

BAB I PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu pasar kendaraan bermotor terbesar yang memberikan potensi besar dalam perkembangan industri otomotif (Fitri, 2021). Oleh karena itu, industri otomotif menjadi salah satu industri yang sangat kompetitif, sehingga perusahaan otomotif perlu melakukan berbagai upaya dalam meraih pangsa pasar terbesar serta mendapatkan kesetiaan pelanggan (Agung Wirakusuma dkk., 2024). Salah satu strategi yang dapat dilakukan perusahaan otomotif adalah meningkatkan kualitas produk yang diberikan, karena produk yang berkualitas akan memberikan pengalaman yang positif, meningkatkan loyalitas konsumen (Mulyanti dkk., 2024), serta menjamin keselamatan dalam berkendara. Faktor utama dalam mencapai kualitas produk berada pada proses perakitan komponen mesin yang dibutuhkan, sehingga dibutuhkan tingkat presisi yang tinggi dalam perakitannya.

Salah satu proses dalam perakitan mesin otomotif adalah penyatuan antara *cylinder head* dengan *engine block* yang dapat dilihat pada Gambar I-1 dan Gambar I-2. Proses ini membutuhkan baut sebagai pengikat kedua komponen tersebut agar sambungan bisa terpasang dengan benar dan tidak mengalami kebocoran atau kerusakan saat mesin digunakan.. Keberhasilan dalam pengencangan baut bergantung pada tingkat akurasi dan konsistensi selama pengencangan. Ketidaktepatan dalam proses ini dapat menurunkan kualitas produk yang dihasilkan hingga berpotensi membahayakan keselamatan berkendara.



Gambar I-1. *Cylinder Head*



Gambar I-2. *Engine Block*

Proses pengencangan baut pada *cylinder head* memerlukan alat bantu supaya hasil pengencangan baut tersebut presisi dan sesuai standar pabrikan. Alat yang digunakan untuk mendukung proses tersebut adalah *cylinder head nut runner*. Mesin pengencangan bertenaga motor yang dilengkapi dengan sensor torsi untuk memverifikasi nilai torsi yang dicapai, sensor posisi untuk mendeteksi lokasi pengencangan, serta *electronic controller* yang mengatur aktivasi alat. Mesin ini dapat memastikan pengencangan sesuai dengan target yang telah ditentukan (Walt dkk., 2019). Jika pengencangan baut terlalu kencang, maka akan menyebabkan tekanan yang berlebih sehingga terjadi kerusakan ulir dan baut, deformasi komponen, bahkan patah atau retak pada baut. Sedangkan jika pengencangan terlalu longgar, gaya jepit yang tidak memadai akan menyebabkan getaran berlebih, sambungan yang longgar, dan pada akhirnya mempercepat penurunan umur komponen (Rizal Mustaqim, 2017).



Gambar I-3. *Cylinder Head Nut Runner*

Cylinder head nut runner tidak hanya berfungsi untuk pemasangan dan pengencangan baut, tetapi juga dapat digunakan untuk mengendurkan dan melepaskan baut. Penggunaan mesin ini dapat mempercepat pemasangan dan pelepasan baut hingga terjadi peningkatan kuantitas produksi dibandingkan dengan metode manual (Sugeng dkk., 2017), serta dapat mengurangi potensi kesalahan yang dilakukan oleh operator. Menurut Aryanti dkk. (2023), performa mesin *cylinder head nut runner* menjadi peran krusial dalam menentukan kualitas akhir produk otomotif.

Pada proses pengencangan baut menggunakan *cylinder head nut runner* memerlukan beberapa parameter yang memiliki peran penting dalam menjamin ketepatan dan konsistensi hasil. Parameter merupakan nilai acuan, keterangan, atau informasi yang menjelaskan bagian-bagian yang terdapat pada sistem (Blegur, 2019). Parameter juga berfungsi sebagai indikator keberhasilan proses pengencangan dengan data aktual yang tersedia pada sistem pengukuran (Lagerholm & Molinder, 2014), dan menjadi dasar dalam pengendalian mutu pada proses pengencangan baut. Mesin *cylinder head nut runner* dilengkapi dengan sistem pencatatan otomatis secara *real-time* yang kemudian disimpan menjadi data historis. Berikut pada Tabel I-1 merupakan parameter yang dicatat oleh mesin tersebut.

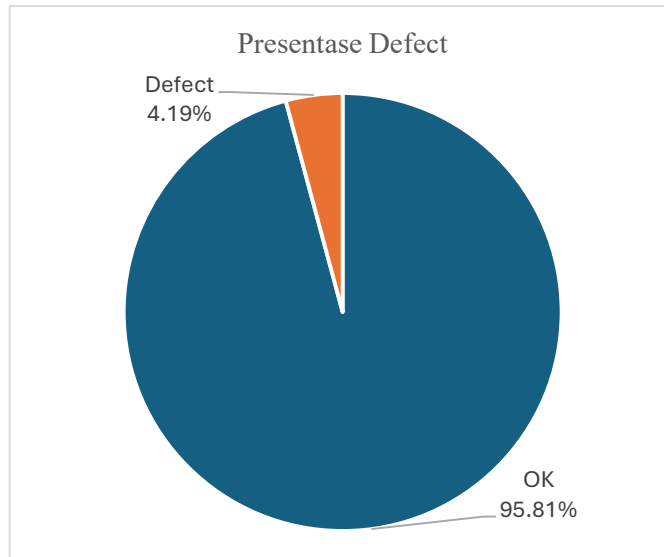
Tabel I-1. Macam-macam Parameter

Nama	Keterangan	Satuan
<i>End Torque</i> (END TRQ)	Nilai torsi akhir yang tercapai saat proses pengencangan selesai.	Nm (<i>Newtonmeter</i>)
<i>End Angle</i> (END ANG)	Sudut akhir yang tercapai ketika proses pengencangan selesai.	Derajat
<i>Seat Torque</i> (SEAT TRQ)	Torsi saat permukaan baut pertama kali menyentuh part yang akan dikencangkan	Nm (<i>Newtonmeter</i>)
<i>Target Torque</i> (T.TRQ)	Nilai torsi yang ingin dicapai selama proses pengencangan.	Nm (<i>Newtonmeter</i>)
<i>Angle at Target Torque</i> (ANG TRQ)	Sudut putaran saat nilai torsi mencapai <i>target torque</i> .	Derajat
<i>Snug Torque</i> (SNUG TRQ)	Torsi ringan awal yang digunakan untuk memastikan bahwa baut sudah di posisi yang benar.	Nm (<i>Newtonmeter</i>)
<i>Peak Torque</i> (PEAK TRQ)	Nilai maksimum torsi yang tercapai saat proses pengencangan.	Nm (<i>Newtonmeter</i>)

Tabel I-1. Macam-macam Parameter (Lanjutan)

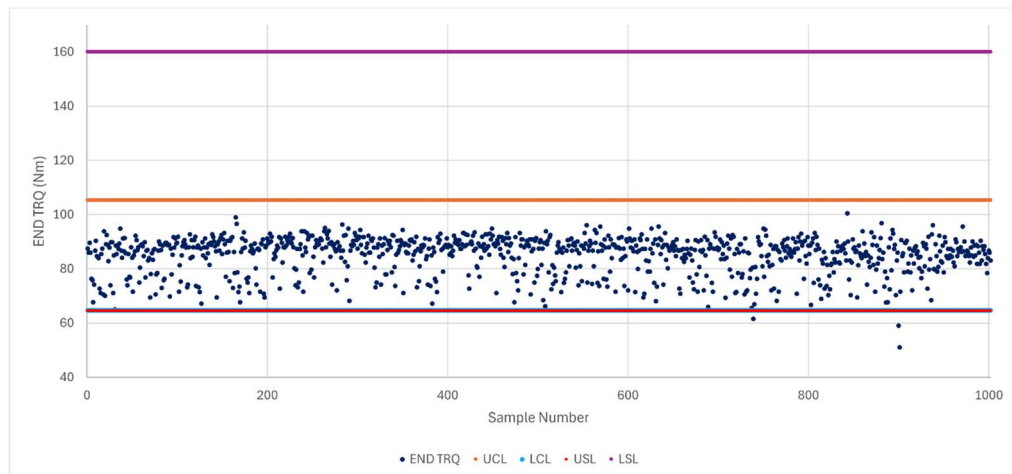
Nama	Keterangan	Satuan
<i>Tightening Angle</i> (TIGHTENING ANG)	Total sudut rotasi selama proses pengencangan setelah <i>snug torque</i> tercapai.	Derajat
<i>Rundown Time</i> (RDWN TIME)	Waktu dari awal rotasi hingga baut menyentuh permukaan komponen.	Detik (s)
<i>Total Tightening Time</i> (TL TIME)	Total waktu yang dibutuhkan dari awal proses hingga akhir proses pengencangan.	Detik (s)

Nilai *end torque* idealnya harus stabil pada setiap siklus karena merepresentasikan kekuatan sambungan dan kekonsistenan hasil dari proses. Menurut Retnowati dkk. (2024), ketidakstabilan nilai *end torque* dapat menyebabkan berbagai jenis *defect* produksi, seperti kebocoran oli pada sambungan, komponen yang tidak terpasang dengan rapat, terjadi keretakan pada bagian *cylinder head* karena *over-torque*, hingga gagal fungsi saat *quality control*. *Defect* juga dapat disebabkan oleh perbedaan bahan baku, perbedaan kondisi operasional, atau faktor-faktor lain yang memengaruhi hasil produksi (Dewayana dkk., 2012), seperti mesin yang tidak berfungsi dengan baik karena kurangnya perawatan, kurangnya perhatian terhadap metode yang tepat, tidak melakukan pemeriksaan sebelum mesin digunakan, hingga operator yang tidak fokus dan kurang maksimal dalam bekerja. Akibatnya, perusahaan harus menghadapi peningkatan perbaikan (*rework*), *scrap*, penurunan efisiensi produksi, serta meningkatnya biaya operasional. Kestabilan suatu proses dapat dianalisis dan diukur menggunakan CV (*coefficient of variation*), yang merupakan rasio antara standar deviasi dan rata-rata, kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. Menurut Aronhime dkk. (2013) nilai CV (*coefficient of variation*) sangat baik jika $\leq 10\%$, baik jika 10-20%, dapat diterima jika 20-30%, dan buruk jika $>30\%$. Berdasarkan analisis data historis, mesin *cylinder head nut runner* menunjukkan nilai CV (*coefficient of variation*) dari *end torque* sebesar 7,95% yang termasuk dalam kategori sangat baik, menunjukkan bahwa pengencangan baut secara statistik sudah terkontrol.



Gambar I-4. Persentase Jumlah *Defect*

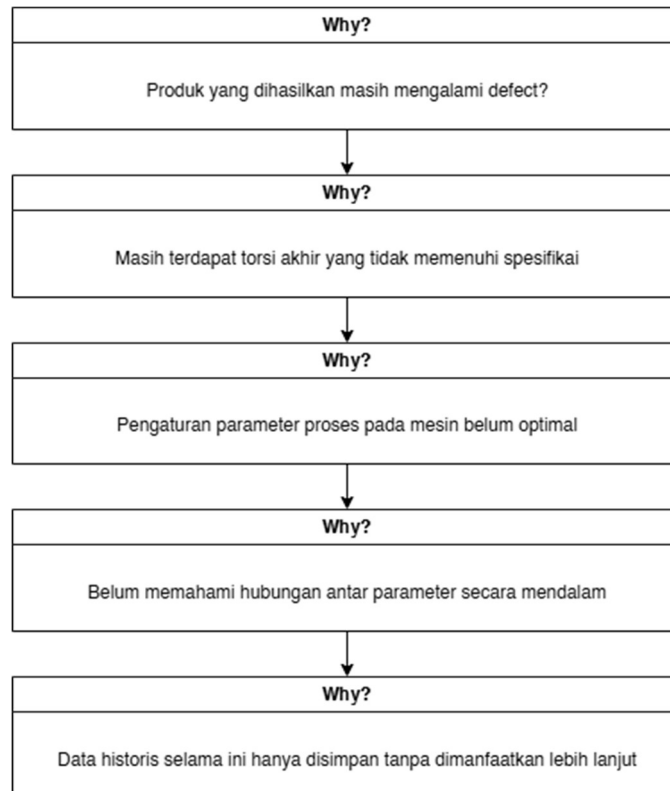
Namun, berdasarkan Gambar I-4 masih ditemukan rata-rata *defect rate* sebesar 4,19% per bulannya, sedangkan target perusahaan adalah 0% *defect*. Ketidaksesuaian antara kestabilan proses secara statistik dan angka *defect* mengindikasikan adanya faktor lain yang berkontribusi terhadap terjadinya *defect*, seperti pengaturan mesin yang belum optimal atau interaksi antar variabel pada mesin yang belum dipahami sepenuhnya.



Gambar I-5. Peta Kendali *End Torque*

Berdasarkan Gambar I-5 menunjukkan bahwa nilai *end torque* masih berada di dalam batas kendala statistik, yaitu antara nilai UCL (*Upper Control Limit*) sebesar 105,32 Nm dan LCL (*Lower Control Limit*) sebesar 64,74 Nm. Hal ini menunjukkan proses pengencangan baut masih dalam kondisi stabil secara statistik.

Namun, terdapat tiga titik data yang berada dibawah LCL, yang menandakan terdapat gangguan tidak normal dalam proses produksi. Selain itu, ketiga titik tersebut berada di bawah LSL (*Lower Spesification Limit*) yang merupakan batas bawah spesifikasi produk yang telah ditetapkan, yaitu dalam rentang 64,5-160 Nm, sehingga setiap *end torque* yang berada pada titik dibawah sepesifikasi dapat didefinisikan sebagai *defect*.



Gambar I-6. 5 Whys

Meskipun data historis menunjukkan bahwa proses pengencangan baut menggunakan mesin *cylinder head nut runner* telah stabil secara statistik, nyatanya masih terdapat beberapa nilai dari *end torque* yang masih berada di bawah batas spesifikasi produk, sehingga tetap masih menghasilkan *defect*. Hal ini disebabkan oleh pengaturan parameter mesin *cylinder head nut runner* yang belum optimal. Ketidakefektifan tersebut terjadi karena pengaturan parameter proses masih dilakukan secara *trial-error*, akibatnya belum adanya pemahaman mendalam mengenai interaksi antar parameter berdasarkan data aktual. Padahal, mesin *cylinder head nut runner* telah merekam dan menyimpan data secara lengkap. Namun, data tersebut selama ini hanya disimpan dan belum dimanfaatkan. Padahal,

data historis dari mesin dapat dimanfaatkan dengan baik menggunakan pendekatan analisis berbasis data untuk memahami pola dan struktur dari parameter pada mesin *cylinder head nut runner*, sehingga dapat dihasilkan rekomendasi pengaturan parameter mesin *cylinder head nut runner* supaya tidak terjadi *defect* lagi pada proses selanjutnya.

Berdasarkan permasalahan yang terjadi, yaitu proses pengencangan baut masih menghasilkan *defect*, maka dibutuhkan suatu pendekatan yang mampu memahami struktur dan pola data parameter mesin *cylinder head nut runner* secara menyeluruh. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan dasar rekomendasi pengaturan parameter mesin *cylinder head nut runner* yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam menentukan pengaturan awal mesin untuk mengurangi potensi terjadinya *defect* sejak awal produksi. Pengelompokan kondisi proses berdasarkan karakteristik parameter menjadi sebuah rancangan yang bertujuan untuk mengidentifikasi pola hubungan antar parameter yang berkontribusi terhadap terjadinya suatu *defect*. Melalui pemetaan yang sistematis, kombinasi parameter yang menghasilkan produk berhasil maupun *defect* dapat dibedakan dengan jelas. Pendekatan berbasis data diharapkan dapat menggantikan pengaturan mesin yang selama ini dilakukan dengan *trial-error*, serta meningkatkan konsistensi kualitas produk, memperkuat sistem pengendalian mutu, dan menurunkan tingkat terjadinya *defect*. Oleh karena itu, hasil perancangan ini dapat dijadikan dasar dalam penyusunan pengaturan parameter mesin *cylinder head nut runner*.

1.2.Rumusan Masalah

Dalam mengurangi *defect* produk, diperlukan identifikasi dan penyelesaian sejumlah masalah terkait proses produksi. Oleh karena itu, rumusan masalah dapat diformulasikan, yaitu:

1. Bagaimana pengelompokan data parameter mesin *cylinder head nut runner* untuk mengidentifikasi kondisi proses yang berpotensi menghasilkan *defect*?
2. Bagaimana hubungan antar parameter mesin *cylinder head nut runner* yang menjadi penyebab terjadinya *defect*?
3. Bagaimana rekomendasi parameter mesin *cylinder head nut runner* berdasarkan hasil pengelompokan data?

1.3.Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan tugas akhir ini adalah:

1. Mengelompokkan data parameter mesin *cylinder head nut runner* untuk mengidentifikasi kondisi proses berdasarkan karakteristik parameternya.
2. Melakukan analisis hubungan antar parameter yang menjadi penyebab terjadinya *defect*.
3. Memberikan rekomendasi pengaturan parameter mesin *cylinder head nut runner* berdasarkan hasil pengelompokan data.

1.4.Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat Tugas Akhir yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan dapat mengidentifikasi parameter mesin *cylinder head nut runner* yang paling berpengaruh terhadap kualitas pengencangan baut, sehingga perusahaan dapat melakukan penyesuaian parameter mesin untuk meningkatkan konsistensi kualitas produk.
2. Hasil pengelompokan memberikan wawasan berbasis data yang dapat digunakan sebagai alat bantu dalam mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dan strategis dalam manajemen produksi.

1.5.Batasan dan Asumsi Tugas Akhir

Batasan dalam tugas akhir ini merujuk pada hal-hal yang tidak menjadi fokus pembahasan dan tidak memengaruhi ruang lingkup tugas akhir. Berikut merupakan batasan dari Tugas Akhir tugas akhir ini:

1. Ruang lingkup proses produksi yang diteliti pada tugas akhir ini hanya dilakukan pada satu mesin, yaitu *cylinder head nut runner*.
2. Nama perusahaan dan nama produk yang menjadi objek Tugas Akhir ini disamarkan demi kerahasiaan data yang dimiliki.
3. Data yang digunakan dalam rentang 25 hari yaitu tanggal 1 Juli hingga 25 Juli yang merepresentasikan kondisi operasional mesin.
4. Hasil rekomendasi parameter mesin *cylinder head nut runner* tidak dilakukan uji coba secara langsung pada lini produksi.

1.6.Sistematika Laporan

Berikut merupakan sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini:

BAB I Pendahuluan

Di dalam bab ini dituliskan latar belakang masalah dari penulisan tugas akhir, rumusan masalah yang menjadi bahan penelitian, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian, serta sistematika penulisan dari tugas akhir ini.

BAB II Landasan Teori

Bab ini berisikan literatur dari sumber yang berhubungan dengan permasalahan yang diteliti. Teori yang menjadi acuan dalam tugas akhir ini adalah metode *data mining* dan *k-means*.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab III ini berisi langkah-langkah penelitian atau kerangka pemikiran yang meliputi tahap perumusan masalah, pengembangan model penelitian, merancang pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data.

BAB IV Penyelesaian Masalah

Bab ini berisikan pengumpulan data yang diperlukan dengan tujuan untuk melakukan pengolahan data menggunakan metode yang sudah ditentukan.

BAB V Analisis

Bab ini menjelaskan hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya yang akan dilakukan validasi dan juga verifikasi data serta analisis, sehingga dapat diketahui kekurangan dan kelebihan penelitian ini.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan bab terakhir yang menjelaskan hasil penelitian yang sudah dilakukan serta memberikan saran dan usulan untuk membantu perusahaan dalam melakukan perbaikan.