

# PROSIDING



**“Peningkatan Kualitas Penelitian  
untuk Mencapai Sumber Daya  
Manusia yang Kompeten di  
Bidang Teknik Mesin ”**

**Kamis, 20 Juni 2013  
Kampus Universitas Kristen Petra  
Surabaya**

**Editor:  
Fandi D. Suprianto  
Willyanto Anggono  
Joni Dewanto  
Gan Shu San  
Sutrisno**

**Penerbit:  
Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Kristen Petra  
Jl. Siwalankerto 121 - 131, Surabaya 60236**

**Didukung oleh :**





## **PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNIK MESIN 8**

“Peningkatan Kualitas Penelitian untuk Mencapai Sumber Daya Manusia yang Kompeten di Bidang Teknik Mesin”

Hak Cipta © 2013 oleh SNTM 8  
Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Kristen Petra

Dilarang mereproduksi, mendistribusikan bagian dari publikasi ini dalam segala bentuk maupun media tanpa seijin Program Studi Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Dipublikasikan dan didistribusikan oleh:  
Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Kristen Petra,  
Jl. Siwalankerto 121-131  
Surabaya, 60236  
INDONESIA

**ISBN: 978-979-25-4417-6**

## **TIM PENGARAH (REVIEWER):**

1. **Prof. Dr. Djatmiko Ichsani, M.Eng.**  
(Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
2. **Prof. Dr. Ir. Djoko Suharto, M.Sc.**  
(Institut Teknologi Bandung)
3. **Prof. Dr. Ir. Eddy Sumarno Siradj, M.Sc.**  
(Universitas Indonesia)
4. **Prof. Ir. I.N.G. Wardhana, M.Eng., M.Sc.**  
(Universitas Brawijaya)
5. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., PhD.**  
(Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
6. **Prof. Dr. Kuncoro Diharjo, S.T., M.T.**  
(Universitas Negeri Sebelas Maret)
7. **Prof. Dr.-Ing. Ir. Mulyadi Bur**  
(Universitas Andalas)
8. **Prof. Dr. Ir. Yatna Yuwana Martawirya**  
(Institut Teknologi Bandung)
9. **Prof. Dr. Ir. I Wajan Berata, DEA.**  
(Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
10. **Dr.-Ing. Suwandi Sugondo, Dipl.-Ing.**  
(Universitas Kristen Petra)
11. **Ir. Purnomo, M.Sc., PhD.**  
(Universitas Gadjah Mada)
12. **Dr. Ir. M. Harly, M.T.**  
(VEDC Malang)

## PANITIA PELAKSANA

- Ketua** : Ir. Oegik Soegihardjo, M.Sc., M.A.
- Sekretaris** : Ian Hardianto Siahaan, S.T., M.T.
- Bendahara** : Ir. Ekadewi A Handoyo, M.Sc.
- Pubdekdok** : Teng Sutrisno, S.T., M.T.
- Acara** : Ir. Joni Dewanto, M.S.
- Perlengkapan** : Ir. Philip Kristanto  
Roche Alimin, S.T., M.Eng.
- Konsumsi** : Ir. Ninuk Jonoadji, M.T., M.M.
- Editor** : Fandi D Suprianto, S.T., M.Sc.  
Dr. Willyanto Anggono, S.T., M.Sc.  
Dra. Gan Shu San, M.Sc.  
Ir. Joni Dewanto, M.S.  
Teng Sutrisno, S.T., M.T.
- Sponsorship** : Ir. Didik Wahjudi, M.Sc., M.Eng.

## **SAMBUTAN KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

Sektor industri nasional ikut memacu pertumbuhan perekonomian Indonesia, yang diprediksi bisa mencapai angka tujuh persen di tahun ini. Pada 2012, pertumbuhan ekonomi Indonesia mencapai angka 6,2 persen dan merupakan negara kedua di dunia yang angka pertumbuhannya cukup tinggi. Hal ini didukung pertumbuhan sektor industri nonmigas yang mencapai 6,4 persen dan memberikan kontribusi sebesar 20,8 persen dari total pertumbuhan produk domestik bruto (PDB) nasional. Kementerian Perindustrian memprediksikan pertumbuhan sektor industri ini bisa mencapai angka 7,14 persen pada akhir 2013. Namun, sektor ini masih menghadapi tantangan yang bisa menahan laju pertumbuhannya. Peningkatan daya saing khususnya dalam hal sumber daya manusia, menjadi kata kunci bagi sektor industri nasional dalam menghadapi tantangan ke depan, di antaranya dalam waktu dekat akan diberlakukannya ASEAN Community 2015.

Melihat peranan bidang Teknik Mesin yang vital dan strategis di industri, maka sumber daya manusia bidang teknik mesin yang berkompeten serta mampu mengintegrasikan berbagai aspek, menjadi kebutuhan yang mendesak. Dalam rangka meningkatkan kompetensi yang dimaksud, maka kolaborasi antara perguruan tinggi/lembaga penelitian dan pelaku bisnis (industri) harus dapat terjalin dengan baik dan saling mendukung satu dengan lainnya.

Selama 7 tahun berturut-turut, Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTM) telah sukses diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra dengan maksud untuk meningkatkan sinergi antara perguruan tinggi, lembaga peneliti dan industri dalam bidang riset dan pengembangan. Di tahun 2013 ini, SNTM kembali diselenggarakan dengan sebuah misi yaitu meningkatkan kualitas penelitian untuk mencapai sumber daya manusia yang kompeten di bidang teknik mesin. Kegiatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kemampuan sumber daya manusia bagi pengembangan industri nasional khususnya melalui penyelesaian masalah teknik mesin yang efektif, hemat energi, dan ramah lingkungan.

Terimakasih atas partisipasi semua pihak yang terlibat dalam kegiatan ini. Semoga pelaksanaan SNTM 8 dapat menginisiasi dan meningkatkan kolaborasi antara perguruan tinggi/lembaga penelitian dan industri, sehingga akhirnya terobosan-terobosan yang dihasilkan dapat menggugah inspirasi dan menjadi acuan yang berguna bagi berbagai pihak yang memerlukan. Selamat berseminar, Tuhan memberkati.

Surabaya, 5 Juni 2013  
KaProdi Teknik Mesin

Fandi D. Suprianto

## SAMBUTAN KETUA PANITIA

Kita patut bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, kalau Seminar Nasional Teknik Mesin 8 yang merupakan seminar tahunan yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Mesin bisa diselenggarakan pada hari ini. Kalau hari ini kita bersama-sama bisa hadir di *event* ini, semua karena kemurahanNya.

Sumber daya manusia yang kompeten menjadi salah satu factor penting untuk mencapai sebuah tujuan. Sejalan dengan pemahaman tersebut, tema 'Peningkatan Kualitas Penelitian untuk Mencapai Sumber Daya Manusia yang Kompeten di bidang Teknik Mesin' dipilih sebagai tema seminar kali ini. Sebagaimana disampaikan dalam salah satu sambutan tertulis Ditjen Dikti, bahwa kualitas penelitian perlu terus ditingkatkan, karena jika kita mengacu pada negara maju, salah satu faktor utama pendukung kemajuan adalah kualitas penelitian mereka yang terus bergerak ke depan, sehingga penelitian mereka umumnya berada di garis depan ilmu pengetahuan.

Kami menyampaikan terima kasih kepada para peneliti yang sudah berkenan mengirimkan makalahnya dalam seminar ini, dengan harapan agar berbagai upaya dan hasil yang selama ini sudah dicapai terus menumbuhkan semangat untuk maju. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada para *reviewer*, *keynote speaker*, panitia serta semua pihak yang sudah mendukung agar SNTM 8 bisa berjalan dengan baik.

Selamat berseminar. Tuhan memberkati kita semua.

Surabaya, 20 Juni 2013.  
Ketua Panitia SNTM 8,

Oegik Soegihardjo

## KATA PENGANTAR

Kualitas penelitian di perguruan tinggi dan industri dalam riset, rekayasa dan inovasi merupakan hal yang sangat penting untuk mencapai sumber daya manusia yang kompeten di bidang teknik mesin. Dengan demikian peran para peneliti dan praktisi yang serasi dan saling melengkapi perlu terus dibina dan ditingkatkan melalui pertukaran informasi dan menjadi sebuah kebutuhan yang tidak dapat dihindari.

Seminar Nasional Teknik Mesin merupakan even tahunan yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra dan pada tahun 2013 ini diselenggarakan untuk ke delapan kalinya. Seminar Nasional Teknik Mesin 8 kali ini mengusung tema **Peningkatan Kualitas Penelitian untuk Mencapai Sumber Daya Manusia yang Kompeten di Bidang Teknik Mesin**. Kualitas penelitian yang baik dalam bidang Teknik Mesin sangat berperan dalam peningkatan kompetensi sumber daya manusia. Melalui Seminar Nasional Teknik Mesin 8 ini, karya-karya penelitian yang terpilih diharapkan dapat memberikan sumbangsih bagi pencapaian kompetensi sumber daya manusia di bidang Teknik mesin.

Sebagaimana yang selalu diharapkan dari penyelenggaraan seminar semacam ini, akan semakin banyak hasil penelitian yang dapat diimplementasikan dalam dunia perguruan tinggi dan industri sehingga hal-hal positif hasil penelitian dalam seminar ini dapat dirasakan oleh masyarakat secara luas.

Kiranya segenap upaya yang telah dilakukan berguna bagi kemajuan dan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia serta menjadi pendorong untuk menghasilkan karya-karya penelitian lanjutan yang semakin baik.

Selamat berseminar dan berkarya.

Surabaya, Juni 2013

Tim Editor



## DAFTAR ISI

TIM PENGARAH (REVIEWER).....	ii
PANITIA PELAKSANA.....	iii
SAMBUTAN KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN.....	iv
SAMBUTAN KETUA PANITIA .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii

### D – DISAIN

1. RANCANGAN MESIN PEMECAH SABUT KELAPA TIGA TAHAP DENGAN PENDEKATAN PARTISIPATORI Hari Purnomo, Dian Janari, Hardik Widananto .....	D1-D7
2. PENGENDALIAN MOTOR SERVO DC DENGAN MENGGUNAKAN GECKODRIVE320X Rachmad Hartono.....	D8-D11
3. <i>DECIDING THE OPTIMUM SPOKE ANGLE OF MOTORCYCLE CAST WHEEL USING FINITE ELEMENT APPLICATION AND PUGH'S CONCEPT SELECTION METHOD</i> Case study: <i>Sustainable Product Development for Motorcycle Cast Wheel</i> Willyanto Anggono, Ivano Pratikto, Heru Suryato, Sugeng Hadi Susilo, Suprihanto .....	D12-D16
4. <i>SUSTAINABLE PRODUCT DEVELOPMENT FOR SHIP DESIGN USING FINITE ELEMENT APPLICATION AND PUGH'S CONCEPT SELECTION METHOD</i> Case study: <i>Deciding the Optimum Ship Bow Design</i> Willyanto Anggono, La Ode M. Gafaruddin .....	D17-D19
5. <i>SIMULASI</i> RANCANGAN SISTEM MEKANIK PEMANFAATAN BOBOT KENDARAAN SEBAGAI SUMBER ENERGI PEMBUKA PALANG PINTU (PORTAL) Joni Dewanto .....	D20-D23
6. <i>STUDI DESAIN SCREW FEEDER</i> UNTUK MESIN <i>EXSTRUDER</i> MIE JAGUNG UNTUK INDUSTRI KECIL Novrinaldi, Satya Andika Putra, Andi Taufan, Halomoan P. Siregar .....	D24-D28

## K - KONVERSI ENERGI

1. **ANALISIS PENGUJIAN MESIN PENDINGIN TEMPERATUR RENDAH DENGAN PENUKAR KALOR JOULE-THOMSON MENGGUNAKAN REFRIGERAN CAMPURAN PROPANA DAN NITROGEN**  
Ade Suryatman Margana, Muhamad Anda Falahuddin, Sumeru, Henry Nasution ..... K1-K5
2. **STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK BRIKET ORGANIK BAHAN BAKU DARI TWA GUNUNG BAUNG**  
Iis Rohmawati ..... K6-K11
3. ***COMPLEXITY OF FLUID FLOW IN A RECTANGULAR ELBOW AND ITS EFFECTS ON THE FLOW PRESSURE DROP***  
Prof. Sutardi, Thoha, I. U., Affan, I. .... K12-K16
4. **KAJI EKSPERIMENTAL PENGHEMATAN ENERGI PADA MINI FREEZER MENGGUNAKAN REFRIGERAN SEKUNDER**  
TriajiPangripto Pramudantoro, Rudi Rustandi, Sumeru ..... K17-K21
5. **STUDI EKSPERIMEN NOSEL BERPUTAR SEBAGAI PENELITIAN PENDAHULUAN DALAM PERBAIKAN PROSES DESALINASI**  
Hery Sonawan<sup>1</sup>, Abdurrachim Halim, Nathanael P. Tandian, Sigit Yuwono..... K22-K26
6. **INVESTIGASI PENGARUH *PITCH ANGLE* SUDU KINCIR ANGIN TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR PADA MODEL KINCIR ANGIN SUDU DATAR BERBENTUK PERSEGI PANJANG**  
Rines ..... K27-K32
7. **STUDI NUMERIK 2D UNSTEADY-RANS PENGARUH DUA SILINDER PENGGANGGU TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI DUA SILINDER SIRKULAR YANG TERSUSUN SECARA TANDEM PADA SALURAN SEMPIT “Studi kasus untuk jarak antar silinder  $1,5 \leq L/D \leq 4$ ”**  
Aida Annisa Amin Daman, Wawan Aries Widodo. .... K33-K36
8. **STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN MELINTASI SILINDER SIRKULAR TUNGGAL DENGAN BODI PENGGANGGU BERBENTUK SILINDER SIRKULAR PADA SALURAN SEMPIT BERPENAMPANG BUJUR SANGKAR**  
Diastian Vinaya Wijanarko, Wawan Aries Widodo ..... K37-K41
9. **GELOMBANG DETONASI MARGINAL CAMPURAN BAHAN BAKAR HIDROGEN, OKSIGEN DAN ARGON**  
Ari Dwi Prasetyo, Jayan Sentanuhady ..... K42-K45
10. **SIMULASI NUMERIK DENGAN PENDEKATAN *URANS* PADA ALIRAN YANG MELINTASI SUSUNAN DUA SILINDER SIRKULAR *SIDE BY SIDE* DEKAT DINDING**  
A. Grummy Wailanduw, Triyogi Yuwono, Wawan Aries Widodo ..... K46-K49

11. **KAJI EKSPERIMENTAL PENURUNAN TEKANAN AIR DALAM FILTER KARBON AKTIF**  
Toto Supriyono, Herry Sonawan, Bambang Ariantara, Nizar Riyadus Solihin ..... K50-K54
12. **KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH IKLIM CUACA TERHADAP KOEFISIEN PERFORMANSI MESIN PENDINGIN SIKLUS ADSORPSI TENAGA MATAHARI**  
Tulus Burhanuddin Sitorus, Farel H. Napitupulu, Himsar Ambarita ..... K55-K60
13. **UNJUK KERJA HIDRAM PVC 4 INCHI**  
Dwiseno Wihadi, T. Bayu Ardiyanto ..... K61-K63
14. **STUDI NUMERIK OPTIMASI KINERJA HORISONTAL AXIS WIND TURBINE (HAWT) PADA POTENSI ANGIN TROPIS**  
Sutrisno, Peter Jonatan, Fandi Dwiputra Suprianto ..... K64-K67
15. **PERANCANGAN PROPELER TURBIN ANGIN POROS HORISONTAL DENGAN METODA BLADE ELEMENT MOMENTUM**  
Fandi D. Suprianto, Sutrisno, Peter Jonathan ..... K68-K72
16. **STUDI NUMERIK DARI PENAMBAHAN *OBSTACLES* TERHADAP KINERJA KOLEKTOR SURYA PEMANAS UDARA DENGAN PLAT PENYERAP JENIS *V-CORRUGATED***  
Ekadewi A. Handoyo, Djatmiko Ichsani, Prabowo, Sutardi ..... K73-K78
17. **KINCIR ANGIN SAVONIUS ENAM TINGKAT DENGAN MODIFIKASI PANJANG SUDU**  
Doddy Purwadianto, D. Johan Primananda, YB. Lukiyanto ..... K79-K82
18. **UJI KOMPARASI BIODISEL BERBASIS LIMBAH MINYAK GORENG DENGAN BIOSOLAR DAN SOLAR BERSUBSIDI PADA MOTOR DIESEL SISTIM INJEKSI LANGSUNG**  
Philip Kristanto, Robert Adiatma ..... K83-K87

## **M – MANUFAKTUR**

1. **PENGARUH GEOMETRI PAHAT TERHADAP KEAUSAN PAHAT HSS UNTUK MATERIAL BAJA ST.40 PADA PROSES *TURNING***  
Priyagung Hartono, Pratikto, Agus Suprpto, Yudy Surya Irawan, Dwi Yanuar Nugroho ... M1-M6
2. **INTEGRASI MATH DAN CAD TOOL UNTUK MERANCANG KINEMATIKA MANIPULATOR SERI ROBOT INDUSTRI**  
Roche Alimin..... M7-M9
3. **STUDI EKSPERIMEN PENGARUH *OVERHANG* PAHAT TERHADAP BATAS STABILITAS *CHATTER* DAN AKURASI DIMENSI BENDA KERJA PADA PROSES BUBUT DALAM (*INTERNAL TURNING*)**  
Akhmad Hafizh Ainur Rasyid, Suhardjono ..... M10-M14

4. **SIMULASI *MODAL* DAN *HARMONIC RESPONSE ANALYSIS* UNTUK MEMPREDIKSI PENGARUH *STIFFENER* TERHADAP PENINGKATAN KEKAKUAN BENDA KERJA**  
Oegik Soegihardjo, Suhardjono, Bambang Pramujati, Agus Sigit Pramono ..... M15-M19
5. **STUDI EKSPERIMENTAL USAHA PENINGKATAN STABILITAS UNTUK BEBERAPA METODE DARI PROSES BUBUT EKSTERNAL PIPA BAJA**  
Semuel Boron Membalaa, Suhardjono ..... M20-M25

## **O – OTOMOTIF**

1. **ANALISIS PENAMBAHAN CH<sub>3</sub>OH PADA BAHAN BAKAR DENGAN ANGKA OKTAN 88 TERHADAP UNJUK KERJA MESIN**  
Muhammad Hasan Albana..... 01-06
2. **STUDI SIMULASI PENGARUH VARIASI WAKTU PENGAPIAN DAN RASIO UDARA-BAHAN BAKAR TERHADAP KINERJA MOTOR OTTO SATU SILINDER BERBAHAN BAKAR LPG**  
Atok Setiyawan, Achmad Fathonah..... 07-011
3. **OPTIMASI UNJUK KERJA MESIN SINJAI DENGAN SISTEM PEMASUKAN BAHAN BAKAR PORT INJEKSI MELALUI MAPPING WAKTU PENGAPIAN**  
Bambang Sudarmanta, Tri Handoyo Baniantoro ..... 012-018
4. **A NUMBER OF VENTING HOLES DISC BRAKE IMPACT ON STATIONARY TEST**  
Ian Hardianto Siahaan, Ervin Edi Hermawan..... 019-022
5. ***ON BOARD DIAGNOSTIC FOR VEHICLE PREVENTIVE MAINTENANCE***  
Ian Hardianto Siahaan, Ninuk Jonoadji..... 023-025



## PERANCANGAN PROPELER TURBIN ANGIN POROS HORIZONTAL DENGAN METODA BLADE ELEMENT MOMENTUM

Fandi D. Suprianto<sup>1)</sup>, Sutrisno<sup>2)</sup>, Peter Jonathan<sup>3)</sup>

Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra<sup>1,2,3)</sup>

Jalan. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia<sup>1,2,3)</sup>

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658<sup>1,2)</sup>

E-mail : [fandi@petra.ac.id](mailto:fandi@petra.ac.id)<sup>1)</sup>, [tengsutrisno@petra.ac.id](mailto:tengsutrisno@petra.ac.id)<sup>2)</sup>

### ABSTRAK

Turbin Angin dapat menjadi salah satu solusi alat pembangkit tenaga listrik dengan mengkonversi energi angin menjadi listrik ditengah krisis energi global pada abad ke-21 ini. Kebutuhan energi didaerah perkotaan terus meningkat seiring berjalannya waktu yang tidak diikuti perkembangan sumber energi terbarukan. Dengan adanya gedung-gedung tinggi, semestinya meningkatkan potensi energi angin yang melewati sela-sela gedung yang merupakan konsentrator angin. Maka, perlu dirancang Propeler Turbin Angin yang optimal yang dapat menjawab kebutuhan energi di daerah perkotaan khususnya pada Gedung Hemat Energi yang sengaja dirancang khusus untuk memusatkan aliran angin. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter disain untuk turbin angin poros horisontal yang meliputi rotor radius, chord length, dan twist dengan menggunakan metoda Blade Element Momentum. Coefficient of Performance (CP) dari perhitungan dibandingkan terhadap berbagai Tip Speed Ratio (TSR) serta perubahan profil blade baik secara linearisasi maupun mengganti komposisi dan konfigurasi airfoil yang akan digunakan. Nilai TSR yang digunakan adalah TSR 4 hingga TSR 10. Berdasarkan hasil penelitian, konfigurasi yang menghasilkan CP terbaik adalah Mixed Ideal Blade dengan nilai 47.6% pada TSR 8. Dari hasil penelitian tersebut, maka Mixed Ideal Blade dapat diaplikasikan pada Gedung Hemat Energi di daerah perkotaan.

**Kata kunci:** Horizontal Axis Wind Turbine, Blade Element Momentum, Gedung Hemat Energi, Blade Design, Wind Energy.

### 1. PENDAHULUAN

Masalah krisis energi di dunia sudah menjadi topik yang hangat pada era abad ke-21 ini. Hal ini dikarenakan semakin menipisnya persediaan stok bahan bakar fosil yang merupakan *Non-Renewable Energy*. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil memiliki dampak pencemaran lingkungan dikarenakan emisi gas buang dari penggunaannya.

Salah satu contoh penggunaan *renewable energy* adalah konversi *wind energy* dengan menggunakan turbin angin. Energi angin sangatlah banyak tersedia dan merupakan energi yang cukup murah untuk dimanfaatkan. Proses konversi energi ini tidak menimbulkan polusi. Sayangnya, penggunaan energi angin belum banyak diaplikasikan sebagai salah satu penghasil energi listrik yang ada di Indonesia. Dari data BMKG Juanda maupun BMKG Perak menunjukkan potensi angin di Surabaya yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan energi di berbagai sektor, antara lain: *agricultural*, perindustrian, pembangkit listrik, dan lain-lain.

Kebutuhan akan energi di daerah perkotaan meningkat diiringi dengan penambahan jumlah gedung-gedung tinggi di Indonesia. Padahal dengan adanya penambahan jumlah gedung tinggi di Indonesia meningkatkan potensi pemanfaatan turbin angin dikarenakan tingginya kecepatan angin yang lewat diantara gedung-gedung tersebut yang bisa dimanfaatkan untuk pembangkit energi yang bebas polusi.

Penggunaan turbin angin poros horisontal (HAWT) untuk daerah perkotaan belum banyak diterapkan di Indonesia. Hal ini dikarenakan arah angin yang berubah-ubah sehingga lebih cocok bila digunakan turbin angin poros vertikal. Padahal turbin angin poros horisontal (HAWT) memiliki efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Turbin angin poros

vertikal (VAWT). Turbin angin poros horisontal bisa diterapkan pada Gedung Hemat Energi yang sengaja dirancang khusus untuk memusatkan aliran angin.

Didasari oleh latar belakang dan permasalahan yang ada, maka penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain propeler yang menghasilkan *Coefficient of Performance (CP)* yang tinggi untuk Turbin angin poros horisontal yang akan ditempatkan di Gedung Hemat Energi. Beberapa parameter yang akan didesain meliputi *rotor radius*, *chord length*, dan *twist*.

### 2. METODOLOGI

Turbin angin poros horisontal (HAWT) merupakan sebuah alat pengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin ini mengkonversi energi tersebut dengan menggunakan gaya *lift* pada *blade* yang menghasilkan momen torsi yang memutar poros turbin dan putaran turbin tersebut dikonversi menjadi energi listrik dengan generator. Sumber energi ini tidak bias langsung dipakai dan harus disimpan terlebih dahulu pada sebuah catudaya. Hal ini dikarenakan *output* dari turbin angin yang berfluktuasi.

Secara praktis, desain turbin angin ditentukan berdasarkan gaya aero dinamika yang bekerja pada propeler. Analisis klasik dari turbin angin pada awalnya dikembangkan oleh Betz dan Glauert[1], [2] pada tahun 1930. Selanjutnya, teori ini dikembangkan dan diadaptasi untuk mendapatkan solusi dengan komputer digital [3], [4], [5]. Pada metode ini, *momentum theory* dan *blade element theory* digabungkan menjadi *strip theory* atau *blade element momentum theory* yang memungkinkan untuk dilakukannya perhitungan karakteristik kinerja pada rotor turbin angin.

Untuk mendapatkan suatu hasil penelitian yang komprehensif, beberapa batasan penelitian diberlakukan:

- Turbin angin yang dipilih adalah turbin angin jenis HAWT
- Hanya mendesain aerodinamika propeler turbin angin
- Diameter *blade rotor* 3 meter
- *Airfoil* yang digunakan NREL S833, S834, dan S835 [6]

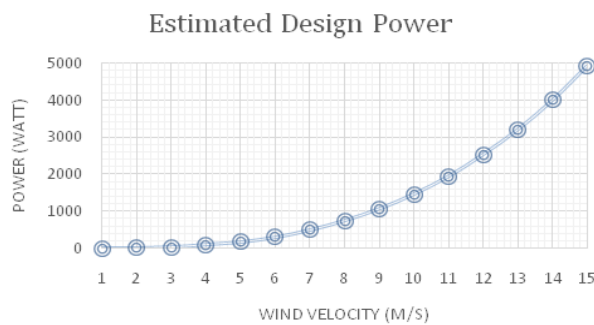
### Menentukan Dayadan Radius *Blade*

Langkah pertama adalah menentukan daya yang dibutuhkan untuk kecepatan angin tertentu, atau menentukan Radius yang akan dibuat dikarenakan adanya tempat yang cukup sehingga dapat menghasilkan suatu daya yang optimal.

Daya dapat ditentukan sebagai berikut:

$$P = C_p \eta \left(\frac{1}{2}\right) \rho \pi R^2 U^3 \quad (1)$$

Diameter turbin dirancang sesuai dengan batasan di lokasi pemasangan, yaitu sebesar 3 meter. *Coefficient of performance* (CP) diasumsi sebesar 0.4 dan Efisiensi mekanis ( $\eta$ ) diasumsikan sebesar 0.9. Sehingga daya yang akan dihasilkan pada kecepatan angin ( $U$ ) yang berbeda adalah sebagai berikut.



Gambar1. Estimasi Daya Turbin Angin yang akan didesain

### Menentukan Tip Speed Ratio (TSR/ $\lambda$ )

Menentukan TSR disesuaikan dengan aplikasi yang akan dilakukan oleh Turbin Angin. Untuk memompa air yang pada umumnya membutuhkan Torsi yang besar dibutuhkan  $1 < TSR < 3$ . Untuk kegiatan pembangkit listrik, dibutuhkan  $4 < TSR < 10$ . Semakin besar TSR, maka diperlukan semakin sedikit material pada *blade*, dan semakin kecil gearbox yang dibutuhkan, namun memerlukan bentuk *Airfoil* yang lebih mutakhir. Sesuai dengan kondisi di lapangan, maka dalam penelitian ini nilai TSR ditentukan mulai dari 4 hingga 10.

### Menentukan Jumlah *Blade*

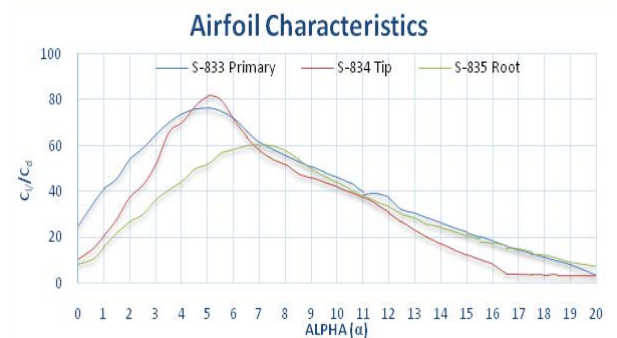
Tabel 1. Jumlah *blade* yang disarankan (B), untuk  $TSR/\lambda$  yang berbeda

$\lambda$	B
1	8–24
2	6–12
3	3–6
4	3–4
>4	1–3

Penentuan jumlah *blade* yang digunakan tergantung dari TSR yang dipilih, perlu diketahui bahwa semakin sedikit *blade* yang digunakan diperlukan konstruksi yang lebih baik pada hub.

### Menganalisa *Airfoil*

Data *Airfoil* didapatkan menggunakan software XFLR5. Diperoleh bahwa, *Airfoil NREL S-833* memiliki nilai  $C_l/C_d$  teroptimal pada *angle*  $5^\circ$ . *Airfoil NREL S-834* yang berfungsi pada bagian *Tip*, memiliki nilai  $C_l/C_d$  yang paling optimal pada *angle*  $4^\circ$ . Sedangkan *Airfoil NREL S-835* yang bekerja pada bagian *Root*, memiliki nilai  $C_l/C_d$  yang optimal pada *angle*  $6.5^\circ$ . *Angle* tersebut akan digunakan untuk menentukan *incident angle* pada masing-masing *section* sebuah *blade*.



Gambar 2. Data Karakteristik *Airfoil*  $C_l/C_d$  vs  $\alpha$

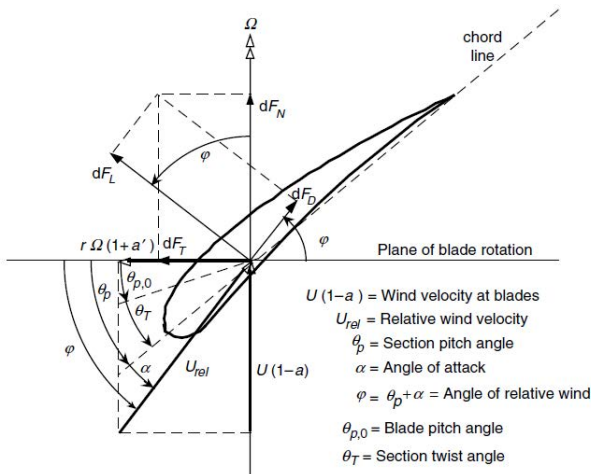
Setelah dilakukan analisa terhadap *airfoil* yang akan digunakan, dilakukan kalkulasi *BEM* dengan menggunakan step-step yang ada pada bagian di bawah ini (2.5 – 2.8). *Coefficient of Performance* (CP) dari perhitungan akan dibandingkan terhadap berbagai *TSR* serta perubahan profil *blade* baik secara linearisasi maupun mengganti komposisi dan konfigurasi *airfoil* yang akan digunakan. Ada 2 macam konfigurasi yang diteliti yaitu *uniform blade* dan *mixed blade*. *Uniform Ideal Blade* adalah *blade* dengan komposisi *airfoil* yang tetap sepanjang *blade span*, yaitu *NREL S-833* dengan distribusi *Chord* ( $c$ ) dan *Twist* ( $\theta_p$ ) yang ideal. Karena menggunakan *airfoil NREL S-833* yang merupakan *Primary Airfoil*, maka *incident angle* ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah  $5^\circ$ .

*Mixed Ideal Blade* adalah *blade* dengan komposisi *airfoil* yang bervariasi dengan komposisi 0,4; 0,75; 0,95 sepanjang *blade span* dengan *airfoil NREL S-835*, *NREL S-833*, *NREL S-834* dengan distribusi *Chord* ( $c$ ) dan *Twist* ( $\theta_p$ ) yang ideal. Pada *airfoil NREL S-833* yang merupakan *Primary Airfoil*, maka *incident angle* ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah  $5^\circ$ . Pada *NREL S-834* yang merupakan *airfoil* untuk daerah *tip*, digunakan *angle* ( $\alpha$ )  $4^\circ$ . Pada *NREL S-835* yang merupakan *airfoil* jenis *root*, *angle* ( $\alpha$ ) yang digunakan  $6,5^\circ$ .

Dengan demikian maka ada 4 model yang akan dibandingkan performanya:

1. *Uniform Ideal Blade*
2. *Uniform Linearized Blade*
3. *Mixed Ideal Blade*
4. *Mixed Linearized Blade*

## Membagi *Blade* menjadi N Elemen dan Menganalisa Setiap Bagian



**Gambar 3.** *Blade geometry for analysis of a horizontal axis wind turbine.*[7]

Blade dibagi menjadi N bagian (biasanya 10-20 bagian). Teori optimasi rotor digunakan untuk mengestimasi bentuk *blade* pada titik tengah radius,  $r_i$ . Berikut persamaan yang digunakan.

$$\lambda_{r,i} = \lambda(r_i/R) \quad (2)$$

$$i = \left(\frac{2}{3}\right) \tan^{-1}(1/\lambda_r) \quad (3)$$

$$c_i = \frac{8 r_i}{BC_{l,design}} (1 - \cos i) \quad (4)$$

$$T = p_i - p_0 \quad (5)$$

$$i = p_i + \alpha_{design} \quad (6)$$

### Melakukan Linearisasi

Untuk mempermudah fabrikasi maka diperlukan linearisasi pada *blade*. Dewasa ini sudah terdapat berbagai teknologi modern yang bias menunjang fabrikasi yang cukup rumit, namun apa bila diperlukan linearisasi maka chord dan twist angle bias didapatkan dengan cara.

$$c_i = a_1 r_i + b_i \quad (7)$$

$$T_{,i} = a_2 (R - r_i) \quad (8)$$

### Menghitung Performa Rotor

Blade dengan menggunakan metoda *Blade Element Momentum*;

Metode 1 – Menentukan  $C_l$  dan  $\alpha$

Mencari nilai actual dari  $C_l$  dan  $\alpha$ , dengan menggunakan rumus dan nilai empiris dibawah ini.

**Tabel 2.** Perbandingan  $CP$  berbagai model *blade* dengan variasi  $TSR$

<b>Coefficient of Performance (CP) Comparison</b>				
<b>TSR</b>	<b>UNIFORM IDEAL BLADE</b>	<b>UNIFORM LINEARISED BLADE</b>	<b>MIXED IDEAL BLADE</b>	<b>MIXED LINEARISED BLADE</b>
4	45.205%	43.589%	45.223%	43.557%
5	46.574%	41.788%	46.600%	41.783%
6	47.260%	42.166%	47.296%	42.184%
7	47.535%	42.995%	47.581%	43.033%
8	47.547%	43.735%	47.603%	43.789%
9	47.382%	44.253%	47.448%	44.322%
10	47.093%	44.544%	47.170%	44.627%

$$C_{l,i} = 4F_i \sin i \frac{(\cos i - \lambda_{r,i} \sin i)}{i(\sin i + \lambda_{r,i} \cos i)} \quad (9)$$

$$i = \alpha_i + T_{,i} + p_0$$

$$F_i = \left(\frac{2}{3}\right) \cos^{-1} \left[ \exp\left(-\left\{\frac{(B/2)[1-(r_i/R)]}{(r_i/R) \sin i}\right\}\right) \right] \quad (10)$$

$$i_{,1} = \left(\frac{2}{3}\right) \tan^{-1}(1/\lambda_r)$$

$$i_{,j+1} = p_{,i} + \alpha_{i,j}$$

$$a_i = 1/[1 + 4 \sin^2 i / (C_{l,i} \cos i)]$$

Jika  $a_i$  lebih besar dari 0.4, gunakan Metode 2

Metode 2 – Solusi Iterasi untuk  $a$  dan  $\alpha$

Iterasi ini bertujuan untuk mendapatkan axial dan angular induction factors, hal ini membutuhkan beberapa inputan awal untuk menentukan nilainya. Berikut merupakan persamaan yang digunakan.

$$i_{,1} = \left(\frac{2}{3}\right) \tan^{-1}(1/\lambda_r)$$

$$a_{i,1} = \frac{1}{\left[1 + \frac{4 \sin^2(i_{,1})}{C_{l,design} \cos i_{,1}}\right]} \quad (11)$$

$$a_{i,1} = \frac{1}{(4a_{i,1}) - 1} \quad (12)$$

$$\tan i_{,j} = \frac{U(1-a_{i,j})}{r(1+a_{i,j})} = \frac{(1-a_{i,j})}{(1+a_{i,j})\lambda_{r,i}} \quad (13)$$

$$F_{i,j} = \left(\frac{2}{3}\right) \cos^{-1} \left[ \exp\left(-\left\{\frac{(B/2)[1-(r_i/R)]}{(r_i/R) \sin i_{,j}}\right\}\right) \right] \quad (14)$$

$$\alpha_{i,j} = i_{,j} - p_i \quad (15)$$

$$C_{T,i,j} = \frac{i(1-a_{i,j})^2 (C_{l,i,j} \cos i_{,j} + C_{d,i,j} \sin i_{,j})}{\sin^2 i_{,j}} \quad (16)$$

Update  $a$  dan  $\alpha$ . Jika  $C_{T,i,j} < 0.96$ ,

$$a_{i,j+1} = \frac{1}{\left[1 + \frac{4 \sin^2(i_{,1})}{C_{l,design} \cos i_{,1}}\right]} \quad (17)$$

Jika  $C_{T,i,j} > 0.96$

$$a_{i,j+1} = (1/F_{i,j}) [0.143 \sqrt{0.0203 - 0.6427(0.889 - C_{T,i,j})}] \quad (18)$$

$$a_{i,j+1} = \frac{1}{\left[\frac{4F_{i,j} \cos i_{,j}}{C_{l,i,j}} - 1\right]} \quad (19)$$

Jika nilai dari *induction factors* ada di dalam toleransi yang telah ditentukan sebelumnya, maka parameter performasi dapat dikalkulasi, jika tidak kembali lagi pada Metode 1.

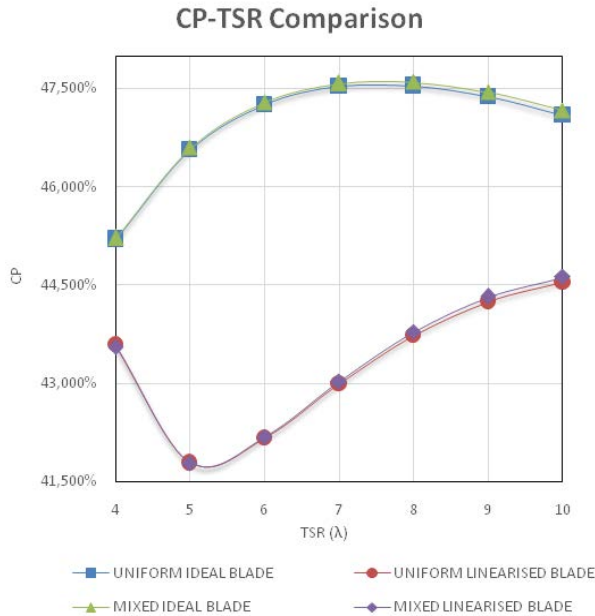
### Menghitung Koefisien Daya

Menghitung Koefisien Daya adalah dengan menjumlahkan setiap elemen pada bagian *blade*. Nilainya dapat di aproksimasi dengan menggunakan persamaan berikut.

$$C_p = 8/\lambda^2 \int_{r_h}^R F \sin^2(\cos \theta - \lambda_r \sin \theta) (\sin \theta + \lambda_r \cos \theta) [1 - (C_d/C_l) \cot \theta] \lambda_r^2 d\lambda_r \quad (20)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komparasi blade design dilakukan untuk mendapatkan *Coefficient of Performance* (CP) yang paling optimal dari 4 model blade yang telah dikalkulasi. CP dihitung pada tiap-tiap TSR, sehingga bias didapatkan TSR yang paling optimal serta model yang akan digunakan. Berikut dibawah ini, merupakan table perbandingan model dengan variasi TSR hasil perhitungan kalkulasi.



Gambar 4. Grafik Perbandingan CP berbagai model blade dengan variasi TSR

Tabel 3. Tabel Dimensi dari 4 model blade pada TSR 8

Blade Dimension															
Uniform Ideal Blade				Uniform Linearised Blade				Mixed Ideal Blade				Mixed Linearised Blade			
r	ci	$\theta_{p,i}$	Airfoil	r	ci	$\theta_{p,i}$	Airfoil	r	ci	$\theta_{p,i}$	Airfoil	r	ci	$\theta_{p,i}$	Airfoil
75	170.597	40.466	NREL S-833	75	168.680	40.466	NREL S-833	75	170.597	38.966	NREL S-835	75	168.680	38.966	NREL S-835
150	197.843	29.227	NREL S-833	150	160.580	29.227	NREL S-833	150	197.843	27.727	NREL S-835	150	160.580	27.727	NREL S-835
225	180.535	21.537	NREL S-833	225	152.480	21.537	NREL S-833	225	180.535	20.037	NREL S-835	225	152.480	20.037	NREL S-835
300	156.607	16.337	NREL S-833	300	144.380	16.337	NREL S-833	300	156.607	14.837	NREL S-835	300	144.380	14.837	NREL S-835
375	135.351	12.710	NREL S-833	375	136.280	12.710	NREL S-833	375	135.351	11.210	NREL S-835	375	136.280	11.210	NREL S-835
450	118.019	10.080	NREL S-833	450	128.180	10.080	NREL S-833	450	118.019	8.580	NREL S-835	450	128.180	8.580	NREL S-835
525	104.095	8.103	NREL S-833	525	120.080	8.103	NREL S-833	525	104.095	6.603	NREL S-835	525	120.080	6.603	NREL S-835
600	92.842	6.569	NREL S-833	600	111.980	6.569	NREL S-833	600	92.842	6.569	NREL S-833	600	111.980	6.569	NREL S-833
675	83.638	5.349	NREL S-833	675	103.880	5.349	NREL S-833	675	83.638	5.349	NREL S-833	675	103.880	5.349	NREL S-833
750	76.009	4.357	NREL S-833	750	95.780	4.357	NREL S-833	750	76.009	4.357	NREL S-833	750	95.780	4.357	NREL S-833
825	69.603	3.536	NREL S-833	825	87.680	3.536	NREL S-833	825	69.603	3.536	NREL S-833	825	87.680	3.536	NREL S-833
900	64.159	2.846	NREL S-833	900	79.580	2.846	NREL S-833	900	64.159	2.846	NREL S-833	900	79.580	2.846	NREL S-833
975	59.483	2.257	NREL S-833	975	71.480	2.257	NREL S-833	975	59.483	2.257	NREL S-833	975	71.480	2.257	NREL S-833
1050	55.426	1.750	NREL S-833	1050	63.380	1.750	NREL S-833	1050	55.426	1.750	NREL S-833	1050	63.380	1.750	NREL S-833
1125	51.877	1.308	NREL S-833	1125	55.280	1.308	NREL S-833	1125	51.877	1.708	NREL S-833	1125	55.280	1.708	NREL S-833
1200	48.748	0.920	NREL S-833	1200	47.180	0.920	NREL S-833	1200	48.748	1.920	NREL S-834	1200	47.180	1.920	NREL S-834
1275	45.968	0.577	NREL S-833	1275	39.080	0.577	NREL S-833	1275	45.968	1.577	NREL S-834	1275	39.080	1.577	NREL S-834
1350	43.485	0.271	NREL S-833	1350	30.980	0.271	NREL S-833	1350	43.485	1.271	NREL S-834	1350	30.980	1.271	NREL S-834
1425	41.253	-0.003	NREL S-833	1425	22.880	-0.003	NREL S-833	1425	41.253	0.997	NREL S-834	1425	22.880	0.997	NREL S-834
1500	39.236	-0.250	NREL S-833	1500	14.780	-0.250	NREL S-833	1500	39.236	0.750	NREL S-834	1500	14.780	0.750	NREL S-834

Dari hasil yang disajikan pada tabel 2 maupun grafik 3 di atas, maka TSR 8 dipilih sebagai kondisi yang terbaik, karena memiliki CP yang paling optimal khususnya untuk model Ideal Blade menurut perhitungan matematis BEM.

Secara umum, linearisasi chord length untuk mempermudah fabrikasi berdampak pada menurunnya CP hingga hampir 10% pada TSR 8. Hal ini terjadi baik pada desain Uniform blade, maupun Mixed blade. Tidak ada perbedaan CP yang signifikan antara desain Uniform blade dan Mixed blade.

Selanjutnya, parameter-parameter rotor radius (r), chord length (c<sub>i</sub>), dan pitch angle (θ<sub>p,i</sub>) yang diperoleh dari proses perhitungan dituliskan ulang dalam tabel di bawah ini. Variabel radius (r) dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Pitch angle (θ<sub>p,i</sub>) lebih dipilih untuk digunakan daripada twist (θ<sub>T,i</sub>) dengan alasan untuk mempermudah proses fabrikasi.

### 4. KESIMPULAN

- Desain blade yang paling optimal menurut metoda blade element momentum theory adalah Mixed Ideal Blade dengan selisih Coefficient of Performance (CP) sekitar 1,2% lebih tinggi dari Uniform Ideal Blade, dan hampir 10% lebih tinggi dari Mixed/Uniform Linearised Blade.
- Proses linearisasi chord length sebaiknya tidak perlu dilakukan apabila proses pembuatan ideal blade masih memungkinkan.
- Perbedaan CP yang tidak terlalu signifikan antara Mixed Ideal Blade dan Uniform ideal blade memberikan alternative untuk pertimbangan kerumitan proses fabrikasi. Uniform ideal blade menggunakan 1 jenis airfoil saja (NREL S-833) sehingga lebih mudah dan sederhana untuk dibuat.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Betz, A., "Windenergie und Ihre Ausnutzung durch Windmoullen.", Vandenhoeck and Ruprecht, Goottingen, 1926.





- [2] Glauert, H., "Airplane Propellers, in Aerodynamic Theory", Springer Verlag, Berlin, 1935, (reprinted by Peter Smith, Gloucester, M.A., 1976.
- [3] Wilson, R. E. and Lissaman, P. B. S., "Applied Aerodynamics of Wind Power Machine.", Oregon State University, 1974.
- [4] Wilson, R. E., Lissaman, P. B. S. and Walker, S. N., "Aerodynamic Performance of Wind Turbines", Energy Research and Development Administration, ERDA/NSF/04014-76/1, 1976.
- [5] De Vries, O., "Fluid Dynamic Aspects of Wind Energy Conversion", Advisory Group for Aerospace Research and Development, North Atlantic Treaty Organization, AGARD-AG-243, 1979.
- [6] NREL. Airfoil., 6-July-2012, <<http://wind.nrel.gov/airfoils/AirfoilList.html>>
- [7] Manwell, J., McGowan, J., and Rogers, A., "Wind Energy Explained. Theory, Design and Application.", John Wiley and Sons, Ltd., 2002.