendalian hasil perbaikan agar tidak terjadi kemunduran.

Pada tahap *define*, masalah didefinisikan secara jelas melalui identifikasi kebutuhan pelanggan, penetapan ruang lingkup proses, serta tujuan perbaikan (Pyzdek & Keller, 2014). Tahap *measure* fokus pada pengumpulan data *baseline* terkait performa proses, tingkat *defect*, dan variasi aktual. Tahap *analyze* digunakan untuk menilai akar penyebab ketidaksesuaian dengan memanfaatkan analisis statistik dan alat pemecahan masalah. Pada tahap *improve*, solusi dikembangkan dan diuji untuk memastikan efektivitasnya dalam mengatasi penyebab utama masalah. Tahap terakhir, *control*, bertujuan menjaga stabilitas hasil perbaikan melalui pemantauan kinerja proses serta pembaruan standar operasional. Struktur konseptual mengenai hubungan antarfase DMAIC ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai ilustrasi alur perbaikan proses yang terintegrasi.



Gambar 2.2 Diagram DMAIC (Pyzdek & Keller, 2014)

2.2.4 *Measurement System Analysis* (MSA)

Measurement System Analysis (MSA) merupakan pendekatan sistematis untuk menilai apakah suatu sistem pengukuran mampu menghasilkan data yang akurat, presisi, stabil, dan konsisten (AIAG, 2010). AIAG menegaskan bahwa setiap hasil pengukuran selalu mengandung *error*, sehingga perlu dievaluasi sejauh mana variasi yang muncul berasal dari proses sebenarnya, dari alat ukur, maupun dari operator yang melakukan pengukuran (AIAG, 2010). Dalam kerangka ini, MSA membedakan variasi sistem pengukuran menjadi dua kelompok utama, yaitu *location variation* dan *width variation*.

Location variation mencakup bias, *linearity*, dan *stability* yang menggambarkan seberapa dekat rata-rata hasil pengukuran terhadap nilai referensi serta konsistensinya dari waktu ke waktu. Sementara itu, *width variation* mencakup *repeatability* dan *reproducibility* yang dinilai melalui studi *Gage* R&R, dan menggambarkan seberapa besar penyebaran hasil pengukuran ketika dilakukan secara berulang oleh operator yang sama maupun oleh operator yang berbeda dengan metode dan alat ukur yang sama. Sistem pengukuran dinyatakan baik apabila biasnya kecil, *repeatability* dan *reproducibility*-nya stabil, kapabilitas alat ukurnya terjaga, serta kontribusi variasi sistem ukur jauh lebih kecil dibandingkan variasi antar*part* yang diukur.

MSA bertujuan memastikan bahwa keputusan kualitas, terutama penetapan OK/NG, dapat dilakukan secara lebih andal. Melalui evaluasi ini, organisasi dapat menilai kesesuaian sistem pengukuran, mengidentifikasi sumber variasi yang berasal dari alat ukur, operator, metode, maupun lingkungan, serta menentukan apakah sistem pengukuran cukup sensitif untuk mendeteksi variasi proses. Dengan demikian, MSA menjadi dasar dalam memastikan keandalan data pengukuran yang digunakan untuk pengendalian kualitas dan analisis proses.

a. MSA numerik

MSA numerik dipakai ketika karakteristik kualitas diukur dalam bentuk nilai kontinu, misalnya diameter, panjang, tebal, atau kekasaran. AIAG (2010) menekankan bahwa tujuan studi ini adalah memisahkan variasi total menjadi:

- variasi karena sistem ukur (*gage* + manusia + metode)
- variasi karena perbedaan nyata antar*part*.

Dalam pengukuran variabel, analisis Measurement System Analysis (MSA) numerik dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu *Range Method*, *Average and Range Method*, dan *Analysis of Variance* (ANOVA) Method. *Range Method* merupakan metode sederhana yang digunakan untuk memperoleh estimasi awal variasi sistem pengukuran. *Average and Range Method* digunakan untuk mengestimasi komponen *repeatability* dan *reproducibility* secara lebih rinci melalui nilai rata-rata dan rentang hasil pengukuran berulang. Sementara itu, *ANOVA Method* digunakan untuk memberikan analisis yang lebih lengkap karena dapat memisahkan variasi total menjadi komponen *repeatability*, *reproducibility*, variasi antarpart, serta interaksi antara appraiser dan part. AIAG menyatakan bahwa metode ANOVA lebih disukai ketika diperlukan analisis yang lebih rinci, sedangkan *Average and Range Method* banyak digunakan karena lebih sederhana dan umum diterapkan dalam praktik industri (AIAG, 2010).

Dalam praktiknya, studi GRR variabel biasanya menggunakan beberapa *part* (mewakili variasi proses), diukur berulang oleh beberapa *appraiser* dalam beberapa *trial*. Data ini kemudian diurai menjadi komponen-komponen variasi berikut.

i. *Repeatability/Equipment Variation* (EV)

Repeatability menggambarkan variasi yang muncul ketika satu operator mengukur *part* yang sama berulang kali dengan *gage* yang sama dalam kondisi yang sama. AIAG menyebutnya sebagai *equipment variation* karena sumber variasinya terutama berasal dari keterbatasan alat ukur, seperti resolusi, friksi internal, atau teknik pengukuran yang invariant (AIAG, 2010).

$$EV = \bar{R} \times K_1 \tag{2.1}$$

Repeatability atau *equipment variation* diperoleh dengan mengalikan konstanta K1 dengan nilai rata-rata *range* dari seluruh pengukuran ulang pada *part* yang sama. Konstanta tersebut mewakili penyetaraan statistik untuk mengestimasi simpangan baku alat ukur berdasarkan jumlah pengulangan yang digunakan.

ii. *Reproducibility/Appraiser Variation* (AV)

Reproducibility mencerminkan variasi yang terjadi ketika operator berbeda mengukur *part* yang sama menggunakan prosedur dan alat ukur yang sama. *Error* muncul karena perbedaan teknik, tekanan tangan, titik ukur, interpretasi metode, atau prosedur yang tidak seragam. AIAG memasukkan AV sebagai salah satu komponen terpenting untuk memahami variasi yang berasal dari perbedaan antaroperator dalam melakukan pengukuran (AIAG, 2010).

$$X\ DIFF = \max(\bar{X}_i) - \min(\bar{X}_i) \tag{2.2}$$

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{n \times r}\right)}$$

Reproducibility atau *appraiser variation* (AV) dihitung berdasarkan perbedaan rata-rata hasil ukur antara *appraiser* dengan koreksi pengaruh *repeatability*. Pertama-tama ditentukan selisih rata-rata terbesar dan terkecil antar*appraiser* , kemudian dikalikan dengan konstanta untuk memperoleh komponen variasi kasar antar*appraiser*. Nilai tersebut lalu dikoreksi dengan mengurangi kontribusi *repeatability* yang tersebar pada seluruh kombinasi *part* dan pengulangan dengan jumlah *part* dan jumlah pengulangan. Hasil AV ini menggambarkan seberapa besar variasi yang muncul karena perbedaan teknik dan konsistensi antarinspektor.

iii. *Gage R&R* (GRR)

GRR adalah total variasi yang dihasilkan dari *repeatability* dan *reproducibility*. AIAG mendefinisikannya sebagai estimasi kemampuan keseluruhan sistem pengukuran (AIAG, 2010).

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \tag{2.3}$$

Setelah EV dan AV diperoleh, total variasi sistem pengukuran atau *Gage R&R* dihitung sebagai akar dari penjumlahan kuadrat keduanya. Nilai ini menunjukkan besarnya variasi yang berasal dari keseluruhan sistem ukur (alat dan operator).

iv. *Part Variation* (PV)

PV adalah variasi yang menunjukkan seberapa jauh nilai antar*part* memang berbeda secara nyata. Komponen ini harus menjadi bagian terbesar dari total variasi jika proses produksi stabil.

$$PV = R_p \times K_3 \tag{2.4}$$

Mula-mula dihitung rata-rata hasil ukur tiap *part* (menggabungkan seluruh *appraiser* dan pengulangan), kemudian ditentukan rentangnya dengan selisih antara rata-rata *part* terbesar dan terkecil. Nilai tersebut dikalikan dengan konstanta yang bergantung pada jumlah *part*. PV merepresentasikan variasi nyata yang berasal dari proses produksi, bukan dari sistem pengukuran.

v. *Total Variation* (TV)

Total variasi dari sistem pengukuran dan proses nyata.

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \tag{2.5}$$

Total variasi (TV) pada studi GRR kemudian didefinisikan sebagai kombinasi antara variasi sistem ukur dan variasi antar*par*t

vi. *%GRR & %contribution*

Persentase variasi menunjukkan seberapa besar kontribusi masing-masing komponen.

$$\%EV = 100 \times \frac{EV}{TV} \tag{2.6}$$

$$\%AV = 100 \times \frac{AV}{TV}$$

$$\%GRR = 100 \times \frac{GRR}{TV}$$

$$\%PV = 100 \times \frac{PV}{TV}$$

vii. *Number of Distinct Categories* (ndc)

NDC menilai kemampuan sistem pengukuran untuk membedakan variasi antar*part* secara nyata.

$$ndc = \frac{PV}{GRR} \tag{2.7}$$

AIAG mengevaluasi kelayakan sistem ukur menggunakan %GRR dan ndc. Sistem ukur dinilai baik apabila %GRR berada di bawah 10 persen, masih dapat diterima pada kisaran 10–30 persen, dan dianggap tidak layak jika melebihi 30 persen. Sementara itu, nilai ndc menunjukkan kemampuan alat membedakan variasi antar*part*, ndc lima atau lebih menandakan sistem ukur sensitif, sedangkan nilai di bawah lima menunjukkan kemampuan deteksi yang tidak memadai (AIAG, 2010).

Dengan demikian, perhitungan tersebut menggambarkan alur lengkap MSA numerik data mentah pada *Data Collection Sheet* yang ada dibawah ini menjadi dasar untuk perhitungan statistik pada *Gage R&R Report*, yang akhirnya menghasilkan ukuran kelayakan dan kemampuan sistem pengukuran sesuai pedoman, hingga hingga konstanta statistik yang digunakan dalam metode *average and range*. (AIAG, 2010).

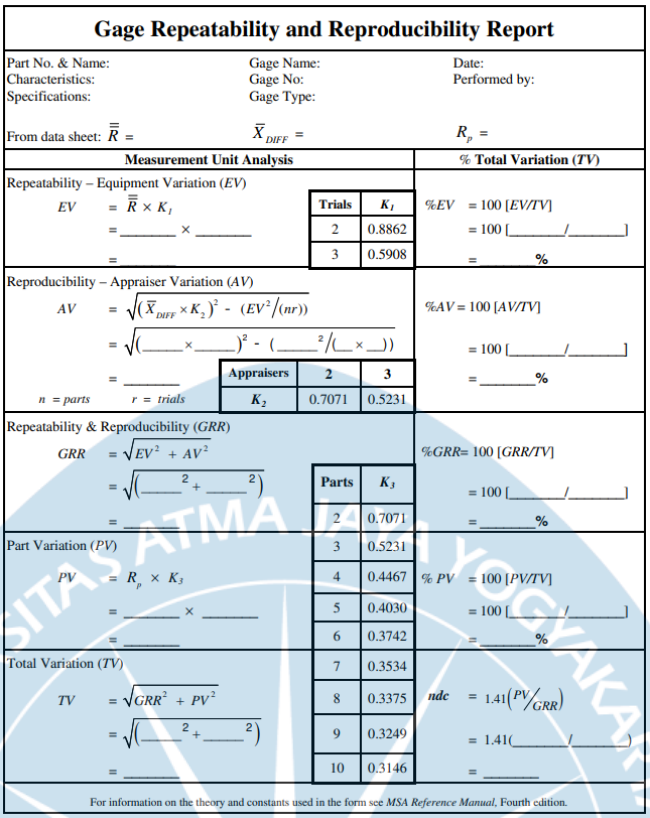
Gage Repeatability and Reproducibility Data Collection Sheet

Appraiser /Trial #	PART 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVERAGE
A 1											
2											
3											
Average											$\bar{X}_a$ =
Range											$\bar{R}_a$ =
B 1											
2											
3											
Average											$\bar{X}_b$ =
Range											$\bar{R}_b$ =
C 1											
2											
3											
Average											$\bar{X}_c$ =
Range											$\bar{R}_c$ =
Part Average											$\bar{\bar{X}}$ = R_p =
([$\bar{R}_a$ =] + [$\bar{R}_b$ =] + [$\bar{R}_c$ =]) / [# OF APPRAISERS =] =											$\bar{\bar{R}}$ =
$\bar{X}_{DIFF}$ = [Max $\bar{X}$ =] - [Min $\bar{X}$ =] =											$\bar{X}_{DIFF}$ =
* UCL_R = [$\bar{\bar{R}}$ =] × [D_4 =] =											

*D_4 = 3.27 for 2 trials and 2.58 for 3 trials. UCL_R represents the limit of individual R's. Circle those that are beyond this limit. Identify the cause and correct. Repeat these readings using the same appraiser and unit as originally used or discard values and re-average and recompute $\bar{\bar{R}}$ and the limiting value from the remaining observations.

Notes:_____

Gambar 2.3 *Gage Repeatability and Reproducibility Collection Sheet* (AIAG, 2010)



Gage Repeatability and Reproducibility Report

Part No. & Name: | Gage Name: | Date:
Characteristics: | Gage No: | Performed by:
Specifications: | Gage Type:

From data sheet: $\bar{\bar{R}}$ = | $\bar{X}_{DIFF}$ = | R_p =

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability – Equipment Variation (*EV*) $EV = \bar{\bar{R}} \times K_1$ = _____ × _____ = _____	%*EV* = 100 [*EV/TV*] = 100 [_____/_____] = _____ %
Reproducibility – Appraiser Variation (*AV*) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2/(nr))}$ $= \sqrt{(____ \times ____)^2 - (____^2/(__ \times __))}$ = _____ *n* = *parts* *r* = *trials*	%*AV* = 100 [*AV/TV*] = 100 [_____/_____] = _____ %
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) $GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$ $= \sqrt{(____^2 + ____^2)}$ = _____	%*GRR*= 100 [*GRR/TV*] = 100 [_____/_____] = _____ %
Part Variation (*PV*) $PV = R_p \times K_3$ = _____ × _____ = _____	% *PV* = 100 [*PV/TV*] = 100 [_____/_____] = _____ %
Total Variation (*TV*) $TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ $= \sqrt{(____^2 + ____^2)}$ = _____	*ndc* = $1.41(PV/GRR)$ = 1.41(_____/_____) = _____

Appraisers	2	3
K_2	0.7071	0.5231

Trials	K_1
2	0.8862
3	0.5908

Parts	K_3
2	0.7071
3	0.5231
4	0.4467
5	0.4030
6	0.3742
7	0.3534
8	0.3375
9	0.3249
10	0.3146

For information on the theory and constants used in the form see *MSA Reference Manual*, Fourth edition.

Gambar 2.4 *Gage Repeatability and Reproducibility Report* (AIAG, 2010)

b. MSA *Attribute*

MSA *Attribute* digunakan ketika karakteristik kualitas dinilai dalam bentuk keputusan kategorikal seperti *OK/NG* atau *Go/No-Go*. AIAG menjelaskan bahwa tujuan studi ini adalah mengevaluasi sejauh mana keputusan inspeksi dapat dipercaya, terutama karena sistem ukur atribut sangat dipengaruhi oleh persepsi visual dan interpretasi operator (AIAG, 2010). Dalam pelaksanaannya, sejumlah sampel dengan kondisi diketahui diperiksa oleh beberapa *appraiser* dalam beberapa pengulangan, lalu hasilnya dibandingkan dengan referensi standar. Analisis ini menunjukkan apakah operator mampu memberikan keputusan yang konsisten, apakah terdapat perbedaan cara menilai antarappraiser, dan apakah keputusan tersebut sesuai dengan kondisi *part* yang sebenarnya. Dengan demikian, evaluasi MSA atribut tidak hanya menilai tingkat kesepakatan (*agreement*), tetapi juga menilai risiko kesalahan keputusan inspeksi melalui *miss rate* dan *false alarm rate* (AIAG, 2010).

Dalam studi MSA atribut, indikator utama yang umum digunakan meliputi *repeatability*, *reproducibility*, *accuracy* atau *effectiveness*, *miss rate*, *false alarm rate*, dan *Cohen's Kappa*. Melalui analisis tersebut, MSA atribut memberikan dasar objektif untuk menilai apakah sistem inspeksi visual atau *go/no-go* layak digunakan dalam proses kontrol kualitas (AIAG, 2010).

i. *Repeatability (Within-Appraiser Agreement)*

Repeatability, yaitu tingkat kesesuaian keputusan ketika *appraiser* yang sama menilai *part* yang sama dalam beberapa pengulangan. Nilainya dihitung dari proporsi keputusan yang konsisten terhadap total pengukuran yang dilakukan appraiser tersebut.

$$\%Repeatability = \frac{Jumlah\ keputusan\ konsisten\ oleh\ appraiser\ yang\ sama}{Total\ Pengukuran} \times 100\% \quad (2.8)$$

Nilai *repeatability* yang tinggi menunjukkan bahwa seorang appraiser mampu memberikan keputusan yang stabil dan tidak mudah berubah pada kondisi part yang sama.

ii. *Reproducibilty (Between-Appraiser Agreement)*

Reproducibility, yang menilai keseragaman keputusan antar*appraiser*. Metrik ini menunjukkan apakah dua atau lebih appraiser memberikan keputusan yang sama untuk kondisi *part* yang sama. Jika *reproducibility* rendah, maka variasi dinilai berasal dari perbedaan interpretasi antarinspektor.

$$\%Reproducibilty = \frac{Jumlah\ keputusan\ sama\ antaroperator}{Total\ Pengukuran\ antaroperator} \times 100\% \quad (2.9)$$

Nilai *reproducibility* yang tinggi menunjukkan bahwa sistem inspeksi memiliki keseragaman keputusan yang baik antarappraiser.

iii. *Accuracy (*Bias terhadap *Master*/*Reference)*

Accuracy, yaitu tingkat kecocokan keputusan *appraiser* terhadap nilai rujukan yang dianggap benar, seperti referensi atau hasil verifikasi pakar. *Accuracy* menggambarkan apakah keputusan yang diambil sudah tepat, bukan hanya konsisten.

$$\%Accuracy = \frac{keputusan\ yang\ sesuai\ reference}{Total\ keputusan} \times 100\% \quad (2.10)$$

Nilai *reproducibility* yang tinggi menunjukkan bahwa sistem inspeksi memiliki keseragaman keputusan yang baik antarappraiser.

iv. *Miss Rate* (NG dianggap OK)

Miss rate yaitu kondisi ketika part yang sebenarnya NG dianggap OK oleh *appraiser*.

$$\%Miss\ rate = \frac{jumlah\ part\ yang\ dinilai\ OK\ oleh\ inspektor}{Total\ part\ NG\ sesuai\ reference} \times 100\% \quad (2.11)$$

Nilai *miss rate* yang tinggi menunjukkan adanya risiko part tidak sesuai lolos dari proses inspeksi.

v. *False Alarm* (OK dianggap NG)

False alarm rate yaitu part OK yang salah dinilai sebagai NG.

$$\%\text{False alarm rate} = \frac{\text{jumlah part yang dinilai NG oleh inspektor}}{\text{Total part OK sesuai reference}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Nilai *false alarm rate* yang tinggi menunjukkan adanya kecenderungan sistem inspeksi menghasilkan keputusan terlalu ketat sehingga part yang sebenarnya baik diklasifikasikan sebagai NG. *Miss rate & false alarm rate* ini penting terutama pada inspeksi karakteristik kritis, karena kesalahan klasifikasi berdampak langsung terhadap kualitas produk dan potensi kegagalan di lapangan.

vi. *Cohen's Kappa* (κ)

Cohen's Kappa merupakan pengukuran tingkat kesepakatan antara dua evaluator ketika keduanya menilai objek yang sama dengan kategori yang identik, seperti keputusan OK/NG atau *Pass/Fail*. Nilai *Kappa* berada dalam rentang −1 hingga 1. Nilai 1 menunjukkan kesepakatan sempurna, nilai 0 menunjukkan bahwa tingkat kesepakatan tidak lebih baik daripada kebetulan, sedangkan nilai negatif menunjukkan kesepakatan yang lebih buruk dari peluang acak, AIAG menjelaskan bahwa Kappa dapat digunakan sebagai pendekatan statistik tambahan untuk melihat konsistensi penilaian yang telah dikoreksi terhadap peluang terjadinya *agreement* secara acak (AIAG, 2010).

$$\kappa = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (2.13)$$

AIAG memberikan pedoman umum mengenai interpretasi nilai Kappa, yaitu:

- nilai $\kappa > 0.75$ menunjukkan tingkat kesepakatan baik hingga sangat baik (*good to excellent agreement*)
- nilai $0.40 \leq \kappa \leq 0.75$ menunjukkan tingkat kesepakatan yang cukup (*fair agreement*),
- nilai $\kappa < 0.40$ menunjukkan kesepakatan yang rendah (*poor agreement*),

Dalam analisis sistem pengukuran atribut, evaluasi awal biasanya dilakukan menggunakan tabel silang (*cross tabulation*) yang menunjukkan kesesuaian dan ketidaksesuaian keputusan antara dua evaluator atau antara evaluator dengan nilai referensi. Tabel kontingensi ini memuat empat kemungkinan hasil *agree–OK, agree–NG, disagree–OK–NG*, dan *disagree–NG–OK*. Hal ini menjadi dasar untuk menghitung berbagai metrik, termasuk *overall agreement*, *miss rate*, *false alarm*, serta *Cohen's Kappa*, yang mengukur tingkat kesepakatan dengan koreksi terhadap peluang terjadinya kecocokan secara acak (AIAG, 2010). Dengan demikian, evaluasi MSA atribut tidak

hanya menilai tingkat kesepakatan (*agreement*), tetapi juga menilai risiko kesalahan keputusan inspeksi.

Setelah seluruh indikator dihitung, hasilnya dievaluasi menggunakan kriteria kelayakan sistem inspeksi sebagaimana dijelaskan dalam AIAG. hasil studi MSA attribute dapat diinterpretasikan menggunakan kriteria *effectiveness*, *miss rate*, dan *false alarm rate*. Appraiser dinilai *acceptable* apabila *effectiveness* mencapai ≥ 90%, *miss rate* ≤ 2%, dan *false alarm rate* ≤ 5%. Appraiser dinilai *marginally acceptable* apabila *effectiveness* mencapai ≥ 80%, *miss rate* ≤ 5%, dan *false alarm rate* ≤ 10%. Sementara itu, appraiser dinilai *unacceptable* apabila *effectiveness* < 80%, *miss rate* > 5%, atau *false alarm rate* > 10% (AIAG, 2010).

Tabel 2.2 Pedoman Kriteria Effectiveness (AIAG, 2010)

Decision *Measurement system*	***Effectiveness***	***Miss Rate***	***False Alarm Rate***
Acceptable for the appraiser	≥90%	≥2%	≥5%
Marginal acceptable for the appraiser - may need improvement	≤80%	≤5%	≤10%
Unacceptable for the appraiser - needs improvement	<80%	<5%	<10%

2.2.5 *Human Factors* dan *Human Error*

Human Factors membahas bagaimana manusia berinteraksi dengan tugas, lingkungan kerja, dan teknologi dalam suatu sistem kerja untuk menghasilkan performa yang aman, efektif, dan konsisten. Dalam *Human Factors in Engineering and Design*, Sanders dan McCormick (1993) menjelaskan bahwa kinerja manusia merupakan hasil dari interaksi tiga komponen utama dalam model *Human–System Compatibility*, yaitu operator manusia, lingkungan kerja, dan teknologi. Operator dipengaruhi oleh kemampuan perseptual, motorik, kognitif, serta keterbatasan fisik dan mental. Sementara itu, lingkungan kerja memengaruhi kinerja melalui kondisi kerja, proses organisasi, serta berbagai sumber stres. Teknologi memberikan tuntutan melalui mesin, peralatan kerja, dan sistem berbasis komputer.

Kinerja manusia dalam suatu sistem kerja akan optimal apabila terdapat kesesuaian antara tuntutan tugas dengan kemampuan manusia. Ketidaksesuaian antara tuntutan sistem dan kapasitas operator berpotensi menurunkan konsistensi kinerja serta

meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan dalam proses kerja (Sanders & McCormick, 1993).

Salah satu bentuk kesalahan yang dapat terjadi dalam sistem kerja adalah *Human Error. Human Error* didefinisikan sebagai penyimpangan tindakan manusia dari prosedur, standar, atau kondisi kerja yang seharusnya dilakukan. Dalam perspektif *Human Factors, human error* dipandang sebagai konsekuensi dari interaksi antara manusia, lingkungan kerja, dan teknologi yang tidak berjalan secara optimal. Oleh karena itu, pemahaman terhadap faktor-faktor manusia dalam sistem kerja menjadi penting untuk mengidentifikasi potensi kesalahan serta memahami bagaimana kesalahan tersebut dapat terjadi dalam suatu proses kerja.

2.2.6 *Supplier Quality Management*

Supplier Quality Management (SQM) merupakan pendekatan menyeluruh dalam mengelola dan memantau kinerja pemasok untuk meningkatkan efektivitas keseluruhan rantai pasok. SQM tidak hanya berfokus pada aspek biaya, tetapi juga mencakup kualitas, ketepatan pengiriman, keberlanjutan, dan praktik pengadaan yang etis. Kinerja pemasok memiliki pengaruh langsung terhadap mutu produk akhir dan tingkat kepuasan pelanggan. Oleh karena itu, penerapan SQM yang efektif dapat membantu meminimalkan *defect*, mengurangi biaya akibat *rework* dan pengembalian produk, memperpendek *lead time*, dan meningkatkan responsivitas rantai pasok secara keseluruhan (Shah & Kirche, 2025).

Pelaksanaan SQM umumnya melibatkan beberapa strategi utama seperti pemilihan pemasok berdasarkan kemampuan memenuhi syarat kualitas dan pengiriman, evaluasi pemasok secara berkala melalui *scorecard*, serta program pengembangan pemasok untuk meningkatkan proses produksi mereka. Proses kualifikasi dan sertifikasi pemasok dilakukan guna memastikan bahwa pemasok mampu memenuhi standar yang ditetapkan secara konsisten melalui asesmen, audit, serta evaluasi kinerja historis (Shah & Kirche, 2025). Selain itu, audit kualitas pemasok digunakan untuk menilai kesesuaian sistem manajemen mutu pemasok dengan persyaratan perusahaan, sedangkan pemeriksaan *incoming material* bertujuan memastikan bahwa hanya material yang memenuhi spesifikasi yang masuk ke proses produksi. Kombinasi kegiatan ini menjadikan *Supplier Quality Management* sebagai komponen penting dalam pengendalian kualitas rantai pasok dan peningkatan kualitas produk akhir (Shah & Kirche, 2025).

2.2.7 *Production Part Approval Process* (PPAP)

Production Part Approval Process (PPAP) merupakan standar yang menetapkan persyaratan umum untuk persetujuan komponen produksi sebelum memasuki fase produksi massal. Tujuan PPAP adalah memastikan bahwa pemasok memahami seluruh persyaratan desain dan spesifikasi pelanggan serta membuktikan bahwa proses manufaktur yang digunakan memiliki kemampuan untuk menghasilkan produk secara konsisten sesuai standar yang telah ditentukan. Kesesuaian ini harus dibuktikan melalui proses produksi percobaan yang merepresentasikan kondisi produksi aktual pada laju produksi yang direncanakan. PPAP berlaku bagi seluruh pemasok komponen produksi, komponen servis, material produksi, dan bulk material, kecuali bila pelanggan memberikan pengecualian resmi. Selain menjelaskan ruang lingkup penerapan, PPAP juga menekankan kewajiban pemasok untuk melakukan pemberitahuan dan pengajuan ulang apabila terjadi perubahan desain, material, proses, fasilitas, atau kondisi lain yang dapat memengaruhi kualitas produk (AIAG, 2006).

Dalam pelaksanaannya, PPAP mengharuskan pemasok menyerahkan bukti pemenuhan persyaratan melalui *significant production run*, yaitu produksi sampel yang dibuat menggunakan proses, peralatan, *tooling*, material, operator, dan kondisi yang sama dengan produksi massal. Dokumen PPAP terdiri atas beberapa elemen yang harus disiapkan pemasok sebagai bukti kesiapan proses. Elemen- elemen ini menjadi fondasi penting dalam proses standardisasi dokumen supplier karena menyediakan struktur yang jelas untuk menilai kelengkapan informasi teknis dan kesiapan proses pemasok (AIAG, 2006). Berikut merupakan elemen- elemen tersebut.

a. *Process Failure Mode and Effect Analysis* (PFMEA)

Process Failure Mode and Effects Analysis (*Process* FMEA) merupakan analisis sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam setiap langkah proses manufaktur serta mengevaluasi dampaknya terhadap kualitas produk. PPAP mensyaratkan bahwa organisasi harus menyusun PFMEA sesuai ketentuan pelanggan dan berpedoman pada *Potential Failure Mode and Effects Analysis reference manual*. PFMEA berfungsi untuk menilai risiko melalui identifikasi mode kegagalan, penyebab, dampak, serta kontrol yang ada, sehingga tindakan perbaikan dapat ditetapkan sebelum produksi berlangsung. Satu PFMEA dapat digunakan untuk kelompok produk yang memiliki proses serupa asalkan kesamaan proses tersebut telah ditinjau dan disetujui oleh organisasi. Dokumen ini menjadi salah satu elemen penting dalam PPAP karena menunjukkan bahwa proses manufaktur telah dianalisis secara preventif untuk memastikan stabilitas dan konsistensi kualitas komponen yang dikirimkan kepada pelanggan.

b. *Control plan*

Control plan merupakan dokumen yang menjabarkan seluruh metode yang digunakan untuk mengendalikan proses agar setiap karakteristik produk dan proses dapat diverifikasi secara konsisten sesuai persyaratan pelanggan. Dokumen ini berisi informasi mengenai karakteristik yang harus dipantau, metode inspeksi yang digunakan, frekuensi pengecekan, alat ukur yang diperlukan, serta tindakan yang dilakukan apabila terjadi penyimpangan. PPAP mensyaratkan bahwa *control plan* harus mengikuti format dan ketentuan yang ditetapkan pelanggan serta selaras dengan hasil *process flow diagram* dan PFMEA sehingga setiap potensi risiko proses dapat dikendalikan melalui langkah-langkah inspeksi yang tepat. Penggunaan *control plan* untuk keluarga *part* masih diperbolehkan selama organisasi memastikan adanya kesamaan proses antara *part* baru dengan kelompok *part* yang sudah ada. Dalam beberapa kasus, pelanggan juga dapat mensyaratkan *approval* khusus untuk *control plan* sebelum produksi dapat dijalankan. Dengan demikian, *control plan* menjadi dokumen kunci dalam memastikan stabilitas proses serta konsistensi kualitas produk yang dikirimkan pemasok kepada pelanggan.

c. *Dimensional results*

Dimensional results merupakan bukti bahwa pemasok telah melakukan verifikasi dimensi sesuai persyaratan yang tercantum pada *design record* dan *control plan*. Pemasok harus menyediakan hasil pengukuran untuk setiap proses manufaktur yang berbeda, termasuk semua *cavity, mold, pattern*, atau *die* yang digunakan dalam produksi. Semua dimensi yang relevan, karakteristik, dan spesifikasi yang terdapat pada *drawing* harus dicatat bersama hasil aktualnya, lengkap dengan informasi *change level*, tanggal gambar, dan referensi dokumen *engineering change* yang berlaku. Dokumen pendukung seperti *Coordinate Measuring Machine* (CMM) *report*, *sketch*, atau layout tambahan perlu disertakan bila digunakan dalam proses inspeksi. Selain itu, salah satu part yang diukur harus ditetapkan sebagai *master sample*.

Dokumen *dimensional results* umumnya disajikan dalam bentuk *Initial Sample Inspection Report* (ISIR), yaitu laporan hasil inspeksi dimensi awal yang berisi hasil pengukuran aktual terhadap karakteristik produk dan perbandingannya dengan spesifikasi pada drawing. ISIR digunakan sebagai bukti bahwa sampel produk yang diajukan telah memenuhi persyaratan dimensional customer sebelum proses produksi massal dilakukan. Dalam industri otomotif, ISIR menjadi salah satu dokumen penting dalam proses PPAP karena digunakan untuk memastikan bahwa seluruh karakteristik dimensi produk telah diverifikasi dan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan customer. Dengan demikian, *dimensional results* berperan dalam memastikan

konsistensi kualitas produk serta mendukung proses validasi kualitas produk dan proses produksi supplier.

d. *Initial process studies* (*Capablity process*)

Initial process studies merupakan aktivitas penilaian awal terhadap kapabilitas proses produksi untuk memastikan bahwa proses tersebut mampu menghasilkan produk yang konsisten memenuhi persyaratan pelanggan. PPAP mengharuskan pemasok mengevaluasi seluruh *special characteristics* yang ditetapkan oleh pelanggan atau organisasi sebelum pengajuan PPAP dilakukan. Fokus utama studi ini adalah memahami variasi proses jangka pendek, bukan semata-mata mengejar nilai indeks tertentu, sehingga data harus dikumpulkan secara berurutan dan dianalisis dalam kondisi proses yang stabil sesuai prinsip *statistical process control.*

Dalam PPAP, hasil studi diringkas menggunakan indeks kapabilitas proses seperti Cpk dan Ppk. Cpk digunakan untuk menilai kemampuan proses yang stabil berdasarkan variasi dalam subgrup, sementara Ppk mengukur performa proses secara keseluruhan berdasarkan total variasi sampel. Kedua indeks ini dibandingkan untuk memahami penyebab variasi proses. PPAP juga menentukan kriteria penerimaan berdasarkan nilai indeks tersebut. Jika nilai indeks tidak memenuhi kriteria, pemasok harus menghubungi perwakilan pelanggan yang berwenang dan menyusun *corrective action plan*, serta memperbarui *control plan*, biasanya dengan penerapan inspeksi 100 persen hingga kapabilitas proses membaik. Selain itu, PPAP juga memberikan ketentuan tambahan untuk proses yang tidak stabil, karakteristik dengan satu sisi spesifikasi, atau proses dengan distribusi non-normal, yang mewajibkan pemasok berkoordinasi dengan pelanggan untuk menentukan kriteria penerimaan alternatif.

e. *Master sample*

Master sample adalah contoh produk yang disimpan sebagai referensi untuk standar produksi dan disimpan selama periode yang sama dengan catatan persetujuan produk. *Master sample* digunakan sebagai acuan untuk setiap posisi pada cetakan, *mold*, alat, atau proses produksi, serta menunjukkan tanggal persetujuan pelanggan. Tujuannya adalah membantu mendefinisikan standar produksi, terutama ketika data produk ambigu atau tidak cukup rinci untuk mereplikasi bagian secara tepat, dan dapat mencakup catatan manufaktur, hasil uji, atau sertifikat analisis bahan utama jika sifat material memerlukan pemantauan waktu.

f. *Checking aids*

Checking aids adalah alat bantu inspeksi khusus untuk komponen atau perakitan yang digunakan untuk memastikan kesesuaian dimensi produk dengan persyaratan

pelanggan. Contoh *checking aids* antara lain *jig, fixture, gage variabel* maupun atribut, model, *template*, atau mylar yang dibuat spesifik untuk produk. Organisasi wajib menyerahkan *checking aids* saat diminta, memastikan seluruh aspek alat sesuai dengan spesifikasi, mendokumentasikan setiap perubahan desain yang diterapkan, serta melakukan *preventive maintenance* selama umur produk.

g. *Customer specific requirements*

Customer specific requirements adalah persyaratan khusus yang ditetapkan oleh pelanggan dan harus dipatuhi oleh organisasi. Organisasi wajib memiliki catatan yang menunjukkan kepatuhan terhadap semua persyaratan khusus pelanggan yang berlaku. Untuk bahan baku (*bulk materials*), persyaratan ini harus didokumentasikan menggunakan *bulk material requirements checklist* agar kepatuhan dapat diverifikasi dengan jelas.

Dokumen *customer specific requirements* dapat berupa standar inspeksi (*inspection standard*), standar pengemasan (*packaging standard*), persyaratan pengujian khusus, maupun ketentuan lain yang ditetapkan oleh customer terkait kualitas produk dan proses produksi. Dalam industri otomotif, *inspection standard* umumnya digunakan sebagai acuan dalam proses inspeksi untuk memastikan karakteristik produk telah sesuai dengan spesifikasi dan standar kualitas yang ditetapkan customer. Oleh karena itu, dokumen ini menjadi bagian penting dalam PPAP karena membantu memastikan bahwa produk yang diproduksi telah memenuhi kebutuhan dan ekspektasi customer secara konsisten.

h. *Part Submission Warrant* (PSW)

Part Submission Warrant (PSW) adalah dokumen yang diselesaikan setelah seluruh persyaratan PPAP terpenuhi dan digunakan untuk menyatakan bahwa produk memenuhi persyaratan pelanggan. Setiap nomor *part* pelanggan memerlukan PSW terpisah, dan jika produksi menggunakan lebih dari satu cetakan, *mold*, alat, *die*, atau proses produksi, satu bagian dari masing-masing harus dievaluasi dimensinya dan dicatat dalam PSW. Seluruh hasil pengukuran dan uji harus diverifikasi menunjukkan kesesuaian dengan persyaratan pelanggan, serta dokumentasi pendukung disertakan sesuai *level submission*. Selain itu, PSW mencatat *part weight* (massa *part*) sebagai rata-rata dari setidaknya sepuluh bagian terpilih secara acak, diukur tanpa pelindung pengiriman, alat bantu perakitan, atau kemasan, untuk keperluan analisis berat kendaraan, namun tidak memengaruhi proses persetujuan.

2.3 Standar dan Kode Etik

Penyusunan tugas akhir ini berpedoman pada standar dan kode etik agar seluruh rangkaian tugas akhir dapat dilaksanakan secara terstruktur, teliti, serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Standar digunakan sebagai acuan dalam merancang solusi yang relevan dengan kebutuhan industri, khususnya pada sektor manufaktur otomotif yang menuntut konsistensi kualitas dan perbaikan berkelanjutan. Sementara itu, kode etik diterapkan untuk memastikan bahwa seluruh aktivitas dilaksanakan dengan menjunjung tinggi integritas, menjaga kerahasiaan informasi perusahaan, menghindari potensi pelanggaran, serta mematuhi ketentuan keselamatan kerja selama berada di lingkungan industri.

2.3.1 Standar

Pada tugas akhir ini digunakan sejumlah standar manajemen mutu yang berlaku pada industri manufaktur otomotif untuk memastikan bahwa pengelolaan kualitas, konsistensi proses, serta peningkatan kinerja dapat dicapai secara sistematis dan terarah. Standar ISO 9001:2015 digunakan sebagai rujukan utama karena menyediakan kerangka kerja yang menekankan pengendalian proses, konsistensi dokumentasi, pemantauan kinerja, serta perbaikan berkelanjutan. Klausul 4.4 mengenai pengelolaan proses, 7.2 terkait kompetensi, 7.5 tentang *documented information*, serta 9.1 mengenai *monitoring* dan evaluasi digunakan untuk memastikan bahwa proses internal perusahaan maupun proses peninjauan dokumen pemasok berjalan secara sistematis, terdokumentasi, dan dapat ditelusuri. Selain itu, klausul 10.3 mengenai *continual improvement* menjadi landasan dalam memastikan bahwa kegiatan pengendalian mutu dievaluasi dan ditingkatkan secara berkelanjutan sesuai kebutuhan organisasi.

Untuk memenuhi tuntutan khusus industri otomotif, standar IATF 16949:2016 juga digunakan sebagai acuan, yang memperluas persyaratan ISO 9001 melalui pengendalian pemasok, validasi proses, serta penanganan produk tidak sesuai. Klausul 7.2 mengenai kompetensi personel serta klausul 7.3.1 terkait *awareness* terhadap risiko mutu digunakan untuk memastikan kesiapan sumber daya manusia yang terlibat dalam proses produksi dan pengendalian kualitas. Selain itu, klausul 7.2.1 tentang *Competence of Personnel Affecting Quality* menekankan pentingnya kompetensi personel yang berpengaruh langsung terhadap kualitas produk, sedangkan klausul 7.2.2 terkait *On-the-Job Training* memberikan pedoman mengenai pelatihan praktis yang relevan dengan pekerjaan.

Pada aspek sistem pengukuran, standar ini mengatur evaluasi kesesuaian dan keandalan sistem melalui klausul 7.1.5.1.1 tentang *Measurement System Analysis*

(MSA), yang memastikan bahwa proses pengukuran mampu menghasilkan data yang akurat dan konsisten. Pada sisi pengendalian pemasok, klausul 8.4 mengenai pengelolaan proses eksternal dan klausul 8.4.2.4 terkait *supplier monitoring* digunakan sebagai dasar dalam evaluasi dokumen PPAP, pelaksanaan audit pemasok, serta penetapan kriteria kelayakan pemasok. Selain itu, klausul 8.6 mengenai verifikasi keluaran proses, 8.7 terkait pengendalian produk tidak sesuai, serta 10.2 mengenai *corrective action* digunakan untuk memastikan bahwa sistem mutu perusahaan maupun pemasok mampu mendeteksi dan menangani ketidaksesuaian secara efektif.

Sebagai pedoman teknis, standar AIAG PPAP 4th Edition digunakan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan oleh pemasok telah memenuhi persyaratan desain, proses, dan kualitas sebelum diproduksi secara massal. Selain itu, AIAG MSA 4th Edition digunakan sebagai acuan teknis dalam mengevaluasi keandalan sistem pengukuran, khususnya terkait akurasi, konsistensi, *repeatability*, *reproducibility*, serta kesesuaian hasil pengukuran untuk pengambilan keputusan kualitas melalui analisis *Gage R&R* dan *Attribute Agreement Analysis*.

2.3.2 Kode etik

Penerapan kode etik dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan dengan memperoleh izin resmi dari pihak perusahaan serta memastikan bahwa seluruh proses pengumpulan data dilaksanakan sesuai dengan prosedur yang berlaku. Seluruh peraturan perusahaan dipatuhi, khususnya yang berkaitan dengan kerahasiaan data produksi, dokumen proses, serta informasi internal lainnya yang bersifat sensitif. Selain itu, setiap hasil analisis maupun rekomendasi perbaikan dikomunikasikan dan dikonsultasikan dengan pihak perusahaan sebagai pemangku kepentingan sebelum digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

Penerapan kode etik juga mengacu pada regulasi nasional untuk memastikan bahwa tugas akhir dilaksanakan dengan integritas dan tanggung jawab. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2000 tentang Rahasia Dagang dijadikan sebagai acuan dalam menjaga kerahasiaan informasi perusahaan, termasuk data produksi, dokumen perusahaan, serta informasi teknis lainnya agar tidak disebarluaskan tanpa izin. Selain itu, Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi digunakan untuk memastikan bahwa seluruh data yang dikumpulkan dan dikelola tetap terlindungi sesuai dengan prinsip perlindungan data pribadi.