

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Getaran kejut, fenomena kompleks yang ditandai dengan osilasi sistem mekanis yang cepat dan intens, telah menarik perhatian yang signifikan dalam kalangan ilmiah karena implikasinya yang mendalam terhadap kinerja, keandalan, dan umur panjang berbagai aplikasi industri dan Teknik. Getaran kejut harus dipertimbangkan dengan cermat oleh para insinyur saat merancang dan menganalisis sistem mekanis [1]. Getaran kejut dapat berdampak signifikan terhadap kinerja, keandalan, dan masa pakai mesin. Masalah getaran kejut dapat terjadi pada setiap tahap siklus hidup peralatan. Namun, mengatasinya sejak dini melalui analisis dan pengukuran sangat penting untuk memastikan operasi jangka panjang yang bebas masalah [2]. Penelitian intensif telah dilakukan untuk memahami prinsip-prinsip yang menjadi dasar dan mengurangi efek destruktif dari getaran kejut, yang dapat menyebabkan kelelahan struktural, degradasi material, dan bahkan kegagalan fatal pada sebuah sistem.

Analisis eksperimental dan penelitian mengenai getaran kejut telah membuat kemajuan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir untuk mengembangkan prosedur yang lebih komprehensif. Tujuan utama isolasi getaran kejut adalah untuk mengurangi efek negatifnya pada objek dan perangkat yang terpapar getaran tersebut. Dalam upaya mengatasi getaran yang disebabkan oleh guncangan, teknik kontrol dalam bentuk desain peredam dibagi menjadi tiga kategori: pasif, aktif, dan semi-aktif.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan analisis getaran kejut dan desain peredam getaran pasif telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Sebagai contoh, sebuah penelitian yang memanfaatkan gaya gesek sebagai peredam getaran [3]. Dalam simulasi dan eksperimen ini, massa utama dipasang pada permukaan yang menghasilkan gaya gesek. Penggunaan kabel konduktif sebagai peredam pasif juga diteliti dalam sebuah eksperimen yang menggunakan kabel tipe-O untuk mengisolasi getaran. Penelitian serupa juga yang menggunakan kabel kawat sebagai peredam [4][5]. Sistem isolasi pasif memiliki rentang frekuensi kerja yang

terbatas karena parameter redamannya tetap, tetapi memiliki keuntungan karena hemat biaya dan memiliki desain yang lebih sederhana.

Pada sistem peredam aktif, aktuator berfungsi sebagai mekanisme untuk mengontrol daya dorong pada massa utama atau mengontrol fungsi peredam untuk mengurangi getaran secara efektif. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, aktuator dapat bekerja pada frekuensi tinggi ketika disejajarkan dengan pegas dan peredam; sebaliknya, pada frekuensi rendah, pegas dan peredam akan aktif dalam mengurangi getaran. Biaya peredam aktif bergantung pada *bandwidth* yang disediakan; semakin besar *bandwidth* yang tersedia, semakin tinggi biayanya. Peredam aktif biasanya menggunakan algoritma tertentu untuk mengontrol operasi aktuator, seperti studi yang menggunakan pengontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) untuk mengontrol operasi aktuator [6]. Aktuator pada peredam aktif dapat berupa sistem pneumatik yang bergerak karena tekanan udara atau fluida, seperti yang terlihat pada penelitian yang menggunakan sistem oleo-pneumatik untuk menganalisis getaran nonlinier ketika roda pendaratan menyentuh landasan [7]. Peredam aktif memiliki keterbatasan dalam hal penundaan aktivasi aktuator dan kompleksitas desain, meskipun dapat digunakan untuk berbagai kondisi.

Dengan adanya keterbatasan sistem kontrol aktif pada saat waktu tunda respon aktivasi aktuator yang disebutkan di atas, maka beberapa penelitian telah mengembangkan mekanisme yang memanfaatkan sistem redaman pasif dengan sistem aktif, yang kemudian disebut sebagai sistem redaman semi-aktif (*hybrid*). Sistem redaman semi-aktif dapat memberikan kontrol pada frekuensi yang lebih tinggi namun dapat digunakan untuk getaran tumbukan atau getaran yang menghasilkan amplitudo yang lebih besar.

Pengembangan sistem peredam telah dilakukan untuk berbagai bidang termasuk bidang dirgantara, di mana banyak sekali proses yang melibatkan munculnya getaran pada setiap aspek yang melibatkan bidang ini, baik saat pesawat udara sedang beroperasi diudara maupun saat berada di darat atau proses transisi keduanya yang disebut sebagai proses pendaratan.

Proses pendaratan pesawat, di mana roda pendaratan menyentuh permukaan landasan pacu secara paksa, adalah contoh yang menghasilkan getaran kejut. Semua jenis pesawat memiliki mekanisme proses pendaratan yang sama, perbedaan hanya

terdapat pada beban yang di bawah oleh masing-masing jenis pesawat dan perancangan roda pendaratan yang disesuaikan dengan beban yang dimiliki. Pesawat ringan atau pesawat nirawak juga memerlukan rancangan roda pendaratan mampu mengurangi dampak pendaratan pada struktur dan perangkat elektronik di dalam pesawat terutama pada pesawat mendarat secara vertikal yang dikenal dengan istilah VTOL (*Vertical Take-Off and Landing*) karena melibatkan energi yang cukup besar dibanding pendaratan model konvensional atau CTOL (*Conventional Take-Off and Landing*).

Desain roda pendaratan pesawat nirawak untuk aplikasi VTOL merupakan aspek penting dari kinerja keseluruhannya, yang memengaruhi keselamatan, efisiensi operasional, dan integritas struktural. Pesawat nirawak berjenis VTOL menghadirkan tantangan unik selama pendaratan, sehingga membutuhkan solusi inovatif yang mengatasi beban dinamis dan interaksi lingkungan. Berbagai penelitian memberikan wawasan tentang pertimbangan desain, pemilihan material, dan teknologi inovatif yang dapat diterapkan pada roda pendaratan pesawat nirawak.

Salah satu pertimbangan utama dalam desain roda pendaratan pesawat nirawak adalah kemampuan untuk menyerap dan mengelola beban vertikal yang dialami selama pendaratan. Roda pendaratan tidak hanya harus menopang berat pesawat nirawak tetapi juga mengurangi gaya tumbukan saat mendarat. Sebuah penelitian membahas implementasi roda pendaratan robotik yang bertujuan untuk meningkatkan redaman beban benturan, menyoroti bahwa sistem semacam itu dapat mengurangi beban puncak pada penumpang pesawat *rotorcraft* melalui kontrol aktif kaki-kaki untuk bertindak sebagai peredam kejut adaptif [8]. Kemampuan ini sangat penting dalam konfigurasi di mana pesawat nirawak mengalami perlambatan yang cepat atau saat mendarat di permukaan yang tidak rata. Penelitian juga mencatat perlunya stabilitas pada fase lepas landas dan pendaratan, dengan menekankan bahwa desain hibrida, yang menggabungkan elemen sayap tetap dan multi-kopter, dapat menghasilkan operasi yang lebih stabil [9].

Selain itu, material yang digunakan untuk membangun roda pendaratan sangat diperlukan untuk memastikan bahwa komponen tersebut dapat menahan tekanan

tinggi dan kelelahan yang dihadapi selama operasi. Sebuah penelitian menemukan bahwa radius fillet pada roda pendaratan secara signifikan memengaruhi tegangan statis dan umur kelelahan, yang mengindikasikan perlunya optimasi geometris yang tepat dalam proses desain [10]. Dampak dari pemilihan material lebih dari sekadar sifat mekanis; misalnya, material komposit semakin disukai karena rasio kekuatan terhadap beratnya, sehingga memungkinkan roda pendaratan yang lebih ringan tanpa mengorbankan daya tahan [11]. Transisi menuju material komposit ini didukung oleh strategi pengoptimalan yang berfokus pada pengurangan massa, yang dapat meningkatkan kapasitas muatan dan efisiensi pesawat nirawak secara keseluruhan [12].

Respons roda pendaratan terhadap berbagai kondisi, seperti skenario pendaratan yang kasar, juga memainkan peran penting dalam desain. Sebuah penelitian yang menekankan pentingnya merancang roda pendaratan yang dapat mengakomodasi berbagai skenario beban, sehingga memastikan fungsionalitas selama pendaratan yang mulus dan kasar [13]. Selain itu, integrasi sistem kontrol cerdas dapat meningkatkan stabilitas pendaratan. Pada sebuah penelitian menunjukkan bagaimana strategi kontrol adaptif dalam desain roda pendaratan dapat memfasilitasi distribusi beban yang efektif selama pendaratan, meningkatkan keselamatan penumpang dan kinerja dalam kondisi pendaratan yang beragam [14].

Dalam kemajuan terbaru, para peneliti telah mengeksplorasi implikasi sistem otonom untuk pendaratan di platform bergerak, menekankan bagaimana teknologi tersebut dapat diintegrasikan ke dalam desain roda pendaratan pesawat nirawak untuk mengakomodasi berbagai skenario operasional yang lebih luas [15]. Pengembangan strategi pendaratan yang sedang berlangsung yang memanfaatkan kecerdasan buatan menunjukkan potensi yang menjanjikan untuk mencapai pendaratan yang lebih mulus dan lebih efisien [16][17].

Perancang roda pendaratan yang efektif untuk pesawat nirawak dengan sistem pendaratan VTOL mencakup pendekatan multidisiplin yang mencakup desain mekanis (peredam), ilmu material, dan sistem kontrol cerdas. Salah satu alternatif dalam desain mekanis roda pendaratan adalah penggunaan sistem peredam semi-aktif yang memiliki mekanisme sederhana bilang dibandingkan dengan peredam aktif namun dapat disesuaikan untuk beban yang lebih besar.

Salah satu peredam semi-aktif yang dikembangkan adalah MEID (*Momentum Exchange Impact Damper*), di mana metode ini memanfaatkan perubahan momentum untuk meredam getaran kejut. Secara garis besar, MEID terbagi menjadi dua jenis, yaitu PMEID (*Passive-MEID*) dan AMEID (*Active-MEID*). PMEID merupakan sistem peredam pasif yang menggunakan perubahan momentum, di mana energi kinetik yang dihasilkan ketika diaplikasikan pada massa utama ditransfer ke massa tersebut, yang bertindak sebagai peredam pasif [18]. Sedangkan pada AMEID, sistem peredam digantikan oleh aktuator yang dapat berupa peredam hidrolis, pneumatik, dan *magnetorheological*[19]. Dari kedua jenis peredam ini, mekanisme baru yang disebut PSMEID (*Pre-Straining Spring MEID*) telah dikembangkan [20]. PSMEID menggunakan pegas yang telah dikompresi sebelumnya dengan massa kontak di ujung pegas, yang berfungsi untuk memberikan gaya berlawanan ketika massa utama mengalami getaran kejut. Mekanisme ini dikembangkan pada penelitian awal yang berjudul "*Fundamental study of momentum exchange impact damper using pre-straining spring mechanism*" dan kemudian diaplikasikan pada penelitian di mana PSMEID digunakan pada roda pendaratan pesawat terbang yang ringan [21]. Dari kedua jurnal ilmiah tersebut, dapat dilihat bahwa PSMEID memiliki dampak yang signifikan dalam mereduksi amplitudo percepatan.

Adanya sistem aktuator yang digerakkan untuk mengaktifkan PSMEID ketika terjadi tumbukan membutuhkan mekanisme sistem sensor yang dapat memberikan informasi kapan PSMEID harus diaktifkan. Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai pra-tinjau terjadinya tumbukan pada sistem peredam aktif [22], maka penelitian ini memperkenalkan mekanisme baru di mana PSMEID akan dimanfaatkan dengan menggunakan pra-tinjau, sehingga dapat dilakukan penilaian terhadap performa PSMEID dalam simulasi roda pendaratan pesawat nirawak dengan judul penelitian "**Studi Penerapan Teknik Kendali Getaran Kejut Pada Sistem Roda Pendaratan Pesawat Nirawak**".

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan perancangan sistem control semi-aktif sehingga amplitudo percepatan pada getaran kejut dapat direduksi.

2. Diperlukan rancangan sistem kontrol semi-aktif (*hybrid*) yang menggabungkan mekanikal dan elektrikal untuk mengaktifkan sistem PSMEID dengan sistem pra-tinjau benturan (*Preview*).

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Merancang sistem kendali semi-aktif (*hybrid*) untuk getaran kejut pada roda pendaratan pesawat nirawak yang berbasiskan perubahan momentum yang kemudian disebut sebagai mekanisme PSMEID metoda pra-tinjau benturan (*Preview*).
2. Menganalisis parameter-parameter optimum yang mempengaruhi getaran selama terjadi tumbukan yang melibatkan sistem PSMEID dengan metode pra-tinjau benturan.

### 1.4 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah yang penulis berikan agar pembahasan pada penelitian disertasi ini berfokus pada rumusan masalah yang dibuat, adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini bersifat simulasi dengan parameter yang disesuaikan dengan kondisi eksperimen.
2. Parameter-parameter yang akan dianalisis dibatasi pada pengaruh waktu aktif PSMEID ( $T_b$ ), Konstanta Pegas PSMEID ( $K_{PS}$ ), Massa kontak PSMEID ( $M_C$ ) jarak awal antara massa kontak PSMEID dengan massa utama sebelum pegas pra-tekan yang kemudian disebut sebagai ( $X_o$ ) dan jarak pegas pra-tekan yang menghasilkan energi potensial yang kemudian disebut sebagai ( $X_{PS}$ ).
3. Parameter respon yang dianalisis dibatasi pada amplitudo percepatan dari getaran kejut yang dihasilkan dari proses pendaratan pesawat nirawak.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Metode alternatif dalam mengurangi getaran kejut pada pada sistem roda pendaratan pesawat nirawak.
2. Menghindari kerusakan pada sistem roda pendaratan pesawat nirawak.

## 1.6 Sistematika Penelitian

Penulisan disertasi ini disusun dari beberapa bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan disertasi ini.

### BAB II

Bab ini berisi landasan teori tentang pesawat nirawak, roda pendaratan serta menjelaskan jenis-jenis sistem peredam.

### BAB III

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah dalam menyelesaikan masalah pada penelitian disertasi ini.

### BAB IV

Bab ini menjelaskan pengaruh parameter utama dari PSMEID dan menentukan nilai parameter yang paling optimal mereduksi penurunan amplitudo percepatan, ketika massa PSMEID memberikan momentum pada massa utama.

### BAB V

Bab ini menjelaskan pengaruh parameter utama dari PSMEID dan menentukan nilai parameter yang paling optimal mereduksi penurunan amplitudo percepatan, ketika massa PSMEID memberikan momentum pada massa roda.

### BAB VI

Bab ini menjelaskan pengaruh parameter utama dari PSMEID dan menentukan nilai parameter yang paling optimal mereduksi penurunan amplitudo percepatan, ketika massa PSMEID memberikan momentum pada massa utama dan massa roda.

### BAB VII

Bab ini berisikan kesimpulan dari dari studi tentang kinerja PSMEID dengan pra-tinjau pada ketiga model yang ditawarkan sebagai solusi alternatif mereduksi getaran kejut.