

# REKAYASA LENGAN PENANAM TIPE EMPAT BATANG KAIT BAWAH UNTUK PADI SAWAH

533.18  
REK



**BALAI PENELITIAN TANAMAN PADI**  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan  
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian  
1999



H 633.18  
REK

ISBN 979-540-012-6

# REKAYASA LENGAN PENANAM TIPE EMPAT BATANG KAIT BAWAH UNTUK PADI SAWAH

Oleh :

Astanto  
M. Djojomartono  
E. Namaken Sembiring  
Radite P.A.S.  
E. Eko Ananto



**BALAI PENELITIAN TANAMAN PADI**  
Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan  
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian  
1999

Vgl. terima : 4 - 8 - 2000  
No. Induk :  
Acad. bahan Pustaka : 621/0/2000  
Grafik :  
621/0/2000  
633.18

Rekayasa lengan penanam tipe empat batang kait bawah  
untuk padi sawah / oleh Astanto ... [ et al ] – Sukamandi :  
Balai Penelitian Tanaman padi, 199.  
iii, 63 hal. : ill. ; 23 cm.

Bibliografi : hlm 49 – 50  
ISBN 979-540-012-6

Padi – Penanam.      1. Astanto

633.183

Penanggung Jawab/Penelaah : Dr. A. Hasanuddin  
Redaksi Pelaksana : Ooy S. Lesmana, Ariarti Tyasdjaja

Alamat : Balai Penelitian Tanaman Padi  
Jl. Raya 9, Sukamandi 41256, Subang Jawa Barat  
Tlp. (0260) 520157  
Fac. (0260) 520158

## PENGANTAR

Memasuki era perdagangan bebas yang dimulai tahun 2003 untuk kawasan Asean, Indonesia dituntut meningkatkan efisiensi peningkatan produksi padi. Tanpa efisiensi, petani Indonesia akan terdesak oleh beras impor yang mungkin harganya akan lebih murah. Salah satu cara meningkatkan efisiensi produksi adalah dengan menggunakan alat mekanis, termasuk mesin penanam padi sawah. Mesin penanam padi sawah yang diimpor relatif harganya mahal, oleh karena itu mesin penanam padi sawah hendaknya dapat dibuat di dalam negeri yang kemungkinan harganya lebih murah, juga membuka lapangan kerja.

Sejak tahun 1996, Balai Penelitian Tanaman Padi mulai merintis desain mesin penanam padi yang disesuaikan dengan kondisi dilakukan petani yaitu tanam pindah simetris. Isi buku ini terutama ditujukan kepada disainer mesin penanam agar berminat untuk ikut mendorong pengembangan alat dan mesin pertanian yang dapat membantu petani untuk meningkatkan efisiensi produksi.

Buku ini memuat teknik desain lengan penanam padi sawah. Penanam tipe empat batang kait bawah biasanya lebih banyak digunakan pada mesin penanam tipe empat batang kait bawah biasanya lebih banyak digunakan pada mesin penanam tipe kemudi. Namun lengan penanam tipe ini dapat juga digunakan pada mesin penanam tipe jalan (*walking type*) dengan memodifikasi posisi pengumpan. Dengan demikian, lengan penanam tipe empat batang kait bawah dianggap fleksibel karena dapat dipasang pada mesin penanam tipe jalan maupun tipe kemudi.

Semoga buku ini bermanfaat dan informasi lebih lanjut dapat menghubungi Balai Penelitian Tanaman Padi, di Sukamandi.



## DAFTAR ISI

Halaman	
PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
PENDAHULUAN .....	1
MESIN PENANAM PADI .....	2
LENGAN PENANAM .....	9
KONSTRUKSI DAN MEKANISME .....	14
Mekanisme Lengan Penanam .....	14
Jari Penanam .....	15
Cam (Nok) dan Pendorong Bibit .....	16
Pengaambilan Jumlah Bibit Per Rumpun .....	17
Analisis Kinematika .....	18
Analisis Lokus .....	23
Analisis Kecepatan dan Percepatan Lokus .....	25
PERBAIKAN LENGAN PENANAM .....	27
PERUBAHAN POSISI FULCRUM ROCKER .....	30
CAM .....	31
KECEMBUNGAN LOKUS .....	35
PELUANG PENGAMBILAN JUMLAH BIBIT/RUMPUN .....	40
JARAK TANAM .....	46
PENUTUP .....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	49
Lampiran 1. Ringkasan hasil uji alat penanam oleh RNAM (1993) .....	51
Annapurna 77 .....	51
Mametora TA-2 .....	51
Tang-Hong 2S .....	51
IRRI-RT .....	52
Taedonggang-6 .....	52
Tong-Feng 2A .....	52
Mesin penanam padi buatan Jepang .....	53
Lampiran 2. Turunan parsial terhadap masing-masing parameter lengan. penanam .....	58

## PENDAHULUAN

Dalam sistem produksi padi, salah satu kegiatan yang membutuhkan tenaga kerja dan biaya yang relatif besar ialah kegiatan tanam. Alternatif untuk mengantisipasi kesulitan tenaga tanam dan untuk menekan biaya ialah tanam benih langsung (tabela) atau tanam pindah (*transplanting*) yang menggunakan mesin penanam.

Keunggulan tabela ialah kebutuhan tenaga tanam yang relatif sedikit, meskipun benih disebar dengan tangan secara larikan. Kelemahan dari tabela ialah daya tumbuh benih yang rendah dan kebutuhan tenaga penyiangan yang besar (Washio, 1992). Masalah penyiangan dapat dikurangi dengan menggunakan herbisida, tetapi dalam jangka panjang penggunaan herbisida akan mengganggu keseimbangan lingkungan. Masalah daya tumbuh benih dapat diatasi dengan menggunakan varietas yang dirakit untuk tujuan tabela seperti di Amerika Serikat (Akita, 1992).

Keunggulan tanam pindah (tanam padi dengan memindahkan bibit dari pese-maian ke petak sawah) ialah stabilitas hasil gabah per satuan luas. Kelemahannya ialah memerlukan tenaga tanam (biasanya wanita) yang relatif besar atau jam kerja yang panjang. Petani Asia dikenal sebagai kelompok yang bekerja berlebihan (*overworked people*) yaitu terlalu banyak bekerja untuk pendapatan yang terlalu rendah (White, 1985).

Indrasari (1994) merekomendasikan bahwa beban kerja ibu-ibu perlu dikurangi karena ibu-ibu hanya meluangkan waktu 2.5 jam/hari terhadap anak-anaknya sehingga gizi anak-anak pra sekolah kurang diperhatikan. Partisipasi ibu-ibu pada kegiatan usahatani padi sebagian besar tercurah pada kegiatan tanam dan penyiangan, serta penyediaan makanan bagi buruh tanam dan buruh penyiang. Makin banyak tenaga buruh tanam yang diperlukan makin banyak makanan yang disediakan. Dengan mesin penanam padi, beban kerja petani pria pada umumnya dan ibu-ibu khususnya, dapat dikurangi.

The Regional Network for Agricultural Machinery (RNAM) dan the Economic and Social Commission for Asia and Pacific (ESCAP) telah melakukan pengujian beberapa mesin penanam padi. Secara ringkas hasil pengujiannya menunjukkan bahwa pada umumnya persentase rumpun hilang dan ragam jumlah tanaman/rumpun masih tinggi (RNAM, 1983).

Lebih jauh hasil pengujian oleh RNAM menyatakan bahwa kelemahan umum mesin penanam padi yang menggunakan bibit akar cuci (*washed root*) ialah rumpun hilang antara 8.3 – 13.3% di India dan 6 – 30% di Philippines, jumlah bibit/rumpun dapat mencapai 22 tanaman/rumpun. Di pihak lain, jarak tanam dalam baris yang umumnya dirancang pada mesin penanam tersebut adalah 15 cm, sedang jarak tanam dalam baris yang berlaku umum di Indonesia antara 20 cm sampai 25 cm.

Masalah tersebut dipengaruhi oleh unjuk kerja dan rancangan dari lengan penanam. Oleh karena itu, lengan penanam perlu dimodifikasi untuk menurunkan persentase rumpun hilang, menurunkan keragaman jumlah bibit/rumpun, dan mengatur jarak tanam dalam baris menjadi 20 cm.

Salah satu tipe lengan penanam ialah empat batang kait bawah (*four bar linkage*). Meskipun lengan penanam empat batang kait bukan tipe yang terbaru, tetapi kesederhanaan konstruksinya memungkinkan dibuat oleh bengkel bubut tingkat kabupaten.

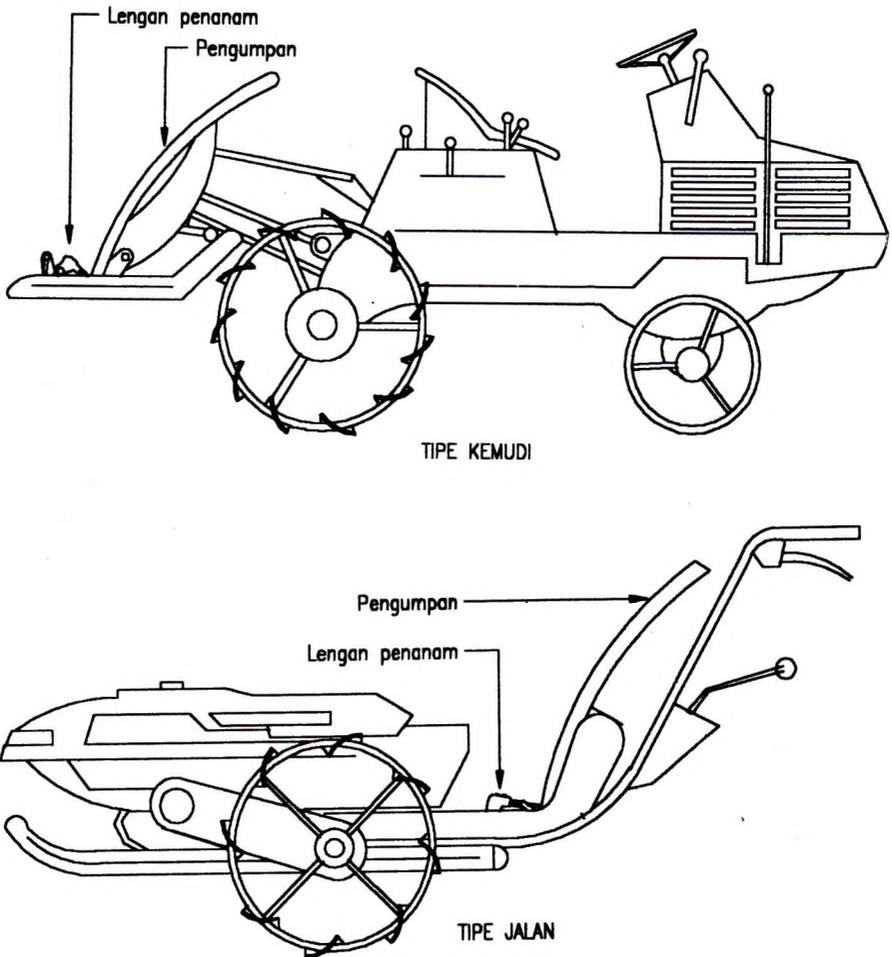
Rumpun hilang pada mesin penanam buatan Jepang yang menggunakan bibit pada bak semai (*mat seedling*) dengan lengan penanam tipe empat batang kait sebesar 1.3% (Katoh, 1984), lengan penanam tipe planet kurang dari 5% (Kohnosuke, 1981), sedang mesin penanam IRRI bisa mencapai 21% (RNAM, 1983). Perbedaan jari penanam pada mesin penanam Jepang dengan mesin penanam IRRI ialah pada bentuk dan ukuran celah jari penanam, kelengkapan pendorong bibit serta bentuk lokus. Jari penanam pada mesin penanam IRRI tidak dilengkapi pendorong bibit. Dengan demikian, penggunaan bibit bak semai dan jari penanam yang dilengkapi pendorong bibit dapat menurunkan persentase rumpun hilang.

Umur bibit juga diduga berpengaruh terhadap pengambilan jumlah bibit/rumpun karena bibit makin tua diameter batang makin besar sehingga pengambilan jumlah bibit per rumpun makin sedikit. Semakin kecil lebar celah jari penanam semakin besar peluang jari penanam tidak mengambil bibit (peluang rumpun hilang) makin besar. Jari penanam makin dalam masuk ke pengumpan bibit, jari penanam mengambil bibit/ rumpun makin banyak.

### MESIN PENANAM PADI

Negara-negara yang telah memproduksi mesin penanam padi ialah Jepang, Korea Selatan, dan China RRC. Mesin penanam padi buatan Jepang dilaporkan mempunyai unjuk kerja yang baik, laju operasi mencapai 1.0 m/det (Kohnosuke, 1991). Mesin penanam padi buatan Korea memiliki laju operasi sekitar 0,5 m/det dan rumpun hilang rata-rata 10% (Khan and Gunkel, 1988). Standar penanaman padi di Jepang dan Korea ialah 30 cm pada jarak antar baris dan jarak antar rumpun di dalam baris rata-rata 15 cm (sesuai buku manual, antara 11 sampai 20 cm), dengan demikian mesin penanam padi umumnya dibuat agar beroperasi sesuai dengan standar jarak tanam tersebut. Jarak antar baris penanaman padi di Indonesia 20 cm sampai 25 cm, jarak antar rumpun di dalam baris juga 20 sampai 25 cm. Unjuk kerja mesin penanam padi yang menyangkut jarak tanam dan rumpun hilang tertumpu pada bagian mesin penanam padi yang disebut lengan penanam (*planting arm*). Oleh karena itu mesin penanam padi buatan luar negeri perlu dimodifikasi agar menghasilkan jarak antar baris tanaman 25 cm dan jarak antar rumpun di dalam baris 20 cm. Hal ini sesuai dengan rekomendasi Supra Insus agar menghasilkan jumlah tanaman antara 200 000 sampai 220 000 rumpun/ha.

Mesin penanam padi sawah dibedakan atas dua tipe, yaitu tipe kemudi (*riding type*) dan tipe jalan (*walking type*). Tipe kemudi dioperasikan dengan cara mengendarai mesin penanam, sedang tipe jalan dioperasikan dengan cara berjalan kaki (Gambar 1). Mesin penanam tipe kemudi buatan Jepang dikendarai oleh satu orang, sedangkan buatan China dioperasikan oleh tiga orang, satu orang memegang kemudi dan dua orang mengumpangkan bibit. Mesin penanam tipe kemudi buatan Korea dioperasikan oleh dua orang, satu orang memegang kemudi dan satu orang mengumpangkan bibit.



**Gambar 1. Diagram mesin penanam padi tipe kemudi dan tipe jalan buatan Jepang.**

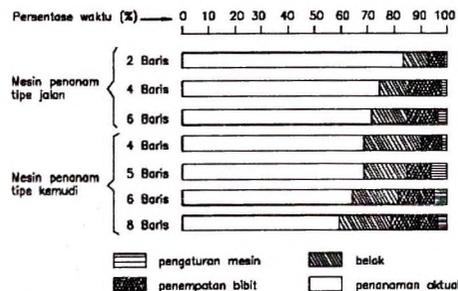
Beberapa mesin penanam padi yang telah diuji RNAM (1983) tergolong produk lama atau hasil penelitian. Penanam padi hasil penelitian yang dilaporkan berasal dari India dan IRRI (Philippines) yang ke duanya digerakkan secara manual (tanpa motor), sedang mesin penanam lainnya yang dilaporkan dilengkapi dengan motor yang dibuat oleh pabrik-pabrik di China, Korea, dan Jepang. Laporan tersebut menyebutkan bahwa mesin penanam buatan India berkapasitas 0.007 sampai 0.02 ha/jam. Kapasitas ini

relatif rendah yang disebabkan oleh mesin yang terlalu berat, dan rumpun hilang mencapai 30% karena jari penanam tidak berfungsi sempurna. Penanam buatan IIRI dilaporkan mudah dioperasikan dengan kapasitas 0.02 sampai 0.05 ha/jam dan rumpun hilang 0 sampai 5% pada kondisi optimum. Uji coba di Sukamandi (Jawa Barat) menunjukkan bahwa di lahan yang kurang air jari penanam tidak melepaskan bibit, sedang di lahan yang terlalu banyak air bibit yang terlepas mengapung. Mesin penanam buatan China memiliki 12 baris tanaman yang dioperasikan oleh 3 orang, 1 orang memegang kemudi dan 2 orang mengumpalkan bibit. Mesin penanam buatan Korea dan Jepang yang dilaporkan masih merupakan produk lama. Mesin penanam Korea produk terakhir merupakan tipe jalan (*walking type*) yang memiliki 4 baris tanaman dan gerakan pengumpan (*seedling tray*) menggunakan sistem hidrolik. Penggunaan sistem hidrolik ini termasuk sistem baru karena umumnya gerakan pengumpan menggunakan sistem ulir Nabia. Mesin penanam buatan Jepang produk terakhir dilengkapi dengan sensor-sensor elektronik, bahkan prototipe mesin penanam padi tanpa pengemudi (*driverless transplanter*)<sup>1</sup> juga telah dibuat. Secara ringkas, laporan RNAM dicantumkan di Lampiran 1.

**Tabel 1. Persentase waktu pengoperasian mesin penanam padi sawah terhadap waktu total di petak sawah**

Pengamatan	Tipe jalan (%)	Tipe kemudi (%)
Penanaman aktual	78.56	58.89
Persiapan	2.81	7.29
Belok	3.61	10.05
Penempatan bibit	8.56	13.25
Pengaturan mesin	0.63	5.67
Kerusakan	5.84	0.00

Sumber : Astanto *et al.* (1998a)



**Gambar 2. Proporsi waktu pengoperasian mesin penanam padi sawah di Jepang (Kohnosuke, 1991).**

<sup>1</sup> Informasi didapat dari Prof. Ito (1991) di Universitas Mie melalui video.

Hasil pengujian di Sukamandi (Tabel 1) jika dibandingkan dengan pengujian di Jepang (Gambar 2) menunjukkan bahwa waktu penanaman efektif masih rendah. Pada mesin penanam tipe kemudi, persentase waktu belok masih relatif tinggi karena saat akan belok, mesin dihentikan lebih dahulu. Bagi operator yang telah berpengalaman, saat akan belok mesin langsung dibelokkan dengan menginjak salah satu rem. Dengan demikian, persentase waktu belok dapat dikurangi. Waktu untuk persiapan juga masih tinggi karena operator belum berpengalaman. Pada mesin penanam tipe jalan, efisiensi waktu penanaman aktual hampir sama dengan pengujian di Jepang.

Kapasitas lapang, baik pada mesin penanam tipe kemudi maupun pada tipe jalan, relatif lebih rendah dibanding pengujian di Jepang (Tabel 2). Hal ini terutama disebabkan oleh kecepatan operasi yang sangat rendah. Kondisi lahan pada pengujian ini ialah tanah berlumpur dan macak-macak. Kedalaman lumpur antara 11 sampai 14.2 cm. Apabila pengolahan tanah dilakukan secara dangkal dan tanah tidak dilumpurkan (tidak "dileler", Jawa Barat), mungkin mesin penanam dapat bergerak lebih cepat karena gaya gesek antara permukaan lumpur dengan permukaan mengapung berkurang. Pemberian air ke petak sawah mungkin juga akan menambah kecepatan mesin penanam, tetapi memiliki resiko tanaman yang rebah dan mengapung akan lebih banyak. Hal ini bisa terjadi karena pengapung menyibak air kemudian mendorong tanaman, dan tanaman yang akarnya kurang kuat menancap di dalam tanah akan terangkat lalu mengapung. Percobaan pada lahan tanpa olah tanah menghasilkan tanaman yang lebih tegak tetapi tanaman tidak tertancap ke dalam jika ujung jari penanam mengenai tempat yang ada jerami. Hasil percobaan di lahan tanpa olah tanah ini memberi asumsi bahwa penggunaan mesin penanam tidak memerlukan pelumpuran yang sempurna, yang lebih penting permukaan tanah rata.

**Tabel 2. Kapasitas lapang pengujian mesin penanam padi sawah di Sukamandi**

Keterangan	Tipe jalan	Tipe kemudi	Pengujian di Jepang *)	
			A	B
Luas (m <sup>2</sup> )	810.1	993.98		
Waktu total (menit)	65	53		
Waktu efektif (menit)	51.013	31.283		
Kecepatan (m/s)	0.203	0.125		
Kapasitas lapang (ha/jam)	0.075	0.118	0.67	1.00
Kapasitas efektif (ha/jam)	0.089	0.202	0.117	0.254

Sumber : Astanto *et al.* (1998a)

\*) Sumber : Kohnosuke (1991)

A = mesin penanam tipe jalan 2 baris tanaman

B = mesin penanam tipe kemudi 5 baris tanaman

Secara visual, tanaman hasil dari mesin tipe kemudi lebih tegak dibanding tanaman hasil dari mesin tipe jalan. Baris tanaman hasil dari mesin tipe kemudi juga lebih lurus dan jarak antar baris lebih teratur dibanding baris tanaman hasil dari mesin tipe jalan. Tanaman hasil dari pengujian dua mesin tersebut secara ringkas disajikan dalam Tabel 3. Bibit rebah, meskipun nilainya cukup tinggi, tidak menjadi masalah yang serius karena pengamatan tujuh hari setelah tanam semua bibit yang rebah tumbuh tegak.

Bibit yang terkubur kemungkinan besar mati, karena lumpur yang terlalu halus sehingga mudah terdorong oleh pengapung kemudian menimbun tanaman. Oleh karena itu tanah tidak perlu dilumpurkan, khususnya pada penggunaan mesin penanam tipe jalan.

Dari hasil pengujian ini juga rumpun hilang masih relatif tinggi, meskipun hasil pengujian pada mesin-mesin lain juga relatif tinggi. Persentase rumpun hilang pada pengujian mesin penanam Annapurna 77 sebesar 6,9–35%, Mametora TA2 sebesar 0–25%, Tang Hong 2S sebesar 7–20% (RNAM, 1983) dan mesin penanam Korea yang jari penanamnya telah dimodifikasi sebesar 10% (Khan and Gunkel, 1988). Persentase rumpun hilang dapat dikurangi dengan membuat pertumbuhan bibit yang lebih merata yaitu dengan memilih bibit yang berdaya tumbuh tinggi, sebaran benih yang merata, pengaturan pemberian air yang lebih baik, dan perlindungan benih dari hama. Mungkin perbaikan pembibitan saja belum cukup karena rumpun hilang juga melibatkan lengan penanam. Sementara, perbaikan pembibitan mungkin lebih mudah dilakukan dibanding perancangan lengan penanam. Tabel 4 menunjukkan bahwa benih selektif (benih terpilih dengan cara memisahkan butir isi dengan butir hampa melalui perendaman lima menit) dan ditumbuhkan di media yang basah oleh porositas tanah memiliki daya tumbuh yang makin besar pada tanah yang makin porous.

**Tabel 3. Hasil pengujian mesin penanam padi sawah pada aspek tanaman**

Keterangan	Tipe jalan	Tipe kemudi
<b>Keadaan bibit</b>		
1. Varietas	Batang Anai	Batang Anai
2. Tipe pembibitan	Mat seedling	Mat seedling
3. Umur bibit (hari)	17	17
4. Jumlah daun (helai)	3.9	3.9
5. Tinggi bibit (cm)	16.4	16.4
6. Panjang akar (cm)	4.43	4.43
7. Kebutuhan benih (kg/ha)	45	45
<b>Akurasi tanaman</b>		
1. Lebar antar baris (cm)	32.87	30.87
2. Jarak antar rumpun (cm)	16.33	14.3
3. Kedalaman tanam (cm)	3.97	5.23
4. Jumlah tanaman/rumpun	3.53	4
5. Rumpun hilang (%)	17.16	10.21
6. Bibit mengapung (%)	0	0
7. Bibit terkubur (%)	7.14	1.7
8. Bibit rebah (%)	13.81	4.52
<b>Kebutuhan tenaga (JOK/ha)</b>		
1. Pembibitan	20.28	20.28
2. Penyulaman	63.78	66.77
<b>Keadaan lahan</b>		
1. Kedalaman lumpur (cm)	13.43	12.4
2. Tinggi muka air (cm)	macak-macak	macak-macak

Sumber : Astanto *et al.* (1998a), JOK = jam orang kerja

**Tabel 4. Daya kecambah benih padi selektif pada beberapa media tumbuh dengan pemberian air secara kapiler**

Hari ke	Daya tumbuh menurut media tumbuh (%)			
	Abu	Pasir	Tanah saring	Tanah lumpur
6	79.3	78.8	45.8	17.3
7	98.3	84.5	64.5	41.5
8	98.7	89.7	73.2	49.3
9	99.0	92.8	90.0	54.3
10	99.3	98.2	96.8	61.8
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	99.3	98.2	96.8	86.2

Sumber : Astanto *et al.* (1998a)

Tabel 4 juga dapat diinterpretasikan bahwa benih sebelum disebar perlu direndam lebih dahulu untuk mematahkan dormansi sehingga berkecambah serentak. Cara yang lebih mudah ialah menggunakan benih kecambah (*pregerminated seed*) sehingga benih segera tumbuh dan media tumbuh dapat diberi air dalam keadaan tergenang.

Pengujian dengan benih yang telah dipatahkan dormansinya menunjukkan bahwa laju pertumbuhan tanaman berkorelasi negatif terhadap porositas tanah dengan syarat media tumbuh dalam keadaan tergenang (Tabel 5). Hal ini mudah dipahami karena makin padat media tumbuh makin banyak nutrisi yang tersedia per satuan volume. Oleh karena itu media tanah yang dilumpurkan memiliki laju pertumbuhan yang paling tinggi. Kandungan nutrisi ini diidentifikasi dengan warna daun, pada tanah lumpur warna daun hijau tua dan pada abu warna daun hijau pucat. Hasil percobaan juga menunjukkan bahwa bibit yang ditanam rapat memiliki laju pertumbuhan yang lebih lambat dibanding bibit yang ditanam renggang.

Pembibitan di lapang untuk keperluan mesin penanam masih mengalami masalah pengelolaan air. Kesulitan pengelolaan air terutama disebabkan oleh air hujan yang turun pada awal pertumbuhan benih, setelah benih disebar mengakibatkan posisi benih berubah dan bahkan benih bagian tepi petakan dapat terpental keluar. Saat benih disebar, benih harus diangin-anginkan lebih dahulu sampai kering, secara manual (dengan tangan) juga harus kering karena tangan atau benih yang basah mengakibatkan

**Tabel 5. Laju pertumbuhan tinggi tanaman (cm) pada beberapa media tumbuh.**

Hari ke	Laju pertumbuhan tinggi tanaman menurut media tumbuh (cm)			
	Abu	Pasir	Tanah saring	Tanah lumpur
6	0.18	0.15	0.17	1.23
7	1.08	0.97	0.87	4.02
8	2.52	2.93	2.48	5.62
9	4.28	5.75	4.95	7.63
10	5.50	8.07	7.63	9.45
11	-	-	-	-
12	7.88	13.60	14.50	17.30
13	10.10	16.90	17.90	20.30

Sumber : Astanto *et al.* (1998a)

sebagian benih menempel di tangan sehingga sebaran benih tidak merata. Selain itu penyebaran benih ini dapat dilakukan dengan mesin (*seeding machine*).

Kebutuhan tenaga untuk penyulaman pada pengujian ini relatif besar dibanding kebutuhan tenaga penanaman secara manual yang hanya 110.7 JOK/ha (Astanto dan Ananto, 1994). Kebutuhan jam kerja penyulaman tidak berbanding lurus dengan luas bagian lahan yang tidak tertanami karena makin menyebar bagian lahan yang tidak tertanami makin besar kebutuhan jam kerja untuk penyulaman. Dengan demikian apabila persentase jam kerja penyulaman (terhadap penanaman secara manual) sebesar 57.21%, hal ini tidak berarti bagian lahan yang tidak tertanami sebesar 57.21%. Tetapi persentase ini berbanding lurus dengan biaya yang harus dikeluarkan, sehingga usaha untuk menurunkan persentase rumpun hilang menjadi sangat penting. Dalam batas tertentu, persentase rumpun hilang masih dapat diijinkan (*tolerable*) karena tidak akan menurunkan hasil gabah secara nyata. Teoritis, batas persentase rumpun hilang yang diijinkan yaitu sebesar 4.7%. Persentase ini didasarkan pada perhitungan berikut. Jumlah tanaman yang direkomendasikan dalam SUPRA INSUS antara 200 000 sampai 220 000 rumpun/ha dan jarak tanam standar 22 cm x 22 cm. Jarak tanam standar ini menghasilkan 210 000 rumpun/ha. Dengan mengambil jumlah tanaman minimal 200000 rumpun/ha, persentase rumpun hilang terhadap jumlah rumpun pada jarak tanam standar =  $(210\ 000 - 200\ 000)/210\ 000 \times 100\% = 4.7\%$ .

**Tabel 6. Hasil gabah pengujian mesin penanam dan penanaman manual pada kadar air 14%**

Perlakuan	Luas (m <sup>2</sup> )	Jumlah rumpun	Hasil gabah (kg)	Konversi (rumpun/ha)	Konversi (t/ha)
<b>Mesin penanam tipe kemudi</b>					
Petak I	1399.2	19749	817.25	141145	5.841
Petak II	1015.9	16884	633.34	166194	6.234
Petak III	536.7	10920	334.75	203477	6.237
Rata-rata				170272	6.104
<b>Mesin penanam tipe jalan</b>					
Petak I	789.4	14186	458.89	179715	5.813
Petak II	826.7	15456	520.74	186965	6.299
Petak III	883.8	12470	532.11	141100	6.021
Rata-rata				169260	6.044
<b>Penanaman manual</b>					
Petak I	833.3	13200	511.08	158416	6.134
Petak II	1474	21146	967.42	143474	6.563
Petak III	1433.7	20280	843.31	141448	5.882
Petak IV	861.8	13545	527.38	157164	6.119
Petak V	867.8	13158	556.73	151634	6.416
Rata-rata				150427	6.223

Sumber : Astanto *et al.*, (1998a)

Hasil gabah dari pengujian mesin penanam ini ditunjukkan oleh Tabel 6, hasil gabah (kadar air 14%) masih lebih rendah dibanding hasil gabah dari penanaman manual disekitarnya, meskipun secara statistik mungkin tidak signifikan. Populasi pada penanaman dengan mesin lebih banyak dibanding populasi pada penanaman dengan tangan (manual). Hal ini membawa konsekuensi kebutuhan benih pada penanaman dengan mesin lebih banyak dibanding penanaman manual.

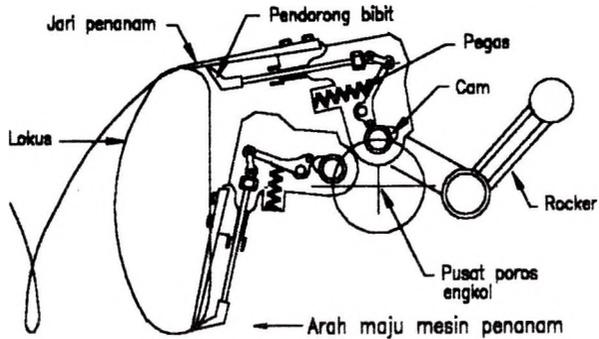
### LENGAN PENANAM

Korea adalah salah satu negara produsen mesin penanam padi. Mesin penanam padi buatan Korea (produk lama) menghasilkan rumpun hilang dan jumlah tanaman per rumpun yang tinggi. Khan dan Gunkel (1988) telah mencoba memperbaiki unjuk kerja mesin penanam padi buatan Korea dengan memodifikasi lengan penanam, tetapi baru mencapai perbaikan jumlah maksimum tanaman per rumpun dari 8 batang/rumpun menjadi 4 batang/rumpun, persentase rumpun hilang masih tetap tinggi. Secara prinsip, mekanisme kerja lengan penanam buatan Korea dengan buatan Jepang adalah sama, bentuk lokus yang dihasilkan juga sama. Pada saat ujung jari lengan penanam menca-pai posisi lokus terendah, bibit padi didorong oleh pendorong bibit atau *ejector* (dalam lengan penanam Jepang disebut *planting fork*) agar bibit padi lepas dari jepitan jari penanam. Jepitan jari penanam versi Khan dan Gunkel (1988) dibuat lebih panjang tetapi celah jari penanam lebih sempit dibanding versi aslinya. Hal ini dimaksudkan agar jari penanam dapat menekan bibit padi lebih kuat dan lebih sedikit dibanding versi aslinya. Tujuan ini memang bisa dicapai oleh Khan dan Gunkel (1988), tetapi persen-tase rumpun hilang tetap tinggi. Lengan penanam buatan Korea tahun 1997 mengguna-kan jari penanam tipe batang, bentuknya sama dengan jari penanam buatan Jepang yang dipasang pada lengan penanam tipe planet (*planetarian gear type*). Lengan penanam pada mesin penanam buatan China menggunakan mekanisme luncur (*slide way*) dengan 12 baris dalam satu poros (TIATC, 1988; RNAM, 1983).

Lengan penanam tipe empat batang kait dapat dibedakan atas dua versi, yaitu tipe empat batang kait atas atau engkol atas (*upper crank*) dan tipe empat batang kait bawah atau engkol bawah (*lower crank*). Tipe engkol atas umumnya digunakan pada mesin penanam tipe jalan (*walking type*). Mesin penanam tipe kemudi (*riding type*) lebih banyak menggunakan lengan penanam tipe engkol bawah, namun pada produksi akhir-akhir ini menggunakan lengan penanam tipe planet.

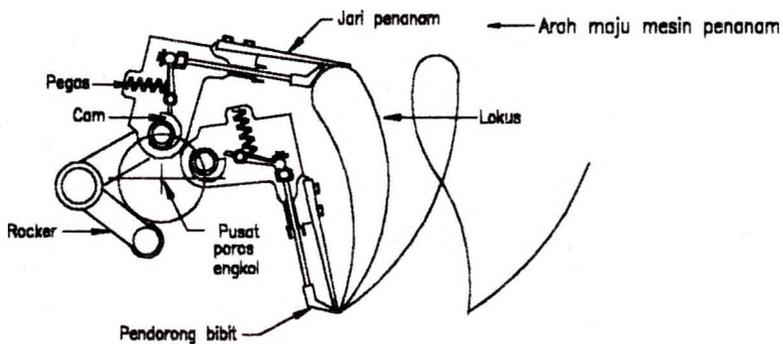
Lengan penanam buatan IRRI memiliki konstruksi yang sederhana. Kelebihan lengan penanam IRRI dibanding lengan penanam tipe empat batang kait adalah satu poros pada lengan penanam tipe empat batang kait hanya bisa menggunakan satu atau dua lengan penanam, sedang satu poros pada lengan penanam IRRI bisa menggunakan lebih dari dua lengan penanam.

Gambar 3 menunjukkan diagram lengan penanam tipe empat batang kait bawah. Lengan penanam tipe ini membuat bentuk lokus tetap (lintasan ujung jari penanam relatif terhadap mesin penanam) yang mendekati elip dan bentuk lokus relatif (terha-dap permukaan tanah) mendekati gerakan parabola. Dimensi lokus tetap dipengaruhi oleh dimensi lengan penanam dan dimensi lokus relatif sangat dipengaruhi oleh rasio kecepatan maju mesin penanam dengan kecepatan putar lengan penanam.



**Gambar 3. Diagram lengan penanam tipe empat batang kait bawah (Katoh, 1984).**

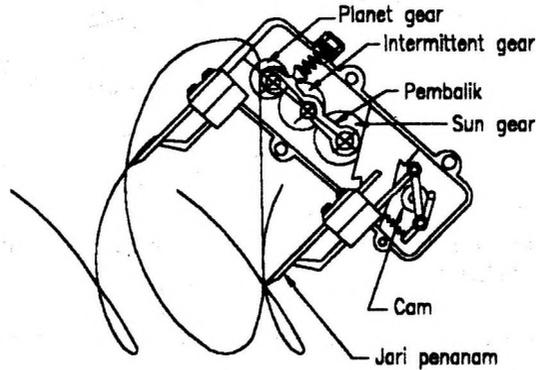
Gambar 4 menunjukkan diagram lengan penanam tipe empat batang kait atas, konstruksi lengan penanam tipe ini hampir sama dengan lengan penanam tipe empat batang kait bawah. Perbedaan terjadi pada posisi poros engkol terhadap fulcrum (poros tetap rocker). Pada lengan penanam tipe empat batang kait bawah, poros engkol berada relatif di bawah fulcrum, tetapi pada lengan penanam tipe empat batang kait atas, poros engkol berada relatif di atas fulcrum. Perbedaan ini menjadikan bentuk lokus yang dihasilkan juga berbeda.



**Gambar 4. Diagram lengan penanam tipe empat batang kait atas (Katoh, 1984).**

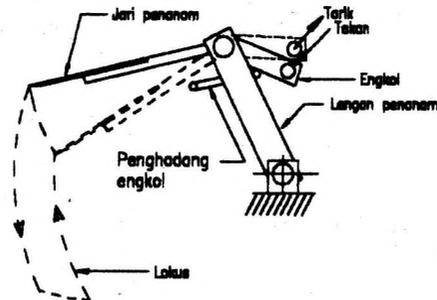
Gambar 5 menunjukkan diagram lengan penanam tipe planet yang awalnya dirancang oleh Institute of Agriculture Machinery di Jepang. Konstruksi lengan penanam ini lebih rumit dibanding dua tipe lengan yang disebutkan terakhir.

Kelebihan lengan penanam ini, dalam satu poros engkol dapat dipasangkan dua baris penanam yang terdiri dari empat lengan penanam. Dengan demikian, kecepatan maju mesin penanam dapat dibuat lebih tinggi dibanding lengan penanam dua tipe sebelumnya. Oleh karena itu lengan penanam tipe ini banyak digunakan pada mesin penanam tipe kemudi (*riding type*) yang kecepatannya mencapai 1 m/s.



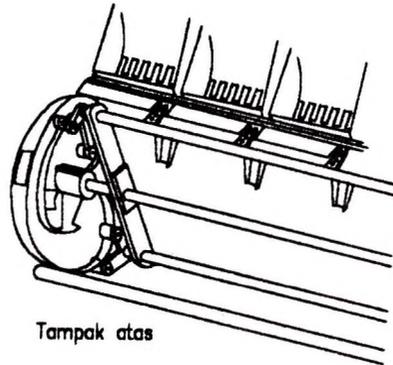
**Gambar 5. Diagram lengan penanam tipe planet (Kohnosuke, 1991).**

Gambar 6 menunjukkan diagram lengan penanam tipe IRRI yang konstruksinya relatif sederhana dibanding tiga tipe yang disebutkan terakhir. Lengan penanam ini dapat dipasangkan dalam satu poros engkol untuk beberapa baris penanam. Konstruksi yang telah diketahui, satu poros engkol terdiri 6 lengan penanam.



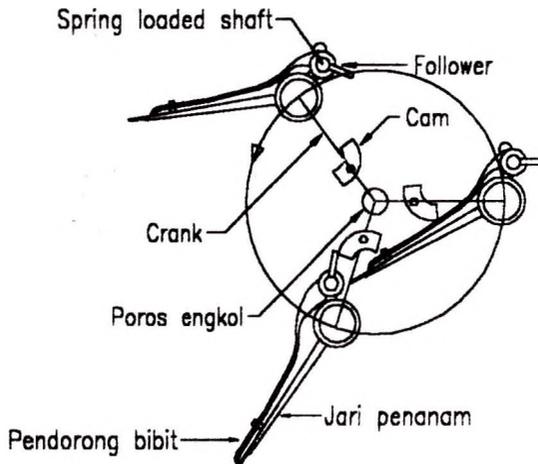
**Gambar 6. Diagram lengan penanam tipe IRRI.**

Gambar 7 menunjukkan diagram lengan penanam tipe luncur (*slide way*) yang banyak dipakai oleh mesin penanam buatan China. Informasi lengan penanam tipe ini masih sangat sedikit sehingga konstruksi detail lengan penanam ini juga kurang.



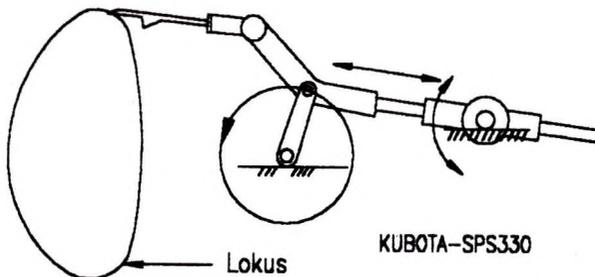
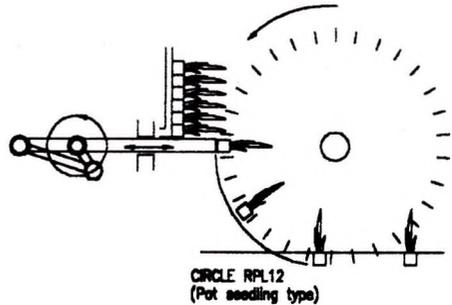
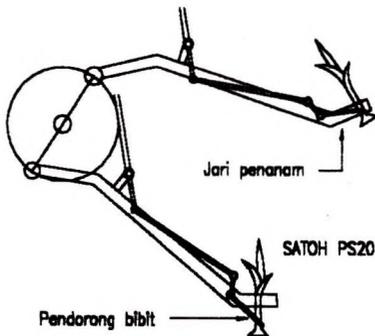
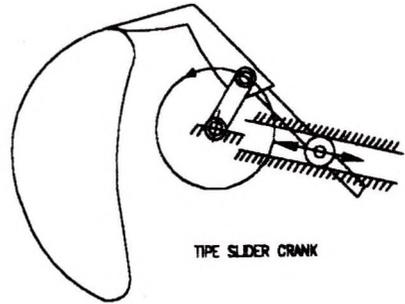
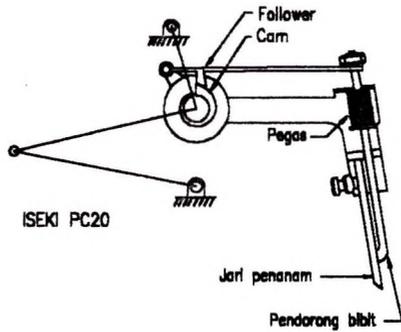
**Gambar 7. Diagram lengan penanam tipe lancet (gambar dikutip dari TIATC,1988).**

Gambar 8 menunjukkan tipe lengan penanam buatan Korea yang dimodifikasi oleh Khan dan Gunkel (1988). Pada gambar ini, jari penanam yang ditunjukkan ada tiga yang pada konstruksi sebenarnya hanya satu. Dua jari penanam lainnya hanya untuk menunjukkan posisi relatif ujung jari penanam terhadap poros engkol. Lengan penanam pada mesin penanam buatan Korea akhir-akhir ini menggunakan tipe empat batang kait atas.



**Gambar 8. Diagram lengan penanam yang dimodifikasi oleh Khan dan Gunkel (1988).**

Gambar 9 menunjukkan beberapa tipe lengan penanam yang lain yang beberapa di antaranya memiliki prinsip mekanisme yang sama. Informasi tipe-tipe lengan penanam ini sangat sedikit sehingga konstruksi detailnya tidak diperoleh.

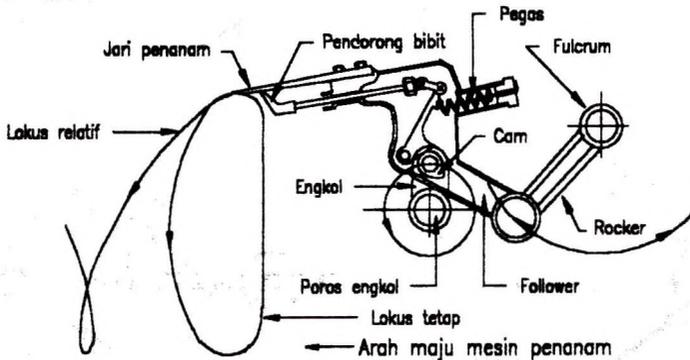


**Gambar 9. Diagram beberapa tipe lengan penanam (Kohnosuke, 1991).**

## KONSTRUKSI DAN MEKANISME

### Mekanisme Lengan Penanam

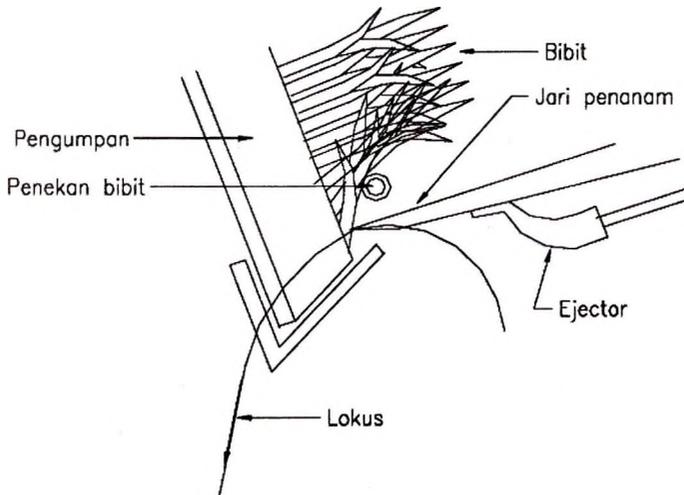
Konstruksi lengan penanam tipe empat batang kait bawah terdiri atas dua bagian utama, yaitu konstruksi empat batang kait (*four bar linkage*) dan jari penanam. Konstruksi empat batang kait digunakan untuk menghasilkan gerak sebagai yang berlaku dalam konstruksi empat batang kait dan kaidah yang berlaku juga sama dengan empat batang kait. Beberapa bagian komponen ditambahkan dalam konstruksi ini agar lengan penanam berfungsi optimal. Komponen tambahan terdiri atas nok (*cam*), pendorong bibit (*ejector*), dan pegas (Gambar 10). Istilah “bawah” dari kata-kata penamaan tipe empat batang kait bawah digunakan untuk menunjukkan bahwa posisi relatif dari poros engkol berada di bawah fulcrum.



**Gambar 10. Konstruksi lengan penanam tipe empat batang kait bawah.**

Mekanisme gerak lengan penanam ini tertumpu pada gerak poros engkol. Poros engkol dan fulcrum merupakan titik tetap atau tidak berpindah tempat. Poros engkol berputar, biasanya dengan kecepatan putar konstan, kemudian memutar engkol dan follower bergerak mengikuti engkol. Oleh karena ujung lain dari follower ini dikaitkan dengan salah satu ujung rocker, sementara ujung rocker lainnya sebagai titik tetap (fulcrum), maka rocker bergerak secara oskilasi. Lintasan ujung jari penanam akibat dari gerakan ini disebut lokus.

Mekanisme pengambilan bibit oleh jari penanam di pengumpan dapat dijelaskan sebagai berikut (Gambar 11). Pengumpan sebagai tempat meletakkan bibit dapat bergeser ke kanan dan ke kiri karena mekanisme ulir Nabia. Gerakan ujung jari penanam yang membentuk lokus mengambil bibit di pengumpan kemudian saat ujung jari mencapai titik minimum lokus, bibit dilepaskan karena didorong oleh pendorong bibit (*ejector*). Dengan demikian, jumlah bibit yang diambil dipengaruhi oleh kerapatan bibit, panjang geseran pengumpan, dan lebar jari penanam. Gerakan ejector disebabkan oleh mekanisme cam dan pegas. Posisi cam terhadap batang engkol adalah tetap tetapi berubah terhadap poros engkol sehingga gerakan ejector ditentukan oleh posisi cam terhadap poros engkol.



**Gambar 11. Mekanisme pengambilan bibit oleh jari penanam di pengumpan.**

Bentuk lokus terhadap mesin penanam disebut lokus tetap atau lokus absolut, lokus tetap adalah sama baik pada posisi mesin diam atau bergerak. Sedangkan bentuk lokus terhadap permukaan tanah disebut lokus relatif. Jika mesin penanam tidak bergerak maka bentuk lokus relatif sama dengan lokus tetap. Dengan demikian, bentuk lokus relatif sangat dipengaruhi oleh kecepatan mesin penanam. Kecepatan mesin penanam makin tinggi maka titik potong lokus makin rendah, bahkan titik potong lokus ini bisa berada di titik minimum lokus. Oleh karena itu rasio antara kecepatan mesin penanam dengan kecepatan putar lengan penanam menjadi pertimbangan dalam disain lengan penanam. Titik potong lokus yang terlalu rendah dapat mengakibatkan tanaman roboh atau terseret oleh jari penanam.

### **Jari Penanam**

Bagian lengan penanam yang berfungsi mengambil dan membawa bibit disebut jari penanam. Jari penanam pada lengan penanam buatan Jepang dibedakan atas dua tipe yaitu tipe batang dan tipe plat. Jari penanam tipe plat mempunyai lebar celah yang sama maupun tidak sama. Pada lebar celah yang tidak sama, celah di bagian ujung lebih sempit dibanding celah di bagian pangkal. Jari penanam tipe batang mempunyai lebar celah yang sama (Gambar 12).

Jari penanam Korea (baik versi Khan-Gunkel (1988) maupun versi aslinya) mirip tipe plat (*plate type*) tetapi celahnya mirip jari penanam IRR1 yang terdiri atas dua celah. Lebar celah jari penanam versi Khan-Gunkel (1988) lebih sempit dibanding versi aslinya (Gambar 13). Versi terakhir jari penanam buatan Korea sama dengan jari penanam tipe batang buatan Jepang.

kembali menurun sampai akhirnya mendekati konstan. Pola yang demikian adalah pola sebaran normal dengan persamaan berikut.

$$P = 1/(s \cdot \sqrt{2\pi}) \cdot e^{-1/2 \cdot (U_m - m)^2 / s^2} \quad \text{F-1}$$

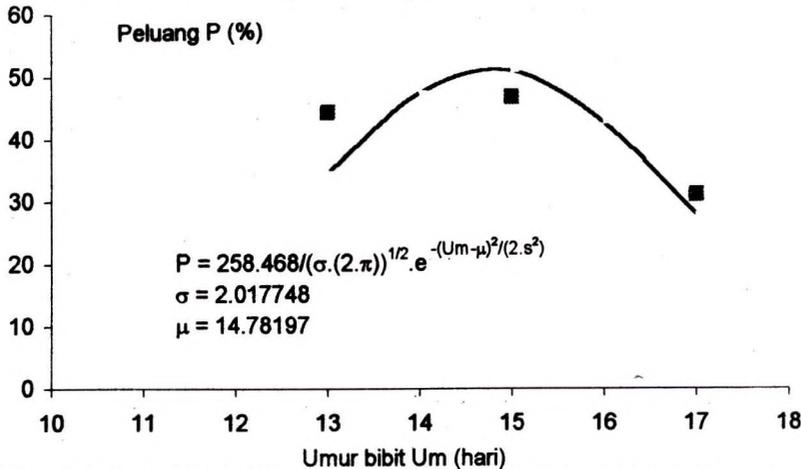
P = peluang pengambilan = P1 – P2 – P3 (%)

Um = umur bibit (hari)

s = simpangan baku (hari)

m = umur bibit rata-rata (hari)

Data hasil percobaan menunjukkan bahwa umur bibit rata-rata  $m = 14.78$  hari dan simpangan baku  $s = 2.018$  hari. Dari persamaan F-1, nilai maksimum P diperoleh dengan menurunkan persamaan tersebut terhadap Um sehingga  $dP/dU_m = 0$ . Penurunan tersebut menghasilkan P maksimum pada umur bibit Um = 14.78 hari yang dibulatkan menjadi 15 hari dengan nilai P maksimum = 51.10%. Persamaan yang tercantum dalam Gambar 33 merupakan modifikasi dari persamaan F-1. Persamaan F-1 didasarkan pada jumlah keseluruhan peluang = 1, sedang persamaan dalam Gambar 33 berdasarkan frekuensi masing-masing umur bibit dengan satuan persen (%).



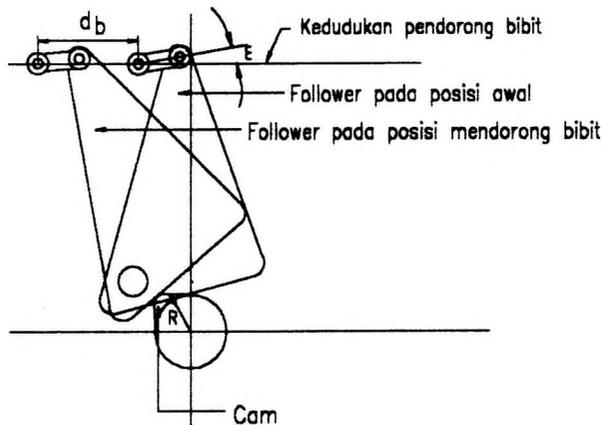
**Gambar 34.** Pola perubahan persentase rumpun hilang akibat dari perubahan luas pengambilan bibit pada masing-masing umur bibit (Astanto *et al.*, 1998b).

Pola perubahan persentase rumpun hilang terhadap luas pengambilan bibit secara implisit ditunjukkan oleh Gambar 31. Analisis dengan regresi juga menunjukkan bahwa makin besar luas pengambilan bibit makin kecil persentase rumpun hilang (Gambar 34).

melepaskan bibit di ujung jari penanam. Khan dan Gunkel (1988) melengkapi lengan penanam buatan Korea dengan pendorong bibit dalam penelitiannya, hasilnya bahwa pendorong bibit tersebut berfungsi dengan memuaskan. Pendorong bibit tersebut dibuat dari plat baja berpegas agar dapat kembali ke posisi yang sama seperti sebelum kontak dengan cam.

Mekanisme cam dan pendorong ada beberapa macam sebagai ditunjukkan dalam gambar lengan penanam sebelumnya. Diagram hubungan antara cam dengan pendorong bibit yang biasa digunakan di Jepang ditunjukkan oleh Gambar 14. Diagram ini menunjukkan bahwa hubungan antara cam dengan pendorong bibit merupakan fungsi geometris sehingga persamaannya dapat dijabarkan secara matematik.

Panjang langkah pendorong bibit ditentukan oleh nilai  $d_b$ . Nilai  $d_b$  merupakan fungsi parameter yang perlu dicari dan fungsi perubahan nilai sudut  $\epsilon$ . Perubahan nilai sudut  $\epsilon$  merupakan fungsi perubahan jari-jari cam ( $=R$ ). Dengan cara ini, nilai parameter dapat ditentukan secara matrik dengan input  $R$  pada nilai  $d_b$  tertentu.



**Gambar 14. Mekanisme cam dan pendorong bibit.**

### Pengambilan Jumlah Bibit Per Rumpun

Keragaman pengambilan jumlah bibit per rumpun pada mesin penanam padi belum dapat diatasi secara memuaskan. Mesin penanam buatan China memerlukan tiga orang dalam pengoperasiannya untuk memperoleh keseragaman pengambilan jumlah bibit per rumpun. Satu orang memegang kemudi dan dua orang mengumpahkan bibit ke lengan penanam (RNAM, 1983).

Khan dan Gunkel (1988) mengatasinya dengan memasang sisir kawat dan plat penekan bibit pada pengumpan (*seedling tray*) dan berhasil menurunkan pengambilan jumlah bibit maksimum per rumpun dari delapan menjadi empat. Percobaan tersebut menggunakan bibit akar cuci yang jipotong hingga tinggi batang menjadi 20 cm dan

panjang akar 2 cm. Pemotongan tanaman akan menjadikan tanaman rentan terhadap penyakit.

Mesin penanam buatan Jepang umumnya diberi pengatur kedalaman pengambil-bibit melalui pengumpan. Pengatur kedalaman pengambilan bibit berguna untuk menyesuaikan dengan umur bibit. Semakin tua umur bibit, semakin besar diameter bibit, maka semakin sedikit jumlah bibit per rumpun yang terambil oleh jari penanam. Semakin lebar celah penjepit (jari penanam), semakin banyak jumlah bibit/rumpun yang terambil. Umumnya, orang menginginkan pengambilan bibit/rumpun dalam jumlah tertentu dengan peluang yang sebesar-besarnya dan peluang bibit yang tak terambil sekecil-kecilnya, apabila benih disebar secara acak.

### Jarak Tanam Dalam Baris

Jarak tanam dalam baris ditentukan oleh rasio antara kecepatan maju mesin penanam dengan kecepatan putar lengan penanam. Hubungan tersebut telah dikenal pada mekanisme mesin yang membentuk lokus. Salah satu studi tentang lokus dari mekanisme gerak roda bajak juga menyatakan hal yang sama (Sakai *et al.*, 1987).

## KINEMATIKA LENGAN PENANAM

### Analisis Kinematika

Lengan penanam tipe empat batang kait bawah dapat digambarkan secara geometris sehingga lebih mudah dianalisis (Gambar 15). Analisis dilakukan untuk mendapatkan persamaan jarak titik lokus terhadap pusat poros engkol (L) yang diturunkan secara matematik. Buku ini tidak mencantumkan penjabaran persamaan-persamaan yang diperoleh, hanya hasil persamaannya yang dicantumkan. Persamaan yang diperoleh bisa berbeda dengan hasil penjabaran orang lain.

$$BO^2 = R_1^2 + R_2^2 - 2.R_1.R_2.\cos(\varphi - \beta) \quad A-1$$

$$\angle BO_2C = \cos^{-1}\left(\frac{BO^2 + R_4^2 - R_3^2}{2.BO_2.R_4}\right) \quad A-2$$

$$\angle BO_2O_1 = \cos^{-1}\left(\frac{BO^2 + R_1^2 - R_2^2}{2.BO_2.R_1}\right) \quad A-3$$

$$\angle O_1O_2C = \angle BO_2C \pm \angle BO_2O_1 \quad A-4$$

Tanda + digunakan jika  $n.\pi + \beta < j < m.\pi + \beta$

Tanda - digunakan jika  $m.\pi + \beta < j < n.\pi + \beta$

Keterangan : n = 1, 3, 5, 7, .....

m = 0, 2, 4, 6, 8, .....

$$\phi = -\left(\cos^{-1}\left(\frac{(R_1.\cos\beta - R_2.\cos\varphi - R_4.\cos(\beta + O_1O_2C))}{R_3}\right) - \pi + \varphi\right) \quad A-5A$$

jika  $\phi$  ada di kuadran III dan IV

$$\phi = \left( \cos^{-1} \left( \frac{(R1 \cdot \cos \beta - R2 \cdot \cos \phi - R4 \cdot \cos(\beta + \angle O1O2C))}{R3} \right) \right) + \pi - \phi$$

A-5B

jika  $\phi$  ada di kuadran I dan II

$$\angle ABO1 = \pi - \psi \pm \phi$$

A-6

Tanda - digunakan jika  $\phi > 0$

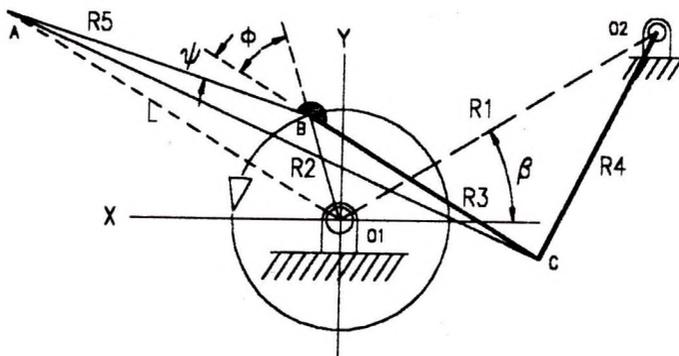
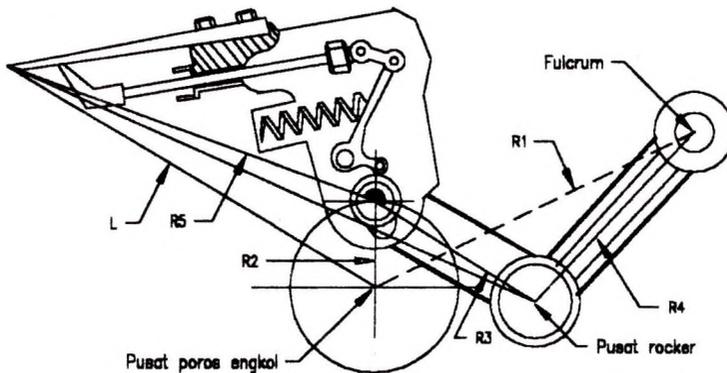
Tanda + digunakan jika  $\phi < 0$

$$L = f(\text{Benar}) = (R2^2 + R5^2 - 2 \cdot R2 \cdot R5 \cdot \cos(\angle ABO1))^{1/2}$$

A-7

$$O1C^2 = R1^2 + R4^2 - 2 \cdot R1 \cdot R4 \cdot \cos(\angle O1O2C)$$

A-8



Gambar 15. Diagram lengan penanam tipe empat batang kait bawah.

Dari persamaan A-7, parameter yang belum diketahui sebanyak tujuh, yaitu R1, R2, R3, R4, R5,  $\psi$ , dan  $\beta$ . Untuk penyelesaian matrik, nilai  $\phi$  dan L ditentukan lebih dahulu, yang dalam hal ini nilai L yang ditentukan disebut nilai yang sebenarnya = f (Benar).

Nilai parameter yang belum diketahui dicari secara coba-coba dengan matrik dari persamaan A-1 sampai A-7 oleh tujuh nilai masukan L dan  $\phi$  yang berbeda. Nilai L dari hasil masukan nilai coba-coba parameter disebut nilai coba-coba = f (Coba). Pada keadaan nilai coba-coba yang benar, maka f (Benar) = f (Coba).

Untuk menggambarkan gerak lokus relatif terhadap tanah (*ground*), posisi absis x terhadap perubahan t (sebagai akibat dari kecepatan mesin penanam) ditentukan melalui persamaan berikut.

Lokus tetap terhadap permukaan tanah :

$$\begin{aligned}x &= R2.\cos\phi + R5.\cos(\phi + \phi + \psi) & \text{A-9} \\y &= R2.\sin\phi + R5.\sin(\phi + \phi + \psi) & \text{A-10}\end{aligned}$$

Lokus relatif terhadap permukaan tanah :

$$\begin{aligned}x_{rel} &= R2.\cos\phi + R5.\cos(\phi + \phi + \psi) - v.t & \text{A-11} \\y_{rel} &= R2.\sin\phi + R5.\sin(\phi + \phi + \psi) & \text{A-12} \\\phi &= \omega.t & \text{A-13}\end{aligned}$$

Keterangan :  $v$  = kecepatan maju mesin penanam (m/s)

$t$  = waktu (s)

$\omega$  = kecepatan sudut lengan penanam (rad/s)

Lokus yang didapat dianalisis dengan komputer untuk mendapatkan jarak tanam dalam baris 20 cm dengan perubahan percepatan yang relatif kecil agar getaran (vibrasi) juga kecil. Analisis kecepatan lengan menggunakan komponen kecepatan nyata (arah sumbu x) dan komponen kecepatan khayal (arah sumbu y) berdasar Gambar 15. Persamaan yang berlaku sebagai berikut<sup>1</sup>.

$$\omega_3 = -R2.\sin(\pi+\beta+\angle O1O2C-\phi)/(R2.\sin(\beta+\angle O1O2C-\phi-\phi)) \quad \text{A-14}$$

$$\omega_4 = R2.\sin(\pi+\phi)/(R4.\sin(\phi+\phi-\beta-\angle O1O2C)) \quad \text{A-15}$$

$$v_x = -R2.\omega.\sin\phi - R5.\omega_3.\sin(\phi+\phi+\psi) \quad \text{A-16}$$

$$v_y = R2.\omega.\cos\phi + R5.\omega_3.\cos(\phi+\phi+\psi) \quad \text{A-17}$$

$$\alpha_3 = -R2.\omega^2/R3.((\sin(\beta+\angle O1O2C-\phi-\phi)).\cos(\pi+\beta+\angle O1O2C-\phi)).$$

$$\dots (\omega_4 - \omega) + \sin(\pi+\beta+\angle O1O2C-\phi).\cos(\beta+\angle O1O2C-\phi-\phi). \\ (\omega_4 - \omega_3)/(\sin(\beta+\angle O1O2C-\phi-\phi))^2 \quad \text{A-18}$$

$$a_x = -R2.\omega^2.\cos\phi - R5.\omega_3^2.\cos(\phi+\phi+\psi) - R5.\alpha_3.\sin(\phi+\phi+\psi) \quad \text{A-19}$$

$$a_y = -R2.\omega^2.\sin\phi - R5.\omega_3^2.\sin(\phi+\phi+\psi) + R5.\alpha_3.\cos(\phi+\phi+\psi) \quad \text{A-20}$$

Keterangan :

$\omega$  = kecepatan sudut poros engkol atau batang R2 (rad/s)

$\omega_3$  = kecepatan sudut batang R3 dengan pusat poros cam (rad/s)

$\omega_4$  = kecepatan sudut batang R4 dengan pusat fulcrum (rad/s)

$v_x$  = komponen kecepatan nyata lokus ujung R5 (mm/s)

$v_y$  = komponen kecepatan khayal lokus ujung R5 (mm/s)

$\alpha_3$  = percepatan sudut batang R3 (rad/s<sup>2</sup>)

<sup>1</sup> Penjabaran rumus-rumus diberikan oleh Martin (1992) : Kinematika dan Dinamika Teknik



Ke 7 persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk matrik berikut.

$$\{y\} = [C]' \{a\} \quad (\text{Pipes and Harvill, 1981})$$

$[C]' = \text{transpose matrik } [C]$

$$[C] = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial R1} & \frac{\partial f_2}{\partial R1} & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial R1} \\ \frac{\partial f_1}{\partial R2} & \frac{\partial f_2}{\partial R2} & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial R2} \\ \frac{\partial f_1}{\partial R3} & \frac{\partial f_2}{\partial R3} & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial R3} \\ \frac{\partial f_1}{\partial R4} & \frac{\partial f_2}{\partial R4} & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial R4} \\ \frac{\partial f_1}{\partial R5} & \frac{\partial f_2}{\partial R5} & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial R5} \\ \frac{\partial f_1}{\partial \psi} & \frac{\partial f_2}{\partial \psi} & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \psi} \\ \frac{\partial f_1}{\partial \beta} & \frac{\partial f_2}{\partial \beta} & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \end{pmatrix}$$

$$\{y\} = \begin{pmatrix} L1_{\text{benar}} - L1_{\text{coba}} \\ L2_{\text{benar}} - L2_{\text{coba}} \\ L3_{\text{benar}} - L3_{\text{coba}} \\ L4_{\text{benar}} - L4_{\text{coba}} \\ L5_{\text{benar}} - L5_{\text{coba}} \\ L6_{\text{benar}} - L6_{\text{coba}} \\ L7_{\text{benar}} - L7_{\text{coba}} \end{pmatrix} \quad \{a\} = \begin{pmatrix} \Delta R1 \\ \Delta R2 \\ \Delta R3 \\ \Delta R4 \\ \Delta R5 \\ \Delta \psi \\ \Delta \beta \end{pmatrix}$$

Dari persamaan  $\{y\} = [C]' \{a\}$ , dapat ditulis menjadi :

$$\{a\} = [[C]']^{-1} \{y\}$$

$[[C]']^{-1} = \text{inverse matrik } [C]'$

Dengan mengambil nilai  $L_{\text{benar}}$  berturut-turut 160.699 mm, 168.215 mm, 200.094 mm, 218.696 mm, 219.902 mm, 204.909 mm, dan 174.582 mm, pada nilai  $\phi$  berturut-turut  $0^\circ$ ,  $26^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $222.5^\circ$ ,  $270^\circ$ , dan  $318^\circ$ , kemudian diselesaikan dengan matrik, nilai parameter didapat sebagai berikut.

$$R1 = 135.7273513 \text{ mm}$$

$$R2 = 29.89975721 \text{ mm}$$

$$R3 = 80.2170455 \text{ mm}$$

$$R4 = 90.2034231 \text{ mm}$$

$$R5 = 190.540257 \text{ mm}$$

$$\psi = 17.35298954^\circ$$

$$\beta = 26.40882556^\circ$$

Nilai parameter yang didapat harus memenuhi ketentuan berikut agar gerakan lengan penanam tidak terkunci (Martin, 1992).

$$1. \quad R2 + R3 + R4 > R1 \rightarrow 29.89976 + 80.21705 + 90.20342 > 135.7274$$

$$2. \quad R2 + R1 + R4 > R3 \rightarrow 29.89976 + 135.7274 + 90.20342 > 80.21705$$

$$3. \quad R2 + R3 - R4 < R1 \rightarrow 29.89976 + 80.21705 - 90.20342 < 135.7274$$

$$4. \quad R3 - R2 + R4 > R1 \rightarrow 80.21705 - 29.89976 + 90.20342 > 135.7274$$

Dengan demikian, syarat tersebut telah dipenuhi oleh nilai parameter yang didapat.



Bentuk lokus pada saat mesin berjalan digambarkan sebagai bentuk lokus relatif terhadap permukaan tanah (digambar berdasar persamaan A-11 – A-13). Lokus relatif terhadap permukaan tanah terbentuk oleh kecepatan maju mesin penanam dan oleh putaran lengan penanam. Jarak tanam ditentukan oleh satu periode lengan penanam. Pada Gambar 17, satu periode ialah waktu yang diperlukan dari titik A ke titik B (satu putaran lengan penanam) dan jarak tanam yang dihasilkan sepanjang  $d$ . Hubungan antara  $d$ , kecepatan putar lengan penanam dan kecepatan maju mesin ditulis dalam persamaan berikut.

$$d = v/n \quad \text{B-1}$$

$d$  = jarak tanam (cm)

$v$  = kecepatan maju mesin (cm/s)

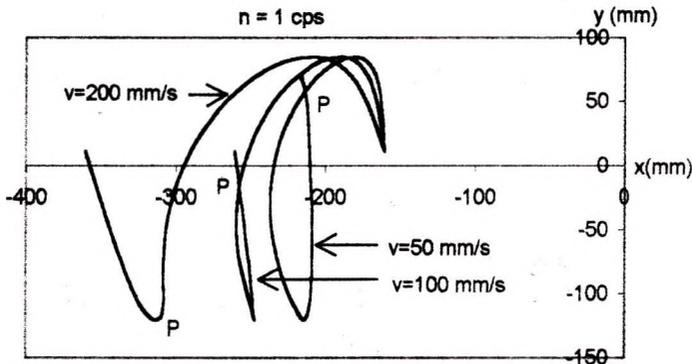
$n$  = jumlah putaran per satuan waktu (cps)

Oleh karena  $v/n$  juga memiliki satuan cm/putaran, maka perbandingan ini selanjutnya disebut rasio jarak tanam ( $\rho$ ), sehingga persamaan B-1 dapat ditulis menjadi persamaan berikut.

$$\rho = v/n \quad \text{B-2}$$

$\rho$  = rasio jarak tanam (cm/putaran)

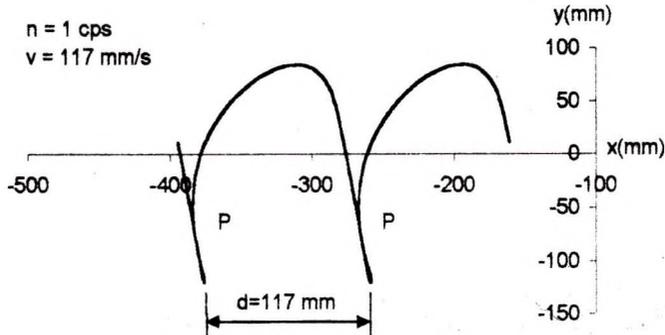
Dari persamaan B-2, jarak tanam  $d$  atau rasio jarak tanam  $\rho$  dapat diperlebar dengan meningkatkan nilai  $v$  (kecepatan maju mesin) atau menurunkan nilai  $n$  (kecepatan putar lengan penanam). Simulasi dengan komputer menunjukkan bahwa perubahan rasio jarak tanam  $\rho$  (dengan cara meningkatkan nilai  $v$  atau menurunkan nilai  $n$ ) mengakibatkan titik potong  $P$  dari lokus (Gambar 17) juga berubah. Makin besar nilai  $\rho$  makin dekat posisi titik  $P$  terhadap titik minimum lokus dan bahkan titik  $P$  bisa berada di titik minimum lokus (Gambar 18). Interpretasi terhadap gambar ini, jika posisi titik  $P$  terhadap titik minimum lokus dipertahankan tetap maka nilai rasio jarak tanam  $\rho$  juga harus dipertahankan tetap. Jika nilai rasio jarak tanam  $\rho$  tetap maka jarak tanam  $d$  juga tetap. Dengan demikian, jika posisi titik  $P$  dipertahankan tetap terhadap titik minimum lokus maka perubahan jarak tanam  $d$  hanya dapat dilakukan melalui perubahan nilai dimensi lengan penanam.



**Gambar 18.** Lokus relatif dengan dimensi lengan penanam  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5$ ,  $\psi$ , dan  $\beta$  berturut-turut 135.73 mm, 29.90 mm, 80.22 mm, 90.20 mm, 190.54 mm, 17.35°, 26.41° (angka dibulatkan sampai 2 desimal)

Kesimpulan ini tidak dapat diartikan bahwa jika  $v/n$  berubah maka posisi titik P terhadap titik minimum lokus berubah, karena ada cara membuat  $v/n$  berubah tetapi posisi titik P tetap<sup>1</sup>.

Analisis lokus relatif pada posisi titik P = 60 mm dari titik minimum lokus ujung jari penanam menunjukkan bahwa dari lengan penanam dengan dimensi yang telah didapat hanya dapat dioperasikan pada kecepatan 117 mm/s dan jarak tanam yang dibuat 117 mm (Gambar 19).



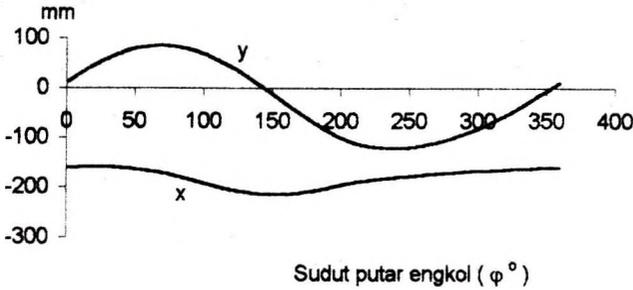
**Gambar 19.** Lokus relatif ujung jari penanam pada kecepatan maju mesin penanam  $v = 117$  mm/s dan kecepatan putar lengan penanam  $n = 1$  cps dengan dimensi lengan penanam R1, R2, R3, R4, R5,  $\psi$ , dan  $\beta$  berturut-turut 135.73 mm, 29.90 mm, 80.22 mm, 90.20 mm, 190.54 mm, 17.35°, 26.41° dengan tinggi titik P = 60 mm.

Dengan asumsi kedalaman pembenaman akar tanaman 3 cm, maka tinggi titik potong lokus (P) adalah 3 cm dari permukaan tanah. Mengingat tinggi bibit pada umur 15 hari adalah 16.5 cm, tinggi titik P 6 cm (=60 mm) dari titik minimum lokus dianggap optimum. Artinya, jarak tanam yang dapat dibuat lengan penanam yang bersangkutan maksimum dan tanaman tidak patah atau terseret oleh jari penanam. Namun demikian, jarak tanam 117 mm (= 11.7 cm) sementara ini tidak biasa dilaksanakan oleh petani Indonesia, jarak tanam yang masih umum digunakan antara 20 cm sampai 25 cm.

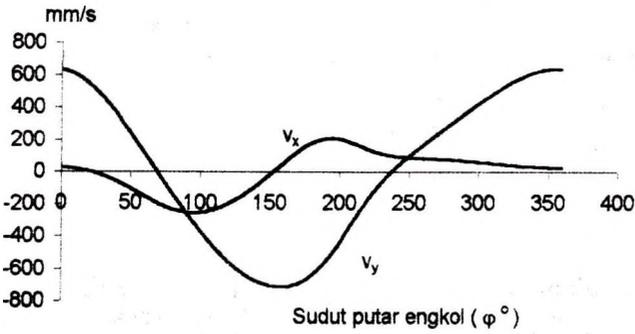
### Analisis Kecepatan dan Percepatan Lokus

Pola gerakan lokus ujung jari penanam berulang-ulang setiap menempuh satu kali putaran. Oleh karena perubahan sudut engkol ( $\varphi$ ) proporsional terhadap perubahan waktu, maka pola gerakan lokus terhadap perubahan sudut engkol adalah identik terhadap perubahan waktu. Kecepatan lokus selalu berubah pada perubahan sudut putar engkol (Gambar 20). Hal ini berarti gerakan lokus menimbulkan percepatan.

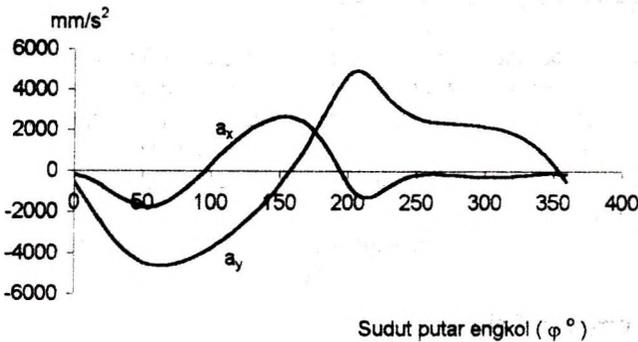
<sup>1</sup> Hal ini dibahas di bagian Kecembungan Lokus



← Gambar 20A  
Pola perubahan gerak lokus terhadap perubahan sudut poros engkol.



← Gambar 20B  
Pola perubahan kecepatan lokus terhadap perubahan sudut poros engkol.



← Gambar 20C  
Pola perubahan percepatan lokus terhadap perubahan sudut poros engkol.

Keterangan : Dimensi untuk R1, R2, R3, R4, R5,  $\psi$ , dan  $\beta$ , berturut-turut 135.73 mm, 29.90 mm, 80.22 mm, 90.20 mm, 190.54 mm, 17.35°, dan 26.41° pada kecepatan putar  $n = 1$  cps.

**Gambar 20.** Pola perubahan gerak, kecepatan, dan percepatan lokus terhadap perubahan sudut putar engkol (Astanto *et al.*, 1998b).

Gaya yang ditimbulkan oleh percepatan disebut gaya dinamis, sedang gaya yang disebabkan oleh gravitasi disebut gaya statis. Dengan demikian, saat lengan berputar timbul gaya dinamis dan gaya statis. Gaya dinamis menimbulkan torsi terhadap sumbu putarnya yang ditulis dalam persamaan berikut dengan asumsi arah resultante percepatan tegak lurus terhadap L (jarak dari pusat poros engkol ke ujung jari penanam).

$$\Gamma = F.L$$

B-3

$$\Gamma = \text{torsi (N.m)}$$

$$F = \text{gaya dinamis ujung jari penanam (N)}$$

$$L = \text{jarak dari pusat poros engkol ke ujung jari penanam (m)}$$

Pernyataan F.L adalah identik dengan dengan momen sehingga gerak putar lengan penanam menimbulkan gangguan keseimbangan. Semakin besar nilai percepatan semakin besar nilai gaya dinamis F sehingga makin besar pula torsi yang timbul. Untuk mengurangi gangguan keseimbangan tersebut, lengan penanam dapat diberi gaya pelawan terhadap gaya dinamis.

### PERBAIKAN LENGAN PENANAM

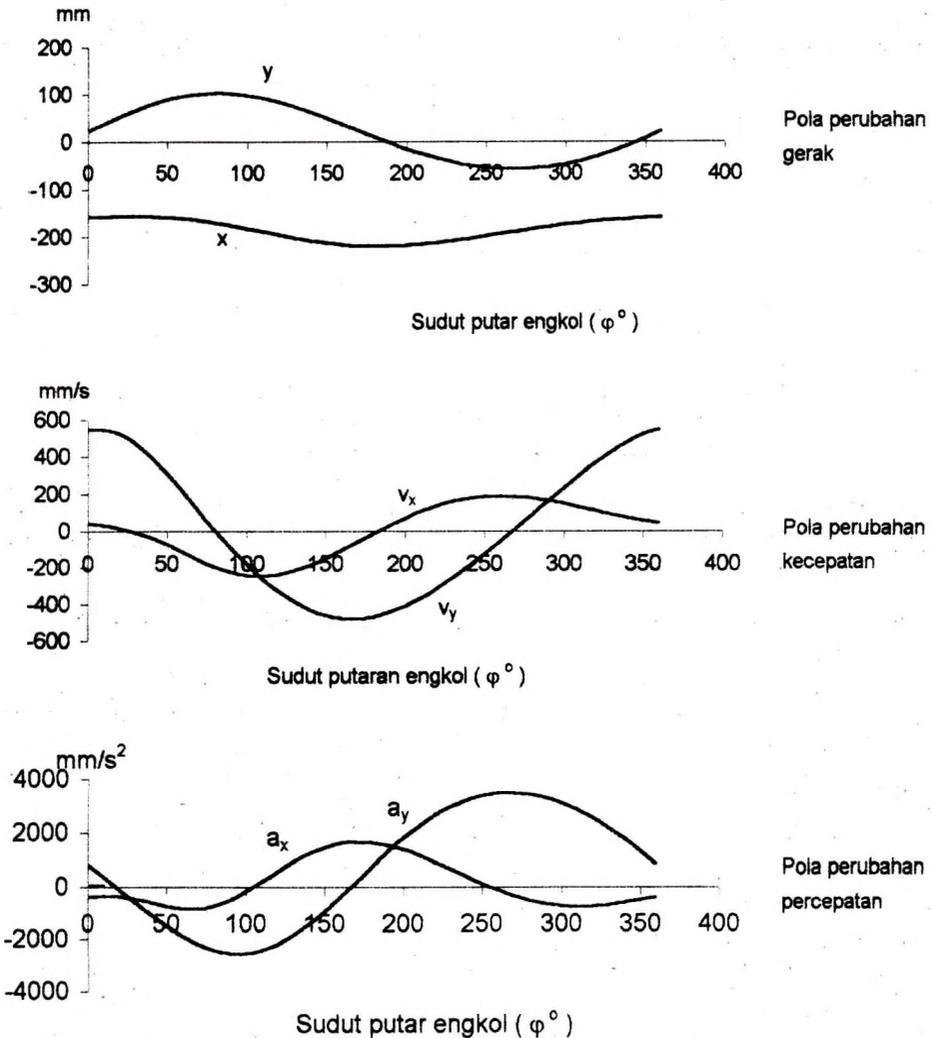
Perbaikan disain lengan penanam dilakukan dengan simulasi komputer untuk meningkatkan jarak tanam. Dengan mengubah dimensi R3 menjadi 119.05 mm, R4 menjadi 115.03 mm, dan  $\psi = 20^\circ$ , kecepatan sesaat pada lokus setelah dimensi lengan penanam diubah lebih kecil dibanding sebelum diubah. Hal ini berarti panjang lintasan lokus setelah dimensi lengan penanam diubah lebih kecil dibanding sebelum diubah karena ke duanya diputar dengan dengan kecepatan putar yang sama ( $n = 1$  cps) Gambar 21.

Perubahan percepatan setelah perubahan nilai R3, R4, dan  $\psi$  lebih kecil dibanding sebelum perubahan R3, R4, dan  $\psi$ . Berdasar persamaan B-3, gaya dinamis dari lengan penanam kedua (setelah R3, R4, dan  $\psi$  diubah) lebih kecil dibanding lengan penanam pertama (sebelum R3, R4, dan  $\psi$  diubah) sehingga gangguan keseimbangan pada lengan penanam lebih kecil dengan asumsi gaya statis sama.

Simulasi di komputer menunjukkan bahwa dengan membuat tinggi titik potong lokus P sebesar 60 mm, jarak tanam d yang dibuat oleh lokus tersebut 13.1 cm. Dengan demikian secara keseluruhan lengan penanam ini lebih baik dibanding lengan penanam sebelumnya. Perbedaan yang menonjol antara dimensi lengan penanam pertama dengan lengan penanam kedua ialah pada lengan penanam pertama  $R3 < R4$  sedang pada lengan penanam kedua  $R3 > R4$ . Hal ini sesuai dengan persyaratan konstruksi empat batang kait R2 < R4 < R3 < R1 (Artobolevsky, 1991).

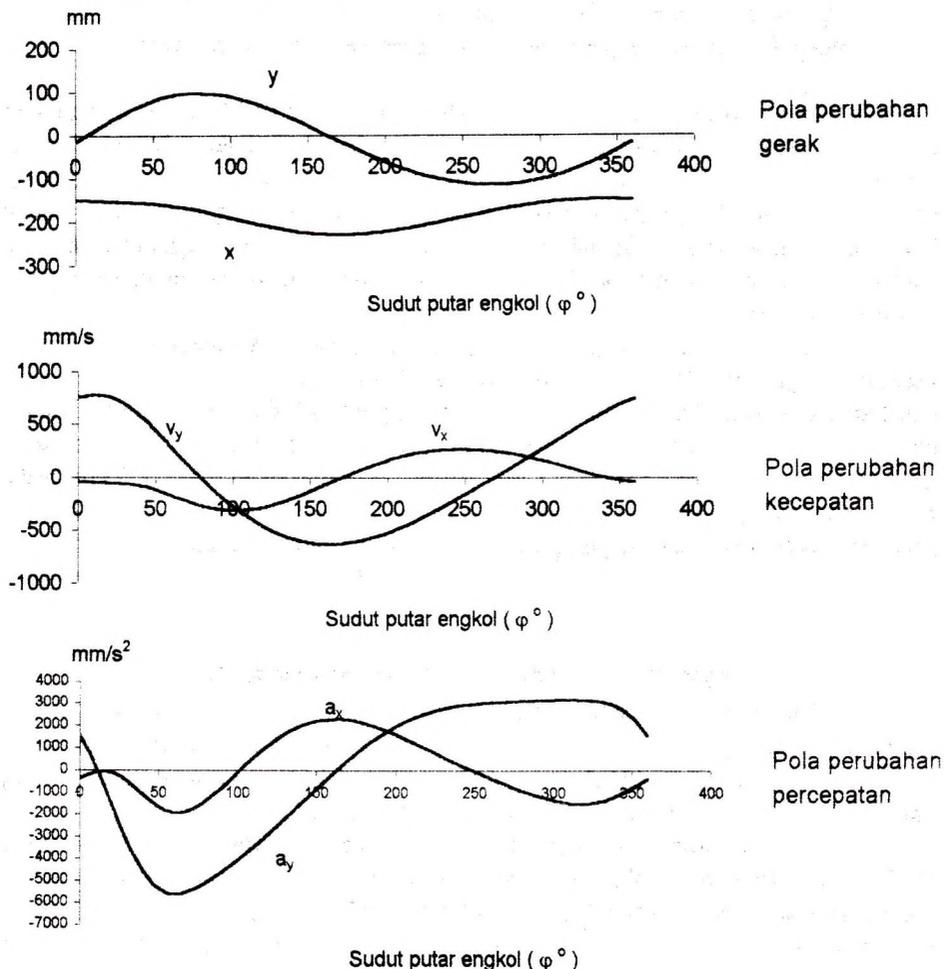
Dengan mengubah nilai parameter R1, R2, R3, R4, R5,  $\psi$ , dan  $\beta$  berturut-turut menjadi 135.75 mm, 40 mm, 119.8 mm, 115.05 mm, 190 mm,  $30^\circ$ , dan  $26.46^\circ$ , kecepatan maksimum lokus lengan penanam ketiga (setelah R1, R2, R3, R4, R5,  $\psi$ , dan  $\beta$  diubah) relatif lebih besar dibanding lengan penanam pertama maupun lengan penanam kedua

(Gambar 22). Hal ini berarti panjang lintasan lengan penanam ketiga lebih besar dibanding pertama maupun kedua, karena ke tiganya menggunakan kecepatan putar lengan penanam  $n = 1$  cps.



**Gambar 21.** Perubahan gerak, kecepatan, dan percepatan lokus lengan penanam dengan perubahan R3, R4, dan  $\psi$  berturut-turut menjadi 119.05 mm, 115.03 mm, dan  $20^\circ$  pada kecepatan putar engkol  $n = 1$  cps. (Astanto *et al.*, 1998b)

Pola perubahan percepatan lengan penanam ketiga sebagai akibat perubahan nilai  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $\psi$ , dan  $\beta$  sama dengan lengan penanam pertama dan kedua tetapi memiliki simpangan maksimum (*amplitudo*) yang lebih besar dibanding lengan penanam kedua. Percepatan tidak dapat dihilangkan sepenuhnya dengan cara yang sederhana oleh karena efek dari kopel getar dari batang  $R_3$  dan batang  $R_4$  (Persamaan A-19 dan A-20). Kopel getar disebabkan oleh perubahan percepatan sudut batang  $R_3$  dan batang  $R_4$  (Martin, 1992).



**Gambar 22.** Perubahan gerak, kecepatan, dan percepatan dengan perubahan  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $\psi$ , dan  $\beta$  berturut-turut menjadi 135.75 mm, 40 mm, 119.8 mm, 115.05 mm, 190 mm,  $30^\circ$ , dan  $26.46^\circ$  pada kecepatan putar lengan penanam 1 cps. (Asatanto *et al.*, 1998b)

Torsi yang timbul pada gerak putar lengan penanam dapat pula ditulis dalam persamaan berikut.

$$\sum \Gamma = I \cdot \alpha_L \quad \text{C-1}$$

$$I = \sum m \cdot r_R^2 \quad \text{C-2}$$

$I = \text{momen inersia (kg.m}^2\text{)}$

$\alpha_L = \text{percepatan sudut batang } L \text{ (rad/s}^2\text{)}$

$m \cdot r_R^2 = \text{momen inersia masing-masing komponen lengan penanam}$

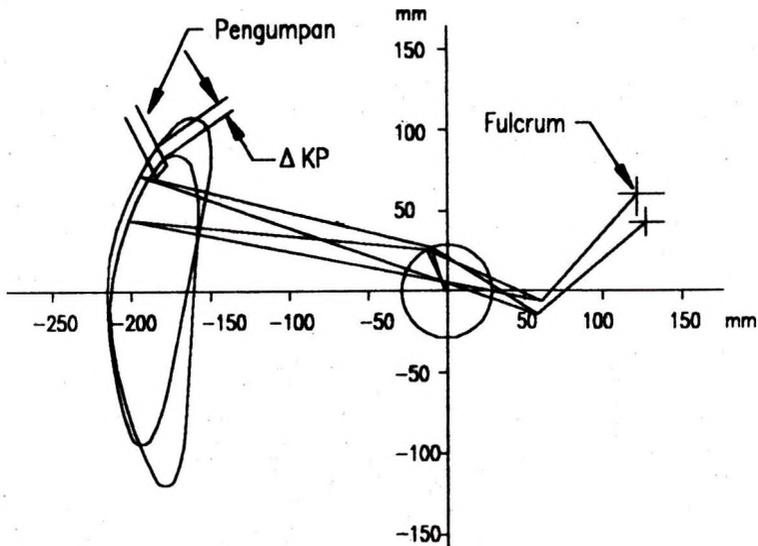
Berdasar persamaan C-1 dan C-2, salah satu cara yang praktis untuk mengurangi torsi ialah dengan meredam atau mengurangi momen inersia dengan melubangi batang-batang lengan penanam atau memilih bahan yang ringan. Cara lain yaitu menggantung batang R3 dan R4 dengan pegas seperti yang dilakukan pada lengan penanam buatan Korea untuk melawan gaya dinamis, yakni sebagai peredam kejut. Lengan penanam tipe planet menggunakan sistem beban berimbang, yaitu dengan memasang jari penanam pada posisi yang berlawanan.

Lengan penanam Jepang yang dioperasikan pada jarak tanam 15 cm dengan kecepatan maju mesin 59 cm/s (Kohnosuke, 1991) berarti memiliki kecepatan putar  $\approx 4$  cps. Lengan penanam ketiga pada tinggi titik potong lokus (titik P) terhadap titik minimum lokus sebesar 60 mm, dapat dioperasikan pada jarak tanam  $\approx 19.4$  cm dan kecepatan maju mesin  $v \approx 194$  mm/s pada  $n = 1$  cps. Apabila  $n$  ditingkatkan menjadi 3 cps, maka mesin penanam dapat dioperasikan pada kecepatan 0.582 m/s. Kecepatan ini sama dengan kecepatan mesin penanam yang dioperasikan di Jepang (untuk tipe jalan).

### PERUBAHAN POSISI FULCRUM ROCKER

Perubahan fulcrum (titik tumpu) ujung tetap rocker (R4) secara vertikal mengakibatkan perubahan posisi lokus secara longitudinal sehingga pengaturan kedalaman pengambilan bibit pada pengumpan ( $\Delta$ KP merupakan perubahan kedalaman pengambilan bibit) dapat dilakukan melalui pengaturan posisi fulcrum (Gambar 23).

Oleh karena perubahan posisi lokus terjadi secara longitudinal, maka titik ekstrim (maksimum dan minimum) lokus juga berubah. Perubahan posisi fulcrum yang lebih rendah dibanding posisi awalnya mengakibatkan titik minimum lebih tinggi dibanding titik minimum awal, di samping itu posisi lokus menjadi miring. Hal ini perlu dipertimbangkan karena perubahan titik minimum mengakibatkan perubahan kedalaman pembedaan bibit. Berdasar kelemahan ini, sebagian mesin penanam padi sawah tidak menggunakan metode ini, tetapi menggunakan perubahan posisi pengumpan untuk pengaturan kedalaman pengambilan bibit.



**Gambar 23. Pengaturan kedalaman pengambilan bibit pada pengumpan melalui pengaturan fulcrum (titik tumpu) rocker.**

### CAM

Gambar 24 merupakan diagram geometris Gambar 14 yang merupakan hubungan antara cam dengan follower pada pendorong bibit. Dengan menggunakan gambar tersebut, persamaan-persamaan yang berlaku sebagai berikut.

$$AB = q/\sin\gamma$$

$$AE = r.q/((R+r).\sin\gamma)$$

$$CE^2 = ((r.q/((R+r).\sin\gamma))^2 - r^2)$$

$$\angle CAE = \cos^{-1}((r^2 + AE^2 - CE^2)/(2.r.AE)) = \cos^{-1}((R+r).\sin\gamma/q)$$

$$\angle FAG = \pi/2 - \gamma - \angle CAE$$

$$AF = j.\cos(\eta + \angle FAG)$$

$$HK = k.\sin\epsilon$$

$$HJ = k.\cos\epsilon$$

$$FH = b - q$$

$$FK = (j^2 - AF^2)^{1/2}$$

$$KH = FK - b + q$$

$$HI = AF.KH/KF$$

$$HI = (k.\sin\epsilon.\cos(\eta + \angle FAG))/\sin(\eta + \angle FAG)$$

$$\epsilon = \sin^{-1}(\tan(\eta + \angle FAG).(AF.(j^2 + AF^2)^{1/2} - b + q)/(k.(j^2 + AF^2)^{1/2}))$$

$$AM = q.\cos\gamma/\sin\gamma$$

$$MF = q.\cos\gamma/\sin\gamma - j.\cos(\eta + \angle FAG)$$

$$ML = MF + HJ$$



$$R = A + B.\theta + C.\theta^2 + D.\theta^3 + E.\theta^4 + F.\theta^5$$

$$\partial R/\partial \theta = 0 + B + 2.C.\theta + 3.D.\theta^2 + 4.E.\theta^3 + 5.F.\theta^4$$

Keadaan yang diinginkan sebagai berikut.

Pada  $\theta_1 = 30^\circ$ ,  $R_1 = 8$

$$\partial R_1/\partial \theta_1 = 0$$

Pada  $\theta_2 = 90^\circ$ ,  $R_2 = 11.5$

$$\partial R_2/\partial \theta_2 = 0$$

Pada  $\theta_3 = 150^\circ$ ,  $R_3 = 8$

$$\partial R_3/\partial \theta_3 = 0$$

Nilai parameter diselesaikan dengan matrik berikut.

$$\begin{vmatrix} \theta_1^0 + \theta_1 + \theta_1^2 + \theta_1^3 + \theta_1^4 + \theta_1^5 \\ 0 + 1 + 2.\theta_1 + 3.\theta_1^2 + 4.\theta_1^3 + 5.\theta_1^4 \\ \theta_2^0 + \theta_2 + \theta_2^2 + \theta_2^3 + \theta_2^4 + \theta_2^5 \\ 0 + 1 + 2.\theta_2 + 3.\theta_2^2 + 4.\theta_2^3 + 5.\theta_2^4 \\ \theta_3^0 + \theta_3 + \theta_3^2 + \theta_3^3 + \theta_3^4 + \theta_3^5 \\ 0 + 1 + 2.\theta_3 + 3.\theta_3^2 + 4.\theta_3^3 + 5.\theta_3^4 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 8 \\ 0 \\ 11.5 \\ 0 \\ 8 \\ 0 \end{vmatrix}$$

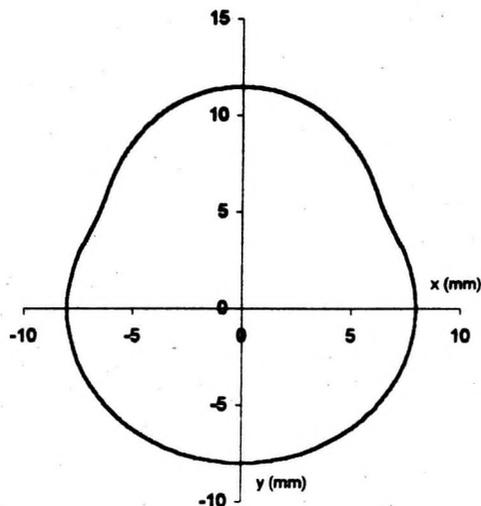
Dengan membuat inverse matrik pertama kemudian dikalikan matrik ketiga menghasilkan matrik kedua. Perhitungan ini menghasilkan nilai-nilai parameter sebagai berikut.

$$A = 13.46875 \text{ mm} \quad D = -18.28662 \text{ mm}$$

$$B = -25.0669 \text{ mm} \quad E = 2.910406 \text{ mm}$$

$$C = 36.7036 \text{ mm} \quad F = 3.55E-15 \text{ mm}$$

Bentuk kontur cam yang didapat sebagai berikut (Gambar 25)



Gambar 25. Kontur Cam.

Persamaan kontur Cam :

$$R = 13,47 + 25,07.\theta + 36,70.\theta^2 - 18,29.\theta^3 + 2,91.\theta^4 + (3,55E-15).\theta^5 \quad D-2$$

Untuk menyelesaikan persamaan D-1, nilai R didapat dengan memasukkan nilai  $\theta$  tertentu (Persamaan D-2) kemudian dipasangkan pada nilai  $ML_{data}$ . Tabel 7 menunjukkan ringkasan pasangan nilai tersebut.

**Tabel 7. Pasangan nilai R dengan  $ML_{data}$ .**

$\theta$ (derajat)	R (mm)	$ML_{data}$ (mm)
30	8	16.8
50	9.08	24.5
60	9.969	33.2
70	10.765	44.2
90	11.5	
	8.7	

Persamaan D-1 diselesaikan dengan matrik berikut.

$$\begin{array}{ccccc}
 \frac{\partial ML_1}{\partial h} & \frac{\partial ML_1}{\partial \alpha} & \frac{\partial ML_1}{\partial r} & \frac{\partial ML_1}{\partial \beta} & \frac{\partial ML_1}{\partial c} \\
 \frac{\partial ML_2}{\partial h} & \frac{\partial ML_2}{\partial \alpha} & \frac{\partial ML_2}{\partial r} & \frac{\partial ML_2}{\partial \beta} & \frac{\partial ML_2}{\partial c} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \frac{\partial ML_5}{\partial h} & \frac{\partial ML_5}{\partial \alpha} & \frac{\partial ML_5}{\partial r} & \frac{\partial ML_5}{\partial \beta} & \frac{\partial ML_5}{\partial c}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 * \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \Delta q \\
 \Delta \gamma \\
 \Delta r \\
 \Delta \eta \\
 \Delta j
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 R1_{ht} - R1_{data} \\
 R2_{ht} - R2_{data} \\
 R3_{ht} - R3_{data} \\
 R4_{ht} - R4_{data} \\
 R5_{ht} - R5_{data}
 \end{array}$$

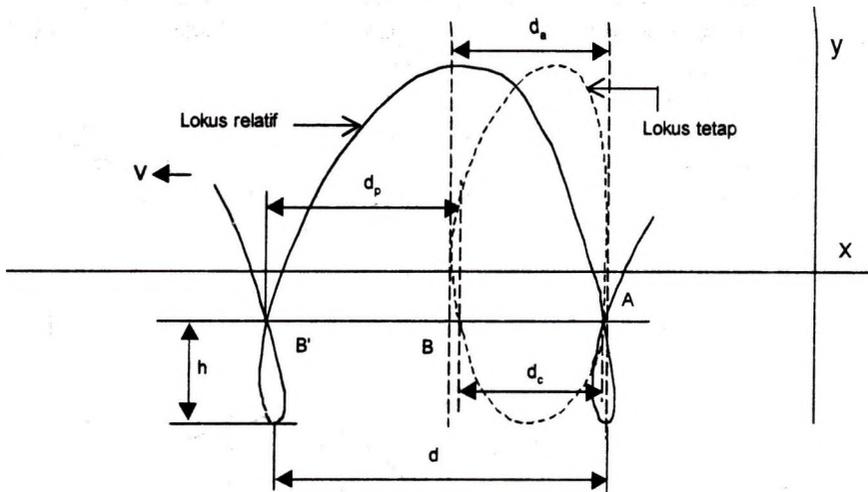
Nilai k dan a telah ditentukan sebelumnya ( $k = 12.8$  mm dan  $b = 91.1$  mm), sehingga nilai parameter yang dicari  $q, \gamma, r, \eta,$  dan  $j$ . Dengan membuat inverse matrik pertama yang kemudian dikalikan matrik ketiga menghasilkan matrik kedua. Parameter  $q, \gamma, r, \eta,$  dan  $j$  dicari dengan cara coba-coba sehingga menghasilkan matrik kedua mendekati 0 (nol).  $ML_{ht}$  adalah nilai  $ML$  hasil perhitungan dari Persamaan D-1,  $ML_{data}$  adalah nilai  $ML$  pada Tabel 7. Perhitungan ini menghasilkan nilai parameter sebagai berikut (bilangan nilai disederhanakan).

$$\begin{array}{lll}
 q = 9.7 \text{ mm} & r = 7.2 \text{ mm} & j = 82.5 \text{ mm} \\
 \gamma = 30.4^\circ & \eta = 53.5^\circ &
 \end{array}$$

Nilai parameter yang didapat boleh berbeda dari perhitungan yang satu dengan yang lain. Namun demikian, satu hal yang perlu diperhatikan ialah sudut antara *poros pendorong bibit* dengan *batang kait* (pada Gambar 24 =  $\epsilon$ ) perlu diusahakan sekecil-kecilnya agar gaya yang diperlukan untuk menggerakkan pendorong bibit sekecil-kecilnya.

### KECEMBUNGAN LOKUS

Definisi kecebungan lokus dibuat berdasar perjanjian : jarak antara absis maksimum dengan absis minimum pada lokus tetap yang ditunjukkan sebagai amplitudo horisontal  $d_a$  (Gambar 26). Jarak horisontal antara dua titik yang terletak di lintasan lokus yang saling berpotongan apabila mesin penanam berjalan dengan kecepatan  $v$  diberi notasi  $d_c$ . Untuk memudahkan perhitungan, koordinat titik potong lokus relatif diukur dari titik minimum lokus, yaitu setinggi  $h$ .



Gambar 26. Kedudukan titik potong lokus relatif terhadap titik minimum lokus.

Hubungan antara jarak tanam dengan amplitudo horisontal lokus dapat didekati secara matematik seperti berikut.

$$d = v/n$$

Karena  $n = 1/T$  ( $T$  = periode dengan satuan s), maka

$$d = v.T$$

Padahal  $T = 2.\pi/\omega$  ( $\omega$  = kecepatan sudut dengan satuan rad/s)

$$d = 2.\pi.v/\omega$$

Pembilang dan penyebut dikalikan dengan bilangan yang sama, misal  $d_s$

$$d = 2 \cdot v / (\omega \cdot d_s) \cdot \pi \cdot d_s$$

Besaran  $2 \cdot v / (\omega \cdot d_s)$  diberi notasi  $\lambda$

$$d = \lambda \cdot \pi \cdot d_s$$

E-1

Jika  $\lambda$  dibuat konstan (pada kondisi yang ditentukan) berarti  $d$  merupakan fungsi linier terhadap  $d_s$  (kecembungan lokus). Dengan kata lain, makin cembung suatu lokus maka lengan penanam dapat dioperasikan pada jarak tanam yang makin besar. Masalah berikutnya, cara membuat  $\lambda$  berada pada kondisi yang ditentukan.

Pada kasus  $d_s$  meningkat, maka  $v$  juga harus meningkat secara proporsional terhadap  $d_s$  agar  $\lambda$  dapat dibuat konstan dan  $\omega$  dijaga konstan. Kondisi ini menguntungkan karena peningkatan nilai  $v$  berarti peningkatan kapasitas kerja mesin.

Masalah berikutnya lagi, peningkatan nilai  $v$  dan  $d_s$  secara proporsional agar  $\lambda$  dapat dibuat konstan membawa konsekuensi perubahan tinggi titik potong lokus ( $h$ ). Jika  $h$  dipertahankan konstan maka tinggi lokus (pada Gambar 27 adalah  $h_L$ ) harus dijaga konstan. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Jika  $h = h_L$  maka  $v = 0$ , yang berarti  $\lambda = 0$

Jika  $h = 0$  berarti titik potong lokus terjadi saat  $t = T/2$  sehingga  $v \approx \omega \cdot d_s / 2$ . Dengan demikian,  $\lambda = 1$ . Uraian yang lebih singkat hubungan antara  $h$ ,  $h_L$ , dan  $\lambda$  sebagai berikut.

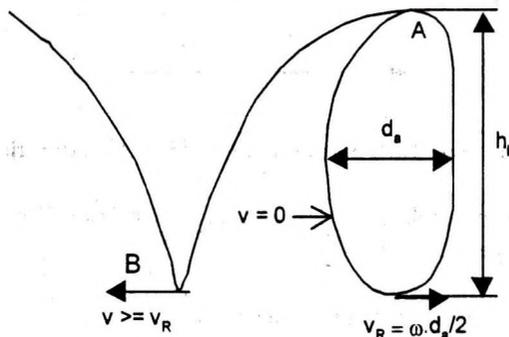
Jika  $v = 0 \Rightarrow h = h_L$  dan  $\lambda = 0$  sehingga boleh ditulis  $h = h_L \cdot (1 - \lambda)$

Jika  $v = \omega \cdot d_s / 2 \Rightarrow h = 0$  dan  $\lambda = 1$  sehingga boleh ditulis  $h = h_L \cdot (1 - \lambda)$

Persamaan umum yang diperoleh :

$$h \approx h_L \cdot (1 - \lambda)$$

E-2



Gambar 27. Lokus relatif pada  $v = 0$  mm/s dan  $v \approx \omega \cdot d_s / 2$ .

Dari persamaan E-2, jika  $h$  dan  $\lambda$  dipertahankan konstan maka  $h_L$  juga harus dibuat konstan. Sebaliknya, jika  $\lambda$  dibuat konstan tetapi  $h_L$  berubah maka  $h$  juga berubah. Persamaan ini juga dapat dipakai menjelaskan bahwa persamaan E-1 menjadi linier hanya apabila  $h$ ,  $\lambda$ , dan  $h_L$  dibuat konstan.

Pendekatan nilai  $v \approx \omega \cdot d / 2$  berlaku jika  $h = 0$  dapat dijelaskan sebagai berikut (Gambar 28).

$$\mathfrak{R} = 1/\kappa = ds/d\Omega = (ds/dt)/(d\Omega/dt)^1$$

$$= v_R / (d\Omega/dt), \text{ sehingga}$$

$$v_R = \mathfrak{R} \cdot (d\Omega/dt)$$

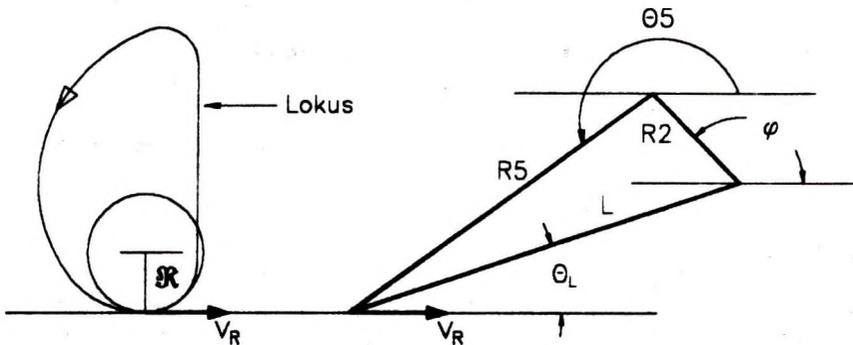
$\mathfrak{R}$  = jari-jari kelengkungan pada titik minimum lokus

$\kappa$  = kelengkungan pada titik minimum lokus

$ds/dt$  = kecepatan tangensial lokus

$\Omega$  = sudut yang dibentuk oleh  $v_R$  dengan sumbu  $x$

$t$  = waktu



**Gambar 28. Kelengkungan pada titik minimum lokus.**

Pada titik minimum lokus :  $\theta_5$  dan  $\theta_L$  mencapai titik ekstrim, sehingga

$$d\theta_5/dx = 0 \text{ dan } v_R = v_x$$

$$dx/dt = -R_2 \cdot \omega \cdot \sin\phi - R_5 \cdot d\theta_5/dt \cdot \sin\theta_5$$

$$v_x = -R_2 \cdot \omega \cdot \sin\phi - R_5 \cdot d\theta_5/dt \cdot \sin\theta_5$$

$$d\theta_5/dx = (d\theta_5/dt)/(dx/dt)$$

$$0 = (d\theta_5/dt)/(dx/dt), \text{ sehingga } d\theta_5/dt = 0$$

$$v_x = -R_2 \cdot \omega \cdot \sin\phi, \text{ di samping itu } v_x = \mathfrak{R} \cdot (d\Omega/dt)$$

<sup>1</sup> Thomas (1961) : Calculus and Analytic Geometry, halaman 589

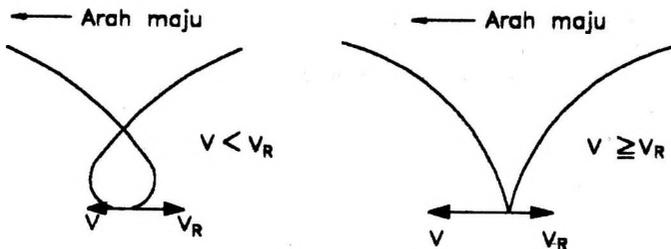
Dengan demikian :  $d\Omega/dt = \omega$

$$\mathfrak{R} = -R2 \cdot \sin\phi$$

$$v_x = \mathfrak{R} \cdot \omega$$

Jika  $\mathfrak{R}$  didekati dengan  $d_a/2$  maka :  $v_x = v_R = d_a \cdot \omega/2$

Arah vektor  $v_R$  ke kanan, sedang arah vektor  $v$  (kecepatan maju mesin) ke kiri (Gambar 29). Dengan demikian, agar  $h = 0$  maka syarat yang perlu dipenuhi ialah  $v \geq v_R$  sehingga nilai minimum  $v \approx d_a \cdot \omega/2$  dan  $d_a = 2 \cdot \mathfrak{R}$



**Gambar 29.** Arah vektor kecepatan  $v_R$  dan vektor kecepatan  $v$ .

Dari persamaan  $\mathfrak{R} = -R2 \cdot \sin\phi$ , apabila  $\phi = 2\pi/3$  maka  $\mathfrak{R} = R2$  dan dari persamaan  $d_a = 2 \cdot \mathfrak{R}$  maka  $d_a \approx 2 \cdot R2$ .

Persamaan  $h \approx h_L \cdot (1 - \lambda)$  yang boleh ditulis menjadi  $h \approx (1 - 2 \cdot v/(\omega \cdot d_a)) \cdot h_L$  memiliki makna sebagai berikut. Apabila hasil perhitungan nilai  $h$  dari persamaan tersebut lebih besar dari nilai  $h$  yang ditentukan maka perubahan jarak tanam dapat dilakukan dengan mengubah nilai  $v$  atau  $\omega$  dengan batas  $h \geq h_{\text{yang ditentukan}}$ . Sebaliknya apabila  $h < h_{\text{yang ditentukan}}$  maka perubahan jarak tanam dilakukan dengan meningkatkan nilai  $d_a$  atau  $h_L$  agar nilai  $h$  meningkat. Meningkatkan nilai  $d_a$  atau  $h_L$  berarti mengubah dimensi lengan penanam. Meningkatkan nilai  $d_a$  dapat dilakukan dengan meningkatkan nilai  $R2$  (panjang engkol) berdasar pendekatan  $d_a \approx 2 \cdot R2$ . Hasil perhitungan ini adalah hasil pendekatan sehingga masih perlu dihaluskan melalui simulasi lokus dari dimensi lengan penanam yang telah didapat.

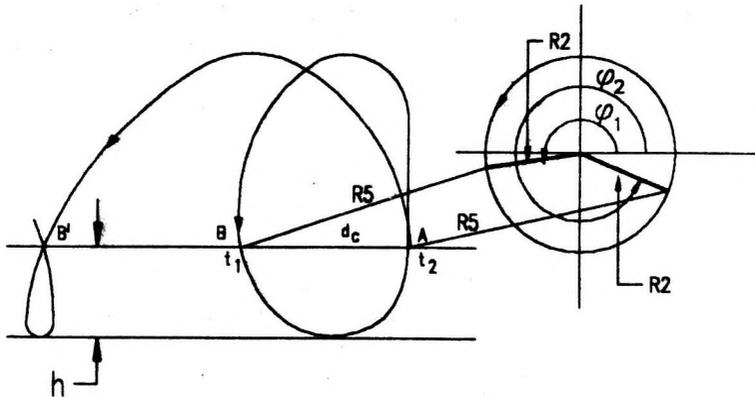
Pada lokus yang telah diketahui, agar lokus relatif berpotongan setinggi  $h$  maka nilai kecepatan  $v$  dapat dihitung dengan mengambil dua titik setinggi  $h$  dari titik minimum (Gambar 30). Oleh karena poros engkol diputar dengan kecepatan sudut tetap maka besar sudut poros engkol ( $\phi$ ) berbanding lurus dengan waktu. Misalnya waktu gerak titik lokus dari titik B ke titik A adalah  $t_1$  ke  $t_2$  sehingga waktu yang diperlukan  $t_2 - t_1$ . Jika mesin penanam bergerak maju dengan kecepatan  $v$ , pada saat  $t_1$  titik B mencapai titik  $B^1$  dan dalam selang waktu  $(t_2 - t_1)$  titik A juga mencapai titik  $B^1$ . Dengan demikian, kecepatan maju mesin dapat ditulis dalam persamaan berikut.

$$v = d_c / (t_2 - t_1)$$

$$d = d_c / (n \cdot (t_2 - t_1))$$

E-3.

E-4



**Gambar 30.** Perhitungan nilai kecepatan  $v$  untuk membuat tinggi titik potong lokus relatif =  $h$  dari titik minimum lokus pada lokus yang telah diketahui.

**Tabel 8.** Jarak tanam dari lengan penanam hasil simulasi pada  $h = 60$  mm dan  $\omega = 2 \cdot \pi$  rad/s

$H_L$ (mm)	$\varphi_1$ (derajat)	$\varphi_2$ (derajat)	$d_a$ (mm)	$d_c$ (mm)	$d = v/n$ (mm)	$d = d_c / (n \cdot (t_2 - t_1))$ (mm)
205.706	175.73	316.80	55.333	45.227	115.316	115.415
229.991	177.23	313.19	59.342	45.501	120.460	120.479
159.099	185.49	346.84	62.500	59.060	131.651	131.773
185.809	191.72	341.74	73.572	67.512	161.866	162.007
211.893	195.71	339.43	80.226	75.234	188.294	188.451
237.773	199.22	336.81	90.419	83.043	217.271	217.279

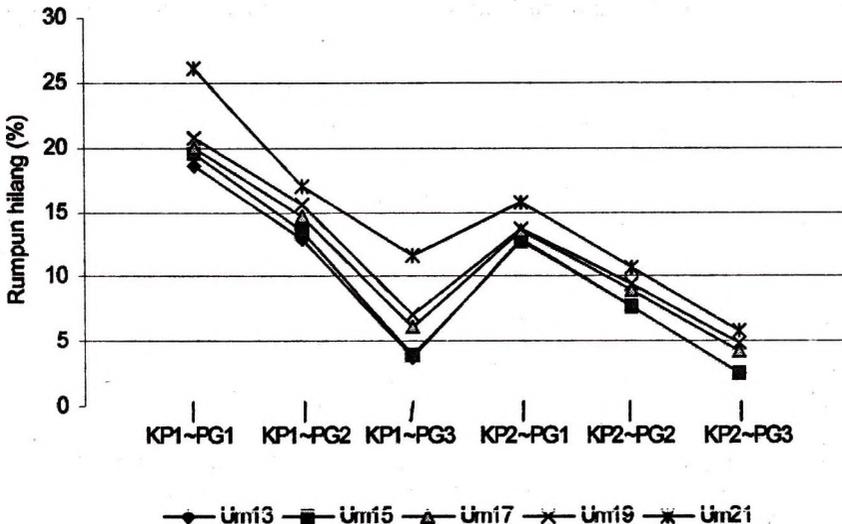
Keterangan : Nilai  $v$  dari persamaan  $d = v/n$  didapat dari simulasi pada tinggi titik potong lokus relatif setinggi 60 mm dari titik minimum lokus.

Simulasi terhadap enam pasang dimensi lengan penanam pada nilai  $h = 60$  mm dan nilai  $\omega = 2 \cdot \pi$  rad/s ( $n = 1$  cps), jarak tanam yang dihitung berdasar persamaan E-4 sangat dekat terhadap jarak tanam yang dihitung berdasar persamaan  $d = v/n$  (Tabel 8).

Dari Tabel 8, makin cembung suatu lokus maka mesin penanam dapat dioperasikan pada jarak tanam yang makin besar. Demikian pula makin tinggi suatu lokus maka mesin penanam dapat dioperasikan pada jarak tanam yang makin besar.

## PELUANG PENGAMBILAN JUMLAH BIBIT PER RUMPUN

Hasil pengujian sidik ragam peluang persentase rumpun hilang ( 0 tanaman/rumpun) menunjukkan bahwa antar level lebar celah jari penanam (LC) tidak berbeda nyata dan LC juga tidak berinteraksi dengan faktor lainnya. Hal ini berarti bahwa persentase rumpun hilang tidak peka terhadap perubahan lebar celah jari penanam (LC) pada variabel LC 5 mm sampai 7 mm. Khan dan Gunkel (1988) juga melaporkan bahwa lebar celah tidak mempengaruhi persentase rumpun hilang. Hasil pengujian ini juga menunjukkan bahwa persentase rumpun hilang dipengaruhi oleh kedalaman pengambilan bibit (KP) dan panjang geseran pengumpan (PG) serta interaksi antara KP dengan PG. Dengan demikian, persentase rumpun hilang dapat ditentukan melalui perubahan KP dan PG atau ke duanya. Pola perubahan persentase rumpun hilang pada masing-masing umur bibit (Um) yang disebabkan oleh perubahan interaksi KP~PG ditunjukkan oleh Gambar 31. Sidik ragam umur bibit (Um) berinteraksi dengan KP~PG. Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa makin tua umur bibit makin tinggi persentase rumpun hilang. Persentase rumpun hilang terendah dicapai pada kombinasi perlakuan KP1~PG3~Um15, atau KP1~PG3~Um13, atau KP2~PG3~Um13, atau KP2~PG3~Um15 sebagai ditunjukkan oleh Tabel 9. Gambaran umum persentase rumpun hilang yang rendah pada setiap umur bibit dicapai pada kombi-



Keterangan : KP1 = 10 mm, KP2 = 15 mm, PG1 = 5.92 mm, PG2 = 7.55 mm, PG3 = 9.96 mm  
Um : umur bibit

**Gambar 31.** Pola kecenderungan perubahan KP~PG terhadap perubahan persentase rumpun hilang pada tiap umur bibit rata-rata dari enam ulangan. (Astanto *et al.*, 1998b)

nasi kedalaman pengambilan bibit (KP) dan panjang geseran pengumpan (PG) 10 mm~9.96 mm, 15 mm~7.55 mm, dan 15 mm~9.96 mm. Hasil uji ini masih perlu digabungkan dengan persentase jumlah rumpun (2, 3, dan 4 tanaman/rumpun) yang tertinggi

**Tabel 9. Persentase rumpun hilang pada umur bibit 13, 15, 17, 19, dan 21 hari (data diurutkan)**

Perlakuan	Rata-rata (%)	
KP1~PG1~Um21	26.00	a
KP1~PG1~Um19	20.67	b
KP1~PG1~Um17	20.00	b
KP1~PG1~Um15	19.50	b
KP1~PG1~Um13	18.50	bc
KP1~PG2~Um21	17.00	c
KP2~PG1~Um21	15.67	d
KP1~PG2~Um19	15.50	de
KP1~PG2~Um17	14.67	de
KP2~PG1~Um19	13.67	ef
KP1~PG2~Um15	13.50	efg
KP2~PG1~Um17	13.50	efg
KP1~PG2~Um13	12.83	fg
KP2~PG1~Um13	12.83	fgh
KP2~PG1~Um15	12.67	fgh
KP1~PG3~Um21	11.67	gh
KP2~PG2~Um21	10.67	ghi
KP2~PG2~Um19	9.50	ij
KP2~PG2~Um17	9.00	jk
KP2~PG2~Um13	7.67	kl
KP2~PG2~Um15	7.67	klm
KP1~PG3~Um19	7.00	lm
KP1~PG3~Um17	6.17	mn
KP2~PG3~Um21	5.83	mno
KP2~PG3~Um19	4.83	no
KP2~PG3~Um17	4.17	o
KP1~PG3~Um15	4.00	op
KP1~PG3~Um13	3.83	op
KP2~PG3~Um13	2.50	p
KP2~PG3~Um15	2.50	p

Sumber : Astanto *et al.* (1998b)

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata pada taraf  $\alpha = 5\%$  menurut DMRT

dan dengan mempertimbangkan persentase jumlah 1 tanaman/rumpun. Penanaman 1 tanaman/rumpun memiliki resiko membentuk rumpun hilang karena gangguan hama. Pada pihak lain, persentase pengambilan bibit yang lebih besar dari 4 tanaman/ rumpun berarti pemborosan. Khan dan Gunkel (1988) menyatakan bahwa lebar celah jari penanam (LC) tidak mempengaruhi persentase rumpun hilang tetapi berpengaruh terhadap persentase jumlah tanaman/rumpun. Percobaan Khan dan Gunkel (1988) hanya dilakukan pada satu umur bibit (35 hari dengan varietas Labelle).

Nilai rata-rata persentase jumlah 2, 3, dan 4 tanaman/rumpun terbesar didapat pada interaksi KP1~PG2~Um15, KP1~PG3~Um13, KP1~PG3~Um15, KP2~PG1~Um17, KP2~PG2~Um13, KP1~PG2~Um13, KP2~PG2~Um15, KP1~PG1~Um17, KP2~PG1~Um13, dan KP1~PG2~Um17 pada nilai LC = 5 mm (= LC1) sebagai ditunjukkan oleh Tabel 10.

**Tabel 10. Persentase jumlah 2, 3, dan 4 tanaman/rumpun pada umur bibit 13, 15, dan 17 hari pada lebar celah jari penanam 5 mm (LC1) dan 7 mm (LC2)**

Perlakuan	LC1	LC2
KP1~PG1~Um13	47,33 cdef	48,00 abc
KP1~PG2~Um13	55,67 abc	57,00 a
KP1~PG3~Um13	59,00 a	47,67 abc
KP2~PG1~Um13	53,33 abcd	54,00 ab
KP2~PG2~Um13	57,00 abc	48,33 ab
KP2~PG3~Um13	31,67 g	23,33 d
KP1~PG1~Um15	48,67 bcde	46,00 abc
KP1~PG2~Um15	60,00 a	57,00 a
KP1~PG3~Um15	59,00 ab	46,33 abc
KP2~PG1~Um15	44,67 def	43,33 bc
KP2~PG2~Um15	55,67 abcd	44,67 bc
KP2~PG3~Um15	38,67 f	40,33 c
KP1~PG1~Um17	55,00 abcd	54,33 a
KP1~PG2~Um17	52,67 abcde	39,00 c
KP1~PG3~Um17	43,00 ef	44,67 bc
KP2~PG1~Um17	58,00 ab	41,33 c
KP2~PG2~Um17	42,67 ef	38,00 c
KP2~PG3~Um17	15,33 h	16,33 e

Sumber : Astanto *et al.* (1998b)

Keterangan : Angka yang diikuti huruf sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf  $\alpha = 0.05$  menurut uji jarak berganda Duncan (DMRT)

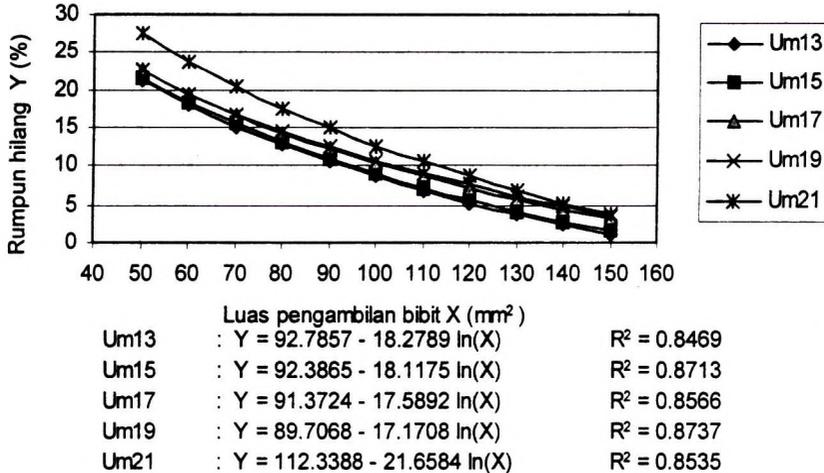
Hasil uji ini (Tabel 10) disilangkan dengan hasil uji yang disajikan dalam Tabel 9 berturut-turut diambil nilai persentase jumlah 2, 3, dan 4 tanaman/rumpun tertinggi dan persentase rumpun hilang terendah. Uji silang ini menghasilkan nilai optimum pada interaksi KP1~PG3~Um15 dan KP1~PG3~Um13 (Gambar 32) yang berarti untuk menda-patkan persentase rumpun hilang terendah dengan persentase jumlah 2, 3, dan 4 tanaman/ rumpun tertinggi dicapai pada kedalaman pengambilan bibit (KP) = 10 mm, panjang geseran pengumpan (PG) = 9.96 mm, umur bibit 13 hari atau 15 hari. Dalam percobaan ini, persentase rumpun hilang dan persentase jumlah 2, 3, dan 4 tanaman/ rumpun berturut-turut 4.00% dan 59.00% pada umur bibit 15 hari atau 3.83% dan 59.00% pada umur bibit 13 hari.

Persentase jumlah 2, 3, dan 4 tanaman per rumpun	Persentase rumpun hilang			
	KP1~PG3~Um15 4,00%	KP1~PG3~Um13 3,83%	KP2~PG3~Um15 2,50%	KP2~PG3~Um13 2,50%
KP1~PG2~Um15 60,00%				
KP1~PG3~Um13 59,00%				
KP1~PG3~Um15 59,00%				
KP2~PG1~Um17 58,00%				
KP2~PG2~Um13 57,00%				
KP1~PG2~Um13 55,67%				
KP2~PG2~Um15 55,67%				
KP1~PG2~Um17 55,00%				
KP2~PG1~Um13 53,33%				
KP1~PG2~Um17 52,67%				

**Gambar 32.** Uji silang persentase rumpun hilang dan persentase jumlah 2, 3, dan 4 tanaman/rumpun untuk mendapatkan nilai optimum.

Persentase 1 tanaman/rumpun juga perlu dipertimbangkan untuk menghindari rumpun hilang saat pertumbuhan tanaman akibat tekanan lingkungan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa persentase 1 tanaman/rumpun pada KP1~PG3~Um13 dan LC1 sebesar 10.7% dan pada KP1~PG3~Um15 dan LC1 sebesar 8.3%. Dengan menjadikan  $P = (\text{peluang 2, 3, dan 4 tanaman/rumpun} - \text{peluang 1 tanaman/rumpun} - \text{peluang rumpun hilang})$  sebagai ukuran, maka  $P = f(\text{umur bibit})$  perlu dicari lebih dahulu untuk

menentukan P maksimum. Gambar 33 menunjukkan persamaan P yang didapat dengan menurunkan secara induksi menurut prosedur kuadrat terkecil (*least square*) dari data yang diperoleh (umur bibit 13, 15, dan 17 hari).



**Gambar 33. Pengaruh umur bibit Um terhadap pola perubahan peluang pengambilan bibit optimum P pada KP1~PG3 (Astanto *et al.*, 1998b)**

$$P_n = P1 - P2 - P3$$

$P1$  = peluang pengambilan bibit 2, 3, 4 tanaman/rumpun (%)

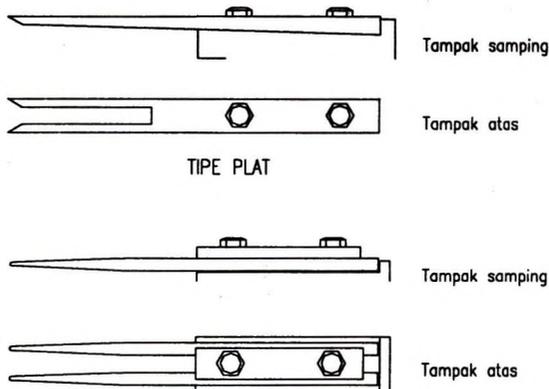
$P2$  = peluang pengambilan bibit 1 tanaman/rumpun (%)

$P3$  = peluang rumpun hilang (%)

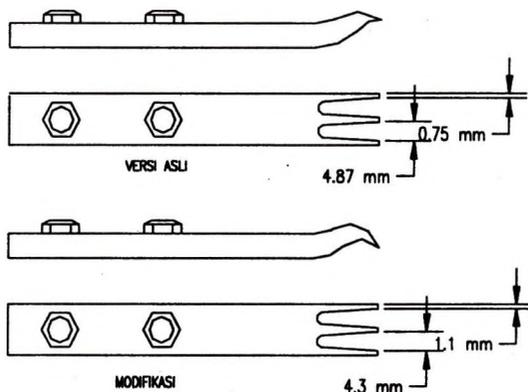
$P_n$  = peluang pengambilan bibit optimum pada umur bibit n (%)

Nilai  $P_n$  untuk umur bibit 13 hari dan 15 hari menurut data berturut-turut  $P_{13} = 44.3\%$  dan  $P_{15} = 46.7\%$ . Menurut Gambar 33, nilai maksimum P yang diturunkan secara matematik didapat pada umur bibit 14.78 hari ( $\gg$ N15 hari) dengan  $P_{15} = 51.10\%$ .

Persamaan pada Gambar 33 adalah bagian dari kurva sebaran normal. Pemilihan kurva sebaran normal didasarkan pada asumsi berikut. Pada umur bibit yang muda, persentase rumpun hilang rendah tetapi pengambilan jumlah bibit/rumpun cenderung tinggi karena diameter batang bibit yang masih kecil. Pada umur bibit yang makin tua, diameter batang bibit makin besar sehingga persentase rumpun hilang meningkat tetapi jumlah bibit/rumpun menurun. Di samping itu laju peningkatan diameter batang bibit makin tua makin rendah dan pada umur tertentu konstan. Dengan demikian pola perubahan pengambilan jumlah bibit/rumpun akan meningkat dan setelah mencapai maksimum



**Gambar 12. Jari penanam tipe plat dan tipe batang.**



**Gambar 13. Jari penanam modifikasi Khan dan Gunkel (1988).**

Jari penanam IRR1 memiliki bentuk setengah elip, tanpa perlengkapan pendorong bibit. Tanpa pendorong bibit dan celah yang dibuat terlalu dalam maka bibit sulit terlepas. Agar bibit mudah lepas, celah jari penanam dibuat dangkal dan bagian ujung dibuat lebih lebar dibanding pada bagian pangkal.

### Cam (Nok) dan Pendorong Bibit

Cam dan pendorong bibit merupakan bagian dari lengan penanam. Cam berfungsi untuk menggerakkan pendorong bibit dan pendorong bibit berfungsi

Persamaan yang dipilih fungsi logaritma dengan asumsi makin tua umur bibit diameter batang makin besar yang akhirnya konstan.

### JARAK TANAM

Hasil percobaan lapang untuk menentukan jarak tanam dalam baris ditunjukkan oleh Tabel 11. Kemudian dari data yang didapat, jarak tanam teoritis dihitung berdasar hasil pengukuran kecepatan maju mesin penanam dan kecepatan putar lengan penanam yang menggunakan persamaan G-1 – G-3.

Perhitungan kecepatan maju mesin.

$$v = d_r / t_r \quad \text{G-1}$$

$v$  = kecepatan maju mesin penanam (m/s)  
 $d_r$  = jarak tempuh roda berputar 10 kali (m)  
 $t_r$  = waktu tempuh roda berputar 10 kali (s)

Kecepatan putar lengan penanam.

$$n = N / t_p \quad \text{G-2}$$

$n$  = kecepatan putar lengan penanam (cps)  
 $N$  = jumlah putaran lengan penanam selama  $t$  satuan waktu  
 = 20 kali (dalam pengamatan ini)  
 $t_p$  = waktu lengan penanam berputar  $N$  kali (s)

Perhitungan jarak tanam teoritis oleh lengan penanam.

$$d_t = 100.v/n \quad \text{G-3}$$

$d_t$  = jarak tanam teoritis dalam baris tanaman (cm)

Percobaan lapang dilakukan dengan mesin penanam yang dirancang untuk jarak tanam dalam baris sebesar 19.4 cm. Hasil percobaan di lapangan tidak tepat seperti dalam rancangan (Tabel 12) karena faktor slip roda dan slip sabuk yang menghubungkan lengan penanam.

Istilah yang digunakan dalam Tabel 12 didefinisikan sebagai berikut.

1. Jarak tanam lapang = jarak tanam dalam baris hasil pengukuran antar rumpun tanaman di lapang.
2. Jarak tanam teoritis = jarak tanam dalam baris hasil perhitungan berdasar persamaan G-3 dengan data yang disajikan dalam Tabel 11.
3. Jarak tanam rata-rata = jumlah jarak tanam keseluruhan sampel dibagi dengan banyaknya sampel.
4. Simpangan baku = simpangan jarak tanam terhadap nilai jarak tanam rata-rata yang dihitung berdasar simpangan baku sampel (Beers, 1962).

**Tabel 11. Jarak tanam teoritis dalam baris tanaman sebagai interaksi antara kecepatan maju mesin penanam dengan kecepatan putar lengan penanam.**

Pengamatan lapang			Perhitungan		Jarak
Waktu putar roda 10 x $t_r$ (s)	Jarak tempuh roda berputar 10 x $d_r$ (m)	Waktu putar lengan penanam 20 x $t_p$ (s)	Kecepatan maju mesin penanam $v$ (m/s)	Kecepatan putar lengan penanam $n$ (cps)	tanam $d_t$ (cm)
58.57	16.90	13.53	0.288544	1.4782	19.520
60.59	15.25	13.97	0.251692	1.4316	17.581
62.66	17.50	14.66	0.279285	1.3643	20.477
58.81	16.80	14.22	0.285666	1.4065	20.311
59.78	17.20	14.09	0.287722	1.4194	20.270
58.40	16.78	15.10	0.287329	1.3245	21.693
60.63	17.50	17.08	0.288636	1.1710	24.650

Sumber : Astanto *et al.*, (1998b)

Slip yang terjadi pada roda berkaitan dengan tanah, sedang slip pada lengan penanam berkaitan dengan sabuk transmisi. Oleh karena itu, antara slip roda dengan slip lengan penanam adalah independen. Data pada Tabel 11 menunjukkan bahwa pada kecepatan maju mesin yang relatif sama ( $\approx 0.288$  m/s) tetapi waktu yang diperlukan oleh lengan penanam untuk berputar 20 kali bisa 13.53 s dan 17.08 s. Hal tersebut mengakibatkan jarak tanam yang berbeda (Tabel 12).

**Tabel 12. Jarak tanam rata-rata dan simpangan baku**

Keterangan	Rata-rata (cm)	Simpangan baku (cm)
Jarak tanam lapang	20.74	
Jarak tanam teoritis	20.64	1.8724
Jarak tanam rancangan	19.40	2.1157

Sumber : Astanto *et al.* (1998b)

## PENUTUP

Teknologi telah berkembang sedemikian pesat, sehingga kita akan semakin ketinggalan jika kemampuan yang dimiliki tidak terus dikembangkan mengikutinya. Pemanfaatan komputer untuk menunjang kemudahan proses teknologi juga telah meluas. Oleh karena itu, disain alat dan mesin pertanian tidak lepas dari perkembangan teknologi. Pemanfaatan teknologi sebagai sarana untuk meningkatkan kesejahteraan dan budaya manusia merupakan kebutuhan manusia dan bangsa agar tidak ketinggalan terhadap bangsa lain. Ekses dari teknologi kadang-kadang mengakibatkan pengangguran yang dapat menimbulkan krisis sosial, namun Inggris dan Jepang yang pernah mengalami hal tersebut dapat keluar karena penanganannya yang berada dalam satu sistem.

Buku ini memuat banyak rumus matematika, sebagian orang mungkin tidak tertarik dengan rumus-rumus. Tanpa rumus matematika, disain lengan penanam dapat juga diselesaikan dengan cara coba-coba tetapi sering memerlukan waktu yang lebih lama apalagi tanpa bantuan komputer. Oleh karena itu, penggunaan rumus matematik dan komputer tetap disarankan agar proses disain berlangsung secara sistematis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akita, S. 1992.** Direct rice seeding culture in the United State. Farming Japan 26-1. Farming Japan Co. Ltd. Tokyo. p.20-26
- Artobolevsky, I.I. 1991.** Mechanisms in Modern Engineering Design (paper for a lecture in Farm Machinery Design Course). TIATC – JICA. Tsukuba. 82p.
- Astanto dan E.Eko Ananto . 1994.** Alat Penanam Padi Sebar Langsung Sederhana. Buletin Teknik Sukamandi . Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukamandi. p 21.
- Astanto, M. Djojmartono, E. N. Sembiring, Radite P.A.S., dan E. Eko Ananto. 1998a.** Pengujian Mesin Penanam Padi Sawah. Seminar PERTETA Yogyakarta, 27 - 28 Juli 1998. 13 p.
- Astanto, M.Djojmartono, E N. Sembiring, Radite P.A.S., dan E. Eko Ananto. 1998b.** Rekayasa Fungsional Lengan Penanam Tipe Empat Batang Kait Bawah Untuk Padi Sawah. Tesis Magister Sains. Institut Pertanian Bogor. 87 p.
- Beers, Y. 1962.** Theory of Error. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 2<sup>nd</sup> ed. Massachusetts. 66p.
- Indrasari, S.D. 1994.** Participation of Indonesian women in farming system and its impact on nutritional status of preschool children. Reflektor 7(1-2). Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukamandi. p.11-17.
- Katoh, T. 1984.** Farm Machinery Design Part 1 : rice transplanter. TIATC. Tsukuba. 48 p.
- Khan, A.S. and W.W. Gunkel. 1988.** Design and development of a 6 row Korean transplanter. AMA Vol. 19-1. Farm Mchinery Industrial Research Corp. Tokyo. p.27-34.
- Kohnosuke, T. 1991.** Rice Transplanter. Institute of Agricultural Machinery. Ohmiya. 38p.
- Martin, G.H. 1992.** (Terjemahan). Kinematika dan Dinamika Teknik. Edisi kedua. Penerbit Erlangga. Jakarta. 499p.
- Pipes and Harvill. 1981.** Applied Mathematics For Engineers and Physicists. McGraw Hill International Book Company. 3rd edition. Tokyo. 1015p.
- RNAM. 1983.** Testing, Evaluation and Modification of Rice Transplanter. Technical Series No. 13. ESCAP and RNAM. Bangkok. 62p.

- Sakai, J., T. Kishimoto, and S. Phongsupasamit. 1987.** A study on engineering design theories of iron wheels for plowing. AMA Vol. 18-4. Farm Machinery Industrial Research Corp. Tokyo. p.11-18.
- Thomas, G.B. 1961.** Calculus and Analytic Geometry. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 3<sup>rd</sup> ed. MasDAFTAR PUSTAKA
- TIATC. 1988.** Rice transplanters. Farm Machinery. Vol. II. JICA. Tsukuba. p.155-162.
- Washio, O. 1992.** Direct rice seeding culture in Japan : its technical outlook. Farming Japan 26-1. Farming Japan Co. Ltd. Tokyo. p.11-19
- White, B. 1985.** Women and the modernization of rice agriculture : some general issues and a Javanese case study. Women in Rice Farming. International Rice Research Institute – Gower Publishing Company Limited. Aldershot.

## Lampiran 1. Ringkasan hasil uji alat penanam oleh RNAM (1983)

### 1. Annapurna 77

Mesin ini dikembangkan oleh India kemudian diuji di Indonesia, Iran, Pakistan, Korea, dan Sri Lanka.

#### Aspek tanaman

Mesin ini memerlukan lapisan pembibitan yang seragam untuk ditempatkan di pengumpan bibit. Hasil di Indonesia, Korea, dan Sri Lanka menunjukkan bahwa mesin ini memerlukan tenaga yang besar untuk penyiapan bibit.

#### Aspek mesin

Mesin terlalu berat sehingga operator cepat lelah. Jari penanam (*planting finger*) sering melukai tanaman dan pengumpan tidak berjalan sempurna.

#### Aspek lapangan

Kapasitas mesin hanya 0.007 sampai 0.02 ha/jam dan rumpun hilang (*missing hills*) mencapai 30%. Hal ini disebabkan oleh mesin yang sangat berat dan jari penanam tidak berfungsi sempurna. Secara ringkas, hasil pengujian tersebut sebagai berikut (Tabel I-a).

### 2. Mametora TA-2

Mesin ini berasal dari Jepang. Unit penanam digandengkan pada traktor 5 HP. Pengujian dilakukan di India, Indonesia, Iran, Pakistan, Philippines, dan Sri Lanka.

#### Aspek tanaman

Mesin ini memerlukan jam kerja yang besar untuk mendapatkan pembibitan yang seragam dengan panjang akar kurang dari 5 cm dan tinggi tanaman kurang dari 30 cm.

#### Aspek mesin

Mesin memiliki komponen yang rumit (*complicated*) dan sulit diproduksi oleh bengkel sederhana.

#### Aspek lapangan

Kapasitas mesin sekitar 0.06 ha/jam dan rumpun hilang berkisar 6 sampai 30% apabila pembibitan dan kondisi lapangan kurang baik. Pengaturan (*adjustment*) mesin ini memerlukan keahlian yang tinggi. Secara ringkas, hasil pengujian tersebut sebagai berikut (Tabel I-b).

### 3. Tang-Hong 2S

Mesin ini berasal dari Cina kemudian juga diproduksi oleh Malaysia. Mesin digerakkan oleh motor 5 HP. Pengujian dilakukan di India, Iran, Korea, dan Philippines.

#### Aspek tanaman

Ukuran dan kondisi tanaman sangat berpengaruh terhadap jumlah tanaman per rumpun. Di India, penanaman dengan varietas Kalinga I menghasilkan 14 tanaman/ rumpun. Di Philippines, penanaman dengan varietas IR36 menghasilkan 4 tanaman/ rumpun. Namun rumpun hilang di Philippines mencapai 14.6% sementara di India 11.5%.

**Aspek mesin**

RPM motor (= 3600 RPM) terlalu tinggi untuk mekanisme penanaman, namun komponen mesin cukup sederhana dan mudah diproduksi oleh bengkel sederhana.

**Aspek lapangan**

Kapasitas mesin berkisar 0.1 sampai 0.19 ha/jam, setelah mesin dimodifikasi di India kapasitasnya dapat mencapai 0.27 ha/jam. Untuk penyiapan bibit memerlukan tenaga 250 jam orang/ha. Pengujian di Philippines menghasilkan efisiensi lapang yang rendah karena ukuran petak yang kecil. Secara ringkas, hasil pengujian tersebut sebagai berikut (Tabel I-c).

**4. IRRI-RT**

Mesin ini berasal dari IRRI kemudian diuji di India, Pakistan, Korea, Sri Lanka, dan Philippines.

**Aspek tanaman**

Penyiapan benih memerlukan tenaga sekitar 20 - 30 jam orang/ha. Umur bibit yang diperlukan 15 - 20 hari.

**Aspek mesin**

Mesin bekerja dengan cara ditarik (operator berjalan mundur). Berat mesin sekitar 25 - 30 kg, tetapi dilaporkan bahwa mesin mudah dioperasikan.

**Aspek lapangan**

Kapasitas mesin berkisar 0.02 sampai 0.05 ha/jam. Rumpun hilang pada kondisi tanah yang optimum sekitar 0 - 5%. Rumpun hilang menurut pengujian di Pakistan 14.86 %, di Philippines 1.5%, di Korea 18 - 21%, di Sri Lanka 5%, dan di India 13.3%. Rumpun hilang ini belum termasuk bibit yang mengapung karena bekas injakan kaki. Secara ringkas, hasil pengujian tersebut sebagai berikut (Tabel I-d).

**5. Taedonggang-6**

Mesin penanam padi ini dikembangkan oleh Korea dengan jumlah penanaman 6 baris dan menggunakan motor bakar 4 HP dengan 1500 RPM. Mekanisme penanaman menggunakan tipe empat batang kait (*four-bar linkage*). Jarak tanam dalam baris dapat diatur dalam 6 variasi jarak tanam dengan mengubah posisi gigi kecepatan putar. Mesin penanam padi ini dioperasikan oleh dua orang, satu orang memegang kemudi dan satu orang lainnya mengumpangkan bibit (*root-washed type*).

**6. Tong-Feng 2A**

Mesin penanam padi ini dikembangkan oleh China dengan jumlah penanaman 12 baris dan menggunakan motor bakar 4 HP dengan 1500 RPM. Mekanisme penanaman menggunakan lengan penanam yang membentuk lokus menurut alur pengarah (*slide way type*). Jarak tanam dalam baris dapat diatur dalam 4 variasi jarak tanam dengan mengubah posisi gigi kecepatan putar. Mesin penanam padi ini dioperasikan oleh tiga orang, satu orang memegang kemudi dan dua orang lainnya mengumpangkan bibit (*root-washed type*).

## **7. Mesin penanam padi buatan Jepang**

Mesin penanam padi buatan Jepang memiliki model yang cukup banyak menurut pabrik pembuatnya. Mesin penanam padi model lama hampir semuanya menggunakan lengan penanam tipe empat batang kait, 2 baris tanaman, motor bakar 1.7 sampai 2.4 HP dengan 1600 sampai 1800 RPM, sebagian dari mesin penanam padi tipe jalan (*walking type*) menggunakan satu roda tanah (*ground wheel*). Pengalaman menunjukkan bahwa mesin penanam padi yang menggunakan satu roda tanah memerlukan ruang belok (*turning radius*) yang lebih besar dibanding yang menggunakan dua roda tanah.

**Tabel I-a. Hasil Pengujian alat penanam Annapurna 77 di beberapa negara**

Keterangan	Indonesia	Pakistan	Sri Lanka	Korea
1. Keadaan bibit				
a. Varietas	IR36	IR6	B-G 11-11	Suwoon 264
b. Tipe pembibitan	Root-washed	Root-washed	Root-washed	Root-washed
c. Umur bibit (hari)	26-27	30-40	21-22	47
d. Jumlah daun	2-4	2-3	3-4	5-6
e. Tinggi bibit (cm)	12-20	15-20	13-28	13,5-21,5
f. Panjang akar (cm)	1,5-3,0	0,5-1,0	3-6	3,5-7,0
2. Keadaan lapang				
a. Kedalaman kerucut (cm)	dta	dta	11-18	10-14
b. Kedalaman lapisan keras (cm)	20-25	20-22	10-28	20
c. Tinggi air (cm)	1,0-5,0	0-2,5	0-2	1-2
3. Unjuk kerja				
a. Luas petak (m <sup>2</sup> )	500	60	180	1000
b. Kecepatan operasi (m/s)	0,03-0,05	0,07	0,03	0,04
c. Waktu total operasi (men)	200	10	140	229
d. Waktu belok (men)	9,6	-	dta	1
e. Waktu penempatan bibit (men)	46,8	30	30	250
f. Waktu pengaturan (men)	5,6	12	5	5
g. Waktu kerusakan (men)	0,4	seluruhnya	7,5	10
h. Kapasitas lapang (ha/j)	0,012-0,018	-	0,0071-0,0083	0,026
i. Efisiensi lapang (%)	66,3	-	dta	dta
4. Akurasi				
a. Lebar kerja (cm)	105-117	100	100	100
b. Jarak antar rumpun (cm)	22-41	10	6-12	12-14
c. Kedalaman tanam (cm)	2,5-9,0	2-3	3-8	3-5
d. Jumlah tanaman/rumpun	1-9	2-3	3-8	3-5
e. Rumpun hilang (%)	6,9-18,5	30-35	5-20	27-35
f. Bibit mengapung (%)	0-13	30	0	0
g. Bibit terkubur (%)	0	dta	2	0
h. Bibit rusak (%)	0	50	0	0
i. Salah tanam (%)	0	dta	4	3
5. Kebutuhan tenaga (JOK/ha)				
a. Pembibitan	174-196	dta	120	115
b. Penanaman	106-154	dta	140-160	215
c. Penyulaman	0	dta	dta	dta
d. Penanaman pada tepi	0	dta	dta	dta
6. Hasil gabah (kg/ha)	dta	4600	4872	4950

JOK : jam orang kerja, dta = data tidak ada

\*) Kerucut seberat 135 g, diameter 3,3 cm, sudut kerucut 45°, dijatuhkan dari ketinggian 1 m di atas permukaan lumpur.

**Tabel I-b. Hasil pengujian alat penanam Mametora TA-2 di negara India dan Philippines**

Keterangan	India	Philippines
1. Keadaan bibit		
a. Varietas	Kalinga I	IR36
b. Tipe pembibitan	Root-washed	Root-washed
c. Umur bibit (hari)	26-28	25-35
d. Jumlah daun	4-5	3-6
e. Tinggi bibit (cm)	26	25-41
f. Panjang akar (cm)	5	6-7
2. Keadaan lapang		
a. Kedalaman kerucut (cm)	10-19	10-18
b. Kedalaman lapisan keras (cm)	17-22	9-36
c. Tinggi air (cm)	0-4	0-8
3. Unjuk kerja		
a. Luas petak (m <sup>2</sup> )	830	574,5
b. Kecepatan operasi (m/s)	0,24-0,25	0,28-0,37
c. Waktu total operasi (men)	107	62,5
d. Waktu belok (men)	11,4	8,3
e. Waktu penempatan bibit (men)	12,3	11,25
f. Waktu pengaturan (men)	4,3	6,4
g. Waktu kerusakan (men)	0	0
h. Kapasitas lapang (ha/j)	0,045-0,048	0,050-0,058
i. Efisiensi lapang (%)	dta	74,8
4. Akurasi		
a. Lebar kerja (cm)	87-110	70-80
b. Jarak antar rumpun (cm)	14-15	13-25
c. Kedalaman tanam (cm)	2-8	3-13,5
d. Jumlah tanaman/rumpun	3-22	1-9
e. Rumpun hilang (%)	8,3-13,3	6-30
f. Bibit mengapung (%)	0	0-25
g. Bibit terkubur (%)	0	0-4
h. Bibit rusak (%)	2-3	0-8
i. Salah tanam (%)	dta	0-9
5. Kebutuhan tenaga (JOK/ha)		
a. Pembibitan	265-267	92-115
b. Penanaman	21-22	16,7-17,3
c. Penyulaman	1,8-2,1	dta
d. Penanaman pada tepi	8,6-8,7	0,4
6. Hasil gabah (kg/ha)	2180	dta

JOK : jam orang kerja, dta = data tidak ada

\*) Kerucut seberat 135 g, diameter 3,3 cm, sudut kerucut 45°, dijatuhkan dari ketinggian 1 m di atas permukaan lumpur.

**Tabel I-c. Hasil pengujian alat penanam Tang-Hong 2 S di negara India dan Philippines**

Keterangan	India	Phillipines
1. Keadaan bibit		
a. Varietas	Kalinga I	IR36
b. Tipe pembibitan	Root-washed	Root-washed
c. Umur bibit (hari)	21-29	24-38
d. Jumlah daun	4-5	3-7
e. Tinggi bibit (cm)	18-32	18-36
f. Panjang akar (cm)	2-9	3-16
2. Keadaan lapang		
a. Kedalaman kerucut (cm)	7-17	5-17
b. Kedalaman lapisan keras (cm)	17-25	10-27
c. Tinggi air (cm)	0-6,5	0-6
3. Unjuk kerja		
a. Luas petak (m <sup>2</sup> )	744,4	489,04
b. Kecepatan operasi (m/s)	0,29-0,30	0,39-0,56
c. Waktu total operasi (men)	52,5	28,24
d. Waktu belok (men)	5,30	4,89
e. Waktu penempatan bibit (men)	1,97	4,32
f. Waktu pengaturan (men)	5,76	1,30
g. Waktu kerusakan (men)	16	9,07
h. Kapasitas lapang (ha/j)	0,121-0,123	0,10-0,19
i. Efisiensi lapang (%)	dta	32,4
4. Akurasi		
a. Lebar kerja (cm)	218	213,6
b. Jarak antar rumpun (cm)	12-15	12,9-14,4
c. Kedalaman tanam (cm)	2-7	4,8-10,8
d. Jumlah tanaman/rumpun	7-27	3,6-6,2
e. Rumpun hilang (%)	10-12	7-20
f. Bibit mengapung (%)	0-1,2	0,3-1
g. Bibit terkubur (%)	0-2,8	0-4,4
h. Bibit rusak (%)	0	0
i. Salah tanam (%)	dta	0-12
5. Kebutuhan tenaga (JOK/ha)		
a. Pembibitan	264,1	244,3
b. Penanaman	24,6	26,3
c. Penyulaman	1,5	dta
d. Penanaman pada tepi	17,7	0,22
6. Hasil gabah (kg/ha)	2500	dta

JOK : jam orang kerja, dta = data tidak ada

\*) Kerucut seberat 135 g, diameter 3,3 cm, sudut kerucut 45°, dijatuhkan dari ketinggian 1 m di atas permukaan lumpur.

Tabel I-d. Hasil pengujian alat penanam IRRI-RT di beberapa negara

Keterangan	Pakistan	Philippines	Korea	Sri Lanka
1. Keadaan bibit				
a. Varietas	Basnati	R36	Akibara 11	BG 11-11
b. Tipe pembibitan	Mat	Mat	Mat	Mat
c. Umur bibit (hari)	21-35	15-16	30	21
d. Jumlah daun	3-5	2-4	4-6	2-4
e. Tinggi bibit (cm)	15	11-15	14-17	14
f. Panjang akar (cm)	2,5	dta	5-7	3
2. Keadaan lapang				
a. Kedalaman kerucut (cm)	dta	10-15	10-14	10
b. Kedalaman lapisan keras (cm)	10-15	dta	20	30
c. Tinggi air (cm)	1-3	1-2,5	1-2	0,1
3. Unjuk kerja				
a. Luas petak (m <sup>2</sup> )	250	788,5	120	297
b. Kecepatan operasi (m/s)	0,13	0,13-0,18	0,12	dta
c. Waktu total operasi (men)	30	134,16	25	90
d. Waktu belok (men)	1	9	6	dta
e. Waktu penempatan bibit (men)	1	13,85	13	dta
f. Waktu pengaturan (men)	3	9,01	dta	12
g. Waktu kerusakan (men)	15	0	0	0
h. Kapasitas lapang (ha/j)	0,05	0,03-0,05	0,02	0,02
i. Efisiensi lapang (%)	80	66,4	62	dta
4. Akurasi				
a. Lebar kerja (cm)	100	101,2	100	100
b. Jarak antar rumpun (cm)	20	14-24	12-16	18
c. Kedalaman tanam (cm)	2-2,5	2,5-7,5	2-4	2
d. Jumlah tanaman/rumpun	3-4	1-18	2-6	4,5
e. Rumpun hilang (%)	14,86	0-6	18-21	5
f. Bibit mengapung (%)	6	0-11	0	4
g. Bibit terkubur (%)	dta	0-3	0	0
h. Bibit rusak (%)	0	0	12	0
i. Salah tanam (%)	dta	0	0	dta
5. Kebutuhan tenaga (JOK/ha)				
a. Pembibitan	20	20-30	5-12	dta
b. Penanaman	40	28,4	13	dta
c. Pelembaman	dta	Tidak perlu	dta	dta
d. Penanaman pada tepi	dta	dta	dta	dta
6. Hasil gabah (kg/ha)	4800	dta	dta	dta

JOK : jam orang kerja, dta = data tidak ada

\*) Kerucut seberat 135 g, diameter 3,3 cm, sudut kerucut 45°, dijatuhkan dari ketinggian 1 m di atas permukaan lumpur.

**Lampiran 2. Turunan parsial terhadap masing-masing parameter lengan penanam (Astanto *et al.*, 1998b)**

$$\text{I. } BO2^2 = R1^2 + R2^2 - 2.R1.R2.\cos(\varphi-\beta)$$

$$BO2 = \sqrt{(R1^2 + R2^2 - 2.R1.R2.\cos(\varphi-\beta))}$$

$$\frac{\partial BO2}{\partial R1} = (1/(BO2)).(2.R1-2.R2.\cos(\varphi-\beta))$$

$$\frac{\partial BO2}{\partial R2} = (1/BO2).(2.R2-2.R1.\cos(\varphi-\beta))$$

$$\frac{\partial BO2}{\partial R3} = 0$$

$$\frac{\partial BO2}{\partial R4} = 0$$

$$\frac{\partial BO2}{\partial R5} = 0$$

$$\frac{\partial BO2}{\partial \psi} = 0$$

$$\frac{\partial BO2}{\partial \beta} = (1/BO2).(-2.R1.R2.\sin(\varphi-\beta))$$

$$\text{II. } \angle BO2C = \cos^{-1} \left( \frac{BO2^2 + R4^2 - R3^2}{2.BO2.R4} \right)$$

$$\frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial R1} = \frac{-1}{\sin(\angle BO2C)} \left( \frac{(2.BO2.R4.(2.BO2.\frac{\partial BO2}{\partial R1}) - (BO2^2 + R4^2 - R3^2).(2.R4.\frac{\partial BO2}{\partial R1}))}{(2.BO2.R4)^2} \right)$$

$$\frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial R2} = \frac{-1}{\sin(\angle BO2C)} \left( \frac{(2 \cdot BO2 \cdot R4 \cdot (2 \cdot BO2 \cdot \partial BO2 / \partial R2) - (BO2^2 + R4^2 - R3^2) \cdot (2 \cdot R4 \cdot \partial BO2 / \partial R2))}{(2 \cdot BO2 \cdot R4)^2} \right)$$

$$\frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial R3} = \frac{-1}{\sin(\angle BO2C)} \left( \frac{(2 \cdot BO2 \cdot R4 \cdot (2 \cdot BO2 \cdot \partial BO2 / \partial R3 - 2 \cdot R3) - (BO2^2 + R4^2 - R3^2) \cdot (2 \cdot R4 \cdot \partial BO2 / \partial R3))}{(2 \cdot BO2 \cdot R4)^2} \right)$$

$$\frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial R4} = \frac{-1}{\sin(\angle BO2C)} \left( \frac{(2 \cdot BO2 \cdot R4 \cdot (2 \cdot R4) - (BO2^2 + R4^2 - R3^2) \cdot (2 \cdot BO2))}{(2 \cdot BO2 \cdot R4)^2} \right)$$

$$\frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial R5} = 0$$

$$\frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial \psi} = 0$$

$$\frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial \beta} = \frac{-1}{\sin(\angle BO2C)} \left( \frac{(2 \cdot BO2 \cdot R4 \cdot (2 \cdot BO2 \cdot \partial BO2 / \partial \beta) - (BO2^2 + R4^2 - R3^2) \cdot (2 \cdot R4 \cdot \partial BO2 / \partial \beta))}{(2 \cdot BO2 \cdot R4)^2} \right)$$

$$\text{III. } \angle BO2O1 = \cos^{-1} \left( \frac{BO2^2 + R1^2 - R2^2}{2 \cdot BO2 \cdot R1} \right)$$

$$\frac{\partial(\angle BO2O1)}{\partial R1} = \frac{-1}{\sin(\angle BO2O1)} \left( \frac{(2 \cdot BO2 \cdot R1 \cdot (2 \cdot BO2 \cdot \partial BO2 / \partial R1 + 2 \cdot R1) - (BO2^2 + R1^2 - R2^2) \cdot (2 \cdot R1 \cdot \partial BO2 / \partial R1 + 2 \cdot BO2))}{(2 \cdot BO2 \cdot R1)^2} \right)$$

$$\frac{\partial(\angle BO2O1)}{\partial R2} = \frac{-1}{\sin(\angle BO2O1)} \left( \frac{(2 \cdot BO2 \cdot R1 \cdot (2 \cdot BO2 \cdot \partial BO2 / \partial R2 - 2 \cdot R2) - (BO2^2 + R1^2 - R2^2) \cdot (2 \cdot R1 \cdot \partial BO2 / \partial R2))}{(2 \cdot BO2 \cdot R1)^2} \right)$$

$$\frac{\partial(\angle BO2O1)}{\partial R3} = 0$$

$$\frac{\partial(\angle BO2O1)}{\partial R4} = 0$$

$$\frac{\partial(\angle BO_2O_1)}{\partial R_5} = 0$$

$$\frac{\partial(\angle BO_2O_1)}{\partial \psi} = 0$$

$$\frac{\partial(\angle BO_2O_1)}{\partial \beta} = \frac{-1}{\sin(\angle BO_2O_1)} \left( \frac{(2 \cdot BO_2 \cdot R_1 \cdot (2 \cdot BO_2 \cdot \partial BO_2 / \partial \beta)) - (BO_2^2 + R_1^2 - R_2^2) \cdot (2 \cdot R_1 \cdot \partial BO_2 / \partial \beta)}{(2 \cdot BO_2 \cdot R_1)^2} \right)$$

#### IV. $\angle O_1O_2C = \angle BO_2C \pm \angle BO_2O_1$

Tanda + digunakan jika  $n \cdot \pi + \beta < \varphi < m \cdot \pi + \beta$

Tanda - digunakan jika  $m \cdot \pi + \beta < \varphi < n \cdot \pi + \beta$

$n = 1, 3, 5, 7, \dots$

$m = 0, 2, 4, 6, \dots$

$$\frac{\partial(\angle O_1O_2C)}{\partial R_1} = \frac{\partial(\angle BO_2C)}{\partial R_1} \pm \frac{\partial(\angle BO_2O_1)}{\partial R_1}$$

$$\frac{\partial(\angle O_1O_2C)}{\partial R_2} = \frac{\partial(\angle BO_2C)}{\partial R_2} \pm \frac{\partial(\angle BO_2O_1)}{\partial R_2}$$

$$\frac{\partial(\angle O_1O_2C)}{\partial R_3} = \frac{\partial(\angle BO_2C)}{\partial R_3} \pm \frac{\partial(\angle BO_2O_1)}{\partial R_3}$$

$$\frac{\partial(\angle O_1O_2C)}{\partial R_4} = \frac{\partial(\angle BO_2C)}{\partial R_4} \pm \frac{\partial(\angle BO_2O_1)}{\partial R_4}$$

$$\frac{\partial(\angle O_1O_2C)}{\partial R_5} = \frac{\partial(\angle BO_2C)}{\partial R_5} \pm \frac{\partial(\angle BO_2O_1)}{\partial R_5}$$

$$\frac{\partial(\angle O1O2C)}{\partial\psi} = \frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial\psi} \pm \frac{\partial(\angle BO2O1)}{\partial\psi}$$

$$\frac{\partial(\angle O1O2C)}{\partial\beta} = \frac{\partial(\angle BO2C)}{\partial\beta} \pm \frac{\partial(\angle BO2O1)}{\partial\beta}$$

$$V. R1.\cos(\beta) = R2.\cos(\varphi) + R3.\cos(\pm\pi \pm \varphi \pm \phi) + R4.\cos(\beta + \angle O1O2C)$$

Jika  $\phi$  ada di kuadran III dan IV :

$$\phi = - \left( \cos^{-1} \left( \frac{R1.\cos(\beta) - R2.\cos(\varphi) - R4.\cos(\beta + \angle O1O2C)}{R3} \right) - \pi + \varphi \right)$$

Jika  $\phi$  ada di kuadran I dan II :

$$\phi = \left( \cos^{-1} \left( \frac{R1.\cos(\beta) - R2.\cos(\varphi) - R4.\cos(\beta + \angle O1O2C)}{R3} \right) + \pi - \varphi \right)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial R1} = \frac{\pm 1}{\sin(\phi)} \left( \frac{R3.(\cos\beta + R4.\sin(\beta + \angle O1O2C)). \partial(\angle O1O2C)/\partial R1 - 0}{R3^2} \right)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial R2} = \frac{\pm 1}{\sin(\phi)} \left( \frac{R3.(-\cos\varphi + R4.\sin(\beta + \angle O1O2C)). \partial(\angle O1O2C)/\partial R2 - 0}{R3^2} \right)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial R3} = \frac{\pm 1}{\sin(\phi)} \left( \frac{R3.(R4.\sin(\beta + \angle O1O2C)). \partial(\angle O1O2C)/\partial R3 - M.R3}{R3^2} \right)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial R4} = \frac{\pm 1}{\sin(\phi)} \left( \frac{R3.(R4.\sin(\beta + \angle O1O2C)). \partial(\angle O1O2C)/\partial R4 - \cos(\beta + \angle O1O2C) - 0}{R3^2} \right)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial R5} = \frac{\pm 1}{\sin(\phi)} \left( \frac{R3.(R4.\sin(\beta + \angle O1O2C)). \partial(\angle O1O2C)/\partial R5 - 0}{R3^2} \right)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \psi} = \pm 1 \frac{(R3 \cdot (R4 \cdot \sin(\beta + \angle O1O2C) \cdot \partial(\angle O1O2C) / \partial \psi) - 0)}{\sin(\phi) R3^2}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \beta} = \pm 1 \frac{(R3 \cdot (R1 + R4 \cdot \sin(\beta + \angle O1O2C) \cdot (1 + \partial(\angle O1O2C) / \partial \beta)) - 0)}{\sin(\phi) R3^2}$$

$$\text{VI. } \angle ABO1 = \pi - \psi - \phi$$

$$\frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R1} = - \frac{\partial \phi}{\partial R1}$$

$$\frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R2} = - \frac{\partial \phi}{\partial R2}$$

$$\frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R3} = - \frac{\partial \phi}{\partial R3}$$

$$\frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R4} = - \frac{\partial \phi}{\partial R4}$$

$$\frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R5} = - \frac{\partial \phi}{\partial R5}$$

$$\frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial \psi} = -1 - \frac{\partial \phi}{\partial \psi}$$

$$\frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial \beta} = - \frac{\partial \phi}{\partial \beta}$$

$$\text{VII. } L^2 = R^2 + R^5 - 2.R^2.R^5.\cos(\angle ABO1)$$

$$f = (R^2 + R^5 - 2.R^2.R^5.\cos(\angle ABO1))^{1/2}$$

$$\frac{\partial f}{\partial R1} = 1/L.(2.R^2.R^5.\sin(\angle ABO1)). \frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R1}$$

$$\frac{\partial f}{\partial R2} = 1/L.(2.R^2 - (2.R^5.\cos(\angle ABO1) - 2.R^2.R^5.\sin(\angle ABO1)). \frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R2}$$

$$\frac{\partial f}{\partial R3} = 1/L.(2.R^2.R^5.\sin(\angle ABO1)). \frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R3}$$

$$\frac{\partial f}{\partial R4} = 1/L.(2.R^2.R^5.\sin(\angle ABO1)). \frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R4}$$

$$\frac{\partial f}{\partial R5} = 1/L.(2.R^5 - (2.R^2.\cos(\angle ABO1) - 2.R^2.R^5.\sin(\angle ABO1)). \frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial R5}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \psi} = 1/L.(2.R^2.R^5.\sin(\angle ABO1)). \frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial \psi}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \beta} = 1/L.(2.R^2.R^5.\sin(\angle ABO1)). \frac{\partial(\angle ABO1)}{\partial \beta}$$



ISBN 979-540-012-6