

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan akselerometer piezoelektrik telah menjadi standar dalam pemantauan kondisi mesin industri untuk mendeteksi kerusakan lebih dini dan mendukung program perawatan prediktif. Namun, keandalan pengukuran sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama suhu operasi.

Menurut Yang et al. (2022), sensor piezoelektrik yang digunakan dalam sistem *Weigh-In-Motion* menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap variasi suhu. *Noise* akibat perubahan suhu dapat menimbulkan error relatif hingga 30%, meskipun kompensasi berbasis algoritma *Genetic Algorithm–Back Propagation (GA-BP)* mampu menurunkannya menjadi kurang dari 4%. Hal ini menegaskan bahwa suhu adalah faktor kritis yang memengaruhi kualitas data getaran.

Penelitian lain oleh Liu et al. (2023) menunjukkan bahwa akselerometer berbasis MEMS dengan sistem *closed-loop detection* tetap mengalami *temperature drift*, namun dapat dikompensasi dengan metode koreksi gabungan berbasis *polynomial fitting* dan *machine learning*, yang berhasil menekan error hingga di bawah 0.05 mg/°C. Sementara itu, Zhang (2025) mengusulkan desain *on-chip thermal stress isolation structure* untuk mengurangi pengaruh stres termal pada sensor piezoelektrik, menghasilkan performa dengan *temperature drift* rendah tanpa memerlukan kalibrasi tambahan.

Pendekatan lain berbasis kecerdasan buatan juga terus dikembangkan. Qi (2024) memperkenalkan model *temperature drift error estimation* menggunakan *neural network hybrid model* untuk memperbaiki kestabilan sinyal pada sensor inersial, yang hasilnya menunjukkan peningkatan akurasi signifikan pada rentang suhu ekstrem.

Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada rekayasa internal sensor dan metode kompensasi algoritmik. Sementara itu, dalam praktik industri, kebutuhan seringkali berbeda: solusi harus sederhana, andal, ekonomis, dan dapat diaplikasikan langsung di lapangan. Hal ini sejalan dengan kasus nyata yang dihadapi salah satu perusahaan di kawasan industri Cilegon, Banten, yang mengoperasikan mesin

bersuhu tinggi (sekitar 116 °C) pada area berisiko tinggi (lingkungan eksplosif). Perusahaan tersebut membutuhkan sistem monitoring getaran *online* untuk mendeteksi kerusakan mesin sejak dini. Tantangannya, sensor akselerometer standar mengalami degradasi performa pada suhu diatas 100°C sehingga proteksi tambahan diperlukan untuk menjamin akurasi dan keandalan data.

Di sisi lain, sensor akselerometer khusus yang dirancang untuk kondisi *high-temperature* dan *explosion-proof* memang tersedia di pasaran. Namun, harga perangkat tersebut relatif sangat mahal, sehingga menambah beban investasi industri. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi alternatif yang lebih ekonomis namun tetap handal, misalnya dengan menambahkan isolator termal eksternal untuk melindungi sensor standar agar dapat beroperasi pada suhu tinggi.

Dalam konteks ini, material komposit termoset seperti *Bulk Molding Compound* (BMC) layak dipertimbangkan sebagai solusi. BMC dikenal memiliki stabilitas termal, isolasi listrik, serta kekuatan mekanik yang baik, dan telah banyak digunakan pada aplikasi kelistrikan maupun otomotif (Arifin et al., 2011).

Pada penelitian ini, material BMC yang digunakan tidak diproduksi secara khusus, melainkan diambil dari komponen isolator busbar yang sudah tersedia di pasaran. Isolator busbar berbahan BMC umumnya digunakan pada sistem kelistrikan bertegangan tinggi karena sifatnya yang tahan panas, memiliki kekuatan dielektrik yang baik, dan tidak mudah terdegradasi pada kondisi ekstrem. Ketersediaan BMC dalam bentuk produk komersial ini menjadi nilai tambah, karena memungkinkan penelitian menghasilkan solusi yang praktis dan mudah diimplementasikan oleh industri, tanpa perlu menunggu pengembangan material baru.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menilai performa BMC sebagai material isolator termal untuk sensor akselerometer, tetapi juga menguji pemanfaatan produk yang sudah ada di pasaran sehingga hasilnya diharapkan dapat langsung diaplikasikan di lapangan, khususnya pada kebutuhan monitoring getaran mesin bersuhu tinggi di kawasan industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan keterbatasan penggunaan sensor akselerometer standar pada aplikasi mesin bertemperatur tinggi serta tingginya biaya sensor akselerometer khusus bertipe *high-temperature* dan *explosion-proof*, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah desain isolator busbar berbahan *Bulk Molding Compound* (BMC) mampu berfungsi secara teknis sebagai adapter sensor akselerometer standar untuk mengurangi perpindahan panas dari casing mesin, sehingga sensor tetap dapat beroperasi dalam batas suhu aman?
2. Bagaimana pengaruh variasi desain dan ketebalan isolator busbar berbahan BMC terhadap karakteristik respons dinamik sensor akselerometer, khususnya dalam hal respons frekuensi dan amplitudo getaran yang terukur?
3. Desain dan ketebalan isolator busbar berbahan BMC manakah yang paling optimal dalam memberikan kompromi terbaik antara kemampuan isolasi termal, transmisi vibrasi yang representatif, kekakuan mekanis, serta efisiensi biaya dibandingkan penggunaan sensor akselerometer khusus suhu tinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dirumuskan untuk menjawab rumusan masalah di atas, yaitu:

1. Mengevaluasi kemampuan desain isolator busbar berbahan *Bulk Molding Compound* (BMC) sebagai adapter pasif dalam memungkinkan penggunaan sensor akselerometer standar pada aplikasi mesin bertemperatur tinggi, melalui pengurangan perpindahan panas dari casing mesin ke sensor.
2. Menganalisis pengaruh variasi desain dan ketebalan isolator busbar berbahan BMC terhadap karakteristik respons dinamik sensor akselerometer standar, khususnya pada respons frekuensi dan amplitudo getaran hasil pengukuran.
3. Menentukan desain dan ketebalan isolator busbar berbahan BMC yang paling optimal dan layak secara teknis sebagai solusi alternatif terhadap sensor akselerometer khusus suhu tinggi, berdasarkan kompromi terbaik antara performa isolasi termal, kualitas transmisi vibrasi, kekakuan mekanis, serta kemampuan deteksi kerusakan bearing.

4. antara performa isolasi termal, kekakuan mekanis, kualitas transmisi vibrasi, serta efektivitas deteksi kerusakan bearing.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah kontribusi ilmiah dalam bidang monitoring kondisi mesin, khususnya terkait pemanfaatan *Bulk Molding Compound* (BMC) sebagai material isolator termal yang berfungsi sebagai adapter sensor akselerometer pada aplikasi temperatur tinggi.
2. Menyediakan data empiris dan analisis teknis mengenai pengaruh penggunaan isolator busbar berbahan BMC terhadap karakteristik respons dinamik sensor akselerometer, termasuk perubahan respons frekuensi dan amplitudo getaran yang terukur.
3. Memberikan referensi metodologi pengujian yang terstruktur dan dapat direplikasi untuk penelitian lanjutan terkait pengukuran getaran pada mesin bertemperatur tinggi, baik dari aspek termal, mekanis, maupun respons vibrasi sensor.
4. Menyediakan solusi alternatif yang lebih praktis dan *cost-efficient* bagi industri dalam penerapan monitoring getaran pada mesin bertemperatur tinggi dan/atau lingkungan berpotensi eksplosif, melalui pemanfaatan isolator busbar sebagai adapter sensor getaran.
5. Memungkinkan penggunaan sensor akselerometer konvensional atau sensor *explosion-proof* standar (khusus untuk area eksplosif) pada aplikasi temperatur tinggi, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap sensor khusus *high-temperature* dan *explosion-proof* yang berbiaya tinggi, tanpa mengorbankan kualitas transmisi vibrasi dan kemampuan deteksi kerusakan mesin.