

Inovasi Teknologi untuk Pengembangan Jagung dalam Rangka Mendukung Ketahanan Pangan dan Energi

(Technology Innovations on Corn Development for Supporting Food and Energy Securities)

Wawan Hermawan^{1*}, Roh Santoso², Tjahja Muhandri³, Titi Candra Sunarti¹

ABSTRAK

Pelbagai penelitian terdahulu telah menghasilkan desain mesin penanam dan pemupuk jagung bertenaga traktor tangan, teknologi proses pembuatan mi jagung, dan delignifikasi limbah tananam jagung (LTJ) menjadi glukosa dan xilosa untuk bahan etanol. Tujuan penelitian ini adalah (1) meningkatkan kinerja mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga gerak traktor berroda-2, (2) membuat model otomatisasi irigasi tanaman jagung menggunakan sumber energi surya, (3) mengoptimisasi proses pembuatan mi kering jagung, dan (4) mengkaji rekayasa proses delignifikasi LTJ untuk meningkatkan sifat penerimaan enzim pada proses sakarifikasinya. Mesin penanam dan pemupuk jagung telah dimodifikasi unit pemupuknya menggunakan *metering device* tipe *edge-cell*, dan kinerjanya meningkat dibandingkan prototipe sebelumnya. Sistem irigasi otomatis untuk budi daya jagung telah dirancang menggunakan 1 panel surya, 1 pompa air, baterai, inverter, dan *controller* serta pipa-pipa air. Debit pemompaan yang dihasilkan adalah 0,1 l/s dengan kedalaman sumur ± 10 m. Kondisi optimum proses pembuatan mi jagung dihasilkan dari kombinasi kadar air adonan 80%, suhu ekstruder 90 °C dan kecepatan *screw* ekstruder 75 rpm. Perlakuan pemanasan gelombang mikro pada beberapa level daya (50–100%) dan waktu kontak (1–3 menit) terbukti memengaruhi kerusakan dan pelarutan lignin, dibandingkan dengan perlakuan kimiawi dan hidrotermal, serta memperlihatkan penurunan kristalinitas serat.

Kata kunci: delignifikasi, irigasi otomatis, limbah jagung, mesin penanam, mi jagung

ABSTRACT

Recent researches resulted several innovations such as an integrated machine for planting and fertilizer application for corn cultivation, corn noodle production, and delignification process of corn stover. The objectives of this research were (1) to improve working performances of the first prototype of integrated machine for tillage, planting, and fertilizer application for corn cultivation, (2) to develop an automatic irrigation system using solar energy, (3) to optimize processing variables on corn noodle production, and (4) to explore the delignification process of corn stover to improve the enzymes susceptibility in saccharification process. The planting and fertilizer application machine for corn cultivation has been successfully modified and showed better working performance. An automatic irrigation system using solar energy for corn cultivation has been arranged using a solar panel, a water pump, a battery, and a controlling system. The pumping discharge from a 10 m depth of well was 0.1 l/s. The optimum processing condition was resulted from the combination of 80% dough's moisture content, at 90 °C extruder temperature and 75 rpm screw speed. The microwave heating treatment could destruct and solubilize the lignin, as compared to chemical and hydrothermal processes, and reduced the fiber crystallinity.

Keywords: automatic irrigation, corn noodles, corn stover, delignification, planting machine

PENDAHULUAN

Beberapa inovasi teknologi untuk komoditas jagung telah dikembangkan dan dengan sentuhan akhir dapat diaplikasikan di masyarakat. Inovasi

yang pertama adalah mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi bertenaga traktor roda dua (Hermawan *et al.* 2009). Pada sisi pengolahan, telah dikembangkan proses pembuatan mi kering jagung. Pengembangan teknologi pembuatan mi jagung pun telah banyak dilakukan termasuk modifikasi tepung untuk menghasilkan mi jagung dengan mutu yang lebih baik. Penelitian mi jagung sebelumnya menghasilkan mi yang memiliki kekerasan tinggi (Muhandri *et al.* 2008). Kekerasan mi dipengaruhi oleh mekanisme gelatinisasi dan retrogradasi tepung atau pati (Charutigon 2007). Semakin tinggi gelatinisasi semakin tinggi tingkat retrogradasi adonan. Tingkat retrogradasi tepung dicirikan oleh *set back* viskositas yang tinggi pada sifat pasta suspensi tepung. Kekerasan mi jagung dapat diturunkan dengan menurunkan tingkat retrogradasi tepung, menggunakan tepung termodifikasi (Nularif

¹ Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.

² Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.

³ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.

⁴ Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.

* Penulis korespondensi: E-mail: w_hermawan@ipb.ac.id

2010), atau dengan menambahkan monogliserida (Charutigon 2007). Namun, untuk parameter kekerasan, mi jagung yang dihasilkan masih memiliki kekerasan yang tinggi, jauh di atas kekerasan mi terigu.

Untuk memenuhi kebutuhan energi, limbah tanaman jagung (LTJ) juga telah dapat diolah sebagai bahan baku bioetanol. Komponen dominan limbah tanaman jagung adalah holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa). Selulosa merupakan polimer glukosa, sedangkan hemiselulosa didominasi oleh xilan (polimer xilosa) dan senyawa lain seperti arabinan, galaktan, dan manan. Hasil penelitian Wagiman *et al.* (2011) menunjukkan bahwa komponen glukukan dan xilan lebih dominan dibandingkan dua komponen lainnya. Sebagai limbah pertanian, bahan baku ini juga memiliki kelebihan, yaitu keuntungan lingkungan, kompetitif secara ekonomi, dapat diproduksi dalam jumlah besar tanpa bersaing dengan pangan (Hill *et al.* 2006). Biokonversi lignoselulosa menjadi bioetanol dimulai dari hidrolisis selulosa yang menghasilkan glukosa (C_6) dan hidrolisis hemiselulosa menghasilkan glukosa (C_6) dan pentosa (C_5) seperti xilosa. Mikroorganisme yang mampu mengonversi glukosa menjadi bioetanol antara lain *Saccharomyces cereviceae* (khamir) dan *Zymomonas mobilis* (bakteri). Sementara itu, untuk konversi pentosa menjadi bioetanol dilakukan oleh mikroorganisme kelompok khamir seperti *Pichia stipitis* (Agbogbo & Coward-Kelly 2008). Tiga mikroorganisme tersebut membutuhkan lingkungan proses yang berbeda-beda sehingga biokonversi C_5 dan C_6 dalam satu unit memerlukan rekayasa proses untuk mengakomodasi lingkungan proses tersebut. Pengembangan proses untuk delignifikasi tongkol jagung sangat diperlukan untuk meningkatkan sifat penerimaan enzim (*enzyme susceptibility*) selulase dan xilanase dalam menghidrolisis limbah tanaman jagung sehingga akan dihasilkan gula sederhana (*fermentable sugars*) yang dapat dimanfaatkan oleh *Zymomonas mobilis* dan *P. stipitis* untuk dikonversi menjadi etanol.

Tujuan penelitian ini adalah (1) meningkatkan kinerja mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan tenaga gerak traktor berroda –2, (2) membuat model otomatisasi irigasi tanaman jagung menggunakan sumber energi surya, (3) mengoptimasi proses pembuatan mi kering jagung, dan (4) mengkaji rekayasa proses delignifikasi LTJ untuk meningkatkan sifat penerimaan enzim pada proses sakarifikasinya.

METODE PENELITIAN

Topik, Waktu, dan Tempat Penelitian

Untuk mencapai tujuan dan efektifitas pelaksanaannya, penelitian ini dilaksanakan dalam empat subtopik secara simultan, yaitu (1) peningkatan kinerja mesin penanam dan pemupuk jagung tenaga traktor tangan melalui modifikasi mekanisme penjatah pupuk, (2) model otomatisasi irigasi tenaga surya

untuk budi daya jagung, (3) optimasi kondisi proses, modifikasi tepung dan penambahan monogliserida untuk meningkatkan mutu mi kering jagung, dan (4) rekayasa proses delignifikasi untuk meningkatkan penerimaan enzim dalam proses sakarifikasi limbah tanaman jagung untuk produksi bioetanol.

Penelitian ini dimulai bulan April hingga November 2011, di beberapa lokasi dan fasilitas bengkel, kebun percobaan, dan laboratorium di Fakultas Teknologi Pertanian IPB.

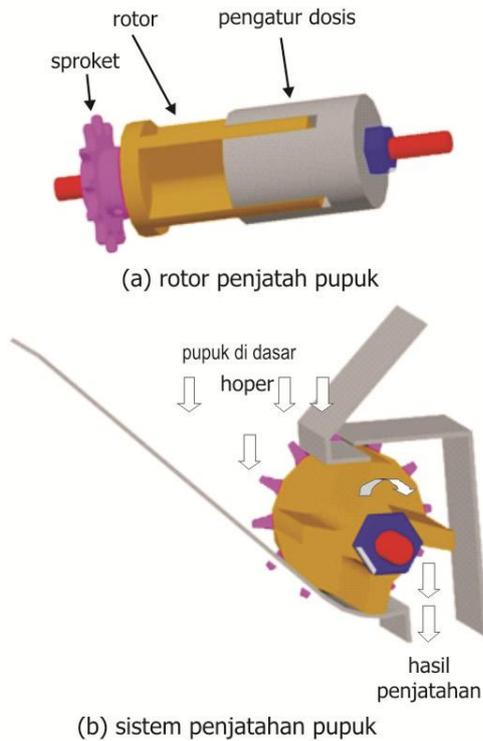
Subtopik Peningkatan Kinerja Mesin Penanam dan Pemupuk Jagung

Pada tahap pertama, masalah teknis yang masih ada pada sistem penjatahan pupuk dan benih diidentifikasi sebagai dasar modifikasi desainnya. Untuk mengatasi masalah dalam sistem penjatahan benih dan pupuk, dengan beban putar penjatah pupuk sangat tinggi dan kadang-kadang macet khususnya bila digunakan pupuk TSP, maka model mekanisme penjatahan pupuk didesain ulang dan diuji efektifitas dan keseragaman penjatahan pupuknya serta kebutuhan torsi putarnya. Salah satu model *metering device* pupuk yang dicoba adalah tipe *edge-cell* dengan rotor (Gambar 1). Modifikasi yang dilakukan adalah sebagai berikut. Agar penempatan benih dan pupuk lebih efektif, maka unit penanam dan pemupuk ditata dengan posisi: hoper benih di tengah, hoper pupuk dibagi dua, yaitu hoper pupuk urea di kiri hoper benih dan hoper pupuk TSP dan KCI di sebelah kanan hoper benih. Untuk meningkatkan ketepatan penjatahan pupuk (dosis) rotor penjatah pupuk diberi tambahan silinder pengatur dosis yang dapat digeser sesuai kebutuhan (Gambar 1(a)). Roda penggerak ditingkatkan daya putarnya dengan menambah sudu-sudu pada lingkaran roda, dan pegas tambahan sehingga tekanan pada permukaan tanah meningkat.

Kinerja prototype –2 diujikan pada petak pengujian berukuran lebar 25 m, dan panjang 40 m. Jarak tanam jagung yang dicoba adalah 75 x 20 cm. Pengukuran kinerja yang dilakukan adalah (1) pengukuran kapasitas lapangan teoretis (KLE), kapasitas lapangan efektif (KLE), dan menghitung efisiensi lapangannya, (2) pengukuran kinerja penanaman: jumlah benih per lubang, jarak antarbenih dalam barisan tanam, kedalaman penempatan benih, kerusakan benih, dan (3) pengukuran kinerja pemupukan: takaran pupuk yang diberikan (urea, TSP, KCI), kedalaman penempatan pupuk.

Subtopik Model Otomatisasi Sistem Irigasi

Gambar 2 menyajikan model otomatisasi irigasi tenaga surya yang dirancang. Sumber air diperoleh dari air tanah dari sumur pantek yang sudah tersedia. Air tanah dipompa menggunakan pompa rendam menuju tangki air. Pompa rendam mendapat listrik dari baterai yang diisi arus oleh solar sel melalui sebuah relai. Operasi relai dikomando oleh sebuah instrumen pengendali berdasarkan level air di dalam tangki yang dipantau oleh sensor level air. Air dari tangki mengalir ke emitter melalui klep air yang



Gambar 1 Model *metering device* pupuk yang dicoba.

dikendalikan oleh instrumen pengendali. Kali ini, instrumen pengendali ini beroperasi berdasarkan informasi yang diterima dari sensor kelembapan tanah yang ditanamkan di lahan.

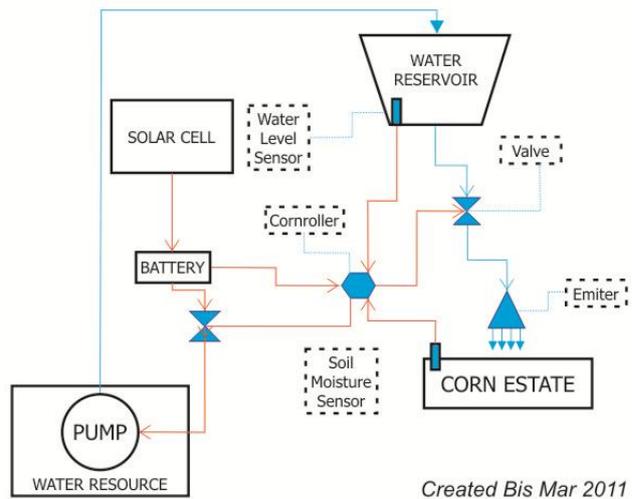
Pompa air dengan sumber energi matahari digunakan untuk mengairi lahan dengan tanaman jagung dengan debit tertentu. Kemudian, dicari hubungan debit dengan intensitas matahari pada sel surya. Tanaman jagung dibudi daya dengan menggunakan demplot 20 x 30 m. Kinerja diamati untuk mencari hubungan antara intensitas matahari dan debit yang dihasilkan dan hubungan antara kebutuhan air tanaman jagung dan pertumbuhannya.

Subtopik Optimasi Kondisi Proses, Modifikasi Tepung, dan Penambahan Monogliserida untuk Meningkatkan Mutu Mi Kering Jagung

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah jagung pipil varietas P21. Alat yang digunakan adalah penggiling (*pin disc mill*), ayakan 100 mesh, ekstruder pemasak-pencetak ulir ganda dengan diameter *die* 1,5 mm, *texture analyser* TA–XT2i, dan peralatan lain untuk analisis.

Penepungan dilakukan dengan memodifikasi proses yang dikembangkan oleh Muhandri (2007), yaitu menggunakan teknik penepungan kering, yang terdiri atas proses penggilingan kasar (*disc mill* saringan 10 mesh), pencucian, dan pengambangan, perendaman grits, pengeringan grits, penggilingan halus (*dish mill* saringan 48 mesh), pengeringan tepung, pengayakan tepung ukuran 100 mesh, dan pengeringan tepung setelah tepung diayak. Analisis fisik mi jagung meliputi analisa *cooking loss*, persen elongasi dan profil tekstur (kekerasan dan kekenyalan) menggunakan *Texture Analyzer*. Mi jagung yang dianalisis meliputi

DIAGRAM OF SOLAR POWER IRRIGATION WITH CONTROL SYSTEM



Gambar 2 Model otomatisasi irigasi menggunakan tenaga surya.

mi basah dan rehidrasi mi kering. Rehidrasi dilakukan dengan perebusan selama 5 menit. Penentuan *cooking loss* dilakukan dengan cara merebus 5 g mi dalam 150 mL air. Setelah mencapai waktu optimum perebusan, mi ditiriskan dan disiram air, kemudian ditiriskan kembali selama 5 menit. Mi kemudian ditimbang dan dikeringkan pada suhu 100 °C sampai bobotnya konstan, lalu ditimbang kembali. Sampel dililitkan pada *probe* dengan jarak *probe* sebesar 2 cm dan kecepatan *probe* 0,3 cm/s. Pengaturan TAXT–2 yang digunakan adalah sebagai berikut: *pre test speed* 2,0 mm/s, *test speed* 0,1 mm/s, *rupture test distance* 75%, *mode measure force in compression* dan *force* 100 g. Seuntai sampel dengan panjang yang melebihi diameter *probe* diletakkan di atas landasan lalu ditekan oleh *probe*. Nilai kekerasan ditunjukkan oleh *absolute (+) peak*, dan nilai kelengketan ditunjukkan dengan *absolute (-) peak*. Selanjutnya, uji organoleptik yang dilakukan adalah uji preferensi dengan 30 orang panelis.

Subtopik Rekayasa Proses Delignifikasi untuk Meningkatkan Penerimaan Enzim dalam Proses Sakarifikasi LTJ Guna Produksi Bioetanol

Bahan yang digunakan berupa campuran LTJ yang dikeringkan, dan digiling hingga lolos ayakan 40 mesh. LTJ kemudian dianalisis proksimat (air, abu, serat, protein, lemak, dan karbohidrat *by difference*) mengikuti metode AOAC dan komponen serat mengikuti metode Van Soest (1963). Enzim selulase yang digunakan diuji aktivitasnya sebagai *filter paperase* (FP–ase), *carboxymethylcellulase* (CMC–ase) dan *Avicelase*, sedangkan enzim xilanase diuji aktivitasnya menggunakan *birchwood xylan*. Aktivitas diukur berdasarkan jumlah gula pereduksi yang terbentuk (glukosa dan xilosa) dan dianalisis dengan metode asam dinitrosalisilat (Miller 1959). Karakterisasi enzim juga melihat pH dan suhu optimum

enzim untuk menetapkan kondisi yang tepat untuk konsorsium enzim.

Tanaman jagung didelignifikasi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan hidrotermalisis yang dimodifikasi dari metode Wagiman *et al.* (2011), pelarut NaOCl 1% (Sunarti & Richana 2007), dan perlakuan gelombang mikro (Sunarti *et al.* 2010). Perubahan komposisi serat diukur dengan metode Van Soest (1963) dan morfologinya diamati dengan pengamatan mikroskopik. LTJ terdelignifikasi kemudian diuji sifat penerimaannya terhadap enzim selulase dan xilanase. LTJ diuji penerimaan enzimnya baik secara tunggal maupun konsorsium enzim. Hasil hidrolisis kemudian ditentukan kandungan gula pereduksi (metode DNS) dan total gulanya menggunakan metode fenol- H_2SO_4 . Perlakuan delignifikasi terbaik ditentukan berdasarkan jumlah total gula terlarut dan nilai derajat polimerisasi (DP) produk hidrolisat. Substrat yang digunakan sekitar 5–7,5% (*water insoluble solid*) dengan mempertimbangkan keberadaan air bebas pada bahan, sedangkan jumlah enzim yang digunakan diberikan secara berlebih untuk menghindari penghambatan substrat. LTJ yang telah didelignifikasi dari metode terpilih disakarifikasi dan dimonitor perubahan komposisi karbohidratnya selama proses hidrolisis. Komponen gula (glukosa dan xilosa) dan oligosakarida yang terbentuk dianalisis dengan HPLC menggunakan kolom karbohidrat, dan rendemen proses sakarifikasi ditentukan berdasarkan pembentukan total gula terlarut dengan metode fenol- H_2SO_4 . Metode sakarifikasi yang terbaik digunakan dalam fermentasi simultan berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

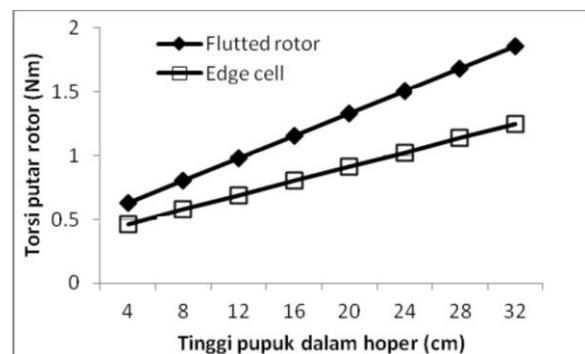
Hasil Analisis Torsi Putar *Metering Device* dan Modifikasinya

Unit pemupuk telah berhasil dimodifikasi. Pada mesin hasil modifikasi ini, digunakan model penjajah pupuk yang menggunakan rotor yang diputar pada dasar hopper (tipe *edge cell*). Rotor ditempatkan di sebelah depan dari lubang dasar hopper, sehingga tekanan dari pupuk tidak langsung ke arah rotor. Dengan cara ini, terbukti bahwa gesekan dan geseran yang terjadi antara pupuk (tekanan ke bawah) dengan putaran rotor penjajah menjadi kecil. Hasil analisis kebutuhan torsi untuk memutar rotor penjajah pupuk tipe *edge cell* turun drastis menjadi sekitar dua pertiganya (Gambar 3). Pada *metering device* tipe *edge cell* (hasil modifikasi) tekanan normal ke arah rotor lebih kecil (dari arah belakang) dan tidak terjadi gesekan antara pupuk pada celah rotor dengan dinding selubung rotor (sebelum dijatuhkan ke luar). Dua keuntungan lain dengan modifikasi penjajah pupuk ini adalah (1) tidak terjadi benturan butir-butir pupuk berukuran besar yang terjepit oleh ujung rotor dan dasar hopper (pembatas), sehingga tidak terjadi kemacetan putaran rotor, dan (2) kebutuhan torsi putar rotor *metering device* menjadi lebih kecil.

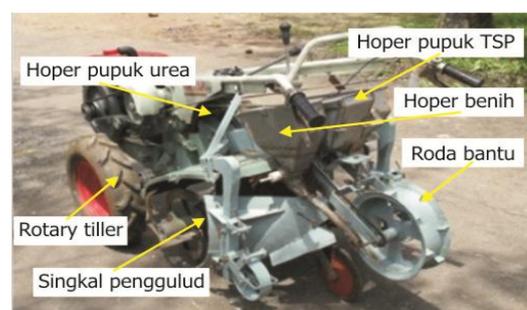
Kinerja unit pemupuk telah dapat ditingkatkan sehingga penjataan lebih akurat dan seragam. Penjataan pupuk yang dihasilkan dari *metering device* hasil modifikasi (*edge cell*) menunjukkan konsistensi dengan perhitungan teoretis. Hasil pengujian stasioner pupuk urea sudah mendekati perhitungan teoretis. Dosis pupuk urea yang direncanakan adalah 150 kg/ha atau 8,09 g/m alur dengan bukaan *metering device* 42 mm. Pengujian lapangan dan perhitungan teoretis campuran pupuk TSP dan KCl tidak jauh berbeda. Campuran pupuk TSP dan KCl tidak lengket dan tidak mudah menggumpal seperti pupuk urea.

Prototipe Mesin Penanam dan Pemupuk Hasil Modifikasi dan Kinerjanya

Hasil modifikasi mesin penanam dan pemupuk jagung diperlihatkan pada Gambar 4. Pembentukan guludan pada prototipe-2 ini bisa lebih beragam (Gambar 5(a)). Tinggi guludan dapat diragamkan dari 15–18,5 cm. Kemiringan guludan dapat diragamkan dari 37–46 °C. Demikian juga dengan lebar guludan dapat diragamkan dari 16–24 cm. Dalam pengujian mesin penanam dan pemupuk ini diperoleh kapasitas lapangan efektif (K_{LE}) sebesar 0,13 ha/jam dengan efisiensi 82,04%. Jika dibandingkan dengan prototipe-1, K_{LE} yang diperoleh lebih besar; pada prototipe-1 diperoleh K_{LE} sebesar 0,11 ha/jam. Pada praktiknya, ternyata mesin cukup stabil dan tidak harus selalu dikemudikan oleh operator dan bahkan bisa dilepas oleh operator pada jalur lurus (Gambar 5(b)).



Gambar 3 Perbandingan kebutuhan torsi rotor konvensional (*fluted rotor*) dengan hasil modifikasi (*edge cell*).



Gambar 4 Mesin penanam dan pemupuk jagung hasil modifikasi.

Sistem Irigasi Bertenaga Surya untuk Budi Daya Jagung

Sistem irigasi otomatis dengan tenaga surya untuk budi daya jagung telah berhasil dirangkai, dan tersusun atas (1) sebuah panel surya (Gambar 6 (a)), sebuah baterai, sebuah inverter, sebuah sistem kendali (Gambar 6 (b)), sebuah pompa air, dan pipa air. Irigasi diterapkan pada plot budi daya jagung berukuran 20 x 30 m (Gambar 6 (c)).

Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa debit pemompaan dari alat adalah 0,1 l/s dengan kedalaman sumur ± 10 m. Dari analisis debit yang dilakukan, debit pompa pada musim kemarau ± 10 l/s sudah dapat mengairi lahan dengan luasan 20 x 30 m dengan irigasi permukaan.

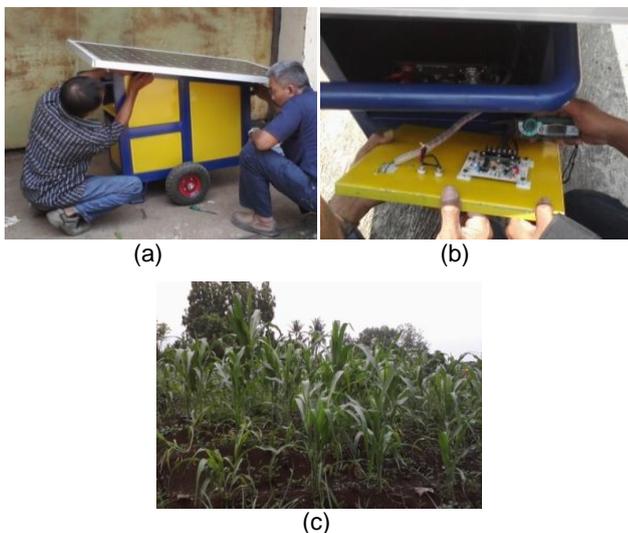
Optimasi Proses Pembuatan Mi Kering Jagung dengan RSM

Parameter proses pembuatan mi dan hasil pengukuran data disajikan pada Tabel 1. Pengeringan menggunakan pengeringan dengan embusan udara (*fluid bed drier*) dan suhu pengeringan 50 °C, menghasilkan mi kering jagung yang bersifat retak-retak dan ketika direhidrasi, mi jagung menjadi patah-patah dalam potongan yang berukuran panjang sekitar 2 cm (Gambar 7).

Pada *tahap* penelitian selanjutnya mi dibiarkan



Gambar 5 (a) Guludan penanaman yang terbentuk oleh mesin penanam dan pemupuk, (b) mesin penanam dan pemupuk saat beroperasi.



Gambar 6 Komponen sistem irigasi bertenaga surya, dan plot budi daya jagung.

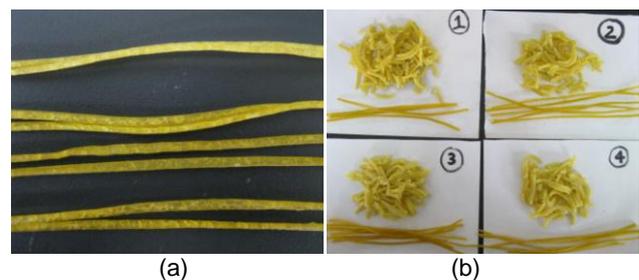
berada pada kondisi ruang selama 1 jam kemudian dikeringkan dengan pengering embus (tanpa diberi panas) selama 3 jam. Mi kering jagung memiliki kadar air 9–13%. Rekapitulasi hasil analisis untuk semua respons terukur disajikan pada Tabel 2. Nilai R^2 untuk semua respons cukup tinggi (di atas 8,5). Menurut Henika (1982) pada metode RSM, nilai R^2 di atas 7,5 cukup untuk menyusun model.

Cooking Loss, Elongasi, Ketegaran, Kemembalan, dan Kelengketan

Berdasarkan analisis keragaman (Tabel 2), peningkatan suhu ekstruder berpengaruh nyata pada *cooking loss* mi kering jagung ($p < 0,05$). Sebaliknya, kecepatan *screw* ekstruder tidak berpengaruh nyata pada *cooking loss* mi kering ($p > 0,05$). *Cooking loss* meningkat dengan menurunnya suhu ekstruder. Kecepatan *screw* ekstruder tidak memengaruhi *cooking loss* karena semakin cepat putaran *screw*, semakin cepat adonan melewati ekstruder sehingga gelatinisasi belum terjadi dengan optimum, walaupun *shear rate* meningkat.

Peningkatan suhu ekstruder berpengaruh nyata pada elongasi mi kering ($p < 0,05$). Sebaliknya, kecepatan *screw* ekstruder tidak berpengaruh nyata pada elongasi mi kering ($p > 0,05$). Peningkatan kecepatan ulir akan meningkatkan *shear rate*, tetapi juga menurunkan waktu tinggal (*residence time*) sehingga tidak meningkatkan gelatinisasi secara nyata, karena itu tidak meningkatkan elongasi mi yang dihasilkan. Suhu ekstruder dan kecepatan *screw* ekstruder berpengaruh nyata pada ketegaran (kekerasan) mi jagung ($p < 0,05$). Peningkatan suhu ekstruder dan kecepatan *screw* ekstruder dapat meningkatkan ketegaran (kekerasan) mi jagung, karena semakin tinggi suhu ekstruder, tingkat gelatinisasi adonan tepung jagung semakin meningkat.

Berdasarkan Tabel 1, kemembalan dipengaruhi secara nyata oleh suhu ekstruder ($p < 0,05$) dan tidak dipengaruhi oleh kecepatan *screw* ekstruder ($p > 0,05$). Semakin tinggi suhu ekstruder, semakin besar kemembalan mi. Semakin tinggi suhu ekstruder, semakin tinggi pula tingkat gelatinisasi dan semakin kokoh mi yang dihasilkan. Peningkatan suhu ekstruder berpengaruh nyata pada kelengketan ($p < 0,05$), sedangkan kecepatan ulir tidak berpengaruh nyata ($p < 0,05$). Semakin tinggi suhu, semakin rendah kelengketan mi.



Gambar 7 Mi kering jagung dengan pengeringan suhu 50 °C (a) sebelum rehidrasi, (b) sesudah rehidrasi.

Proses Optimum Penetapan Mi Kering Jagung Terbaik

Proses optimum diperoleh pada suhu ekstruder 90 °C dan kecepatan *screw* ekstruder 75 rpm. Kekurangan yang ditemui pada kondisi proses ini adalah kekerasan mi yang terlalu tinggi dan untai mi lengket satu dengan lainnya ketika keluar dari *die* ekstruder. Mi kering jagung pada proses optimum ini tampak *glossy* (mengkilap seperti kaca). Kenampakan seperti ini kurang disukai oleh panelis (Gambar 8).

Penambahan GMS 1% (dari bobot tepung) sudah cukup untuk menurunkan secara nyata ($p < 0,05$) kekerasan dan elongasi mi kering jagung yang telah direhidrasi. Mi jagung yang diproses dengan tambahan GMS sebanyak 1% (dari bobot tepung) pada suhu 90 °C dan kecepatan *screw* ekstruder 75 rpm merupakan proses terbaik.

Berdasarkan hasil analisis organoleptik, mi kering jagung yang telah direbus selama 8 menit memiliki elongasi dan elastisitas yang baik dengan skor

kesukaan antara suka dan sangat suka (4,10), ketegaran yang biasa atau empuk dengan skor kesukaan antara biasa dan suka (3,47), kekenyalan yang sedang dan penampakan umum yang baik dengan skor kesukaan antara biasa dan suka (3,60).

Karakteristik Biomassa LTJ dan Karakteristik Enzim

Biomassa yang digunakan berupa LTJ alami dan yang telah mengalami perlakuan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hasil tersebut dapat dilihat pada pada Tabel 3. Pada proses delignifikasi, residu yang berupa padatan merupakan selulosa dan hemiselulosa. Terlihat bahwa komponen selulosa dan hemiselulosa merupakan komponen yang dominan di dalam LTJ. Lynd *et al.* (2002) memperlihatkan pengaruh penambahan kapur terhadap pelarutan hemiselulosa dan lignin, sehingga terjadi penurunan bobot biomassa setelah penambahan kapur.

Uji aktivitas selulase dan xilanase dilakukan untuk

Tabel 1 Hasil pengukuran mi pada proses optimasi menggunakan RSM

Suhu ekstruder (°C)	Kec. Screw (rpm)	Cooking loss (%)	Elongasi (%)	Ketegaran (gf)	Kemembalan (%)	Kelengketan (gf)
90	75	5,47	112,36	6872,2	60,43	56,1
90	125	5,31	105,46	11589,8	54,23	45,5
85	125	5,73	108,42	10116,3	44,36	53,9
80	100	12,42	34,53	4023,4	39,43	310,8
90	100	4,34	87,84	5951,5	59	41,3
85	75	6,43	107,35	5250,2	42,32	136,9
80	75	13,46	42,2	3207,2	38,04	446,8
80	125	11,74	37,55	4223,1	38,33	542,1
85	100	6,88	98,41	8548,7	48,69	81
90	75	4,31	135,46	6275	48,98	78,5
80	75	10,86	52,78	3421,2	37,43	467,5
80	125	12,1	36,64	3865,8	35,55	521,3

Tabel 2 Rekapitulasi hasil analisis regresi untuk respons terukur pada optimasi pembuatan mi kering

Parameter	Cooking loss (%)	Elongasi (%)	Ketegaran (gf)	Kemembalan (%)	Kelengketan (gf)
Prediksi model	Kuadratik	Kuadratik	Kuadratik	Linier	Kuadratik
Model	0,0004***	0,0004***	0,0075**	0,0001***	0,0005
X_1	< 0,0001***	< 0,0001***	0,0015**	< 0,0001***	< 0,0001***
X_2	0,8135	0,1396	0,0092**	0,9645	0,9076
X_1^2	0,0140*	0,0032**	0,0503		0,0074**
X_2^2	0,08304	0,0684	0,4378		0,1058
X_1X_2	0,7762	0,5924	0,0792		0,3335
R^2	0,9618	0,9595	0,8910	0,8596	0,9576

Keterangan: * nyata pada taraf 0,05; ** nyata pada taraf 0,01; *** nyata pada taraf 0,001.



Gambar 8 Mi kering jagung (a) sebelum rehidrasi, (b) setelah direhidrasi.



Gambar 9 Mi kering jagung pada kondisi proses optimum (a) sebelum rehidrasi, (b) sesudah rehidrasi.

menentukan suhu proses sakarifikasi menggunakan campuran kedua enzim, karena kedua enzim memiliki suhu optimum yang berbeda. Karakteristik secara lengkap dari kedua enzim disajikan pada Tabel 4.

Pengaruh Proses Delignifikasi pada Biomassa

Perubahan struktur mikroskopik serat diperlihatkan pada Gambar 10. Perlakuan pemanasan dengan gelombang mikro dapat menggunakan air atau asam pada konsentrasi rendah, baik HCl atau H₂SO₄. Beberapa keunggulan gelombang mikro adalah pemanasan lebih cepat, pemanasan merata pada semua bagian, praktis, dan mudah dikontrol.

Perlakuan GM dianggap dapat menyebabkan terurainya sebagian polisakarida menjadi bahan gula monomer yang menjadi penyusunnya. Perlakuan GM juga menyebabkan kerusakan pada struktur lignin. Dibandingkan dengan perlakuan Ca(OH)₂ yang dilanjutkan dengan proses hidrotermal, perlakuan GM lebih efektif menurunkan kadar lignin bahan. Perlakuan GM, selain waktu kontak yang singkat juga menyebabkan penurunan lignin yang cukup besar, tidak menyebabkan kerusakan pada selulosa, tetapi menyebabkan pelarutan pada hemiselulosa (Lynd *et al.* 2002).

Perubahan hasil perlakuan awal tiap *power level* dilihat struktur serat pada mikroskop cahaya terpolarisasi dan disajikan pada Gambar 10. Bagian serat masih berikatan kompak dan memberikan warna

Tabel 3 Komposisi biomassa limbah tanaman jagung (LTJ)

Komponen	Jumlah (% bobot kering)	
	LTJ Alami	LTJ Perlakuan Ca(OH) ₂
Selulosa	44,9	43,4
Hemiselulosa	25,2	29,2
Lignin	21,4	21,5
Ekstraktif	4,5	2,1

Tabel 4 Aktivitas selulase dan xilanase

Jenis Enzim	pH Optimum	Suhu Optimum (°C)	Aktivitas (U/ml)
Selulase (CMC-ase)	5	60 °C	1,83 × 10 ⁵
Xilanase	6	50 °C	2,45 × 10 ⁷

Perlakuan	Mikroskop cahaya	Mikroskop cahaya terpolarisasi
T3P1		
T3P2		
T3P3		

Keterangan:

P (power level, P1 (50%), P2 (70%), P3 (100%))

Gambar 10 Perubahan struktur serat akibat perlakuan gelombang mikro dalam waktu 3 menit.

biru keunguan, yang mengindikasikan bahwa bagian serat belum mengalami kerusakan terutama pada fraksi kristalinnnya. Semakin lama waktu kontak dan semakin besar energi yang diberikan menyebabkan kerusakan yang lebih besar.

KESIMPULAN

Modifikasi *metering device* penjatah pupuk dengan tipe *edge cell* meningkatkan kinerja akurasi pemupukan, keseragaman pemupukan, memperkecil kebutuhan torsi putar rotor penjatah, dan meniadakan hambatan putaran rotor. Mesin penanam dan pemupuk jagung hasil modifikasi memiliki kinerjanya dibandingkan dengan prototipe-1; Dari pengujian lapangan didapatkan debit pemompaan yang digerakkan panel surya adalah 0,1 l/s dengan kedalaman sumur ± 10 m. Debit pompa pada musim kemarau ±10 l/s sudah dapat mengairi lahan dengan luasan 20 × 30 m dengan irigasi permukaan; Proses optimum pembuatan mi jagung adalah kadar air 80% (basis bobot basah tepung), suhu 90 °C dan kecepatan *screw* ekstruder 75 rpm. Penambahan GMS dapat memperbaiki karakteristik pencetakan, yaitu tidak lengket ketika keluar dari *die* ekstruder, dan memperbaiki karakteristik mi kering jagung yang telah direhidrasi. Mi jagung yang telah direhidrasi memiliki elongasi dan elastisitas yang baik, ketegaran yang biasa atau empuk, kekenyalan yang sedang, dan kenampakan umum yang baik.

Perlakuan gelombang mikro secara umum lebih unggul dibandingkan dengan perlakuan kimiawi dan proses hidrotermal. Pemanasan gelombang mikro menyebabkan kerusakan pada struktur lignin dan menyebabkan pelarutan lignin; pelarutan pada polisakarida selulosa dan hemiselulosa. Perlakuan gelombang mikro juga menyebabkan perubahan pada struktur selulosa menjadi lebih amorf.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada IPB yang telah memberi kesempatan penelitian dan dana penelitian sehingga pengembangan teknologi untuk pengembangan jagung ini dapat direalisasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Agbogbo FK, Coward-Kelly G. 2008. Cellulosic ethanol production using naturally occurring xylose-fermenting yeast, *Pichia stipitis*. *Biotechnol Lett.* 30: 1515–1524.

Charutigon C, Jintana J, Pimjai N, Vilai R. 2007. *Effects of Processing Conditions and the Use of Modified Starch and Monoglyceride on Some Properties of Extruded Rice Vermicelli*. Berlin (DE): Elsevier.

- Hermawan W, Mandang T, Radite PAS. 2009. Aplikasi Mesin Pengolah Tanah, Penanam dan Pemupuk Terintegrasi untuk Peningkatan Efisiensi dan Produktivitas Jagung. Laporan Akhir Penelitian Strategis Aplikatif. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hill J, Nelson E, Tilman D, Polasky S, Tiffany D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Tersedia pada: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0604600103, pp. 11206–11210.
- Lynd LR, Weimer PJ, van Zyl WH, Pretorius IS. 2002. Microbial Cellulase Utilization: Fundamentals dan Biotechnology. *Microbiol Molec Biol Rev.* 66(3): 506–577.
- Miller GL. 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Anal. Chem.* 31: 426–428.
- Muhandri T, Subarna, Nurtama B. 2008. Karakterisasi Tepung Berbagai Varietas Jagung Kuning Dan Potensinya Untuk Dibuat Mi Jagung. Laporan Hibah Bersaing. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nularif PS. 2010. Karakteristik sifat *amilografi* tepung jagung termodifikasi [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sunarti TC, Richana N. 2008. Produksi selulase *Trichoderma viride* dari tongkol jagung dan fraksi selulosanya. *J Penel Pascapanen Pert.* 4(2): 57–64.
- Sunarti TC, Meryandini A, Sofiyanto ME, Richana N. 2010. Saccharification of corncob using cellulolytic bacteria for bioethanol production. *Biotropia.* 17(4): 105–115.
- Van Soest PJ. 1963. Use of Detergent in Analysis of Fibrous Feeds III. In: M.L. Dreher (ed.). *The Handbook of Dietary Fiber.* New York (US): Marcel Dekker.
- Wagiman, Fauzi AM, Mangunwidjaja D, Sukardi. 2011. Efek perlakuan kimiawi dan hidrotermolisis pada biomassa tanaman jagung (*Zea mays L.*) sebagai substrat produksi bioetanol. *Agritech* 31(2): 89–98.