

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Perkembangan industri manufaktur global dan nasional menunjukkan peningkatan kebutuhan terhadap komponen yang memiliki tingkat presisi tinggi, kualitas permukaan yang baik, serta efisiensi proses produksi yang optimal. Salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan untuk menghasilkan komponen dengan berbagai bentuk geometri adalah proses *milling* vertikal. Proses ini banyak diterapkan pada industri otomotif, alat berat, maupun manufaktur logam karena memiliki tingkat fleksibilitas dan akurasi yang tinggi. Dalam proses pemesinan tersebut, kestabilan proses pemotongan menjadi faktor penting yang memengaruhi kualitas produk, umur pahat, serta keandalan mesin. Salah satu indikator utama kestabilan proses pemesinan adalah kondisi getaran mesin. Getaran yang tidak terkendali dapat menyebabkan ketidak teraturan proses pemotongan, mempercepat keausan pahat, menurunkan kualitas permukaan benda kerja, serta mengurangi umur pakai komponen mesin (Hendrawan, 2017). Oleh karena itu, pemantauan kondisi getaran menjadi bagian penting dalam sistem pemeliharaan modern, khususnya melalui pendekatan *predictive maintenance* yang menekankan deteksi dini terhadap potensi kerusakan mesin.

Secara teoritis, getaran pada mesin *milling* merupakan fenomena dinamis yang terjadi akibat interaksi antara pahat, benda kerja, dan struktur mesin selama proses pemotongan berlangsung. Gaya potong yang berubah secara periodik akibat masuk dan keluarnya gigi pahat menghasilkan eksitasi dinamis yang memicu timbulnya getaran. Besarnya getaran dipengaruhi oleh berbagai parameter pemesinan, seperti putaran *spindle*, gerak makan (*feed rate*), dan kedalaman pemakanan (*depth of cut*) (Altintas, 2020). Dalam praktik industri, evaluasi kondisi getaran umumnya mengacu pada standar internasional ISO 10816 yang menggunakan parameter *Root Mean Square* (RMS) kecepatan getaran sebagai indikator tingkat keparahan getaran mesin. Nilai RMS yang semakin tinggi

menunjukkan peningkatan energi getaran yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada komponen mesin (ISO, 2016). Oleh karena itu, pengukuran getaran secara kuantitatif dan berkelanjutan diperlukan untuk menjamin kestabilan proses pemesinan serta mendukung kegiatan pemeliharaan mesin.

Getaran yang tidak terdeteksi sejak dini dapat menyebabkan berbagai permasalahan, seperti kerusakan bantalan (*bearing*), ketidak seimbangan (*unbalance*), ketidak selarasan poros (*misalignment*), penurunan kualitas hasil pemesinan, hingga meningkatnya biaya pemeliharaan. Oleh sebab itu, monitoring getaran secara berkala menjadi salah satu metode utama dalam *predictive maintenance*. Dengan adanya sistem monitoring yang mampu mendeteksi perubahan kondisi getaran secara cepat, potensi kerusakan dapat diketahui lebih awal sehingga risiko kegagalan mesin dan biaya perbaikan dapat diminimalkan (Inman, 2014; Altintas, 2020).

Meskipun monitoring getaran telah menjadi kebutuhan penting di berbagai industri, penggunaan alat ukur konvensional seperti *vibration* meter masih memiliki beberapa keterbatasan. Selain memiliki harga yang relatif tinggi, sebagian besar alat tersebut juga belum memberikan fleksibilitas dalam pengembangan sistem, integrasi dengan mikrokontroler, maupun akuisisi data secara *real-time* yang berkelanjutan (Rahman & Siregar, 2023). Kondisi tersebut menjadi tantangan, khususnya pada lingkungan pendidikan dan laboratorium, sehingga diperlukan suatu sistem instrumentasi getaran yang lebih ekonomis, fleksibel, serta mampu menghasilkan data pengukuran yang akurat.

Perkembangan teknologi mikrokontroler dan sensor digital memberikan peluang dalam pengembangan sistem instrumentasi getaran berbasis *embedded system*. Arduino sebagai platform mikrokontroler *open-source* banyak digunakan karena memiliki biaya yang relatif rendah, mudah diprogram, dan fleksibel untuk berbagai aplikasi instrumentasi. Integrasi Arduino dengan sensor *accelerometer* ADXL345 memungkinkan pengukuran percepatan getaran pada tiga sumbu (X, Y, dan Z) secara *real-time*. Sensor ADXL345 bekerja berdasarkan prinsip *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS) sehingga memiliki sensitivitas yang baik dalam mendeteksi perubahan percepatan akibat getaran (Harto & Nurman, 2024).

Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis Arduino mampu melakukan pengukuran getaran secara *real-time* dengan hasil yang cukup representatif (Musyaffa, 2019).

Perkembangan teknologi condition monitoring semakin memperkuat pemanfaatan sensor MEMS dalam sistem pemantauan kondisi mesin. Analisis getaran telah menjadi salah satu metode utama untuk mendeteksi gangguan mekanis seperti *unbalance*, *misalignment*, kerusakan bearing, dan *mechanical looseness* sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius. Penerapan *condition-based maintenance* melalui analisis getaran mampu meningkatkan keandalan mesin, mengurangi risiko *unplanned downtime*, serta meningkatkan efisiensi biaya pemeliharaan (Jardine et al., 2006; Randall, 2021). Selain itu, sensor *accelerometer* berbasis MEMS mampu memberikan informasi kondisi dinamis mesin secara lebih komprehensif melalui pengukuran tiga sumbu serta mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler untuk proses akuisisi dan pengolahan data secara *real-time* (Lu et al., 2022). Oleh karena itu, teknologi ini berpotensi menjadi alternatif yang ekonomis dan aplikatif dalam pengembangan sistem monitoring getaran.

Berdasarkan observasi awal yang dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bengkalis, pemantauan kondisi getaran mesin *milling* vertikal masih dilakukan secara manual dan belum tersedia sistem monitoring berbasis sensor yang mampu menampilkan data getaran secara *real-time*. Kondisi tersebut menyebabkan informasi mengenai tingkat getaran mesin sulit diperoleh secara cepat dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem instrumentasi yang mampu melakukan pengukuran serta monitoring getaran secara langsung selama proses pemesinan berlangsung.

Sebagian besar penelitian mengenai monitoring getaran masih berfokus pada perancangan sistem berbasis Arduino dan sensor *accelerometer* tanpa melakukan validasi hasil pengukuran terhadap alat ukur standar. Penelitian oleh Musyaffa (2019) menunjukkan bahwa sistem berbasis Arduino mampu melakukan monitoring getaran secara *real-time*, sedangkan Harto dan Nurman (2024) menunjukkan bahwa sensor *accelerometer* dapat dimanfaatkan sebagai alat ukur

getaran dengan biaya yang relatif rendah. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum secara khusus mengimplementasikan sistem pada mesin *milling* vertikal serta belum melakukan validasi hasil pengukuran menggunakan *vibration* meter sebagai alat ukur standar. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam pengembangan alat instrumentasi getaran yang tidak hanya mampu melakukan monitoring secara *real-time*, tetapi juga memiliki hasil pengukuran yang tervalidasi sehingga tingkat keandalannya dapat dipertanggungjawabkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan alat instrumentasi getaran menggunakan sensor *accelerometer* ADXL345 berbasis Arduino Mega 2560 pada mesin *milling* vertikal serta melakukan validasi hasil pengukuran melalui perbandingan dengan *vibration* meter sebagai alat ukur standar. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan sistem instrumentasi yang mampu mengukur percepatan getaran tiga sumbu secara *real-time*, mengolah data menggunakan parameter *Root Mean Square* (RMS), serta memvalidasi hasil pengukuran terhadap alat ukur standar untuk mengetahui tingkat akurasi dan keandalan sistem yang dirancang. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem instrumentasi getaran yang ekonomis, aplikatif, dan memiliki tingkat validitas pengukuran yang baik sebagai alternatif alat monitoring kondisi mesin berbasis mikrokontroler.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan alat instrumentasi getaran menggunakan sensor *accelerometer* ADXL berbasis Arduino pada mesin *milling* vertikal?
2. Bagaimana kinerja alat yang dirancang dalam mengukur getaran mesin *milling* vertikal secara *real-time*?
3. Seberapa akurat dan valid data getaran yang dihasilkan oleh alat dibandingkan dengan alat ukur standar (*vibration* meter)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang dan merealisasikan alat instrumentasi getaran berbasis sensor *accelerometer* ADXL dan Arduino pada mesin *milling* vertikal.
2. Mengetahui kinerja alat dalam mengukur getaran secara *real-time*.
3. Melakukan uji validitas data hasil pengukuran dengan membandingkan terhadap alat ukur standar.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif alat ukur getaran yang lebih ekonomis dibandingkan alat konvensional, sehingga dapat digunakan pada lingkungan pendidikan maupun industri skala kecil.
2. Menjadi referensi dalam pengembangan sistem monitoring kondisi mesin berbasis mikrokontroler, khususnya pada bidang instrumentasi getaran.
3. Membantu monitoring kondisi mesin *milling* vertikal secara *real-time* sehingga memudahkan dalam mengetahui kondisi kerja mesin secara lebih cepat dan praktis.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada satu mesin *milling* vertikal sebagai objek pengujian.
2. Sensor yang digunakan adalah *accelerometer* tipe ADXL345 sebagai pendeteksi getaran.
3. Sistem yang dikembangkan berbasis Arduino dan hanya digunakan untuk monitoring getaran, tanpa melakukan kontrol terhadap mesin.
4. Data yang dianalisis terbatas pada parameter getaran mesin, tanpa membahas kekasaran permukaan atau hasil pemesinan lainnya.

5. Validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat yang dibuat dengan alat ukur standar (*vibration meter*) HT-1201.
6. Pengambilan data dilakukan dalam kondisi operasi tertentu dengan jumlah pengujian terbatas sebanyak 15 kali pengulangan sesuai kebutuhan validasi alat.
7. Pengukuran getaran dilakukan pada titik pengukuran yang telah ditentukan pada mesin *milling* yaitu di ragum penjepit benda kerja.
8. Data getaran yang dianalisis merupakan data percepatan getaran (m/s^2) yang diperoleh dari sensor ADXL345 dan diolah menggunakan metode *Root Mean Square* (RMS).
9. Penelitian tidak membahas analisis frekuensi getaran secara mendalam menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT).
10. Pengujian dilakukan pada kondisi pemesinan yang tetap dengan kecepatan *spindle* 1100 rpm, *feed rate* 23 mm/menit, dan kedalaman pemakanan 1,5 mm.