

**DESAIN DAN PENGUJIAN MESIN PENANAM DAN  
PEMUPUK JAGUNG DENGAN TENAGA  
TRAKTOR TANGAN**



**Wawan Hermawan**

Email: [w\\_hermawan@apps.ipb.ac.id](mailto:w_hermawan@apps.ipb.ac.id)

**Departemen Teknik Mesin dan Biosistem  
Fakultas Teknologi Pertanian  
IPB University**

## RINGKASAN

Beberapa peneliti telah mendesain dan mengembangkan alat penanam jagung yang diharapkan dapat meningkatkan kapasitas kerja dibandingkan penanaman manual. Peningkatan kapasitas kerja dan efisiensi biaya untuk mesin tersebut dapat ditingkatkan dengan menggunakan sebuah mesin penanam-pemupuk-pengolahan tanah yang terintegrasi. Mesin tersebut digerakkan oleh traktor tangan dan mampu melakukan proses pengolahan tanah, pembentukan guludan tanam, penanaman benih jagung dan pemupukan secara simultan. Namun demikian, konstruksi mesin perlu dimodifikasi agar dapat ditingkatkan kinerjanya: 1) kapasitas penanamannya dari satu alur tanam menjadi dua alur tanam sekali lintasan mesin, 2) kinerja penanaman dan pemupukannya yang meliputi ketepatan penjataan benih jagung, ketepatan jarak tanam, ketepatan penjataan pupuk, dan kapasitas hopper pupuknya. Unit penanam harus mampu menanam benih dengan jumlah benih per lubang tanam yang sesuai kebutuhan (1-2 benih) serta dalam jarak tanam 20 cm dalam barisan dan 50 cm antarbaris (tanam legowo 50-100), dengan satu tanaman per rumpun. Penempatan benih pada kedalaman 3-5 cm. Mekanisme penjatah benih dapat diset sesuai kebutuhan budidayanya. Untuk penjataan pupuk, maka pada saat tanam diberi takaran pupuk 250 kg/ha NPK, dan atau 100-150 kg/ha urea. Pencampuran pupuk dengan tanah, melalui pengolahan tanah menggunakan *rotary tiller*, sebelum penempatan benih. Penjataan pupuk dapat diatur sesuai kebutuhan. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan kinerja mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga gerak traktor berroda-2 melalui modifikasi unit penanam, unit pemupuk dan mekanisme penggerak *metering device*-nya.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan kaidah perancangan (modifikasi), dengan tahapan penelitian: 1) identifikasi kondisi lahan dan budidaya jagung di lokasi aplikasi, 2) evaluasi kinerja pengolahan tanah strip menggunakan *rotary tiller*, 3) desain dan evaluasi kinerja roda penggerak *metering device* benih, 4) perancangan sistem penggerak *metering device* benih dan pupuk menggunakan putaran poros roda traktor, 5) desain unit penanam benih jagung dan desain unit pemupuk, 6) pembuatan gambar kerja mesin penanam dan pemupuk, 7) pembuatan (fabrikasi) prototipe mesin penanam dan pemupuk, dan 8) uji kinerja prototipe mesin penanam dan pemupuk.

Pengolahan tanah minimum tipe strip dilakukan menggunakan unit *rotary tiller* yang dimodifikasi sedemikian rupa sehingga pengolahan tanah dilakukan pada alur tanam jagung (jarak antar alur 50 cm), lebar alur yang diolah 20 cm. Susunan pisau rotary ditata ulang sehingga hanya terpasang lima pisau untuk pengolahan tanah di alur kiri dan lima pisau di sisi kanan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *rotary tiller* dapat mengolah tanah dengan baik pada kondisi tanah yang gembur, yaitu tanah yang sudah dibajak dengan bajak piringan atau digaru *rotary*. Pada tanah yang sudah dibajak, pengolahan tanah dapat dilakukan dengan baik sampai kedalaman 8-10 cm.

Pengujian kinerja roda penggerak sistem penjatah dilakukan menggunakan lima jenis roda yaitu: 1) roda karet bersirip karet, 2) roda baja bersirip karet, 3) roda baja bersirip baja, 4) roda baja tanpa sirip dan 5) roda karet tanpa sirip. Hasil pengujian menunjukkan bahwa roda karet sirip karet mempunyai luncuran paling kecil yaitu 21.3% pada tanah kering dan 22.3% pada tanah basah. Namun demikian, hasil evaluasi terhadap roda penggerak (roda bantu) menyimpulkan bahwa satu buah roda tidak akan mampu menggerakkan sistem penjatah dari dua unit penanam dan dua unit pemupuk. Sebagai penggantinya digunakan tenaga putar dari poros roda traktor yang ditransmisinya melalui

kombinasi pasangan sproket dan rantai sesuai kebutuhan rasio putarnya ke poros pemutar rotor penjatah pupuk dan ke poros pemutar piringan penjatah benih.

Berdasarkan kriteria desain yang ditetapkan, sebuah mesin penanam dan pemupuk telah berhasil dirancang dan dibuat. Bagian rangka sebagai landasan dari semua komponen mesin dipasangkan di atas punggung *rotary tiller*. Ada dua unit pemupuk yang dipasangkan pada rangka di sebelah kiri dan di kanan. Hoper pupuk berkapasitas masing-masing 12 kg pupuk. Mekanisme penjatahannya menggunakan rotor bercelah tipe *edge cell*. Ada dua unit penanam benih yang ditempatkan di sisi kiri dan kanan. Plat piringan penjatah benih dipasang miring 45°. Plat diputar dengan mekanisme bevel gir dari poros pemutarnya. Poros diputar oleh poros roda traktor melalui mekanisme sproket-rantai.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin mampu menanam jagung pada jarak tanam 20 cm, jarak alur tanam 50 cm, menjatahkan pupuk sesuai dosis, dan mengolah tanah sekali gus mencampurkan pupuk dalam tanah.

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Jagung (*Zea mays*) merupakan salah satu sereal yang strategis dan bernilai ekonomis serta mempunyai peluang untuk dikembangkan (Purwanto, 2008). Dengan berkembang pesatnya industri peternakan, jagung merupakan komponen utama (60%) dalam ransum pakan. Diperkirakan lebih dari 55% kebutuhan jagung dalam negeri digunakan untuk pakan, sedangkan untuk konsumsi pangan hanya sekitar 30%, dan selebihnya untuk kebutuhan industri lainnya dan bibit. Kebutuhan jagung terus meningkat, baik untuk pangan maupun pakan. Sementara itu produksi jagung dalam negeri belum mampu memenuhi semua kebutuhan, sehingga kekurangannya dipenuhi dari jagung impor (Suryana, et al., 2007). Produksi jagung Indonesia, menurut Kementerian Pertanian, turun 1.1 juta ton atau 6 persen menjadi 17.23 juta ton pipilan kering dibandingkan produksi tahun 2010. Tahun 2012 target produksi sebesar 24 juta ton. Mengacu pada angka ramalan III Badan Pusat Statistik (BPS), panen jagung tahun 2011 sebesar 17.23 juta ton. Jumlah itu lebih sedikit dibandingkan produksi tahun 2010 sebesar 18.33 juta ton. Kebutuhan jagung di dalam negeri pada tahun 2012 mencapai 22 juta ton sehingga kebutuhan jagung dipasok melalui impor. (Prihtiyani, 2012).

Dalam upaya peningkatan produksi, di daerah-daerah yang telah memiliki produktivitas tinggi (> 6,0 ton/ha), programnya adalah pemantapan produktivitas. Untuk meningkatkan produksi di daerah yang tingkat produktivitasnya masih rendah (< 5,0 ton/ha), diprogramkan pergeseran penggunaan jagung ke jenis hibrida dan komposit unggul dengan menggunakan benih berkualitas. Peningkatan produksi jagung juga dapat diupayakan melalui perluasan areal tanam pada lahan sawah beririgasi sebagaimana terjadi di Jawa Timur dan Lampung (Kasryno, 2005). Pada lahan sawah beririgasi, jagung kebanyakan ditanam pada musim tanam kedua dan ketiga setelah padi (Sumaryanto, 2006). Untuk mewujudkan dan mendukung swasembada jagung tersebut diperlukan berbagai dukungan, terutama teknologi, investasi, dan kebijakan. Secara teknis, upaya peningkatan produksi jagung di dalam negeri dapat ditempuh melalui perluasan areal tanam dan peningkatan produktivitas (Suryana, et al., 2007). Untuk itu, aplikasi teknologi mekanisasi dalam budidaya jagung sangat diperlukan.

Waktu tanam itu sangat singkat. Bandingkan dengan waktu tanam pekebun pada umumnya. Untuk menanam jagung di lahan 1 ha, seorang pekebun perlu bantuan 10 tenaga kerja. Mereka menugal alias membuat lubang tanam dengan tiang kayu yang berujung runcing, memasukkan benih jagung ke dalam lubang tanam, dan menutup lubang tanam dalam waktu 2 hari kerja (20 hok/ha). Bandingkan dengan menggunakan alat tanam yang bertenaga tarik traktor tangan, dengan seorang operator dalam waktu cepat penanaman 1 ha dapat diselesaikan dalam satu hari. Hasilnya rapi, lubang tanam teratur berjarak 0,75 m x 1 m. Bukan Cuma cepat, tetapi juga efisien. Sebab, konsumsi bahan bakar berupa premium hanya 1 liter per jam atau Rp 22.500,- per lima jam. Biaya sewa mesin Rp 200.000,-/hari. Sehingga total biaya sekali penanaman Rp 222.500. Dengan 20 HOK kerja, seorang pekebun membayar Rp 500.000 bila ongkos setiap orang Rp 25.000 per hari. Itu berarti petani mampu menghemat Rp 277.500,- untuk biaya tanam (Pitoyo, et al., 2006; Anonim, 2005).

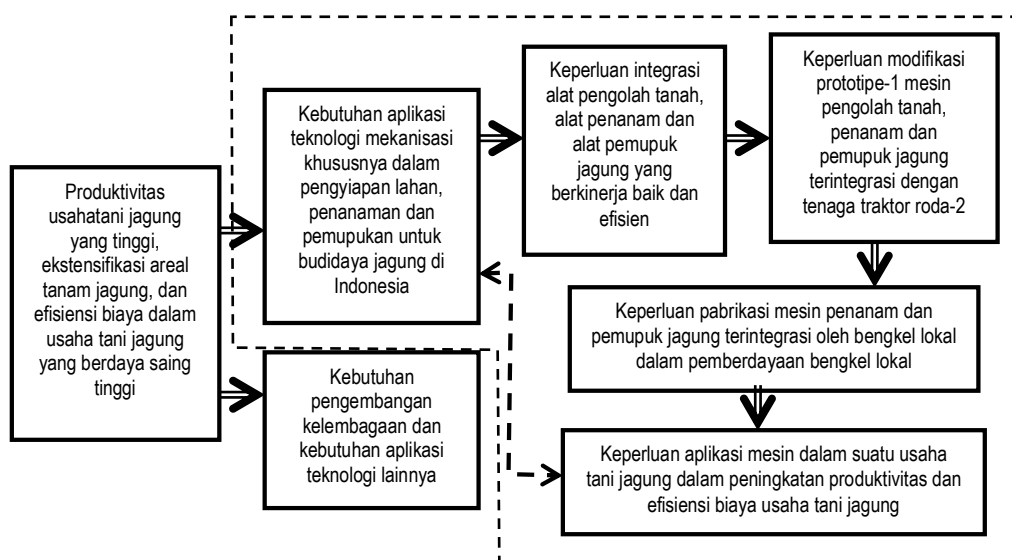
Dalam rangka peningkatan kapasitas, kualitas kerja dan efisiensi biaya dari alat dan mesin untuk mendukung budidaya jagung (dan palawija lainnya), telah banyak dikembangkan peralatan yang inovatif dan spesifik lokasi khususnya kondisi usaha tani di Indonesia, yang telah dilakukan oleh tim peneliti dari Bagian Teknik Mesin dan Otomasi, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor. Inovasi-inovasi yang dihasilkan oleh peneliti IPB dan yang lainnya telah diujicoba pada beberapa lokasi, dengan hasil yang memuaskan, khususnya dalam peningkatan kapasitas kerja, kualitas kerja dan efisiensi biaya pengoperasian

(Sembiring, et al., 2000; Virawan, 1989; Pitoyo, et al., 2007; Hermawan, et al., 2004; Setiawan, et al., 2008; Hermawan, et al., 2009; Hermawan, 2012).

Peningkatan kapasitas kerja dan efisiensi biaya masih dapat ditingkatkan dengan cara menggabungkan (mengintegrasikan) tiga kegiatan yaitu pengolahan tanah, penanaman dan pemupukan sekali gus menggunakan sebuah mesin yang terintegrasi. Dengan pengintegrasian tiga-empat aktivitas alat/mesin menjadi satu kali lintasan diharapkan dapat memangkas waktu kerja dan biaya hingga sepertiga kalinya. Pada tahun 2009, tim peneliti (Hermawan, et al., 2009) telah berhasil mendesain dan mengujicoba mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga gerak traktor berroda-2. Mesin ini digerakkan oleh traktor berroda-2 dan mampu melakukan proses pengolahan tanah, pembentukan guludan tanam, penanaman benih jagung dan pemupukan (Urea, TSP dan KCl) secara simultan. Kinerja pengolahan tanah dan pembentukan guludan sudah cukup baik, sesuai dengan ukuran yang diharapkan. Penanaman benih cukup efektif, pemupukan Urea, TSP dan KCl dapat dilakukan dengan baik, pada dosis yang mendekati harapan. Kapasitas lapangan teoritis dari penanaman dengan prototipe mesin hasil rancangan rata-rata 0.13 ha/jam, kapasitas lapangan efektifnya 0.11 ha/jam pada kecepatan maju 0.48 m/s. Selanjutnya prototipe pertama tersebut telah diperbaiki terutama pada kinerja penjataan pupuk dan kapasitas pemupukannya (Hermawan, 2012). Dengan cara yang inovatif tersebut di atas, selain kinerja yang meningkat juga lebih efisien dalam penggunaan sumberdaya (traktor, tenaga kerja dan bahan bakar minyak), yang pada gilirannya akan memberikan keuntungan yang jauh lebih besar bagi petani.

### Perumusan Masalah

Masalah utama yang akan dipecahkan melalui penelitian ini adalah, kebutuhan yang sangat mendesak dalam hal aplikasi teknologi mekanisasi khususnya dalam penyiapan lahan, penanaman dan pemupukan untuk budidaya jagung di Indonesia. Secara ringkas rangkaian permasalahan dapat dirumuskan dalam diagram seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram penguraian masalah yang akan dipecahkan melalui kegiatan penelitian yang disusulkan dalam peningkatan efisiensi usaha tani jagung.

Teknologi peralatan yang diperlukan berupa paket mesin yang mampu bekerja secara terintegrasi dalam mengerjakan pengolahan tanah (penyiapan lahan), penanaman benih dan pemupukan dengan tenaga tarik traktor tangan dengan kapasitas kerja yang tinggi, kualitas kerja yang baik dan efisien dalam penggunaan tenaga dan sumberdaya. Kata kuncinya adalah

”pengintegrasian” dari beberapa peralatan seperti pengolah tanah rotari, unit alat tanam dan unit pemupuk menjadi suatu kesatuan mesin dengan penggerak traktor tangan yang dapat dioperasikan untuk menyelesaikan pekerjaan penyiapan lahan, penanaman dan pemupukan jagung sekali gus.

Prototipe mesin terintegrasi tersebut telah berhasil dirancang dan dibuat, namun perlu ditingkatkan kinerjanya melalui modifikasi. Setelah itu, teknologi tersebut perlu didiseminasikan ke bengkel lokal agar mereka mampu membuat mesin tersebut sekali gus meningkatkan kemampuannya dalam membuat mesin-mesin pertanian. Langkah selanjutnya yang diperlukan adalah aplikasi mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi tersebut dalam usaha tani jagung di pertanian lokal. Persoalan tersebut, seluruhnya akan diselesaikan melalui kegiatan penelitian yang diusulkan ini.

Untuk itu, beberapa keperluan telah diidentifikasi sebagai berikut ini:

- ❖ Konstruksi mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi (prototipe-1) perlu dimodifikasi agar dapat ditingkatkan kinerjanya: ketepatan penjataan benih jagung, ketepatan jarak tanam, ketepatan penjataan pupuk, dan peningkatan kapasitas kerja. Unit penanam harus mampu menanam benih dengan jumlah benih per lubang tanam yang sesuai kebutuhan (1-2 benih) serta pada jarak tanam 20 cm dalam barisan dan 50 cm antarbaris, dengan satu tanaman per rumpun, atau jarak 40 cm dalam barisan dengan dua tanaman per rumpun. Penempatan benih pada kedalaman 3-5 cm. Mekanisme penjatah benih dapat diset sesuai kebutuhan budidayanya. Untuk penjataan pupuk, maka pada saat tanam diberi takaran pupuk 250 kg/ha NPK, atau 100-150 kg/ha urea, 100-200 kg/ha TSP, 50-100 kg/ha KCl. Penempatan pupuk pada alur berjarak 7-10 cm sebelah alur benih pada kedalaman 5-10 cm, atau pencampuran pupuk dengan tanah. Penjataan pupuk dapat diatur sesuai kebutuhan. Desain dan modifikasi perlu dilakukan dengan cermat agar dapat dikerjakan dengan teknologi yang dimiliki oleh bengkel lokal untuk pemberdayaan bengkel lokal dan industri lokal.
- ❖ Setelah dimodifikasi, prototipe mesin perlu diujicoba, sehingga dapat didiseminasikan kepada bengkel lokal (untuk pembuatan) dan petani jagung (untuk aplikasi dalam budidaya jagungnya).
- ❖ Mesin yang telah dibuat perlu diaplikasikan pada budidaya jagung di usaha tani jagung di daerah sentra produksi jagung. Untuk tempat pengujian aplikasi, telah direncanakan di sentra produksi jagung di Kabupaten Bogor, Jawa barat. Hal ini dilakukan juga dalam rangka realisasi kerjasama IPB dengan Kabupaten Bogor dalam mengembangkan pertanian dan pemberdayaan masyarakat di Kabupaten Bogor. Dalam aplikasi paket teknologi ini harus memenuhi persyaratan agar dapat diadopsi oleh pengguna mencakup aspek teknis, sosialbudaya, ekonomi, lingkungan, ergonomik, legal, moral, keselamatan, dan keserasiannya dengan teknologi asli petani (Budianto 1999). Aspek Teknis teknologi budi daya jagung yang ditawarkan, secara teknis, harus dapat memecahkan masalah yang dihadapi petani, dapat meningkatkan efisiensi usahatani, produktivitas, dan mutu hasil panen. Teknologi juga harus memungkinkan untuk dapat diterapkan pada skala usaha dengan sumber daya yang tersedia pada petani, serasi (compatible) dengan pola tanam, sistem usaha tani yang ada, dan lebih efisien dibandingkan dengan teknologi yang telah ada.

Permasalahan yang telah diuraikan di atas akan dapat diselesaikan dengan pendekatan penelitian yang berupa rancang bangun (modifikasi), dan aplikasi mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk terintegrasi untuk jagung menggunakan tenaga traktor tangan. Prototipe pertama dari mesin tersebut telah dihasilkan dari penelitian dan rancang bangun yang telah dikerjakan oleh tim peneliti Bagian Teknik Mesin dan Otomasi, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem IPB, pada tahun 2009 (Hermawan, et al., 2009). Bahkan, kinerja penjataan pupuknya juga telah diperbaiki dengan menggunakan *metering device* tipe *edge-*

*cell* (Hermawan, 2012). Inovasi yang telah tersedia akan dimanfaatkan seoptimal mungkin untuk penyelesaian masalah secara bertahap. Dengan demikian, penelitian yang dilakukan merupakan penelitian sentuhan akhir yang diarahkan pada aplikasi dan diseminasi teknologi mekanisasi pengolahan tanah, penanam dan pemupuk jagung dengan tenaga traktor berroda-2 pada budidaya jagung serta dapat segera dimanfaatkan oleh masyarakat untuk meningkatkan daya saingnya. Sebagai salah satu calon pengguna adalah masyarakat petani di sentra produksi jagung di Kabupaten Bogor sebagai implementasi kerjasama antara IPB dengan Pemda Kabupaten Bogor. Menurut Dinas Pertanian Provinsi Jawa Barat, sentra produksi jagung di Kabupaten Bogor adalah di Kecamatan Dramaga dan Kecamatan Megamendung dengan luas  $\pm$  4050 ha. Untuk memperluas jangkauan diseminasi, teknologi ini akan diperkenalkan kepada para petani di sentra produksi jagung melalui Dinas-dinas Pertanian di daerah tersebut. Selain itu, teknologi ini dapat didesiminasikan dan digunakan oleh bengkel-bengkel setempat untuk manufaktur (pembuatan) mesinnya sehingga mampu membuat sendiri dan meningkatkan daya saingnya. Demikian juga, teknologi ini perlu diperkenalkan kepada industri mesin pertanian lokal guna memperkuat industri mesin pertanian nasional.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **Budidaya Jagung**

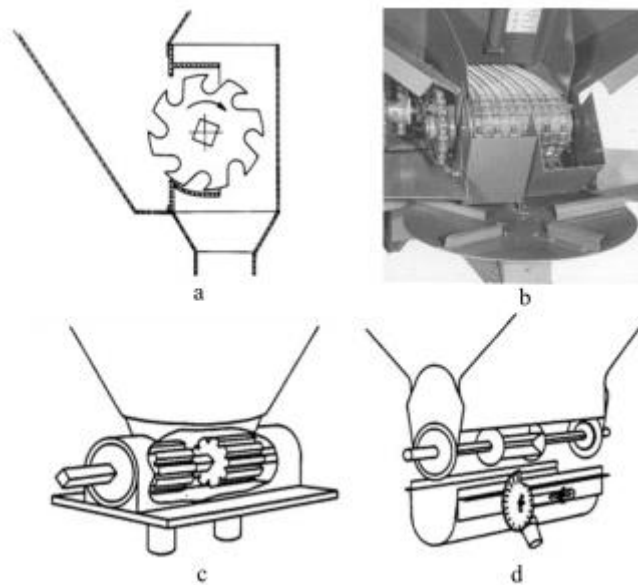
Penyiapan lahan untuk tanaman jagung adalah pengolahan tanah. Pengolahan tanah bertujuan untuk menggemburkan tanah, memperbaiki drainase, dan mematikan bibit penyakit. Pengolahan tanah dibagi menjadi tiga, yaitu pengolahan tanah sempurna, pengolahan tanah minimum, dan tanpa pengolahan tanah. Pengolahan tanah sempurna dilakukan dengan mencangkul atau membajak tanah sebanyak dua kali dengan kedalaman 15-20 cm, sedangkan pengolahan tanah minimum dilakukan hanya pada barisan persiapan tanam saja dengan kedalaman yang sama (Adisarwanto dan Widyastuti 2002).

Penanaman dilakukan dengan cara penugalan dengan jarak tanam yang disesuaikan dengan varietas jagung yang akan ditanam. Jarak tanam untuk jagung hibrida adalah 75 x 25 cm atau 75 x 40 cm. Kedalaman lubang tanam antara 2.5-5 cm. Untuk tanah yang cukup lembab, kedalaman tanam lubang cukup 2.5 cm. Sedangkan untuk tanah yang agak kering, kedalaman lubang tanam adalah 5 cm (Martodireso dan Suryanto, 2002). Pemupukan dilakukan dan diberikan pada saat tanam dan susulan setelah tanam. Jenis pupuk yang diberikan pada jagung adalah pupuk organik dan pupuk anorganik. Pupuk organik berupa pupuk kandang yang diberikan pada lahan yang kurang subur dengan dosis sekitar 15-20 ton/ha. Pupuk anorganik yang digunakan pada proses pemupukan jagung adalah pupuk urea, SP-36, dan KCl. Dosis pupuk untuk jagung hibrida sedikit berbeda dengan jagung nonhibrida. Jagung hibrida membutuhkan dosis pupuk anorganik per hektarnya dengan rincian urea 300 kg, SP-36 100 kg, dan KCl 50 kg. Sementara untuk jagung nonhibrida, perhektarnya dibutuhkan urea 250 kg, SP-36 75 – 100 kg, dan KCl 50 kg. Adapun untuk penempatan pupuk dasar berupa urea, SP-36, dan KCl ditugal sedalam 10 cm (Adisarwanto dan Widyastuti 2002).

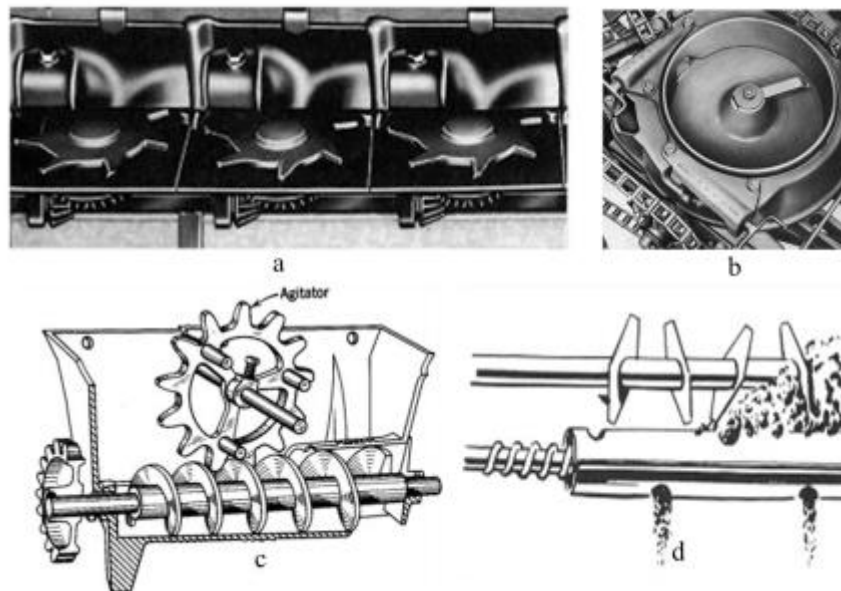
#### **Unit Penjatah Pupuk**

Keseragaman hasil pemupukan menunjukkan kualitas dari alat penebar pupuk yang digunakan. Keseragaman hasil pemupukan salah satunya ditentukan oleh unit penjatah pupuk pada alat penebar pupuk. Berbagai jenis penjatah telah dikembangkan untuk menghasilkan penjataan bahan yang konsisten dan seragam. Srivastava *et al.*(1996) membagi jenis-jenis penjatah pupuk seperti pada Gambar 2 dan 3.





Gambar 2 Tipe penjajah pupuk (a) roda bintang, (b) piringan berputar, (c) ulir rapat, dan (d) ulir longgar (Srivastava *et al*2006)



Gambar 3 Tipe penjajah pupuk (a) *edge-cell*, (b) sabuk berputar, (c) rotor beralur, dan (d) aliran gravitasi (Srivastava *et al* 2006)

**Rotor Bercelah (*edge-cell*)**

Penjajah pupuk tipe *edge-cell* berbentuk roda gigi dengan sudut kelengkungan tertentu pada ujung penjajah. Penjajah pupuk rotor bercelah merupakan tipe penjajah umpan positif. Roda penjajah dipasangkan pada jarak yang disyaratkan sepanjang *hopper* dan diputar oleh poros segiempat. Dosis penjataan pupuk diatur dengan mengubah kecepatan putar rotornya (Srivastava *et al* 2006).

### **Sabuk Berputar (*belt type*)**

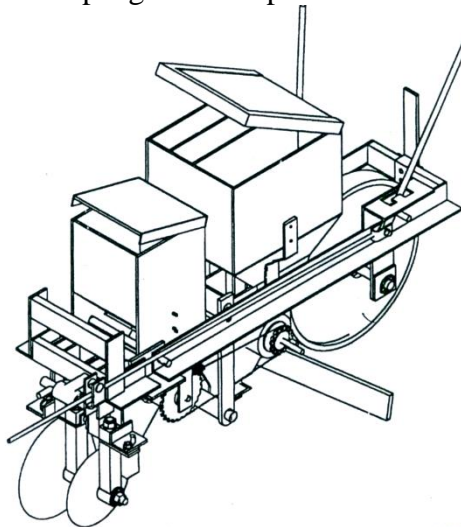
Penjatah pupuk tipe ini digunakan untuk aplikasi pemupukan yang relatif besar, seperti pada penebar rotari dengan *hopper* yang besar. Beberapa unit memiliki sabuk kawat datar (terbuat dari bahan baja anti karat) yang membawa pupuk sepanjang bagian bawah *hopper* dan beberapa jenis yang lain sabuknya terbuat dari bahan karet. Dosis penjatahan dikontrol dengan mengatur bukaan pintu pengeluaran yang berada di atas sabuk. Penjatahan dapat dibagi menjadi dua atau lebih aliran pengeluaran saat dibutuhkan (Ichniarsyah 2013).

### **Rotor Beralur (*fluted roll*)**

Penjatah pupuk tipe ini merupakan tipe penjatah yang paling banyak digunakan untuk aplikator pestisida butiran. Terdapat roda penggerak yang menggerakkan rotor bersudu atau rotor beralur yang terletak di atas lubang pengeluaran. Rotor tersebut letaknya cukup rapat pada bagian bawah *hopper* sehingga tidak akan terjadi aliran bahan saat rotor tidak bergerak. Idealnya, dosis penjatahan besarnya proporsional terhadap kecepatan putar rotor dan tidak dipengaruhi oleh kecepatan maju alat pemupuk (Ichniarsyah 2013).

### **Pengembangan Mesin Penanam dan Pemupuk Jagung**

Penelitian dalam pengembangan alat pengolahan tanah, alat penanam dan pemupuk untuk budidaya jagung dan palawija lainnya telah dilakukan oleh tim peneliti di Departemen Teknik Pertanian IPB sejak lebih dari 20 tahun yang lalu (Sembiring, et al., 2000). Peneliti di Bagian Teknik Mesin Budidaya Pertanian Departemen Teknik Pertanian IPB pada tahun 1999-2000 telah menghasilkan inovasi alat tanam dan pemupuk untuk biji-bijian yang terintegrasi dengan tenaga tarik bisa traktor tangan maupun traktor berroda empat (Gambar 4). Prototipenya telah diuji dan disosialisasikan kepada petani dan juga pengusaha bengkel konstruksi di daerah Bogor dan Subang. Mesin tanam dan pemupuk tersebut mampu menanam berbagai jenis benih seperti jagung, kedelai, kacang tanah dll. Dengan jarak tanam, jumlah benih per lubang sesuai kebutuhan. Unit pemupuk dengan *hopper* pupuk Urea, TSP dan KCl yang tersekat dapat efektif memberikan pupuk sesuai dosis yang diperlukan. Inovasi lainnya dalam unit ini adalah penggunaan pembuka alur benih dan pupuk berbentuk piringan yang efektif dan tidak lengket dengan tanah. Kapasitas penanaman dan pemupukan sekaligus dapat mencapai 3 jam/ha dengan tenaga tarik traktor tangan berkecepatan 0.5 m/s, jumlah unit tiga dengan jarak antarbarisan 75 cm, dan efisiensi lapangan mencapai 80%.



Gambar 4 Alat penanam dan pemupuk yang akan diintegrasikan pada mesin pengolahan tanah (Sembiring, et al., 2000).

Agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang secara optimal, cara tanam jagung mempertimbangkan beberapa hal di antaranya kedalaman penempatan benih, populasi tanaman, cara tanam, dan lebar alur/jarak tanam. Kedalaman penempatan benih bervariasi antara 2,5-5 cm, bergantung pada kondisi tanah. Pada tanah yang kering, penempatan benih lebih dalam. Populasi tanaman umumnya bervariasi antara 20.000-200.000 tanaman/ha. Hasil penelitian Subandi, et al. (2004) menunjukkan bahwa populasi tanaman optimal untuk empat varietas yang diuji (Bisma, Semar-10, Lamuru, dan Sukmaraga) adalah 66.667 tanaman/ha. Penempatan benih jagung di tanah adalah pada alur-alur yang dibuat teratur atau benih ditanam dengan jarak teratur dalam alur (hill drop) sehingga memungkinkan penyiangan mekanis dua arah. Penentuan jarak tanam jagung dipengaruhi oleh varietas yang ditanam, pola tanam, dan kesuburan tanah. Jarak tanam jagung yang umum digunakan adalah 75 cm x 25 cm, 80 cm x 25 cm, 75 cm x 40 cm, dan 80 cm x 40 cm, dua benih/lubang (Hendriadi, et al., 2008). Metode dan peralatan pengolahan tanah telah dikembangkan oleh para peneliti di Bagian Teknik Mesin Budidaya Pertanian Departemen Teknik Pertanian IPB, khususnya dalam menyiapkan guludan tanam maupun bedengan menggunakan kombinasi bajak singkal, pengolah tanah rotari dan furrower yang ditarik traktor tangan.

Penggunaan traktor tangan sebagai sumber tenaga untuk alat pengolah tanah, penanam dan pemupuk telah dikaji dan disimpulkan sebagai pilihan yang tepat untuk usaha tani sesuai kondisi spesifik lokasi di pertanian Indonesia pada umumnya. Pada sentra produksi padi pada umumnya telah biasa digunakan traktor tangan untuk pengolahan tanah. Pada musim tanam jagung setelah musim tanam padi, traktor tangan yang tersedia (menganggur) dapat digunakan dalam budidaya jagung. Dengan cara ini meningkatkan pemanfaatan traktor untuk pertanian. Selanjutnya, untuk mendukung aplikasi traktor tangan di lahan kering, telah dikembangkan roda besi bersirip yang efektif dan memiliki efisiensi traksi tinggi pada lahan kering.

Kegiatan penelitian yang telah dilakukan oleh tim peneliti dari Bagian Teknik Teknik Mesin dan Otomasi, Departemen Mesin dan Biosistem IPB, serta inovasi yang telah dihasilkannya secara ringkas disajikan pada Tabel 1.

- Dari pengembangan unit alat penanam benih telah dihasilkan inovasi antara lain berupa:
- 1) prototipe *metering device* untuk benih yang akurat dalam penjatahan dengan tingkat kerusakan benih yang sangat kecil (< 1%) menggunakan sistem silinder (piringan) bercelah (berlubang) dari bahan nilon dan kombinasi sikat, serta dengan jumlah benih per lubang dan jarak tanam benih yang dapat diatur,
  - 2) inovasi hopper benih dengan dasar hopper bersudut kemiringan yang efektif mengalirkan benih ke bagian *metering device* secara sempurna,
  - 3) inovasi pembuka alur tipe piringan yang efektif, beban tarik rendah (ringan), dan tidak lengket sehingga mampu menempatkan benih sesuai kedalaman yang diharapkan,
  - 4) inovasi penutup alur dengan roda pematik yang memberikan efek perbaikan kondisi lingkungan benih yang mendukung germinasi,
  - 5) mekanisme penggerak *metering device* dari roda dengan sirip-sirip yang efektif memutar *metering device* sehingga menghasilkan jarak tanam yang akurat, dan
  - 6) mekanisme empat batang hubung untuk menggandengkan rangka unit penanam dengan batang penggandeng traktor,
  - 7) prototipe-1 mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga gerak traktor berroda-2.
  - 8) inovasi *metering device* pupuk butiran anti macet dan dapat diatur tingkat penjatahannya.

Tabel 1 Ringkasan penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh tim peneliti dari Departemen Mesin dan Biosistem, Fateta-IPB dan hasil-hasil yang telah diperolehnya yang mendukung pengembangan mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung

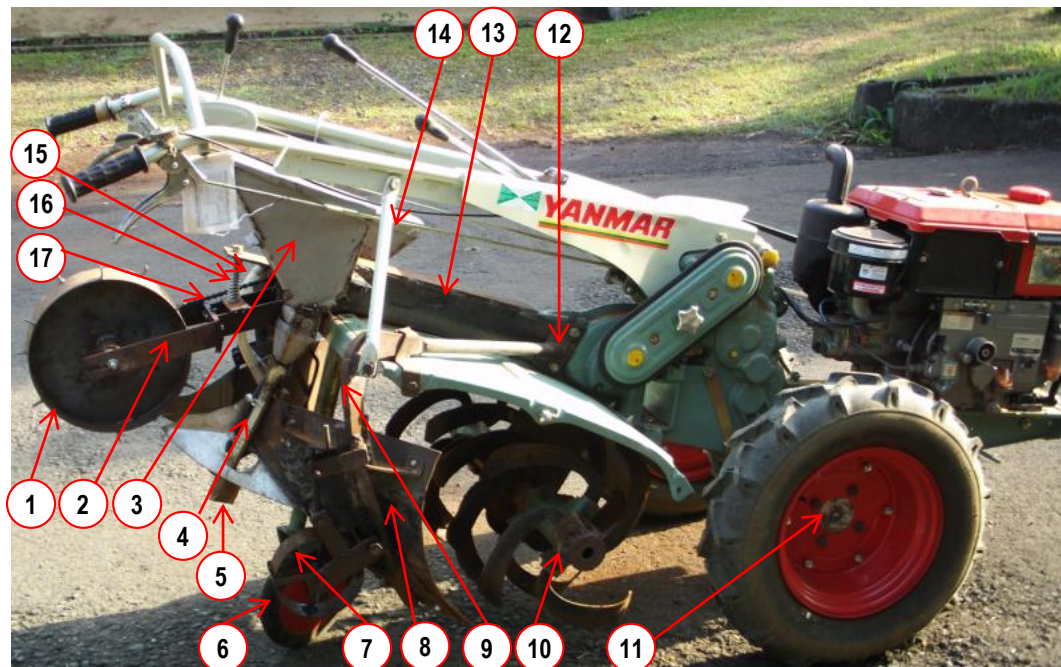
Tahun	Penelitian yang telah dilakukan	Inovasi yang telah dihasilkan
1985	Desain dan uji teknis alat penanam dan pemupuk tipe dorong sumber tenaga manusia (Hermawan, 1985)	Prototipe alat penanam dan pemupuk tipe dorong sumber tenaga manusia
1989-1999	Rancang bangun dan uji kinerja alat penanam benih dan pemupuk dengan tenaga tarik traktor tangan (Sembiring et al., 1999; Sumaryanto, 1991; Virawan, G. 1989)	Prototipe penanam dan pemupuk terintegrasi dengan tenaga tarik traktor tangan
1999-2000	Rancang bangun dan uji kinerja alat penanam benih biji-bijian dengan tenaga tarik traktor tangan (Sembiring et al., 2000)	Prototipe alat penanam benih dengan tenaga tarik traktor tangan
1999-2000	Desain dan aplikasi <i>variable rate technology</i> untuk pupuk granular (Setiawan, et al., 2000)	Prototipe penjatah pupuk dosis 9ocal9ry untuk pupuk granular
2000	Analisis desain penjatah benih pada alat penanam benih biji-bijian (Sembiring, et al., 2000)	Prototipe penjatah benih yang efektif
2003-2004	Rancang bangun mesin pemupuk tenaga tarik hewan (Hermawan, et al., 2004)	Prototipe mesin pemupuk dengan tenaga tarik hewan
2004	Kajian metode pengolahan tanah untuk budidaya palawija dan hortikultura di lahan kering (Hermawan, et al., 2004)	Metode penyiapan lahan untuk budidaya palawija dan hortikultura dengan tenaga traktor tangan
2005	Rancang bangun dan uji kinerja <i>furrower</i> untuk penyiapan guludan dan bedengan untuk budidaya palawija dan hortikultura (Hermawan, et al., 2005)	Prototipe <i>furrower</i> untuk guludan dan prototipe <i>furrower</i> untuk bedengan
2007-2008	Rancang bangun mesin pemupuk bertenaga traktor roda empat (Setiawan, et al., 2008)	Prototipe mesin pemupuk ditarik traktor berroda empat
2009	Desain mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga traktor berroda-2 (Hermawan et. Al., 2010)	Prototipe-1 mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi
2011	Perbaikan kinerja metering device pupuk dengan rotor tipe <i>edge-cell</i> (Hermawan, 2012)	Prototipe metering device tipe <i>edge-cell</i>

Dari hasil pengembangan unit pemupuk (pupuk jenis granular dan serbuk), telah dihasilkan inovasi sebagai berikut:

- 1) prototipe *metering device* tipe *edge-cell* untuk pupuk butiran (Urea, TSP, KCl) yang akurat dalam penjatahan pupuk menggunakan sistem silinder (piringan) bercelah (berlubang) dari bahan nilon dan kombinasi sikat, serta dengan dosis pupuk yang dapat diatur
- 2) inovasi hopper pupuk dengan dasar hopper bersudut kemiringan yang efektif mengalirkan pupuk ke bagian *metering device* secara sempurna,
- 3) inovasi pembuka alur tipe piringan yang efektif, beban tarik rendah (ringan), dan tidak lengket sehingga mampu menempatkan pupuk sesuai kedalaman yang diharapkan,
- 4) mekanisme penggerak *metering device* dari roda dengan sirip-sirip yang efektif memutar *metering device* pupuk sehingga menghasilkan penjatahan pupuk yang akurat.

Selanjutnya, Hermawan, et al. (2009) telah berhasil mendesain dan mengujicoba mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga gerak traktor berroda-2 (Gambar 5). Mesin ini digerakkan oleh traktor tangan dan mampu melakukan proses

pengolahan tanah, pembentukan guludan tanam, penanaman benih jagung dan pemupukan (Urea, TSP dan KCl) secara simultan (Gambar 6). Kinerja pengolahan tanah dan pembentukan guludan sudah cukup baik, sesuai dengan ukuran yang diharapkan. Penanaman benih cukup efektif, dengan jumlah benih jagung yang ditempatkan 1-2 benih per lubang dan jarak tanam 23 cm. Pemupukan Urea, TSP dan KCl dapat dilakukan dengan baik, pada dosis yang mendekati harapan. Kapasitas lapangan teoritis dari penanaman dengan prototipe mesin hasil rancangan rata-rata 0.13 ha/jam, kapasitas lapangan efektifnya 0.11 ha/jam pada kecepatan maju 0.48 m/s.



1	Roda penggerak	10	Tambahan pisau <i>rotary</i>
2	Rangka roda penggerak	11	Tambahan As Roda
3	<i>Hopper</i> pupuk	12	Titik gandeng
4	Saluran pengeluaran pupuk	13	Rangka utama penggandeng
5	Pembuka alur pupuk	14	<i>Hopper</i> benih
6	Roda transportasi	15	Saluran pengeluaran benih
7	Roda bantu <i>furrower</i>	16	Pegas penekan roda penggerak
8	<i>Furrower</i>	17	Rantai
9	Rangka <i>furrower</i>		

Gambar 5 Konstruksi dari prototipe-1 mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi (Hermawan, et al., 2009).

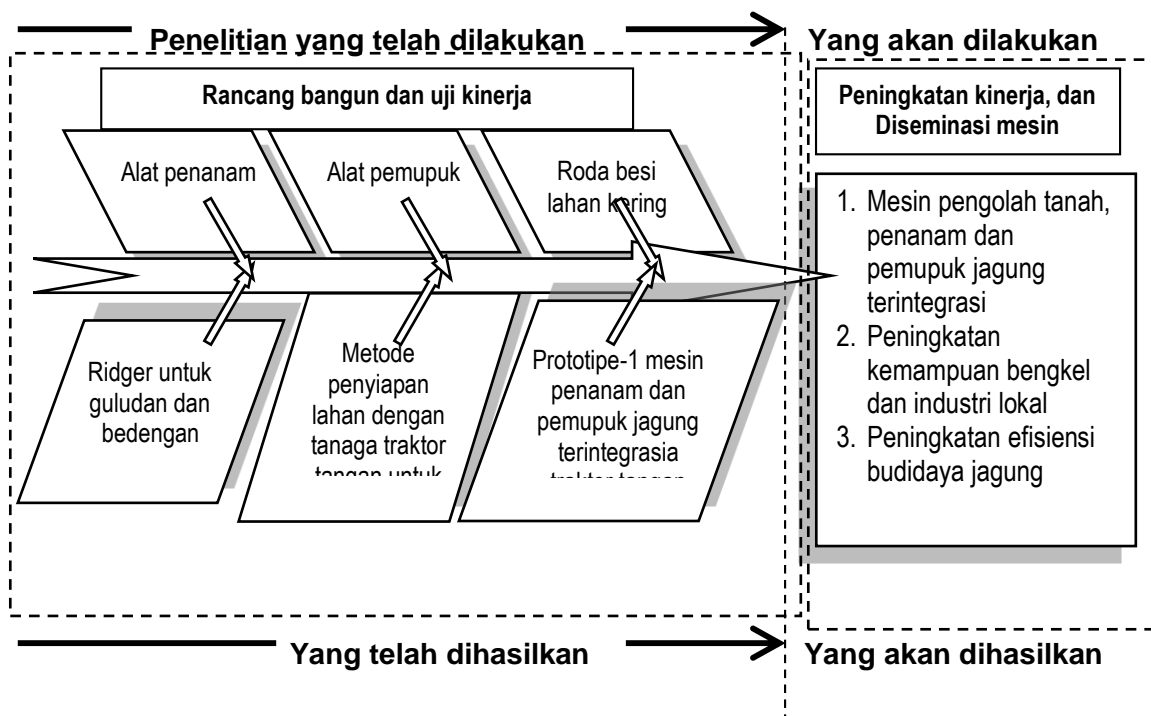


Gambar 6 Prototipe-1 mesin penanam dan pemupuk jagung saat dioperasikan (Hermawan, et al., 2009).

Seperti telah dijelaskan di muka, dalam penyelesaian masalah peningkatan produktivitas budidaya jagung perlu dikembangkan dan diaplikasikan mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung yang terintegrasi dengan tenaga traktor berroda-2. Prototipe pertama dari mesin tersebut telah didesain, dibuat, dan diujicoba (Hermawan, et al., 2009). Dalam penelitian kali ini, kinerja prototipe-1 mesin tersebut akan ditingkatkan sekali gus disesuaikan dengan kondisi lahan dan budidaya jagung di lokasi yang akan digunakan sebagai tempat aplikasi mesin (sentra produksi jagung di Kabupaten Bogor, yaitu Kecamatan Dramaga). Hasil modifikasi berupa prototipe-2 akan didiseminasikan kepada bengkel lokal dan petani. Desain mesin serta paket teknologi pembuatannya akan diperkenalkan kepada bengkel lokal, sehingga mereka mampu melakukan manufaktur mesin sendiri. Selanjutnya, mesin yang telah dibuat perlu diaplikasikan dalam kegiatan budidaya jagung petani lokal, diamati kinerjanya serta dihitung kebutuhan biaya operasinya (lihat Gambar 7).

Inovasi dari hasil rekayasa dan rancang bangun alat pengolahan tanah, mesin penanam dan mesin pemupuk hingga saat ini telah dikembangkan dan diujicoba di lapangan. Modifikasi-modifikasi telah dilakukan guna penyempurnaan alat/mesin tersebut. Namun, demikian dalam pengoperasiannya, alat dan mesin tersebut bekerja terpisah, sendiri-sendiri dalam dua atau tiga tahap kegiatan, yaitu kegiatan pengolahan tanah, pembuatan guludan/bedengan, penanaman dan pemupukan. Dengan cara konvensional tersebut, jumlah pengoperasian traktor untuk pengolahan tanah dan penanam-pemupukan menjadi tiga hingga empat kali dan mengakibatkan biaya pengoperasian dari pengolahan tanah hingga penanaman cukup tinggi. Oleh karena itu perlu diupayakan pengintegrasian dari pengoperasian alat/mesin tersebut.

Upaya pengintegrasian seluruh kegiatan pengolahan tanah hingga penanaman dan pemupukan merupakan inovasi yang akan meningkatkan kapasitas kerja, efisiensi biaya dan peningkatan produktivitas. Kegiatan pengolahan tanah, penanaman dan pemupukan dilakukan terintegrasi dalam satu lintasan operasi dengan menggunakan traktor tangan (traktor dua roda). Hal ini telah direalisasikan di tahun 2009, di mana sebuah mesin telah didesain dan dibuat untuk mengerjakan empat kegiatan sekali gus dengan tenaga traktor berroda-2, yaitu: pengolahan tanah, pembuatan guludan, penanaman benih jagung dan pemupukan. Kapasitas kerjanya mencapai 0.11 ha/jam, dan masih dapat ditingkatkan lagi.



Gambar 7 Diagram ringkas inovasi yang telah dihasilkan dari penelitian yang telah dilakukan dan hubungan dengan penelitian yang perlu dilakukan.

Penggunaan traktor dua roda sangat tepat untuk kondisi pertanian di Indonesia yang luasan usaha taninya masih relatif sempit, dengan petakan yang tidak luas. Selain itu, teknologi traktor tangan telah dikuasai oleh produsen traktor dalam negeri dan mudah dioperasikan, diperlihara oleh para petani di daerah. Dengan pengintegrasian tiga-empat aktivitas alat/mesin menjadi satu kali lintasan diharapkan dapat memangkas waktu kerja dan biaya hingga sepertiga kalinya. Dengan cara yang inovatif ini, selain kinerja yang meningkat juga lebih efisien dalam penggunaan sumberdaya (traktor, tenaga kerja dan bahan bakar minyak), yang pada gilirannya akan memberikan keuntungan yang jauh lebih besar bagi petani.



## **BAB 3**

### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah: 1) meningkatkan kinerja mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga gerak traktor berroda-2 melalui modifikasi unit penanam, pemupuk dan mekanisme penggerak *metering device*-nya, 2) mendiseminasikan inovasi tersebut kepada bengkel lokal dan peningkatan efisiensi budidaya jagung.

Tujuan penelitian pada tahun pertama ini adalah: meningkatkan kinerja mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga gerak traktor berroda-2 melalui modifikasi unit penanam, pemupuk dan mekanisme penggerak *metering device*-nya.

#### **Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

- (a) memberikan solusi kepada masyarakat khususnya petani jagung dalam upaya peningkatan produktivitas dan efisiensi dalam budidaya jagung sesuai kondisi spesifik lokasi, yang akan memberikan keuntungan besar bagi mereka,
- (b) memperkaya ilmu pengetahuan dalam konsep baru mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk yang terintegrasi dengan tenaga traktor tangan,
- (c) memberi masukan pada bengkel-bengkel lokal dan industri mesin pertanian berupa produk baru mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga traktor berroda-2 yang lebih menguntungkan,
- (d) membantu pengembangan dan penerapan mekanisasi pertanian jagung dan meningkatkan produksi jagung yang akan dinikmati petani dan bangsa Indonesia,
- (e) menyebarkan teknologi baru kepada masyarakat pengguna serta teknik pembuatan mesinnya oleh bengkel lokal, dan industri mesin pertanian lokal,
- (f) memperkaya Institut Pertanian Bogor dalam hal konsep, paket teknologi aplikatif, bahan kuliah, bahan kajian baru, fasilitas dan instrumen, yang sangat penting untuk peningkatan daya saing dan citra IPB di masyarakat pada tingkat nasional maupun internasional,
- (g) meningkatkan kemampuan dosen dan mahasiswa dalam hal rancang bangun dan pengujian aplikasi mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi, dan mengembangkan inovasi yang telah dirintis selama ini sehingga dapat dipatenkan dan diterapkan secara komersial,
- (h) membekali mahasiswa calon magister Mayor Teknik Mesin Pertanian dan Pangan dan calon sarjana Mayor Teknik Mesin dan Biosistem dalam kemampuan melakukan analisis rancang bangun, proses dan cara pembuatan mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung yang terintegrasi, dan kemampuan dalam pengujian mesin tersebut di lapangan, serta mempercepat penyelesaian tugas akhir mahasiswa yang akan dilibatkan dalam penelitian ini.

Penelitian ini akan memberikan kontribusi yang signifikan dalam mengangkat peran IPB dalam penyelesaian masalah bangsa. IPB yang memiliki unit penyelenggaraan pendidikan keteknikan pertanian terkemuka di Indonesia dan Asia Tenggara sudah dapat menunjukkan peran kepakarannya dalam peningkatan produktivitas, dan efisiensi usaha tani jagung secara nasional guna mendukung upaya pemerintah berswasembada jagung. Paket teknologi mekanisasi yang efektif dan efisien dapat digunakan oleh masyarakat petani dalam meningkatkan pendapatan dari usaha taninya, memberikan peluang pengembangan usaha dan meningkatkan tarap hidup mereka. Selain itu, teknologi yang akan diperoleh melalui penelitian ini dapat diadopsi oleh bengkel-bengkel lokal untuk pembuatan konstruksi mesinnya, sehingga memberikan peluang pengembangan usaha yang menguntungkan mereka. Produsen bahan baku untuk mesin dan peralatan pembuatnya juga diuntungkan dengan tambahan permintaan bahan bakunya. Kesemuanya, pada gilirannya akan meningkatkan kemampuan dari masing-



masing unsur baik, petani, pengusaha bengkel, industri mesin pertanian dan produsen bahan baku konstruksi peralatan sehingga terbangun kemandirian dan kedaulatan bangsa.

Aplikasi dari teknologi ini dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam budidaya jagung yang pada gilirannya dapat mengurangi biaya produksi, meningkatkan keuntungan pada petani dan meningkatkan produksi jagung di Indonesia. Selain itu, membuka peluang baru bagi bengkel-bengkel lokal dalam usaha pembuatan mesin-mesin pertanian yang dibutuhkan oleh petani.

## BAB 4 METODE PENELITIAN

### Lingkup Kegiatan

Penelitian akan dilaksanakan dua tahun. Lingkup kegiatan penelitian meliputi aktivitas-aktivitas untuk menjawab dan menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi dan dirumuskan di muka pada bagian "perumusan masalah". Secara garis besar dibagi dalam tiga kelompok kegiatan yaitu: 1) modifikasi prototipe-1 mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung terintegrasi bertenaga traktor berroda-2, 2) aplikasi prototipe-2 mesin pada usaha tani jagung di lokasi sentra produksi jagung, dan 3) diseminasi kepada Dinas Pertanian. Tabel 2 menunjukkan ringkasan dari lingkup kegiatan yang dilaksanakan dalam penelitian ini, beserta output yang dihasilkannya.

Tabel 2. Ringkasan dari lingkup kegiatan yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini, beserta output yang dihasilkannya

No.	Kegiatan	Sub Kegiatan	Output
1.	Modifikasi prototipe-1 mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung terintegrasi bertenaga traktor berroda-2	1.1. Identifikasi kondisi lahan dan budidaya jagung di lokasi aplikasi	Data kondisi lahan dan budidaya jagung
		1.2. Pengujian kinerja roda penggerak untuk metering device benih (2 unit)	Data kinerja roda penggerak
		1.3. Desain sistem penggerak (transmisi daya) dari poros roda traktor ke poros penggerak metering device pupuk dan metering device benih.	Desain sistem penggerak metering device
		1.4. Modifikasi unit penanam benih sesuai kebutuhan lokal	Desain prototipe unit penanam benih jagung
		1.5. Modifikasi unit pemupuk (NPK; atau Urea, TSP dan KCl) sesuai kebutuhan	Desain prototipe unit pemupuk jagung
		1.6. Pembuatan prototipe-2 mesin	Prototipe-2 mesin
		1.7. Pengujian kinerja prototipe-2	Data hasil pengujian
2.	Aplikasi prototipe-2 mesin pada usaha tani jagung di lokasi sentra produksi jagung	3.1. Survey, dan penyiapan lahan budidaya jagung	Lahan untuk aplikasi
		3.2. Penyiapan bahan untuk budidaya jagung	Bahan-bahan budidaya
		3.3. Aplikasi prototipe pada budidaya jagung di sentra produksi jagung	Hasil budidaya jagung
		3.4. Pengukuran kinerja dan biaya operasi mesin	Data kinerja dan biaya
		4.2. Diseminasi ke industri mesin pertanian	Teknologi sudah terdiseminasikan
3.	Pengenalan teknologi	Pengenalan teknologi mesin penanaman jagung ke beberapa daerah di Jawa Barat	Teknologi telah diperkenalkan

Kegiatan nomor 1 yaitu modifikasi prototipe-1 mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk jagung terintegrasi bertenaga traktor berroda-2 dilaksanakan pada tahun pertama (dari rencana dua tahun penelitian). Adapun kegiatan nomor 2 dan 3 akan dilaksanakan pada tahun ke dua.

Konstruksi prototipe-1 dari mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dimodifikasi agar dapat ditingkatkan ketepatan penjatahan benih, penjatahan pupuk, dan kapasitasnya, serta sesuai dengan kondisi lahan yang akan digunakan. Penanaman dua baris

dengan jarak antarbaris 50 cm, dalam satu lintasan traktor. Direncanakan ada dua unit penanam yang mampu menanam benih 1-2 benih per lubang tanam pada jarak tanam 20 cm dalam barisan dengan satu tanaman per rumpun, atau jarak 40 cm dalam barisan dengan dua tanaman per rumpun. Penempatan benih pada kedalaman 3-5 cm. Unit pemupuk direncanakan dapat memberikan penjataan pupuk majemuk NPK dengan takaran 100-300 kg/ha. Penempatan pupuk dapat dilakukan dengan dua cara: 1) pada alur berjarak 7-10 cm sebelah alur benih pada kedalaman 5-10 cm, dan 2) pupuk dicampur dalam tanah melalui pengolahan tanah rotari. Untuk peningkatan konsistensi penjataan benih (jarak tanam) dan penjataan pupuk, sistem penggerak unit penjatah pupuk dan benih menggunakan tenaga putar dari poros roda traktor. Pengolahan tanah minimum tipe alur (*strip tillage*) menggunakan rotary tiller dengan pisau rotari yang dipasang dan dioperasikan pada alur olah saja.

Setelah dimodifikasi sesuai kebutuhan, prototipe-2 dibuat dan diujicoba, sehingga siap untuk didiseminasikan ke bengkel lokal dan siap untuk diaplikasikan pada budidaya jagung oleh petani lokal. Teknologi ini dirancang dengan cermat agar dapat dikerjakan oleh bengkel lokal (dengan peralatan yang mereka miliki) untuk pemberdayaan bengkel lokal dan industri lokal. Prototipe-2 mesin akan diaplikasikan pada budidaya jagung di usaha tani jagung di daerah sentra produksi jagung Kabupaten Bogor.

Untuk memperluas wilayah diseminasi dalam mencapai tujuan penelitian ini, maka setelah mesin (prototype-2) berhasil diaplikasikan pada budidaya jagung di lokasi yang telah ditentukan, perlu diperkenalkan kepada beberapa Dinas Pertanian di Wilayah Jawa Barat.

Kegiatan yang direncanakan tersebut merupakan kegiatan lanjutan sebagai penyelesaian akhir dalam rangka diseminasi teknologi mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi untuk peningkatan efisiensi dan produktivitas jagung, serta pemberdayaan bengkel lokal, dalam memperkuat industri mesin pertanian dalam negeri.

### **Tahapan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan berdasarkan kaidah perancangan (modifikasi), dan diseminasi teknologi mekanisasi yang dimulai dari tahap identifikasi kondisi lahan dan budidaya jagung di lokasi, sampai dengan aplikasi mesin pada usaha tani jagung di lokasi. Tahapan penelitian untuk tahun pertama ini adalah sebagai berikut.

1. Identifikasi kondisi lahan dan budidaya jagung di lokasi aplikasi
2. Evaluasi kinerja pengolahan tanah strip menggunakan *rotary tiller*
3. Desain dan evaluasi kinerja roda penggerak metering device benih
4. Perancangan sistem penggerak metering device benih dan pupuk menggunakan putaran poros roda traktor
5. Desain unit penanam benih jagung
6. Desain unit pemupuk
7. Pembuatan gambar kerja mesin penanam dan pemupuk
8. Pembuatan (fabrikasi) prototipe mesin penanam dan pemupuk
9. Uji kinerja prototipe mesin penanam dan pemupuk.

### **Identifikasi Kondisi Lahan dan Budidaya Jagung di Lokasi Aplikasi**

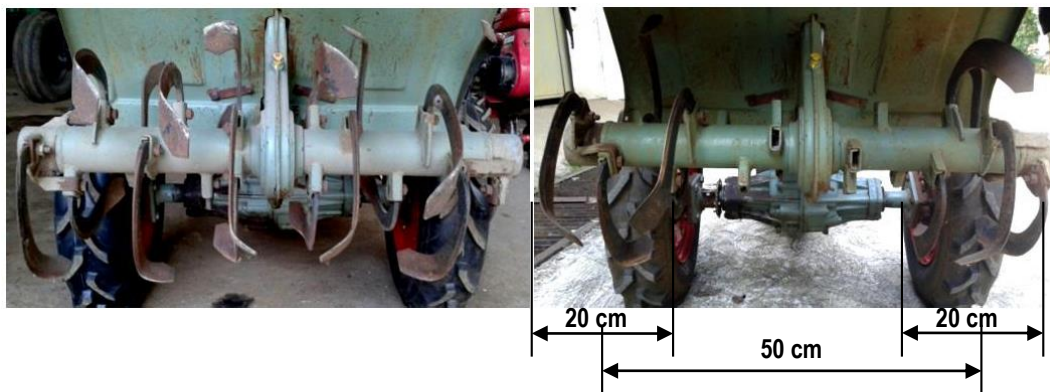
Pada tahap ini berbagai informasi yang dibutuhkan dalam penyesuaian (modifikasi) mesin penanam dan pemupuk jagung dengan kondisi lahan dan budidaya jagung yang dilakukan di lokasi akan diidentifikasi. Untuk itu perlu dilakukan survey ke lapangan yaitu ke wilayah sentra budidaya jagung di Kecamatan Darmaga Kabupaten Bogor. Data lapangan yang dikumpulkan secara langsung berupa:

- Karakteristik budidaya jagung di lokasi, menyangkut metode pengolahan tanah, penanaman dan pemupukan. Jenis dan karakteristik teknik dari tanah, benih jagung dan pupuk yang digunakan.

- Ketersediaan sumber tenaga penggerak (kualitas dan kuantitas), karakteristik teknik dan kemampuan traktor tangan di daerah setempat,
- Kondisi topografi areal budidaya jagung,
- Sifat fisik dan mekanik tanah, khususnya di areal budidaya jagung,
- Ketersediaan dan kemampuan bengkel setempat.

### **Evaluasi Kinerja Pengolahan Tanah Strip Menggunakan Rotary Tiller**

Untuk mengevaluasi kinerja pengolahan tanah strip digunakan rotary tiller yang dimodifikasi. Kriteria modifikasi yang dilakukan adalah: pengolahan tanah dilakukan pada alur tanam jagung (jarak antar alur 50 cm), menggunakan rotary tiller yang digerakkan traktor, lebar alur yang diolah 20 cm. Untuk keperluan tersebut susunan pisau rotary ditata ulang sehingga hanya terpasang lima pisau untuk pengolahan tanah di alur kiri dan lima pisau di sisi kanan (Gambar 8).



Gambar 8 Pisau rotary sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) modifikasi

Dilakukan uji pengolahan tanah pada tiga kondisi tanah kering, yaitu : 1) tanah keras yang belum diolah, 2) tanah hasil pembajakan menggunakan bajak piringan, dan 3) tanah hasil penggaruan dengan garu rotary. Pengujian dilakukan pada tiga alur tersebut, dengan ukuran petakan masing-masing lebar 2 m dan panjang 10 m. Traktor tangan dioperasikan pada kecepatan putar engine 2000 rpm, kecepatan Low-1 dan kecepatan putar rotary High. Kondisi tanah sebelum dan sesudah pengolahan tanah rotari diukur, meliputi: *bulk density* dan tahanan penetrasi.

### **Desain dan Evaluasi Kinerja Roda Penggerak Metering Device Benih**

Pada tahap ini telah didesain unit penanam benih jagung (dua unit) yang dapat dipasangkan pada sisi kiri dan kanan di atas ujung belakang unit pengolah tanah rotari. Untuk memudahkan mekanisme penggerak metering devicenya, maka digunakan roda bantu penggerak dan dilengkapi dengan sistem transmisi fleksible shaft ke dua unit penanam tersebut.

Untuk keperluan analisis desain dan evaluasi kinerja roda maka dilakukan pengukuran kondisi tanah, dan analisis torsi roda dan desain rodanya.

### **Pengukuran Kondisi Tanah**

Pengukuran kondisi tanah dilakukan untuk mendapatkan data: a) *bulk density* ( $\rho_d$ ), b) kadar air ( $K_a$ ), c) kohesi ( $C$ ), d) sudut gesekan dalam tanah ( $\phi$ ), e) adhesi ( $C_a$ ), dan f) sudut gesekan dalam tanah dan bahan roda ( $\delta$ ). Kondisi tanah diukur pada dua keadaan yaitu tanah kering dan basah. Pengukuran dilakukan di permukaan tanah sampai kedalaman 5 cm dari permukaan tanah. *Bulk density* dan kadar air diukur dengan mengambil contoh tanah menggunakan *ring sample* pada kedalaman 0-5 cm, dan menggunakan metode gravimetri.

Untuk mengukur sifat-sifat geseran tanah: kohesi ( $C$ ) dan sudut gesekan dalam tanah ( $\phi$ ), dilakukan pengukuran kekuatan geser tanah menggunakan cincin geser yang dipasangkan pada ujung penetrometer SR-2. Demikian juga untuk mengukur sifat-sifat gesekan tanah dengan bahan digunakan cincin gesek yang dipasangkan pada penetrometer SR-2. Cincin geser maupun cincin gesek yang digunakan memiliki diameter luar 10 cm dan diameter dalam 6 cm. Untuk pengukuran tersebut dilakukan penekanan pada penetrometer dengan dua tingkat gaya tekan yaitu: 20 kg (196.2 N) dan 40 kg (392.4 N). Ada dua jenis bahan yang diuji karakteristik gesekannya dengan tanah, yaitu bahan baja dan karet.

Untuk menghitung tegangan geser dan tegangan gesek dari hasil pengukuran momen puntir (pada uji geser dan gesek) digunakan persamaan [1] (Oida, 1992). Lalu untuk menghitung sudut gesekan dalam tanah ( $\phi$ ) dan kohesi ( $C$ ) digunakan persamaan [2] dan [3] (Oida, 1992).

$$\tau = 98 \times \left( \frac{3T}{2\pi(r_o^3 - r_i^3)} \right) \quad [1]$$

Dalam hal ini:  $\tau$  adalah tahanan gesek (kPa);  $T$  adalah torsi putar (kgf.cm);  $r_o$  adalah jari-jari luar cincin geser (5 cm); dan  $r_i$  adalah jari-jari dalam cincin geser (3 cm).

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\tau_2 - \tau_1}{\sigma_2 - \sigma_1} \right) \quad [2]$$

$$C = \tau_1 - \sigma_1 \tan \phi \quad [3]$$

Dalam hal ini:  $\tau_1$  adalah tahanan gesek pada beban tekan tingkat-1 (kPa);  $\tau_2$  adalah tahanan gesek pada beban tekan tingkat-2 (kPa);  $\sigma_1$  adalah tekanan normal-1 (kPa);  $\sigma_2$  adalah tekanan normal-2 (kPa);  $\phi$  adalah sudut gesekan dalam tanah ( $^\circ$ ); dan  $C$  adalah kohesi (kPa).

Bentuk persamaan [1], [2] dan [3] digunakan juga untuk menghitung sifat-sifat gesekan tanah yaitu adhesi ( $C_a$ ) dan gesekan dalam tanah dan bahan lain ( $\delta$ ).

$$\delta = \tan^{-1} \left( \frac{\tau_{s2} - \tau_{s1}}{\sigma_2 - \sigma_1} \right) \quad [4]$$

$$C_a = \tau_1 - \sigma_1 \tan \delta \quad [5]$$

Dalam persamaan [4] dan [5]:

$\tau_{s1}$  adalah tahanan gesek pada beban tekan tingkat-1 (kPa);

$\tau_{s2}$  adalah tahanan gesek pada beban tekan tingkat-2 (kPa);

$\delta$  adalah sudut gesekan dalam tanah-bahan lain ( $^\circ$ ); dan

$C_a$  adalah adhesi (kPa).

### Analisis Desain Roda Penggerak

Roda penggerak *metering device* ini diharapkan mampu memutar dua piringan penjatah benih, memiliki tingkat luncuran roda yang rendah, dan jumlah tanah yang lengket sedikit. Putaran roda penggerak dapat ditransmisikan oleh poros lentur (*flexible shaft*) ke dua piringan penjatah benih pada dua unit mesin penanam.

Roda ditempatkan di belakang garu rotari, sedangkan unit penanam ditempatkan di sudut atas belakang dari garu rotari. Dengan demikian, ukuran diameter roda harus ditentukan terlebih dahulu, sedemikian rupa hingga tidak mengganggu bagian lainnya termasuk gerakan kaki operator traktor. Dari hasil pengukuran dan perhitungan ruang yang tersedia, diperoleh bahwa ukuran diameter roda tidak boleh lebih dari 30 cm. Karena roda penggerak ini digunakan untuk menjadi acuan jarak tanam, maka diameter roda juga harus dihitung berdasarkan jarak tanam dan jumlah benih yang dijatahkan piringan penjatah benih dalam satu putarannya. Karena putaran roda sama dengan putaran piringan penjatah benih (menggunakan *flexible*

shaft), maka jarak tanam benih yang dihasilkan adalah jarak tempuh satu putaran roda penggerak dibagi dengan jumlah celah benih pada piringan penjatah benih. Jarak tempuh satu putaran roda ditentukan dari keliling roda ditambah dengan luncuran rodanya. Oleh karena itu diameter roda penggerak dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$d_r = \frac{n_c \times J_t}{\pi(1+l_n)} \quad [6]$$

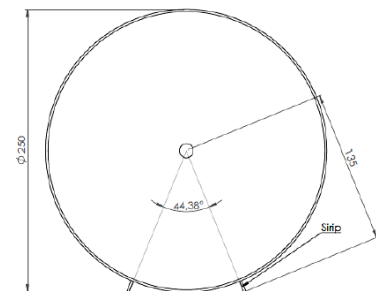
Dalam hal ini:  $d_r$  adalah diameter roda penggerak (cm);  $n_c$  adalah jumlah celah benih pada piringan penjatah;  $J_t$  adalah jarak tanam (cm);  $l_n$  adalah luncuran yang terjadi pada roda penggerak.

Jarak tanam benih yang digunakan untuk perancangan mesin ini adalah 20 cm, dan luncuran pada roda penggerak diasumsikan sebesar 25%. Dari perhitungan menggunakan asumsi di atas, dengan jumlah celah benih pada piringan penjatah 5, dengan pertimbangan bahwa semakin besar roda semakin stabil dalam melintasi permukaan tanah, dan karena ruang yang tersedia untuk roda kurang dari 30 cm, maka dalam desain ini ditentukan diameter roda 25.55 cm. Selanjutnya, lebar roda ditentukan berdasarkan hasil analisis kecukupan torsi putar yang dihasilkan roda penggerak, dan ketersediaan lebar ruang bebas antara barisan tanam (kiri dan kanan).

Sirip-sirip roda diharapkan masuk menembus permukaan tanah dan menghasilkan geseran pada tanah. Oleh karena itu jarak spasi antar sirip ditentukan dengan memperhatikan interaksi sirip dan lingkaran roda seperti pada Gambar 1. Agar sirip masuk dan bekerja, maka lingkaran luar roda tidak bersentuhan dengan permukaan tanah pada saat posisi dua sirip berurutan tidak masuk menembus permukaan tanah (lihat Gambar 9). Dengan posisi itu, maka dapat ditentukan sudut antar sirip minimal dengan rumus:

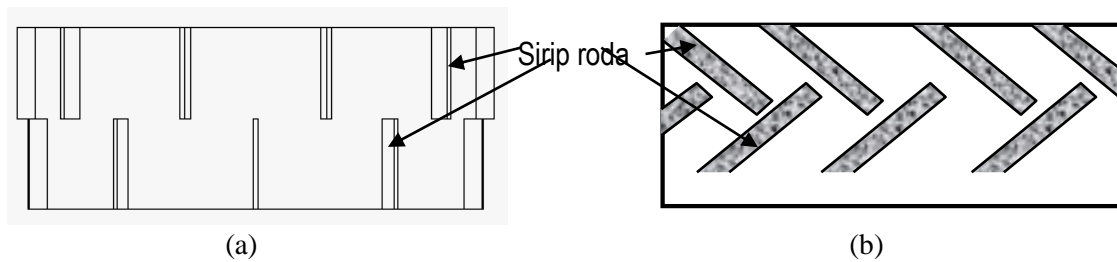
$$\alpha = 2 \cos^{-1} \left( \frac{R_r}{R_r + t_s} \right) \quad [7]$$

Dalam persamaan [7]:  $\alpha$  adalah sudut spasi antar sirip (derajat);  $R_r$  adalah jari-jari roda (cm); dan  $t_s$  adalah tinggi sirip roda (cm).



Gambar 9 Skema perhitungan sudut minimal sirip roda penggerak.

Dengan menggunakan tinggi sirip 1 cm, jari jari roda ( $r$ ) 12.5 cm, maka diperoleh sudut ( $\alpha$ ) minimal sebesar  $44.38^\circ$ , sehingga jumlah sirip minimal adalah 8 buah. Dalam desain ini digunakan sirip pada setiap sisi roda sebanyak 10 sirip, dan dipasang berselingan (total 20 sirip). Ada sirip tegak (Gambar 10(a)), dan untuk roda bersirip karet, sirip roda dipasang menyudut  $45^\circ$  untuk menghasilkan efek pelepasan tanah lengket yang baik (Gambar 10(b)).



Gambar 10 Posisi penempatan sirip-sirip roda tegak (a) dan menyudut  $45^\circ$  (b).

### Perhitungan Torsi Roda

Torsi yang dapat dihasilkan oleh putaran (gelinding) roda dihitung menggunakan prinsip gaya geser dan gaya gesek maksimum yang terjadi pada kontak roda dengan permukaan tanah. Diasumsikan bahwa roda kaku, dan amblas pada permukaan tanah sedalam  $z$  (*sinkage*). Untuk roda bersirip, siripnya masuk ke permukaan tanah sehingga menghasilkan geseran tahanan tanah. Gaya geser yang dihasilkan dihitung dengan persamaan [8] (Liljedahl *et al.*, 1989). Untuk roda tanpa sirip, gaya gesek roda dengan permukaan tanah dihitung dengan persamaan [10]. Selanjutnya torsi roda dihitung dengan mengalikan gaya  $F_r$  atau  $F_f$  dengan jari-jari rodanya  $R_r$ .

$$F_r = AC + W \tan(\phi) \quad [8]$$

$$F_f = AC_a + W \tan(\delta) \quad [9]$$

$$T_r = F_r \times R_r \quad [10]$$

Dengan memperhatikan posisi roda pada permukaan tanah (Gambar 11) dengan keamblasan  $z$ , maka luas kontak roda dengan permukaan tanah ( $A$ ) dihitung dengan menggunakan rumus:

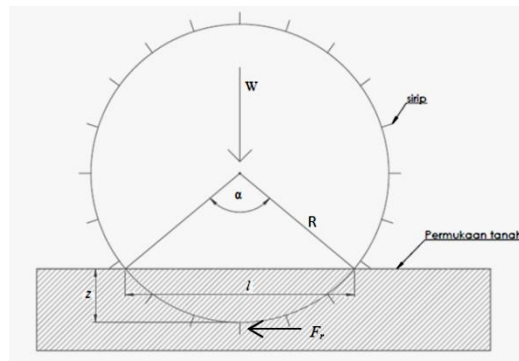
$$l = 2\sqrt{R_r^2 - (R_r - z)^2} \quad [11]$$

$$A = l \times b \quad [12]$$

di mana:

$l$  : panjang penampang sentuh roda dengan tanah (cm),

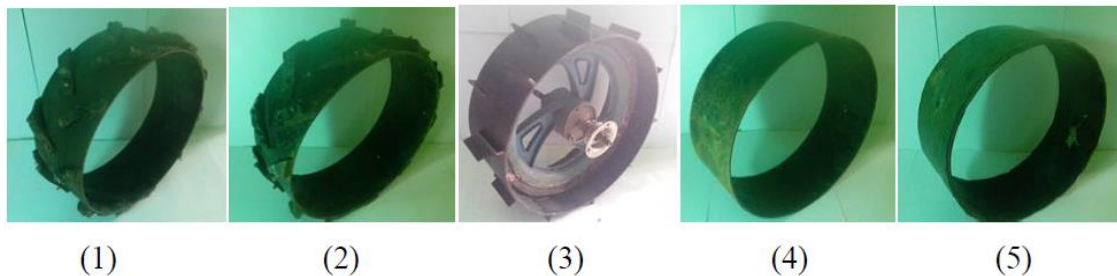
$b$  : lebar roda (cm).



Gambar 11 Posisi roda dan penentuan luas kontak roda dengan tanah.

### Metode Pengujian Kinerja Roda Penggerak

Dalam pengujian kinerja roda, digunakan lima jenis roda yaitu: 1) roda karet bersirip karet, 2) roda baja bersirip karet, 3) roda baja bersirip baja, 4) roda baja tanpa sirip dan 5) roda karet tanpa sirip, seperti diperlihatkan pada Gambar 12. Diameter roda 25 cm dan lebar roda 10 cm. Roda dipasang pada unit penanam benih, lalu diujicoba dalam penanaman di tanah kering (kadar air 30%) dan tanah basah (kadar air 52%). Kinerja roda yang diukur antara lain: tingkat luncuran roda dan jumlah tanah yang lengket pada roda.



Gambar 12 Lima jenis roda yang diuji: 1) roda karet bersirip karet, 2) roda baja bersirip karet, 3) roda baja bersirip baja, 4) roda baja tanpa sirip dan 5) roda karet tanpa sirip.

Pengukuran luncuran roda dilakukan dengan cara mengukur jarak tempuh dalam tiga putaran roda penggerak penjajah benih saat mengoperasikan mesin tanam. Pengukuran masing-masing dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk setiap jenis roda. Luncuran roda dihitung menggunakan rumus:

$$S_{ld} = \left( \frac{S_{rp}}{K_{rp} \times 3} \right) \times 100\% \quad [13]$$

Dalam hal ini:  $S_{ld}$  adalah luncuran roda penggerak (%);  $S_{rp}$  adalah jarak tempuh roda penggerak dalam tiga putaran (m);  $K_{rp}$  adalah keliling roda penggerak (m).

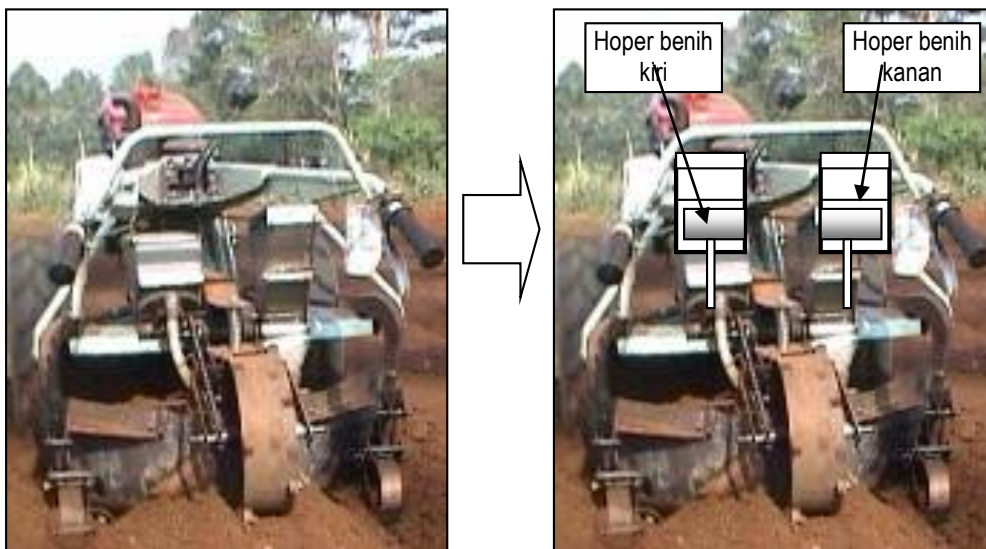
Pengukuran kelengketan tanah pada masing masing roda dilakukan dengan menimbang tanah lengket pada roda setelah roda penggerak menempuh jarak 10 m.

### Modifikasi Prototipe-1 Mesin Penanam dan Pemupuk sesuai Kebutuhan Lokal

Pada tahap ini dilakukan peningkatan kinerja dari prototipe-1 dan penyesuaian terhadap kondisi lokasi yang telah ditentukan melalui modifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah sebagai berikut.



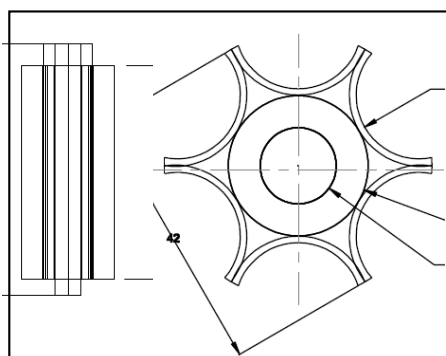
- ❖ Untuk meningkatkan kapasitas penanaman dan pemupukan, maka digunakan dua alur penanaman dalam satu kali lintasan traktor. Dengan demikian, digunakan dua unit penanam dan dua unit pemupuk.
- ❖ Agar penempatan benih dan pupuk lebih efektif, maka unit penanam dan pemupuk ditata dengan posisi: hopper benih di belakang (kiri dan kanan), hopper pupuk di depan (kiri dan kanan) (Gambar 13). Ukuran hopper pupuk diperbesar sehingga masing-masing dapat menampung 10-15 kg pupuk.
- ❖ Untuk peningkatan ketepatan penjataan pupuk (dosis) rotor penjatah pupuk akan diberi tambahan silinder pengatur dosis yang dapat digeser sesuai kebutuhan (lihat Gambar 14).
- ❖ Untuk peningkatan konsistensi penjataan benih (jarak tanam) dan penjataan pupuk, maka tidak digunakan lagi roda penggerak. Untuk menggerakkan metering device benih dan pupuk digunakan putaran poros traktor. Untuk itu perlu didesain sistem transmisi tenaga putarnya.
- ❖ Analisis teknik untuk perbaikan desain rotor penjatah tipe edge-cell menggunakan analisis teoritis dengan skema gaya-gaya pada Gambar 15.



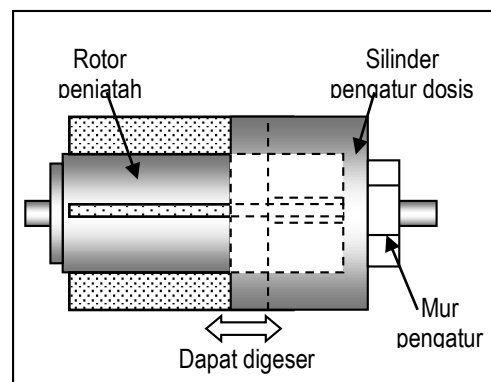
(a) sebelum modifikasi

(b) setelah modifikasi

Gambar 13 Modifikasi pada penempatan unit penanam.

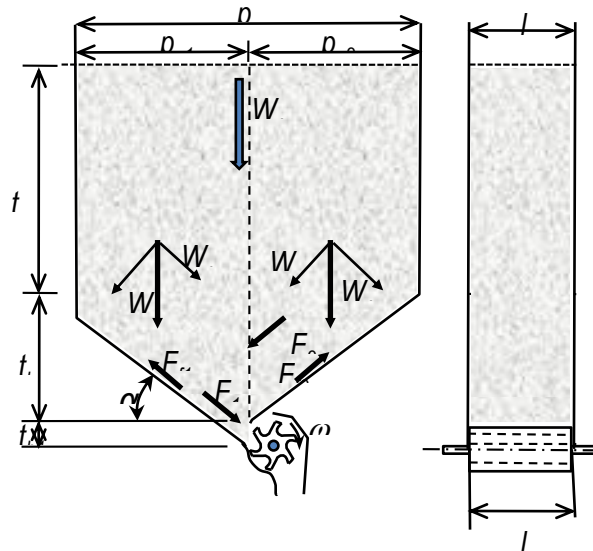


(a) sebelum modifikasi tanpa pengatur dosis



(b) dilengkapi pengatur dosis

Gambar 14 Modifikasi pada *metering device* pupuk.



Gambar 15 Skema gaya-gaya dan torsi pada metering device hasil modifikasi.

### Analisis Desain dan Pembuatan Gambar Kerja

Mesin penanam dan pemupuk untuk jagung dengan pengolahan tanah alur ini merupakan modifikasi dari mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk terintegrasi dengan tenaga gerak traktor beroda-2 yang telah dirancang sebelumnya (Hermawan 2009). Kriteria modifikasi dan perancangannya adalah sebagai berikut.

1. Unit penanam dan pemupuk harus ditarik traktor roda 2 dengan daya 10.5 hp.
2. Unit pemupuk berjumlah dua buah (pada bagian kiri dan kanan) ditopang oleh rangka utama.
3. Sumber tenaga putar untuk menggerakkan mekanisme penjatah pupuk berasal dari poros roda traktor.
4. *Hopper* pupuk dengan bahan anti korosi mampu menampung pupuk untuk penanaman dengan luas lahan 1000 m<sup>2</sup> dalam sekali pengisian pupuk.
5. Sistem penjatah pupuk harus mampu menjatah pupuk NPK dan urea pada dosis 200 – 300 kg/ha, dan dapat diatur tingkat penjatahannya.
6. Unit pemupuk harus mampu menyalurkan dan menjatuhkan pupuk pada alur yang akan diolah tanahnya oleh pengolah tanah rotari, pada jarak antar alur 50 cm.
7. Unit penanam berjumlah dua buah (pada bagian kiri dan kanan) ditempatkan setelah pengolah tanah rotari.
8. Sumber tenaga putar untuk menggerakkan mekanisme penjatah benih berasal dari poros roda traktor.
9. *Hopper* benih dengan bahan yang transparan mampu menampung benih untuk penanaman dengan luas lahan 1000 m<sup>2</sup> dalam sekali pengisian benih.
10. Sistem penjatah benih harus mampu menjatah benih jagung (jagung hibrida dan jagung manis) dengan jumlah benih penjatahan 1 benih dan jarak tanam 20 cm.
11. Pembuka alur mampu menempatkan benih pada kedalaman 2-3 cm dari permukaan tanah, dan penanaman pada alur berjarak 50 cm (jarak antarbaris tanam 50 cm).
12. Unit pengolah tanah (rotary tiller) harus mampu mengolah tanah tipe strip (strip tillage) pada lebar olah 20 cm dan jarak antar alur olah 50 cm.
13. Kapasitas penanaman dan pemupukan harus lebih tinggi daripada pemupukan manual.

Bentuk dan ukuran dari setiap bagian mesin dianalisis untuk mendapatkan ukuran yang optimum. Analisis yang dilakukan meliputi:

1. Analisis sistem transmisi daya putar dari poros traktor ke poros putar metering device pupuk dan ke poros putar metering device benih. Di sini ditentukan ukuran sproket pada poros roda traktor, sproket pada poros penggerak metering device pupuk dan sproket pada poros penggerak metering device benih, serta ukuran bevel gear nya. Analisis dilakukan dengan kriteria bahwa dalam satu putaran roda traktor harus dapat memutar metering device pupuk sehingga dapat menjatahkan pupuk sebanyak panjang alurnya (jarak tempuh satu putaran roda traktor). Satu putaran roda traktor dapat memutar metering device benih sehingga dapat menjatuhkan benih setiap bergerak 20 cm.
2. Analisis ukuran rotor, yang disesuaikan dengan penjataan pupuk (NPK atau urea) dalam setiap putaran rotor penjatah.
3. Analisis ukuran piringan penjatah benih, yang meliputi jumlah celah benih dan ukuran celah benih untuk benih jagung hibrida dan jagung manis.
4. Analisis ukuran hopper pupuk dan ukuran hopper benih. Masing-masing hopper pupuk harus dapat menampung pupuk sehingga dapat memupuk dalam petakan seluas 1000 m<sup>2</sup> dalam satu kali pengisian pupuk. Demikian juga untuk hopper benih ditargetkan dapat menanam benih dalam petakan seluas 1000 m<sup>2</sup> dalam satu kali pengisian benih.

Dari hasil analisis rancangan, digambarkan model 3-D nya menggunakan perangkat lunak CAD (Solid Work), dan dibuat gambar kerjanya.

### **Pembuatan Prototipe-2 Mesin**

Pembuatan prototipe-2 ini dilakukan di Bengkel Departemen Teknik Mesin dan Biosistem IPB. Pada saatnya, bila telah berhasil diuji coba maka prototipe-2 ini lah yang akan didiseminasikan ke bengkel lokal dan petani.

### **Pengujian Kinerja Prototipe-2**

Pengujian kinerja prototipe-2 dilakukan di Laboratorium Lapangan Departemen Teknik Pertanian, dan juga di Lokasi yang telah ditentukan untuk aplikasi mesin. Petak pengujian berukuran lebar 25 m, dan panjang 40 m. Jarak tanam jagung yang akan dicoba adalah 50 cm x 20 cm. Dengan demikian jarak antar barisan adalah 50 cm.

Saat pengujian prototipe-2 mesin, dilakukan pengamatan untuk mengetahui dan memastikan tiap-tiap bagian dapat berfungsi dengan baik. Selanjutnya, selama pengujian mesin, dilakukan pengukuran kinerja mesin di lapangan yang meliputi:

- 1) pengukuran kapasitas lapangan teoritis ( $K_{LT}$ ), kapasitas lapangan efektif ( $K_{LE}$ ) dan menghitung efisiensi lapangannya,
- 2) pengukuran kinerja penanaman: jumlah benih per lubang, jarak antar benih dalam barisan tanam, kedalaman penempatan benih, dan kerusakan benih,
- 3) pengukuran kinerja pemupukan: takaran pupuk yang diberikan (NPK, Urea, TSP dan KCl), mutu pencampuran pupuk dalam tanah,
- 4) pengukuran kinerja unit pembentuk guludan: ukuran dan bentuk guludan, *bulk density* tanah pada guludan.

Kapasitas lapangan teoritis dan kapasitas lapangan efektif diukur dengan cara berikut ini. Pada saat mulai dioperasikan (di sudut kiri bawah, Gambar 14), dicatat waktu mulai kerja, lalu pada saat traktor melintas (di tengah) dilakukan pengukuran kecepatan maju (lima kali ulangan), dan saat traktor menyelesaikan pekerjaan seluruh petak dicatat waktu selesai. Kecepatan maju traktor ( $V_t$ ) diukur dengan mengukur waktu tempuh ( $t_{10}$ ) dalam jarak (antar patok) 10 m. Dengan data tersebut, dapat dihitung KLE, KLT dan Efisiensi lapangannya.

### **Alat dan Bahan**

Alat-alat dan perlengkapan utama yang diperlukan untuk kegiatan penelitian ini meliputi a) peralatan untuk pembuatan konstruksi mesin dan b) peralatan/instrumen untuk pengujian kinerja lapangan. Peralatan untuk modifikasi dan pembuatan konstruksi mesin adalah:

- a) peralatan bengkel konstruksi,
- b) mesin-mesin perbengkelan dan pengerjaan logam,
- c) meteran, jangka, busur derajat, dan pita ukur,
- d) komputer dan perlengkapannya,

Peralatan/instrumen untuk pengujian kinerja lapangan adalah: a) meteran dan pita ukur, b) stop watch, c) timbangan, d) tachometer digital, e) instrumentasi pengukuran kondisi tanah (penetrometer, ring sample dll.), f) oven.

Bahan-bahan utama yang diperlukan untuk penelitian ini mencakup: a) bahan habis untuk modifikasi dan pembuatan prototipe-2 mesin, b) bahan habis untuk pengujian kinerja prototipe-2, dan c) bahan habis untuk aplikasi mesin dan budidaya jagung.

## BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### **Kinerja Pengolahan Tanah Strip Menggunakan *Rotary Tiller***

Hasil pengujian pengolahan tanah strip menggunakan rotary tiller menunjukkan bahwa rotary tiller dapat mengolah tanah dengan baik pada kondisi tanah yang gembur, yaitu tanah yang sudah dibajak dengan bajak piringan atau digaru rotary. Namun tidak dapat bekerja dengan baik pada tanah yang keras (belum dibajak). Pada tanah yang masih keras, pisau rotari tidak mampu memotong tanah lebih dalam dari 5 cm (Gambar 16). Terjadi getaran yang cukup keras di bagian stang kemudi akibat benturan atau potongan pisau ke tanah keras. Traktor cenderung bergerak ke depan lebih cepat.



Gambar 16 Pengujian rotary tiller pada tanah keras.

Pada tanah yang sudah dibajak, maka pengolahan tanah dengan rotary tiller dapat dilakukan dengan baik. Pisau dapat memotong dan mengemburkan tanah sampai kedalaman 8-10 cm (Gambar 17).



Gambar 17 Pengujian rotary tiller pada tanah yang telah dibajak.

Hasil penggaruan menghasilkan tanah gembur sampai kedalaman 8-10 cm (Gambar 18). Pengaruh penutupan (samping dan belakang) dari rotary tiller sangat nyata dalam menghasilkan permukaan tanah gembur yang rata (Gambar 19). Dari hasil pengujian ini disimpulkan bahwa untuk pengolahan tanah dengan rotary tiller bisa dilakukan dengan baik bila tanah sudah dibajak, dalam kondisi yang relatif gembur. Strip tillage dapat dihasilkan dengan penataan pisau rotari nya. Pemakaian tutup samping dan belakang mutlak diperlukan.





Gambar 18 Hasil pengolahan tanah dengan rotary tiller.



Gambar 19 Percobaan penutup samping dan belakang *rotary tiller*.

### **Karakteristik Geseran dan Gesekan Tanah**

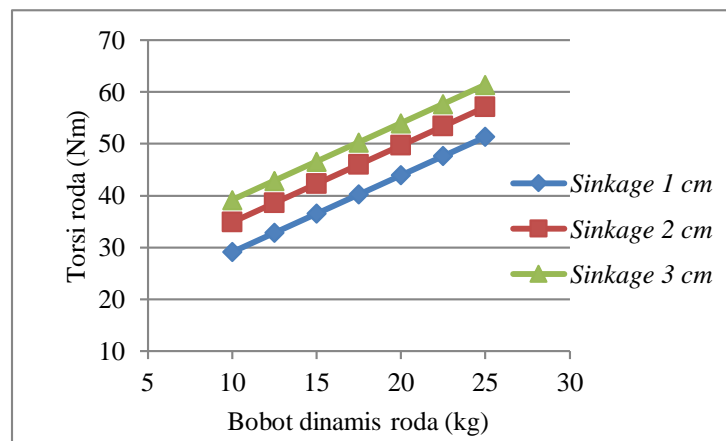
Hasil pengukuran dan perhitungan kohesi, sudut gesekan dalam tanah, adhesi dan sudut gesekan tanah dengan bahan roda disajikan pada Tabel 3. Tanah kering (kadar air 30%) memiliki kohesi 3.98 kPa, yang lebih besar dari tanah basah (kadar air 52%) sebesar 2.39 kPa. Bahan baja memiliki nilai adhesi yang paling besar, khususnya di tanah basah. Dalam kondisi tanah kering, nilai adhesi bahan karet lebih besar dari bahan baja. Karakteristik tanah ini sangat penting dalam perhitungan torsi yang dapat dihasilkan roda, baik roda bersirip maupun roda tanpa sirip untuk kedua jenis bahan tersebut.

Tabel 3 Nilai kohesi, sudut gesekan dalam, adhesi dan sudut gesekan tanah-bahan

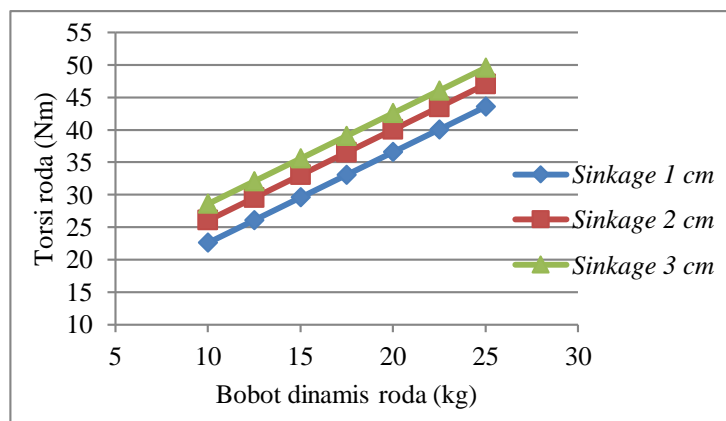
Kadar air tanah (%)	Kohesi (kPa)	$\phi$ (°)	Luncuran tanah- karet		Luncuran tanah- baja	
			Adhesi (kPa)	$\delta$ (°)	Adhesi (kPa)	$\delta$ (°)
30	3.98	30.6	3.53	36.1	1.99	46.3
52	2.39	29.2	4.77	24.8	5.97	30.1

### Hasil Analisis Torsi Roda

Berdasarkan data karakteristik geseran tanah (Tabel 3) maka dapat dihitung torsi putar maksimum yang dihasilkan oleh roda penggerak pada beberapa tingkat keamblasan roda (*sinkage*) seperti disajikan pada grafik di Gambar 20 dan 21. Semakin berat gaya tekan roda pada tanah maka semakin tinggi torsi yang dapat dihasilkan. Untuk roda dengan bobot dinamis 20 kg pada keamblasan roda 2 cm dapat menghasilkan torsi sekitar 50 Nm di tanah kering. Torsi yang dihasilkan pada tanah basah lebih kecil dari tanah kering. Pada tanah basah, roda dengan bobot dinamis 20 kg pada keamblasan roda 2 cm dapat menghasilkan torsi sekitar 40 Nm.



Gambar 20 Hasil perhitungan torsi roda untuk tanah kering.



Gambar 21 Hasil perhitungan torsi roda untuk tanah basah.

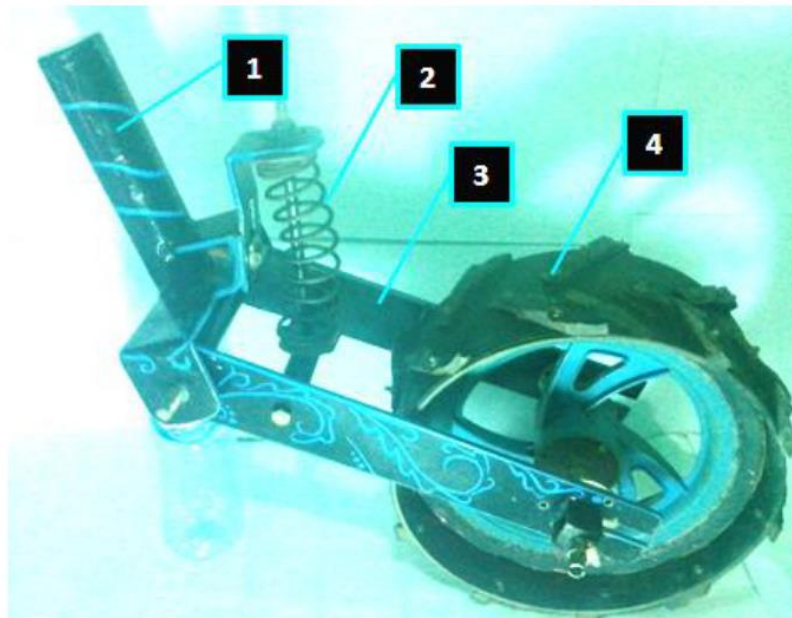
Untuk roda tanpa sirip, maka yang terjadi adalah gesekan permukaan roda dengan permukaan tanah. Dengan cara yang sama, maka dapat dihitung besarnya torsi roda yang dapat dihasilkan untuk setiap bobot dinamis roda dan keamblasan rodanya. Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan torsi roda yang dapat dihasilkan oleh roda karet dan roda baja dengan bobot dinamis roda 20 kg dan *sinkage* 2 cm.

Tabel 4 Hasil perhitungan torsi roda tanpa sirip untuk bahan karet dan baja dengan bobot dinamis roda 20 kg dan *sinkage* 2 cm

Bahan roda	Kadar air tanah (%)	Torsi roda (Nm)
Karet	30	54.3
	52	47.2
Baja	30	62.4
	52	59.1

### Konstruksi Prototipe Roda Penggerak

Roda penggerak piringan penjatah terdiri dari (1) rangka utama, (2) pegas, (3) garpu roda dan (4) roda. Prototipe roda penggerak piringan penjatah hasil perancangan dapat dilihat pada Gambar 22. Rangka utama dari roda penggerak ini terbuat dari baja silinder dengan diameter 40 mm, dipasangkan pada dudukannya di rangka garu rotari. Lengan ayun dibuat dari plat baja dengan ketebalan 5 mm yang disambungkan dengan las pada pipa baja berdiameter 20 mm yang dipasangkan pada rangka utama dan dikunci menggunakan as dan ujungnya ditahan dengan mur. Untuk mempermudah pembuatan, bagian poros dan *velg* roda menggunakan roda ban sepeda berukuran 12 inch, sedangkan bagian luar roda dibuat dari plat baja dengan ketebalan 3 mm dan lebar roda 10 cm. Pegas digunakan untuk membantu meningkatkan cengkraman roda pada permukaan tanah dengan menambah bobot dinamis roda. Konstanta pegas yang digunakan adalah 212.87 kN/m.



Gambar 22 Prototipe roda penggerak piringan penjatah benih.

### Kinerja Prototipe Roda Penggerak

Hasil pengujian menunjukkan bahwa roda mampu memutar kedua piringan penjatah benih, baik pada tanah kering maupun tanah basah. Tabel 5 menunjukkan luncuran roda untuk lima jenis roda yang diuji pada tanah kering dan tanah basah. Roda karet sirip karet mempunyai luncuran paling kecil yaitu 21.3% pada tanah kering dan 22.3% pada tanah basah. Tiap jenis roda mencapai kemampuan torsi putar untuk mengatasi kebutuhan torsi putar sistem penjatah pada tingkat luncuran yang berbeda dari 21-35%. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian Schreiber and Kutzbach (2008) di mana *net traction ratio* roda di lahan pertanian akan meningkat seiring peningkatan slip roda hingga sekitar 20-25%, dan akan menurun setelah itu.



Tingkat luncuran roda penggerak merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja alat penanam. Menurut Hermawan (2012) kemacetan atau luncuran roda penggerak mengakibatkan jarak tanam yang dihasilkan akan bertambah besar. Tingkat luncuran roda yang tinggi akan menambah jarak tanam yang dihasilkan, dari target jarak tanam 20 cm (Tabel 6).

Tabel 5 Luncuran pada masing-masing roda penggerak

Kadar air tanah (%)	Luncuran roda (%)				
	Roda karet sirip karet	Roda baja sirip karet	Roda baja sirip baja	Roda baja tanpa sirip	Roda karet tanpa sirip
30	21.3	24.4	29.4	34.9	35.8
52	22.3	26.6	27.0	29.1	29.8

Tabel 6 Jarak tanam benih yang dihasilkan menggunakan masing-masing roda penggerak

Kadar air tanah (%)	Jarak tanam rata-rata (cm)				
	Roda karet sirip karet	Roda baja sirip karet	Roda baja sirip baja	Roda baja tanpa sirip	Roda karet tanpa sirip
30	19.8	22.7	27.3	32.4	33.2
52	20.7	24.7	25.1	27.0	27.7

Tanah yang lengket pada roda penggerak akan mempengaruhi kinerja roda penggerak, khususnya pada roda yang bersirip. Pada roda bersirip semakin banyak tanah yang melekat maka semakin besar pula luncuran yang dihasilkan. Hal ini terbukti pada data hasil pengukuran. Salah satu contoh dari tanah yang melekat pada roda dapat dilihat pada Gambar 23. Seperti disajikan pada Tabel 7, baik pada tanah basah maupun tanah kering, tanah yang lengket pada roda baja tanpa sirip lebih besar dibandingkan dengan tanah yang lengket pada roda karet tanpa sirip. Hal ini dikarenakan nilai adhesi karet-tanah (4.78 kPa) lebih kecil dari nilai adhesi baja-tanah (5.97 kPa).

Hasil analisis dapat menyimpulkan bahwa roda dengan lapisan karet dan bersirip karet yang terbaik karena tingkat luncurannya paling kecil, dan hasil jarak tanam yang paling mendekati target. Namun demikian, untuk tanah basah dan lengket tidak dianjurkan menggunakan roda bersirip, karena jumlah tanah yang lengketnya lebih banyak dari roda yang tanpa sirip. Dengan kondisi tanah basah, nampaknya penggunaan roda penggerak ini masih harus dimodifikasi, baik desain maupun sistemnya. Alternatif lain adalah dengan menggunakan sirip-sirip yang lebih lentur, sehingga mampu melepaskan tanah-tanah yang lengket pada permukaan roda, terutama pada lekukan siripnya.

Tabel 7 Tanah yang lengket pada roda pada tanah kering dan basah

Kadar air tanah (%)	Tanah yang lengket pada roda (gram)				
	Roda karet sirip karet	Roda baja sirip karet	Roda baja sirip baja	Roda baja tanpa sirip	Roda karet tanpa sirip
30.1	12	4	28	3	2
52.4	2373	2798	2608	1274	987

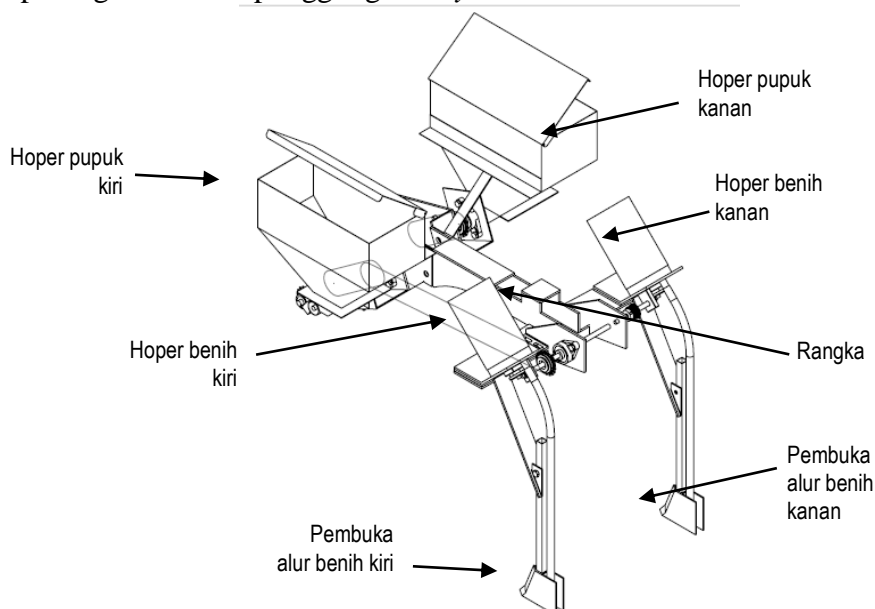


Gambar 23 Tanah yang melekat pada roda penggerak

Berdasarkan hasil kajian di atas, maka kinerja roda penggerak masih belum memuaskan untuk menjamin ketepatan dan keseragaman penjatahan benih. Dengan dua unit penanam benih pun relatif membutuhkan torsi putar yang besar. Luncuran roda penggerak pun masih di atas 20%. Kondisi ini akan lebih berat bila roda penggerak juga dipakai untuk memutar penjatah pupuk, yang kebutuhan torsinya lebih besar.

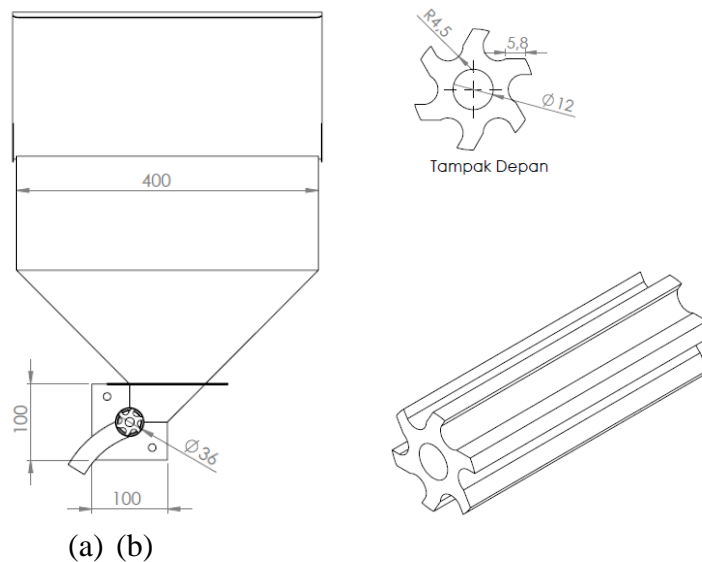
### Desain Mesin Penanam dan Pemupuk

Desain mesin penanam dan pemupuk hasil rancangan disajikan pada Gambar 24. Rangka didesain sehingga dapat dijadikan landasan dan tempat duduk dari semua komponen mesin. Rangka ini dipasang di atas punggung *rotary tiller*.



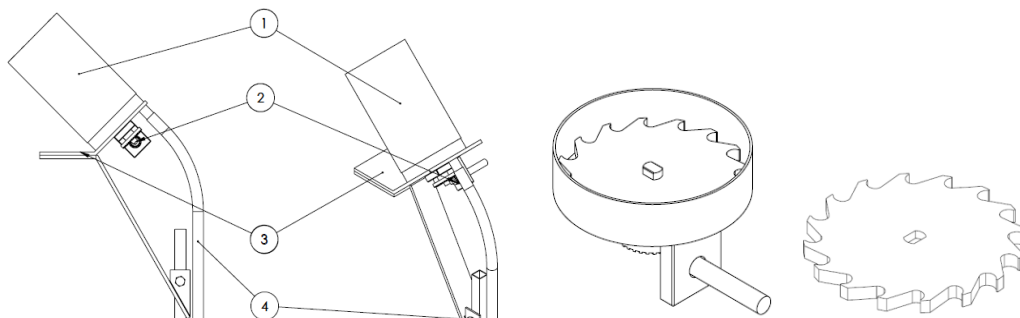
Gambar 24 Desain mesin penanam dan pemupuk.

Ada dua unit pemupuk yang dipasang pada rangka di sebelah kiri dan di kanan. Hoper pupuk berkapasitas masing-masing 12 kg pupuk. Hoper pupuk dibuka dari sebelah luar, sehingga memudahkan dalam pengisian pupuk. Desain mekanisme penjatahannya disajikan pada Gambar 25. Rotor penjatah pupuk diputar oleh putaran porosnya yang digerakkan oleh putaran poros roda traktor melalui transmisi sproket-rantai.



Gambar 25 Bagian penjajah benih (a) dan rotornya (b).

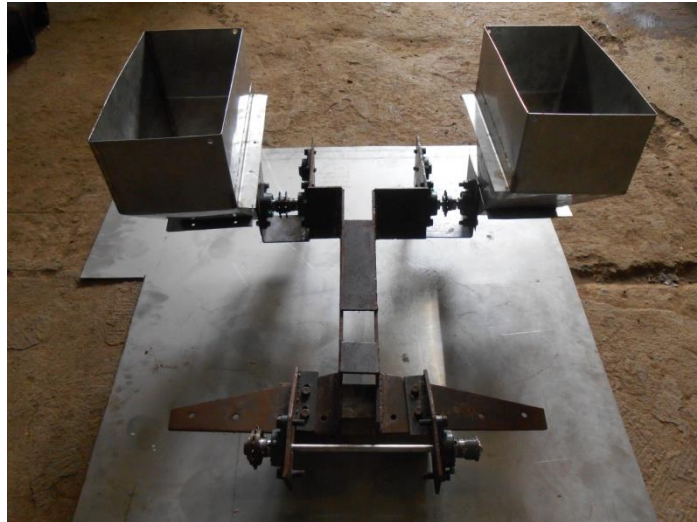
Ada dua unit penanam benih yang ditempatkan di sisi kiri dan kanan. Desainnya disajikan pada Gambar 26. Plat piringan penjajah benih dipasang miring 45°. Plat diputar dengan mekanisme bevel gir dari poros pemutarnya. Poros diputar oleh poros roda traktor melalui mekanisme sproket-rantai. Saat plat tiputar benih jagung akan masuk ke celah (lubang benih) dan terbawa ke atas lalu dijatuhkan di lubang pengeluaran yang berada di sisi atas.



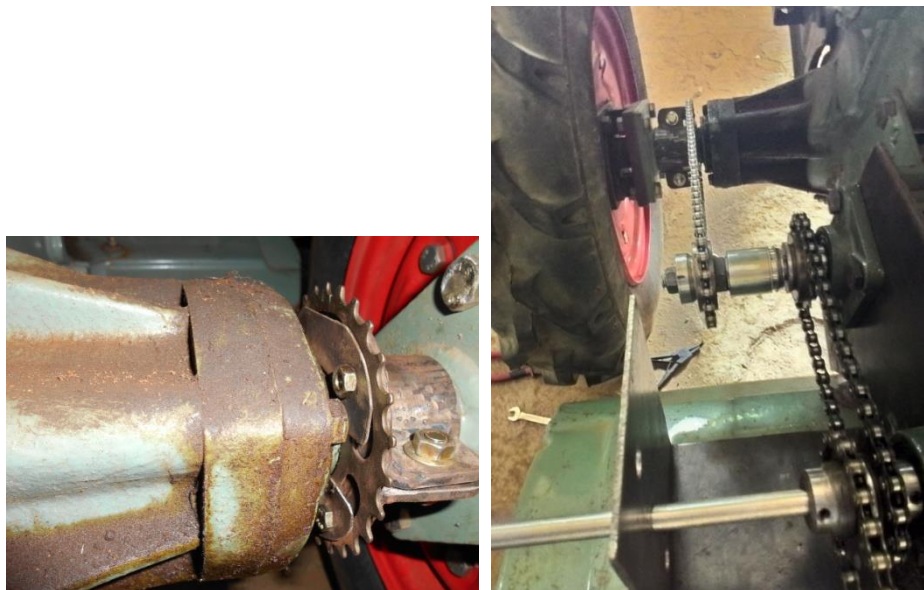
Gambar 26 Desain hoper dan mekanisme penjatahan benih.

### Konstruksi Prototipe Mesin Penanam dan Pemupuk

Konstruksi prototipe mesin penanam dan pemupuk disajikan pada Gambar 27. Hoper pupuk di bagian depan, sementara hopper benih di bagian belakang. Bagian rangka terbuat dari plat baja tebal 6 mm. Hoper pupuk terbuat dari plat *stainless steel* tebal 2 mm. Hoper benih terbuat dari tabung transparan berbahan polyetilen. Sistem penggerak metering device terdiri dari susunan sproket 1 di poros roda traktor, dihubungkan dengan sproket di poros dua dengan rantai. Dari poros dua akan ditransmisikan ke poros penggerak rotor penjatah pupuk (Gambar 28). Lalu dari poros penjatah pupuk akan ditransmisikan dengan rantai ke poros penjatah benih di belakang.



Gambar 27 Konstruksi prototipe mesin penanam dan pemupuk jagung.

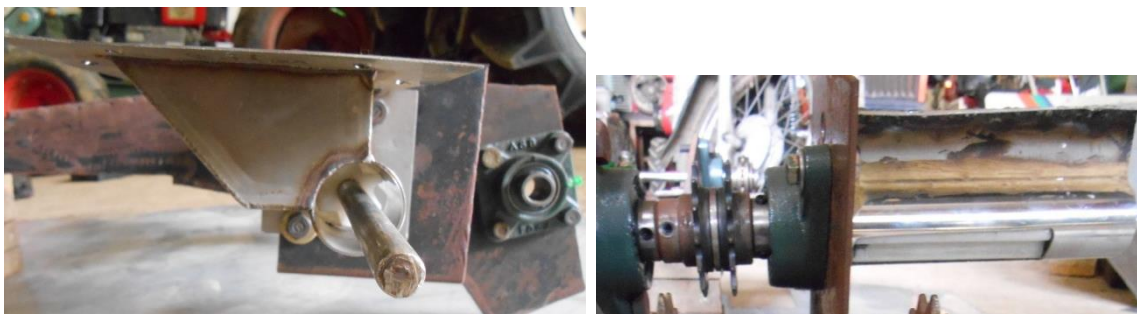


Gambar 28 Sistem transmisi dari poros roda traktor ke poros 1 dan poros pemutar rotor penjatah pupuk.

Konstruksi penjatah benih disajikan pada Gambar 29. Plat piringan penjatah benih terbuat dari bahan nilon berdiameter 11 cm dan tebal 1 cm. Di sekeliling sisinya terdapat celah-celah untuk menarik benih berjumlah 16 celah. Bentuk dan ukuran celah disesuaikan dengan ukuran benih jagung, sehingga diharapkan akan masuk satu atau dua benih dalam celah tersebut. Gambar 30 menunjukkan konstruksi penjatah pupuk.



Gambar 29 Konstruksi unit penjatah benih jagung.



Gambar 30 Konstruksi unit penjatah pupuk.

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **Kesimpulan**

1. Pengolahan tanah dengan *rotary tiller* bisa dilakukan dengan baik bila tanah sudah dibajak, dalam kondisi yang relatif gembur. *Strip tillage* dapat dihasilkan dengan penataan pisau rotari-nya. Pemakaian tutup samping dan belakang pada *rotary tiller* diperlukan untuk menghasilkan permukaan tanah yang rapi.
2. Roda penggerak yang didesain mampu memutar *metering device* mesin tanam biji-bijian dua alur. Roda karet bersirip karet memiliki tingkat luncuran yang paling rendah (22% pada tanah kering, dan 21% pada tanah basah), dan menghasilkan jarak tanam benih yang paling mendekati target. Roda karet tanpa sirip memiliki keunggulan dimana jumlah tanah yang lengket paling sedikit, pada tanah basah.
3. Kinerja roda penggerak masih belum memuaskan untuk menjamin ketepatan dan keseragaman penjataan benih, dan tidak dapat menggerakkan penjajah pupuk dengan baik.
4. Mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan pengolahan tanah strip telah berhasil dirancang dan dibuat. Kapasitas kerja meningkat dua kali lipat dengan dua alur penanaman dan pemupukan.

#### **Saran**

1. Dalam desain mekanisme penggerak *metering device* pupuk dan benih dengan dua alur penanaman disarankan menggunakan sumber tenaga gerak dari poros roda traktor.
2. Prototipe mesin perlu diujicoba lebih lanjut sehingga dapat dihasilkan mesin yang siap digunakan pada budidaya jagung di lokasi sentra produksi jagung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adisarwanto T dan Widyastuti YE. 2002. Meningkatkan Produksi Jagung. Depok (ID): PT Penebar Swadaya.
- Anonim. 2005. Inovasi Balitsereal: Sehari tanam sehektare jagung. Lampung Post, edisi Selasa, 25 Oktober 2005.
- Anonim. 2007. Produksi Jagung Bakal Meningkat. Majalah Tempo, edisi 18 Januari 2007.
- Biro Pusat Statistik. 2009. Produksi Padi, Jagung dan Kedelai Indonesia. BPS, Jakarta.
- Budianto J. 1999. Akseptabilitas teknologi pertanian bagi konsumen. Dalam: Simposium Penelitian Tanaman Pangan IV, Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan. Bogor 22-24 November 1999. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- FAO. 2000. Conservation Agriculture. WWW. FAO. Org.
- Firmansyah IU, Aqil M, Sinuseng Y dan Riyadi. 2007. Evaluasi kinerja alat tanam jagung ATB1-2R-Balitsereal pada sistem tanpa olah tanah di lahan sawah tadah hujan. Prosiding Seminar Mekanisasi Pertanian. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Serpong. P. 94-99.
- Hendriadi A, Firmansyah IU dan Aqil M. 2008. Teknologi Mekanisasi Budi Daya Jagung. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Hermawan W. 1985. Desain dan Uji Tteknis Alat Penanam dan Pemupuk tipe Dorong Sumber Tenaga Manusia. Skripsi. Jurusan Mekanisasi Pertanian, IPB, Bogor.
- Hermawan W, Desrial. 2004. Soil tillage method for secondary crops and vegetables in lowland area. Final Report. Collaborative Research between KOICA and Faculty of Agricultural Technology-IPB.
- Hermawan W, Setiawan RPA, Herodian S, Suastawa IN dan Desrial. 2004. Desain dan Pengujian Alat Pemupuk Tenaga Tarik Hewan. Laporan Akhir, Kerjasama antara PT Rajawali Nusantara Indonesia dengan Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor.
- Hermawan W, Desrial, Sulistiyo SB. 2009. Metode pembuatan guludan secara mekanis dengan tenaga penggerak traktor roda dua untuk budidaya tanaman sayuran. JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian 23(1): 7-14.
- Hermawan W, Mandang T dan Setiawan RPA. 2009. Aplikasi Mesin Pengolah Tanah, Penanam dan Pemupuk Terintegrasi untuk Peningkatan Efisiensi dan Produktivitas Jagung. Laporan Akhir Penelitian Strategis Aplikatif – IPB, Bogor.
- Hermawan W. 2012. Perbaikan desain mesin penanam dan pemupuk jagung bertenaga traktor tangan. JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian 24(1).
- Ichniarsyah AN. 2013. Analisis kebutuhan torsi dan desain penjatah pupuk butiran tipe *edge-cell* untuk mesin pemupuk jagung [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Lopez-Belido L, Fuentes M, Castillo JE, Lopez-Garrido FJ and Fernandez EJ. 1996. Longterm tillage, corporation, and nitrogen fertilizer effect on wheat yield under rainfed Mediterranean condition. Agronomy Journal 88:783-791.
- Pitoyo J dan Sulistyosari N. 2006. Alat penanam jagung dan kedelai (seeder) untuk permukaan bergelombang. Prosiding Seminar Mekanisasi Pertanian. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Bogor. P. 75-81.
- Pitoyo J, Sulistyosari N, Purwanto C, dan Yusup M. 2007. Pengembangan alsin penanam benih dan pemupuk jagung dan kedele skala besar (2006). Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian.
- Prihtiyani J. 2012. Produksi jagung turun 6 persen. Kompas 11 Januari 2012.
- Purwanto S. 2008. Perkembangan Produksi dan Kebijakan dalam Peningkatan Produksi Jagung. Direktorat Budi Daya Serealia, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan.



- Sembiring EN, Hermawan W, Setiawan RPA, Suastawa IN. 1999. Rancang bangun penanam dan pemupuk kedelai dengan tenaga tarik traktor 2 roda. Makalah Seminar Hasil Kerjasama Penelitian, Proyek Pembinaan Kelembagaan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, ARMP-II tahun 1998/1999, Balitbiotek Tanaman Pangan Bogor, 23 Maret 1999.
- Sembiring EN, Hermawan W, Setiawan RPA, Suastawa IN. 2000. Desain Alat Tanam dan Pemupuk Kedelai dengan Tenaga Tarik Traktor Tangan, Bagian I: Desain dan Analisis Penjatah Benih. Buletin Keteknikan Pertanian Vol 14. No.1, Hal. 10-34.
- Setiawan RPA, Umeda M, Iida M, Khilael M. 2000. Application of variable rate technology for granular fertilizer on rice cultivation. CIGR paper No.R3109. The XIV Memorial CIGR World Congress 2000, Tsukuba, Japan., Nov.28-Dec 01, 2000.
- Setiawan RPA, Suastawa IN dan Aspriyono E. 2007. Rancang Bangun dan Uji Alat Pemupuk Mekanis untuk Budidaya Tebu Lahan Kering di PG Jatiroto (*Design and Testing of Fertilizer Applicator for Upland Sugarcane Cultivation*). Prosiding Seminar Nasional PERTETA, Tanjung Karang Lampung, 15-17 November 2007.
- Setiawan RPA, Hermawan W dan Soembagijo A. 2008. Desain dan Pengujian Roda Besi Lahan Kering Untuk Traktor 2-roda (*Design and Testing of Upland Iron Wheel for Hand Tractor*). Prosiding Seminar Nasional PERTETA, Yogyakarta 18-19 November 2008.
- Srivastava AK, Goering CE, Rohrbach RP. 2006. *Engineering principle of agricultural machine*. Michigan (US): American Society of AgricultureEngineering.
- Subandi S, Saenong, Bahtiar, Firmansyah IU dan Zubachtirodin. 2004. Peranan penelitian jagung dalam upaya mencapai swasembada jagung nasional. Seminar Nasional Penerapan Agro Inovasi Mendukung Ketahanan Pangan dan Agribisnis. Kerjasama BPTP Sumatera Barat dengan Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Padang. P. 78-86.
- Sumaryanto H. 1991. Disain dan Uji Teknis Alat Penanam dan Pemupuk Jagung dengan Tenaga Tarik Traktor Tangan. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Suryana A, Suyamto, Zubachtirodin, Pabbage MS, dan Saenong S. 2007. Jagung. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Virawan G. 1989. Disain dan Uji Teknis Alat Penanam dan Pemupuk dengan Tenaga Tarik Traktor Tangan. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor, Bogor.