



SISTEM MODULAR MESIN TANAM PADI JAJAR LEGOWO UNTUK MENINGKATKAN ADAPTABILITAS MEKANISASI PERTANIAN PADA LAHAN TERASERING

ATHOILLAH AZADI



**PROGRAM STUDI ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Sistem Modular Mesin Tanam Padi Jajar Legowo Untuk Meningkatkan Adaptabilitas Mekanisasi Pertanian Pada Lahan Terasering” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Athoillah Azadi
F1603211011

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

ATHOILLAH AZADI. Sistem Modular Mesin Tanam Padi Jajar Legowo Untuk Meningkatkan Adaptabilitas Mekanisasi Pertanian Pada Lahan Terasering. Dibimbing oleh WAWAN HERMAWAN, TINEKE MANDANG, dan MARDISON S.

Mekanisasi pertanian merupakan salah satu strategi utama dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan sistem produksi padi di Indonesia. Penggunaan mesin tanam padi (*rice transplanter*) jajar legowo telah terbukti mampu meningkatkan kapasitas tanam, menekan kebutuhan tenaga kerja, memperbaiki keseragaman jarak dan kedalaman tanam, serta mendukung peningkatan produktivitas usahatani. Namun demikian, pemanfaatan teknologi tersebut masih terbatas pada lahan sawah datar, sedangkan implementasinya pada lahan sawah terasering masih menghadapi berbagai kendala akibat karakteristik topografi, aksesibilitas, dan ukuran petakan lahan yang sempit. Bobot mesin yang mencapai sekitar 168–180 kg menyebabkan mobilisasi antarpetakan menjadi sulit sehingga tingkat utilisasi alsintan pada lahan terasering masih rendah. Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa pengembangan mekanisasi pertanian tidak cukup hanya berorientasi pada peningkatan kapasitas kerja mesin, tetapi juga harus mempertimbangkan kemampuan teknologi beradaptasi terhadap karakteristik agroekosistem.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem modular pada mesin *rice transplanter* jajar legowo untuk meningkatkan mobilitas dan adaptabilitas mesin pada agroekosistem sawah terasering. Secara khusus penelitian meliputi analisis pembagian modul, perancangan dan simulasi *interface* modular menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA), prediksi perilaku dinamis melalui analisis frekuensi alami dan metode *Experimental Modal Analysis*, validasi eksperimental melalui pengujian statis dan dinamis, serta evaluasi kinerja bongkar-pasang dan pengangkutan modul berdasarkan pendekatan ergonomi.

Hasil analisis fungsi, hubungan antarkomponen, distribusi massa, dan kompleksitas sistem menghasilkan konfigurasi modular yang membagi mesin berbobot sekitar 166,7 kg menjadi empat modul utama, yaitu *main transmission* (62,90 kg), *wheel transmission* (32,70 kg), *feeding transmission* (59,65 kg), dan *floating skid* (11,45 kg). Konfigurasi ini mempertahankan fungsi tanam, transmisi, dan kendali mesin, sekaligus memungkinkan mobilisasi antarpetak sawah yang sebelumnya sulit dilakukan pada mesin utuh. Sistem antarmuka modular menggunakan mekanisme *toggle clamp* dan *guide plate* sehingga proses bongkar-pasang dapat dilakukan tanpa peralatan khusus.

Hasil analisis modal menunjukkan bahwa modularisasi menurunkan frekuensi alami mode pertama struktur tunggal dari 160,39 Hz menjadi 131,24 Hz (18,18%), namun masih berada di luar rentang frekuensi eksitasi mesin (28–95 Hz) sehingga struktur tunggal tidak berpotensi mengalami resonansi. Pada konfigurasi mesin lengkap, hasil *Experimental Modal Analysis* menunjukkan frekuensi alami pertama sebesar 51,69 Hz, yang berada dalam rentang eksitasi mesin sehingga mengindikasikan potensi resonansi pada sistem lengkap. Meskipun terdapat deviasi kuantitatif antara simulasi dan eksperimen pada beberapa mode akibat idealisasi

sambungan dan kondisi batas, hasil eksperimen memvalidasi kecenderungan perubahan karakteristik dinamis yang diprediksi model numerik.

Selain karakteristik dinamis, keamanan struktur modular juga dievaluasi melalui simulasi numerik dan pengujian eksperimental. Hasil simulasi dan pengujian eksperimental menunjukkan bahwa seluruh komponen antarmuka memiliki faktor keamanan (FoS) lebih besar dari 1,5 pada kondisi pembebanan kritis. *Guide plate* aman menerima beban horizontal hingga 1000 N, sedangkan sistem *toggle clamp* mampu mempertahankan integritas sambungan tanpa deformasi permanen. Pengujian regangan menunjukkan seluruh tegangan masih berada pada daerah elastis sehingga struktur modular memenuhi persyaratan keamanan operasional.

Setelah aspek struktural dan dinamis terpenuhi, penelitian dilanjutkan dengan evaluasi adaptabilitas sistem melalui pengujian bongkar-pasang dan pengangkutan modul. Evaluasi adaptabilitas menunjukkan bahwa modularisasi memungkinkan mesin dimobilisasi antarpetak sawah melalui pembagian menjadi empat modul dengan waktu bongkar-pasang sekitar 337–432 detik (5–7 menit) dan kebutuhan ruang kerja minimum sekitar $2,0 \times 2,5$ m. Evaluasi fisiologis berdasarkan HR, VO_2 , dan *Energy Expenditure* (EE) menunjukkan beban kerja operator masih berada dalam kategori yang dapat diterima sehingga proses pengangkutan dan perakitan layak dilakukan di lahan terasering. Hasil ini membuktikan bahwa modularisasi meningkatkan mobilitas mesin tanpa melampaui kapasitas fisiologis operator..

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa modularisasi mampu mempertahankan integritas struktural, keandalan dinamis, serta kesesuaian ergonomis sekaligus meningkatkan mobilitas operasional sehingga menghasilkan sistem mekanisasi yang lebih adaptif terhadap agroekosistem sawah terasering. Berdasarkan sintesis seluruh hasil penelitian tersebut dirumuskan konsep *Adaptive Modular Rice Transplanter* yang menjadi dasar paradigma *agroecosystem-adaptive mechanization*, yaitu pendekatan rekayasa yang menempatkan karakteristik agroekosistem sebagai dasar dalam pengembangan alat dan mesin pertanian melalui integrasi mesin, manusia, dan lingkungan dalam satu sistem rekayasa yang utuh.

Kata Kunci: adaptabilitas agroekosistem, *Adaptive Modular Rice Transplanter*, jajar legowo, sistem modular, terasering



SUMMARY

ATHOILLAH AZADI. Modular Jajar Legowo Rice Transplanter System to Improve Agricultural Mechanization Adaptability in Terraced Fields. Supervised by WAWAN HERMAWAN, TINEKE MANDANG, and MARDISON S.

Agricultural mechanization has become one of the principal strategies for improving the efficiency, productivity, and sustainability of rice production systems in Indonesia. The application of the *jajar legowo* rice transplanter has been demonstrated to increase planting capacity, reduce labor requirements, improve the uniformity of planting spacing and depth, and enhance rice production. Nevertheless, its utilization remains largely confined to flat paddy fields, while its application in terraced paddy fields is constrained by complex topography, limited accessibility, and narrow field plots. The machine weight, ranging from approximately 168 to 180 kg, restricts its mobility between terraces, resulting in a low utilization rate of agricultural machinery in terraced agroecosystems. These limitations indicate that agricultural mechanization should not solely focus on improving machine performance but should also emphasize the ability of agricultural machinery to adapt to the characteristics of the target agroecosystem.

This study aimed to develop a modular *jajar legowo* rice transplanter to improve machine mobility and adaptability for terraced paddy field agroecosystems. The research comprised functional modular decomposition, modular interface design and simulation using Finite Element Analysis (FEA), prediction of structural dynamic behavior through natural frequency analysis and Experimental Modal Analysis (EMA), experimental validation through static and dynamic testing, and evaluation of module assembly, disassembly, transportation, and ergonomic performance.

Functional analysis, component interaction, mass distribution, and system complexity assessment resulted in a modular configuration that divided the approximately 166.7 kg rice transplanter into four primary modules: the main transmission (62.90 kg), wheel transmission (32.70 kg), feeding transmission (59.65 kg), and floating skid (11.45 kg). This configuration preserved the planting, transmission, and control functions of the original machine while enabling inter-terrace transportation that was previously impractical with the monolithic configuration. The modular interface employed a toggle clamp locking mechanism and guide plates, allowing assembly and disassembly without specialized tools.

Modal analysis demonstrated that modularization reduced the first natural frequency of the standalone transmission neck structure from 160.39 Hz to 131.24 Hz (18.18%). However, the resulting frequency remained outside the engine excitation range (28–95 Hz), indicating no resonance risk for the standalone structure. In contrast, Experimental Modal Analysis of the complete machine identified a first natural frequency of 51.69 Hz, which falls within the engine excitation range, indicating a potential resonance condition in the fully assembled configuration. Although quantitative deviations were observed between numerical predictions and experimental measurements in several vibration modes due to joint idealization and boundary condition assumptions, the experimental results confirmed the predicted trend of structural dynamic behavior obtained from the numerical model.

In addition to dynamic performance, the structural integrity of the modular system was evaluated through numerical simulation and experimental testing. The results demonstrated that all modular interface components achieved safety factors (FoS) greater than 1.5 under critical loading conditions. The guide plate safely sustained horizontal loads of up to 1000 N, while the toggle clamp system maintained joint integrity without permanent deformation. Strain measurements confirmed that all stresses remained within the elastic region, indicating that the modular structure satisfied the operational structural safety requirements.

Following the structural and dynamic evaluations, the adaptability of the modular system was assessed through assembly, disassembly, and module transportation tests. The modular configuration enabled machine transportation between terraced plots by dividing the machine into four transportable modules, with assembly and disassembly times ranging from 337 to 432 seconds (approximately 5–7 minutes) and requiring a minimum working area of approximately 2.0×2.5 m. Physiological evaluation based on heart rate (HR), oxygen consumption (VO_2), and energy expenditure (EE) indicated that operator workload remained within acceptable physiological limits, demonstrating that module transportation and reassembly can be performed safely under terraced field conditions. These findings confirm that the modular concept significantly improves machine mobility without exceeding the physiological capacity of the operator.

Overall, the study demonstrates that modularization successfully preserves structural integrity, maintains dynamic reliability, and ensures ergonomic suitability while substantially improving the operational mobility of the rice transplanter in terraced paddy field agroecosystems. The integration of these findings led to the formulation of the Adaptive Modular Rice Transplanter concept, which establishes the foundation of the agroecosystem-adaptive mechanization paradigm. This paradigm places agroecosystem characteristics at the center of agricultural machinery design by integrating engineering design, human factors, and environmental considerations into a unified engineering framework for developing adaptive agricultural mechanization systems.

Keywords: Adaptive Modular Rice Transplanter, agroecosystem adaptability, jajar legowo, modular system, terraced paddy fields.





@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

SISTEM MODULAR MESIN TANAM PADI JAJAR LEGOWO UNTUK MENINGKATKAN ADAPTABILITAS MEKANISASI PERTANIAN PADA LAHAN TERASERING

ATHOILLAH AZADI

Disertasi

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor
pada Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian

**PROGRAM STUDI ILMU KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

1. Dr. Ir. Sam Herodian, M.Agr..
2. Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Terbuka Disertasi:

1. Dr. Ir. Sam Herodian, M.Agr..
2. Dr. Ir. Suparlan, M.Agr.





@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Disertasi: Sistem Modular Mesin Tanam Padi Jajar Legowo untuk
Meningkatkan Adaptabilitas Mekanisasi Pertanian pada
Lahan Terasering

Nama : Athoillah Azadi
NIM : F1603211011

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Ir. Wawan Hermawan, M.S.



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Tineke Mandang, M.S.



Pembimbing 3:
Dr. Mardison S. S.TP., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof.Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr.
NIP. 196110191986011002



Dekan Fakultas:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP. 196105021986031002



Tanggal Ujian Tertutup: 24 Juli 2026

Tanggal Lulus: 31 Juli 2026

Tanggal Sidang Promosi: 31 Juli 2026

PRAKATA

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala karena atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan disertasi dengan judul “Sistem Modular Mesin Tanam Padi Jajar Legowo untuk Meningkatkan Adaptabilitas Mekanisasi Pertanian pada Lahan Terasering” dapat diselesaikan. Penyelesaian disertasi ini mendapat banyak dukungan dan doa dari berbagai pihak, sehingga penulis menyampaikan terima kasih sebagai berikut.

1. Bapak Dr. Ir. Wawan Hermawan, M.S., Ibu Prof. Dr. Ir. Tineke Mandang, M.S., dan Bapak Dr. Mardison S, S.T.P., M.Si., sebagai komisi pembimbing, yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian hingga penyelesaian disertasi.
2. Kementerian Pertanian Republik Indonesia, yang telah membiayai penulis melalui beasiswa selama pendidikan dan penelitian di IPB.
3. Direktur Politeknik Enjiniring Pertanian (PEPI) Serpong beserta jajarannya dan teman-teman sejawat yang ikut memberi dukungan dan semangat selama penulis menempuh pendidikan di IPB.
4. Kepala Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian, seluruh dosen beserta staf tenaga kependidikan, yang telah memberikan pembelajaran selama perkuliahan hingga penelitian selesai.
5. Bapak (Alm) Saidun, Ibu tercinta (Ibu Siti Qudsiyah), Bapak (Alm) Rubiyono, dan Ibu mertua (Siti Nani Nuraeni) serta keluarga yang senantiasa memberikan doa, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan proses pendidikan ini.
6. Istri (Hanggit Rani W. S.Kom., M.Ak) dan anakku tercinta Kamilia Annisa Azahara yang selalu mengerti, memberi semangat dan doa kepada penulis selama proses pendidikan di IPB.
7. Rekan-rekan seangkatan Program Doktorat tahun 2021 yang berjuang bersama selama menempuh program Doktorat di Program Studi TEP.
8. Rekan-rekan dosen PEPI Serpong, Rekan-rekan BRIN Pustekbang yang selalu memberikan semangat penulis selama proses penelitian.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian penelitian yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan serta bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Athoillah Azadi

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1 PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Tujuan Penelitian	2
Manfaat Penelitian	2
Ruang Lingkup Penelitian	2
Kebaruan (Novelty)	4
2 DESAIN MESIN RICE TRANSPLANTER JAJAR LEGOWO MODULAR	5
Pendahuluan	5
Metode	6
Hasil dan Pembahasan	9
Kesimpulan	20
3 ANALISIS KARAKTERISTIK DINAMIS TRANSMISSION NECK MODULAR MESIN RICE TRANSPLANTER JAJAR LEGOWO	20
Pendahuluan	20
Metode	21
Hasil dan Pembahasan	27
Kesimpulan	39
4 ANALISIS KEAMANAN EKSPERIMENTAL MESIN RICE TRANSPLANTER JAJAR LEGOWO TIPE MODULAR	39
Pendahuluan	39
Metode	42
Hasil dan Pembahasan	43
Kesimpulan	55
5 EVALUASI KINERJA PERAKITAN DAN PENGANGKUTAN MESIN RICE TRANSPLANTER JAJAR LEGOWO TIPE MODULAR	56
Pendahuluan	56
Metode	58
Hasil dan Pembahasan	61
Kesimpulan	72
6 PEMBAHASAN UMUM	73
Paradigma Pengembangan Mekanisasi Pertanian pada Lahan Terasering	73
Rekonstruksi Konsep Rice Transplanter Menjadi Sistem Modular	74
Integrasi Desain Mekanik, Analisis Numerik, dan Validasi Eksperimental	75
Hubungan antara Dinamika Struktur dan Keandalan Sistem Modular	76
Ergonomi sebagai Faktor Penentu Keberhasilan Modularisasi	77
Sintesis Konsep Adaptabilitas Mesin terhadap Agroekosistem Terasering	79
Kontribusi Ilmiah (Scientific Contribution)	81
Implikasi terhadap Pengembangan Alsintan Nasional	83
7 KESIMPULAN DAN SARAN	84



Kesimpulan	84
Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	93
RIWAYAT HIDUP	112

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Kriteria dan skala penilaian kelayakan komponen untuk pembentukan modul	7
Tabel 2	Nilai pembobotan berdasarkan kebutuhan fungsional sistem	8
Tabel 3	Analisis modul berdasarkan fungsi, kompleksitas struktur, dan bobot pada mesin rice transplanter jajar legowo	13
Tabel 4	Hasil simulasi beban pada komponen transmission neck dan pengunci transmisi roda modular	17
Tabel 5	Hasil modifikasi mesin rice transplanter jajar legowo modular	19
Tabel 6	Karakteristik material transmission neck	29
Tabel 7	Frekuensi alami transmission neck asli berdasarkan simulasi	31
Tabel 8	Frekuensi alami transmission neck modular berdasarkan simulasi	31
Tabel 9	Analisis deviasi kuantitatif antara hasil simulasi dan frekuensi alami hasil pengujian eksperimen	36
Tabel 10	Beban yang diterima transmission neck saat naik pematang	49
Tabel 11	Beban yang diterima toggle clamp transmisi roda saat naik pematang	52
Tabel 12	Beban yang diterima transmission neck saat bermanuver belok	54
Tabel 13	Beban yang diterima toggle clamp transmisi roda saat bermanuver belok	55
Tabel 14	Kinerja perakitan manual sistem modular (Assembly Efficiency) berdasarkan matriks Boothroyd-Dewhurst	64
Tabel 15	Rekapitulasi denyut jantung pada pengujian bongkar pasang di berbagai variasi lokasi uji	66
Tabel 16	Rekapitulasi konsumsi oksigen (VO ₂), laju energi metabolik (EE), dan total energi per siklus (EEsiklus) pada berbagai kondisi medan dan jumlah operator	68
Tabel 17	Rekap denyut jantung (HR) selama pengangkutan modul	71
Tabel 18	Sintesis Adaptabilitas Sistem Modular Rice Transplanter pada Lahan Terasering	80
Tabel 19	Sintesis kontribusi ilmiah penelitian terhadap pengembangan ilmu keteknikan pertanian	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Konstruksi mesin rice transplanter jajar legowo	9
Gambar 2	Skema pembagian modul berdasarkan fungsi komponen mesin rice transplanter jajar legowo	10



Gambar 3	Skema pembagian modul pada mesin rice transplanter jajar legowo modular	11
Gambar 4	Posisi interface modul pada mesin rice transplanter jajar legowo modular	14
Gambar 5	Desain transmisi (a) transmission neck, (b) toggle clamp dan guide plate	15
Gambar 6	Hasil simulasi stress analysis bagian transmission neck (a) guide plate, (b) toggle clamp bagian atas, (c) toggle clamp bagian bawah	16
Gambar 7	Simulasi beban frame transmission neck berdasarkan arah pembebanan (a) ke arah bawah, (b) ke arah atas, dan (c) ke arah samping	16
Gambar 8	Desain transmisi modul transmisi roda (a) roda modular, (b) transmisi poros roda	16
Gambar 9	Simulasi pembebanan toggle clamp transmisi roda (hook dan pin kait)	18
Gambar 10	Desain rangkaian utama mesin rice transplanter jajar legowo (a) desain konstruksi asli, (b) desain modular	18
Gambar 11	Pengukuran frekuensi getaran mesin penggerak utama rice transplanter (a) posisi 1 di atas mesin, (b) posisi 2 di pelat depan mesin, dan (c) posisi di atas pemberat mesin	23
Gambar 12	Tahapan uji frekuensi getaran	23
Gambar 13	Model fisis pengujian frekuensi alami transmission neck	24
Gambar 14	Diagram pengujian frekuensi getaran transmission neck	26
Gambar 15	Posisi pengujian frekuensi alami pada transmission neck (a) sensor accelerometer, (b) benda uji, (c) aluminium mounting frame, dan (d) shaker	26
Gambar 16	Frekuensi getaran motor penggerak utama pada tiga posisi	27
Gambar 17	Desain transmission neck asli	28
Gambar 18	Desain struktur transmission neck modular	28
Gambar 19	Hasil simulasi empat mode frekuensi alami pada rangka transmission neck asli	30
Gambar 20	Hasil simulasi empat mode frekuensi alami pada rangka transmission neck modular	30
Gambar 21	Grafik perbandingan hasil simulasi empat mode frekuensi alami pada rangka transmission neck asli dan modular	31
Gambar 22	Posisi pengujian frekuensi alami pada rangka transmission neck asli (a) sensor accelerometer, (b) benda uji transmission neck, (c) aluminium mounting frame, (d) shaker	32
Gambar 23	Hasil pengujian frekuensi alami transmission neck asli	32
Gambar 24	Posisi pengujian frekuensi alami pada rangka transmission neck modular (a) sensor accelerometer, (b) benda uji transmission neck, (c) aluminium mounting frame, (d) shaker	33
Gambar 25	Grafik perbandingan hasil eksperimen empat mode frekuensi alami pada rangka transmission neck asli dan modular	34
Gambar 26	Grafik perbandingan frekuensi alami berdasarkan simulasi maupun uji prototipe pada transmission neck asli dan modular	34

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Gambar 27	Struktur pengujian lengkap transmission neck modular (a) transmisi utama, (b) rangka transmission neck, (c)udukan mounting stand, (d) head expander, (e) transmisi pengumpan	38
Gambar 28	Hasil pengujian frekuensi alami transmission neck pada konfigurasi lengkap	39
Gambar 29	Posisi sensor strain gauge pada prototipe mesin (a) bagian transmission neck, (b) bagian toggle clamp	44
Gambar 30	Arah sensor strain gauge rosette pada transmission neck. (a) posisi tengah rangka, (b) posisi guide plate	44
Gambar 31	Defleksi pembebanan statis pada transmission neck	45
Gambar 32	Perbandingan Tegangan dan FoS Statis pada transmission neck modular pada pembebanan horizontal	46
Gambar 33	Pembebanan statis pada rangka transmission neck (a) rangka bagian tengah, (b) bagian guide plate	47
Gambar 34	Pembebanan statis toggle clamp transmisi roda (a) toggle clamp 1, (b) toggle clamp 2, (c) toggle clamp 3	48
Gambar 35	Pengujian beban dinamis rice transplanter modular pada saat menaiki pematang	49
Gambar 36	Posisi tiga unit toggle clamp pada modul roda	51
Gambar 37	Pengujian beban dinamis rice transplanter modular pada saat manuver berbelok ke kanan	54
Gambar 38	Pola gerak pemasangan modul (a) dua operator, (b) tiga operator	62
Gambar 39	Pengujian bongkar pasang di beberapa area (a) laboratorium, (b) lahan tanah datar, (c) lahan miring	63
Gambar 40	Pengangkutan modul perangkat bantu (a) modul transmisi feeding dan pelampung, (b) modul transmisi utama	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Simulasi stress analysis transmission neck modular	93
Lampiran 2	Hasil pengukuran frekuensi getaran motor penggerak	95
Lampiran 3	Data uji getaran mesin penggerak	99
Lampiran 4	Skema uji frekuensi alami menggunakan vibration research	100
Lampiran 5	Data frekuensi alami transmission neck asli	102
Lampiran 6	Data frekuensi alami transmission neck modular	104
Lampiran 7	Data frekuensi alami transmission neck modular rangkaian lengkap	106
Lampiran 8	Data pembebanan statis mesin rice transplanter jajar legowo modular	108
Lampiran 9	Data pembebanan statis mesin rice transplanter jajar legowo konstruksi asli	110