



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**OPTIMASI SUDUT *TWIST* DAN GEOMETRI *AIRFOIL* SUDU
TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL BERBASIS KECEPATAN
ANGIN RENDAH MENGGUNAKAN *BASED-GRADIENT*
METHOD DAN ALGORITMA GENETIKA**

TUGAS AKHIR

**HANDOYO OGY DWI PUTRA
L2E 006 049**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
DESEMBER 2010**

TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Handoyo Ogy Dwi Putra
NIM : L2E 006 049
- Dosen Pembimbing : Dr. -Ing. Ismoyo Haryanto, MT
- Jangka Waktu : 8 (delapan) bulan
- Judul : Optimasi Sudut *Twist* dan Geometri *Airfoil* Sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal Berbasis Kecepatan Angin Rendah Menggunakan *Based-Gradient Method* dan Algoritma Genetika
- Isi Tugas : 1. Mengetahui pengaruh variasi sudut *twist* dan geometri *airfoil* pada perancangan sudu turbin angin terhadap daya keluaran yang dihasilkan.
2. Menentukan distribusi sudut *twist* dan geometri *airfoil* sudu turbin angin yang memberikan daya keluaran terbesar.

Semarang, November 2010
Dosen Pembimbing

Dr.-Ing. Ismoyo Haryanto, MT
NIP. 196605212006041010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Handoyo Ogy Dwi Putra

NIM : L2E 006049

Tanda Tangan :

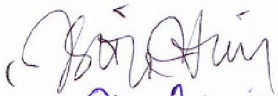

Tanggal : 23 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Handoyo Ogy Dwi Putra
NIM : L2E 006 049
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Optimasi Sudut *Twist* dan Geometri *Airfoil* Sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal Berbasis Kecepatan Angin Rendah Menggunakan *Based-Gradient Method* dan Algoritma Genetika

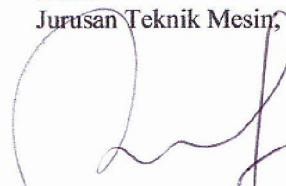
Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. -Ing. Ir. Ismoyo Haryanto, MT ()
Penguji : Dr. MSK Tony Suryo Utomo, ST, MT ()
Penguji : Ir. Yurianto, MT ()

Semarang, 23 Desember 2010

Ketua
Jurusan Teknik Mesin,



Dr. Ir. Dipl Ing. Berkah Fajar TK.
NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Handoyo Ogy Dwi Putra
NIM : L2E 006 049
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Optimasi Sudut *Twist* dan Geometri *Airfoil* Sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal Berbasis Kecepatan Angin Rendah Menggunakan *Based-Gradient Method* dan Algoritma Genetika”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 23 Desember 2010

Yang menyatakan

(Handoyo Ogy Dwi Putra)

ABSTRAK

Pemanfaatan teknologi turbin angin sebagai pembangkit energi listrik di Indonesia sampai saat ini masih mengalami banyak kendala. Iklim tropis yang menyelimuti Indonesia sepanjang tahun menyebabkan kecepatan angin rata-rata yang relatif rendah, yaitu berkisar antara 2,5-6 m/s. Di sisi lain, performansi turbin angin sebagai pembangkit listrik sangat dipengaruhi oleh profil sudu yang dipilih. Oleh karena itu, agar diperoleh turbin angin dengan kapasitas daya keluaran yang optimum, kebutuhan mendesain profil sudu turbin angin menjadi mutlak diperlukan untuk menyesuaikan kecepatan angin (*cut-in speed*) yang tersedia. Selama ini perancangan sudu turbin angin dilakukan dengan pemilihan *airfoil* secara apriori, sedangkan untuk melibatkan geometri *airfoil* dalam proses optimasi menggunakan *computational fluid dynamic* (CFD) sendiri masih banyak mengalami permasalahan. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan kaji pengaruh sudut *twist* dan geometri *airfoil* sudu terhadap daya keluaran turbin angin serta optimasi terhadap sudut *twist* dan geometri *airfoil* pada sudu turbin angin sumbu horizontal. Optimasi ini dimaksudkan untuk menentukan distribusi sudut *twist* dan geometri *airfoil* sudu turbin angin yang memberikan daya keluaran terbesar.

Untuk melibatkan geometri *airfoil* dalam proses optimasi maka perancangan *airfoil* dilakukan dengan metode perancangan langsung menggunakan *artificial neural network* (ANN). Dengan metode ini mula-mula geometri *airfoil* dibangkitkan dengan menggunakan transformasi Joukowski dimana sebuah lingkaran ditransformasikan menjadi bentuk *airfoil* dalam bidang kompleks. *Airfoil* yang terbentuk selanjutnya dianalisis karakteristik aerodinamiknya dengan CFD sehingga tersusun basis data antara titik pusat lingkaran dan karakteristik aerodinamik. Berdasarkan basis data ini selanjutnya ANN disusun. Dalam optimasi pada Tugas Akhir ini variabel perancangan yang digunakan adalah koordinat titik pusat lingkaran (x , y) yang merupakan data masukan ANN dan sudut *twist*, dinyatakan dengan konstanta A dan B yang membentuk persamaan distribusi sudut *twist* secara linier $\theta_i = A + B \cdot r_i$, dimana r adalah jarak masing-masing stasiun *airfoil* ke- i dari pangkal sudu. Sedangkan optimasi dilakukan menggunakan *optimization toolbox solver* dari MATLAB dengan dua metode optimasi yaitu *based-gradient method* dan algoritma genetika. Simulasi pada turbin angin dilakukan dengan menggunakan program *yawdyn* dan bertujuan untuk mengetahui daya kelauran yang dihasilkan.

Dari hasil kedua optimasi diketahui bahwa untuk kecepatan angin 5 m/s turbin angin acuan yang disimulasikan menggunakan *airfoil* NREL S834 hanya mampu menghasilkan daya sebesar 200 watt, sedangkan turbin angin baru hasil optimasi mampu menghasilkan daya keluaran sebesar 1,3 kW. Nilai optimum ini dicapai oleh turbin angin dengan *airfoil* sudu yang dibentuk oleh pasangan koordinat titik pusat lingkaran di $(-1.009, 0.0951)$. Sedangkan distribusi sudut *twist* optimum dibentuk oleh persamaan $\theta_i = -1.063 - 3.610 \cdot r_i$. Dari hasil ini juga diketahui bahwa sudut *twist* dan geometri *airfoil* masing-masing memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap daya keluaran yang dihasilkan.

Kata kunci: turbin angin, optimasi, sudut *twist*, *airfoil*, *artificial neural network*, *yawdyn*, transformasi Joukowski, *based-gradient method*, algoritma genetika

ABSTRACT

Utilization of wind turbine technology as the electrical energy generation in Indonesia is still experiencing a lot of obstacles. Tropical climate throughout the year covering Indonesia cause the average wind speed is relatively low, ranging from 2.5 to 6 m/s. At the other side, wind turbine performance is strongly influenced by the airfoil geometry. Therefore, in order to obtain a wind turbine with optimum output power capacity, the need to design an airfoil of wind turbine blades is necessary in order to adjust to the available wind speed (cut-in speed). During this time, wind turbine blade design is conducted by selecting an airfoil arbitrarily. Until now it is still many problems when airfoil geometry engages in the process of optimization using computational fluid dynamic (CFD). In this final project the output power capacity of horizontal axis wind turbine was optimized with respect to twist angle distribution and airfoil geometry of the blades.

To involve the airfoil geometry in the optimization process, the airfoil design is performed by the direct method which is based on artificial neural network (ANN). Using this method the airfoil geometry is generated by using Joukowski transformation in which a circular is transformed to be an airfoil shape and then its aerodynamic characteristics are determined utilizing CFD. Based on these results a database which contains relation between center points of the circle and these aerodynamic characteristics can be developed to perform ANN. In this final project the coordinates of the circle center (x,y) and the twist angle distribution were chosen as design variables The optimization was performed using the optimization toolbox of MATLAB solver, i.e. based-gradient method optimization and genetic algorithm. A computer code namely yawdyn is applied for determining the output power of the wind turbine.

The results showed that for average wind speed of 5 m/s the optimization of reference wind turbine which apply NREL S834 as airfoil blade is able to produce power of 200 watts, meanwhile the present wind turbine is capable of generating output power of 1.3 kW in which the optimum airfoil blades are formed by a pair coordinates of the center of the circle of (-1009, 0.0951) and the optimum twist angle distribution is represented by the equation $\theta_i = -1.063 - 3.610 \cdot r_i$, where r_i indicates station distance from blade root. The results also showed that the influence of the angle of twist and the airfoil geometry on the output power of the wind turbine is significant.

Keywords: wind turbines, optimization, twist angle, airfoil, artificial neural network, yawdyn, Joukowski transformation, based-gradient method, genetic algorithm

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

...Otak Jerman, Hati Mekkah, Semangat Jepang...

”Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman dan orang-orang yang berilmu beberapa derajat.

Allah mengetahui apa yang kamu kerjakan”

(Al Mujadilah 58 : 11).

”Sesungguhnya Allah,
tidak akan merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”

(Ar Ra'd 13: 11)

Edy Siswanto, Mardiyanti

Handoko Okky Pratama dan Savitri Vidya Larasati

yang penuh pengertian, yang menjadi obor semangat,
yang berjuang bersama dalam suka dan duka.

Inilah buah dari jerih payah kita,
ayah, ibu, kakak dan adikku tercinta...

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, pemilik dan penguasa ilmu pengetahuan yang ada di langit dan di bumi, serta di antara keduanya. Atas rahmat dan hidayahNya lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya..

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Berbagai hambatan dan kendala yang pada akhirnya dapat penulis lalui tidaklah luput atas bantuan dan dukungan berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah, ibu, kakak dan adikku tercinta, yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, dan doa restu.
2. Bapak Dr.-Ing. Ismoyo Haryanto, MT, selaku dosen pembimbing penulis yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi.
3. Segenap dosen yang telah memberikan ilmu yang luar biasa selama menempuh perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
4. Teman-teman seperjuangan angkatan 2006 yang selalu memberikan nilai-nilai semangat kebersamaan di kampus tercinta, '*Solidarity Forever*'.

Tak Ada Gading yang Tak Retak. Semoga kekurangan yang penulis miliki tidak mengurangi harapan dan niat penulis untuk mempersembahkan yang terbaik dalam laporan ini. Untuk itu kritik dan saran sangat penulis nantikan demi perbaikan pada masa yang akan datang. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian.

Semoga Allah SWT senantiasa meridhoi dan memudahkan setiap langkah kita dalam menuntut ilmu dan cita-cita. Amin.

Semarang, November 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Metode Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Energi Angin.....	7
2.1.1 Potensi Angin di Indonesia	7
2.1.2 Karakteristik Angin	7
2.2 Turbin Angin.....	8
2.3 Prinsip Konversi Energi Angin.....	10
2.3.1 Teori Betz.....	11
2.3.2 Koefisien Daya.....	14
2.3.3 Gaya Aerodinamik Pada Rotor	16
2.3.4 <i>Tip speed ratio</i>	17

2.4	Aspek Perancangan Turbin Angin	19
2.4.1	Pemilihan Diameter Rotor dan Jumlah Sudu	19
2.4.2	Perancangan Sudu	19
2.4.3	<i>Hub</i>	21
2.4.4	<i>Yaw Mechanism</i>	22
2.4.5	Pemilihan Generator	22
2.4.6	Ekor	23
2.4.7	Hidung	23
2.4.8	Menara Penopang	23
2.4.9	<i>Base Plate</i>	24
2.5	Simulasi Turbin Angin	24
2.5.1	Data aerodyne.ipt	25
2.5.2	Data airfoil.dat	27
2.5.3	Data wind.wnd	28
2.5.4	Data yawdyn.ipt	28
2.6	Optimasi Turbin angin	30
2.6.1	<i>Based-Gradient Method</i>	32
2.6.2	Algoritma Genetika	34
2.7	<i>Artificial Neural Network</i>	38
2.7.1	Pengertian	38
2.7.2	Arsitektur Jaringan	40
2.7.3	<i>Bias dan Treshold</i>	42
2.7.4	<i>Backpropagation</i>	43
2.7.4.1	Arsitektur <i>Backpropagation</i>	43
2.7.4.2	Fungsi Aktivasi <i>Backpropagation</i>	44
2.7.4.3	Pelatihan Standard <i>Backpropagation</i>	46
2.7.4.4	Pemrograman <i>Backpropagation</i> dengan Matlab	48
2.7.4.5	Pelatihan <i>Backpropagation</i>	49
2.7.4.6	Metode Quasi Newton	50
2.7.4.7	Metode <i>Conjugate Gradient</i>	51

BAB III	SIMULASI DAN OPTIMASI	54
3.1	Data Spesifikasi Turbin Angin Acuan	54
3.1.1	Spesifikasi Sudu Turbin Angin Acuan.....	55
3.1.2	Spesifikasi Generator Turbin Angin Acuan	57
3.1.3	Desain Turbin Angin Acuan.....	58
3.2	Data Kecepatan Angin.....	58
3.3	Data Karakteristik Aerodinamik <i>Airfoil</i>	60
3.4	Data Aerodinamik Sudu Turbin Angin	62
3.5	Data Spesifikasi Umum Turbin Angin.....	65
3.6	Simulasi Turbin Angin	68
3.7	Optimasi Turbin Angin	71
3.7.1	Variabel Optimasi	71
3.7.2	Diagram Alir Proses Optimasi.....	72
3.7.3	Penggenerasian <i>Airfoil</i> Baru Menggunakan ANN.....	74
BAB IV	HASIL DAN ANALISA	80
4.1	Hasil Simulasi pada Turbin Angin Acuan.....	80
4.2	Analisa Hasil Optimasi.....	81
4.2.1	Optimasi Menggunakan Algoritma Genetika	81
4.2.2	Optimasi Menggunakan <i>Based-gradient Method</i>	86
BAB V	PENUTUP	92
5.1	Kesimpulan.....	92
5.2	Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Vertical Axis Wind Turbine</i>	9
Gambar 2.2	<i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>	9
Gambar 2.3	Turbin angin <i>upwind</i> dan <i>downwind</i>	10
Gambar 2.4	Kondisi aliran udara akibat ekstraksi energi mekanik aliran bebas	12
Gambar 2.5	Grafik hubungan C_p dengan rasio kecepatan	16
Gambar 2.6	Gaya aerodinamik pada sudu ketika dialiri aliran udara	17
Gambar 2.7	Nilai C_p dan <i>tip speed ratio</i> pada berbagai macam turbin angin.....	18
Gambar 2.8	Geometri <i>blade</i> dengan variasi profil airfoil dan sudut <i>twist</i>	20
Gambar 2.9	Bagian – bagian airfoil	20
Gambar 2.10	Pengaruh sudut <i>twist</i> terhadap efisiensi rotor	21
Gambar 2.11	Bagan tahapan simulasi yang akan dilakukan	24
Gambar 2.12	Diagram alir cara kerja <i>Aerodyn</i>	26
Gambar 2.13	<i>File aerodyn.ipt</i>	27
Gambar 2.14	<i>File airfoil.dat</i>	27
Gambar 2.15	<i>File wind.wnd</i>	28
Gambar 2.16	<i>File yawdyn.ipt</i>	28
Gambar 2.17	Diagram alir cara kerja <i>Yawdyn</i>	29
Gambar 2.18	<i>File yawdyn.plt</i>	30
Gambar 2.19	Tahapan optimisasi secara umum	30
Gambar 2.20	Flow chart algoritma genetika untuk satu populasi	37
Gambar 2.21	Jaringan Syaraf Biologi	38
Gambar 2.22	Artificial neuron	39
Gambar 2.23	Jaringan layar tunggal	40
Gambar 2.24	Jaringan layar jamak	41
Gambar 2.25	Jaringan recurrent	42
Gambar 2.26	Fungsi bias di dalam jaringan	43
Gambar 2.27	Arsitektur <i>Backpropagation</i>	44

Gambar 2.28	Fungsi aktivasi sigmoid biner	44
Gambar 2.29	Fungsi aktivasi sigmoid bipolar	45
Gambar 2.30	Fungsi identitas	45
Gambar 2.31	Pelatihan <i>standard Backpropagation</i>	46
Gambar 2.32	Fase pelatihan <i>Backpropagation</i>	47
Gambar 3.1	Data karakteristik <i>airfoil S834</i>	55
Gambar 3.2	Susunan <i>airfoil</i>	56
Gambar 3.3	Kurva daya generator GL-PMG 500A	57
Gambar 3.4	Desain turbin angin acuan	58
Gambar 3.5	Data kecepatan angin dalam <i>wind.wnd</i>	58
Gambar 3.6	File <i>airfoil.dat</i> yang memuat data karakteristik aerodinamik airfoil	60
Gambar 3.7	File <i>aerodyn.ipt</i>	62
Gambar 3.8	File <i>yawdyn.ipt</i>	65
Gambar 3.9	Diagram alir simulasi turbin angin menggunakan <i>yawdyn</i>	68
Gambar 3.10	Program <i>yawdyn</i> saat dieksekusi	69
Gambar 3.11	File <i>error.log</i>	70
Gambar 3.12	File output <i>yawdyn.plt</i>	70
Gambar 3.13	File <i>yawdyn.opt</i> hasil simulasi	71
Gambar 3.14	Diagram alir proses optimisasi	72
Gambar 3.15	<i>Interface</i> proses pelatihan ANN	75
Gambar 3.16	Plot <i>training performance</i>	75
Gambar 3.17	Plot hasil training ANN	76
Gambar 3.18	<i>Syntax</i> penggenerasian <i>airfoil</i> dengan ANN	76
Gambar 3.19	Tampilan program <i>foilcheck</i>	78
Gambar 3.20	File <i>airfoil.dat</i> hasil ekstrapolasi program <i>foilcheck</i>	78
Gambar 3.21	Skema penggenerasian data karakteristik <i>airfoil</i> menggunakan ANN	79
Gambar 4.1	Hasil simulasi turbin angin acuan menggunakan <i>yawdyn</i>	80
Gambar 4.2	Geometri <i>airfoil</i> hasil optimisasi dengan algoritma genetika	81

Gambar 4.3	Karakteristik aerodinamik airfoil hasil optimasi menggunakan algoritma genetika	82
Gambar 4.4	Distribusi sudut <i>twist</i> hasil optimasi menggunakan algoritma genetika.....	82
Gambar 4.5	Plot hasil optimasi menggunakan algoritma genetika.....	83
Gambar 4.6	Daya keluaran pada turbin angin hasil optimasi menggunakan algoritma genetika tanpa melibatkan sudut <i>twist</i>	84
Gambar 4.7	Daya keluaran pada turbin angin hasil optimasi menggunakan algoritma genetika	85
Gambar 4.8	Perbandingan geometri <i>airfoil</i> hasil optimasi menggunakan algoritma genetika dan <i>based-gradient method</i> pada variasi pertama	87
Gambar 4.9	Distribusi sudut <i>twist</i> hasil optimasi menggunakan <i>based-gradient</i>	87
Gambar 4.10	Plot hasil optimasi menggunakan <i>based-gradient</i> pada variasi pertama.....	88
Gambar 4.11	Plot hasil optimasi dengan <i>based-gradient method</i> pada variasi kedua.....	89
Gambar 4.12	Plot hasil optimasi dengan <i>based-gradient method</i> pada variasi kedua.....	90
Gambar 4.13	Perbandingan daya keluaran hasil optimasi menggunakan <i>based-gradient method</i> dan algoritma genetika.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skala <i>Beaufort</i>	8
Tabel 3.1	Data spesifikasi turbin angin yang digunakan sebagai acuan	54
Tabel 3.2	Besar <i>chord</i> pada tiap-tiap stasiun.....	56
Tabel 3.4	Spesifikasi generator GL-PMG 500A.....	57
Tabel 3.5	Keterangan parameter pada file <i>wind.wnd</i>	59
Tabel 3.6	Keterangan parameter pada file <i>airfoil.dat</i>	61
Tabel 3.7	Keterangan parameter pada file <i>aerodyn.ipt</i>	63
Tabel 3.8	Keterangan parameter pada file <i>Yawdyn.ipt</i>	66
Tabel 3.9	Karakteristik airfoil hasil simulasi dengan menggunakan ANN.....	77
Tabel 4.1	Nilai sudut <i>twist</i> hasil optimasi algoritma genetika.....	83
Tabel 4.2	Variasi nilai tebakan awal untuk keempat variabel	86
Tabel 4.3	Nilai sudut <i>twist</i> hasil optimasi <i>based-gradient method</i> pada variasi pertama	87
Tabel 4.4	Nilai sudut <i>twist</i> hasil optimasi <i>based-gradient method</i> pada variasi kedua	90