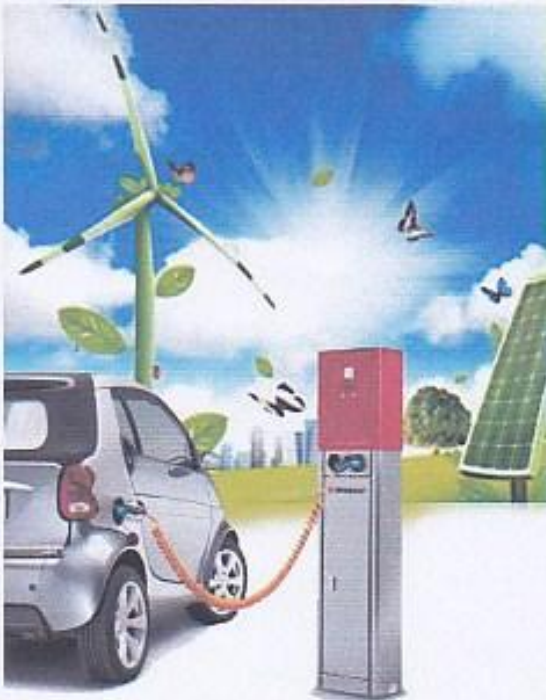




# PROSIDING



Seminar Nasional **8**  
**TEKNIK MESIN**



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

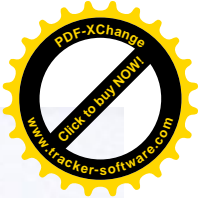
Kamis, 20 Juni 2013  
Kampus Universitas Kristen Petra  
Surabaya

**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**

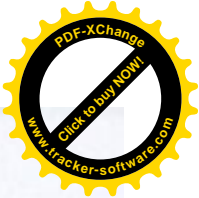
**“Peningkatan Kualitas Penelitian untuk Mencapai Sumber Daya Manusia yang Kompeten di Bidang Teknik Mesin”**

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.

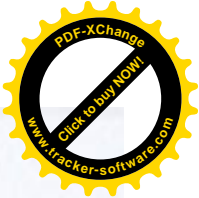
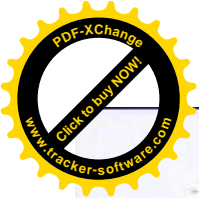
**Acara** : Ir. Joni Dewanto, M.S.

**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.

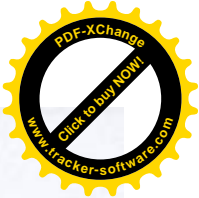
Melihat peranan bidang Teknik Mesin yang vital dan strategis di industri, maka sumber daya manusia bidang teknik mesin yang berkompeten serta mampu mengintegrasikan berbagai aspek, menjadi kebutuhan yang mendesak. Dalam rangka meningkatkan kompetensi yang dimaksud, maka kolaborasi antara perguruan tinggi/lembaga 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 membicarakan 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



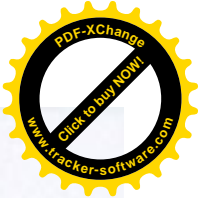
## DAFTAR ISI

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

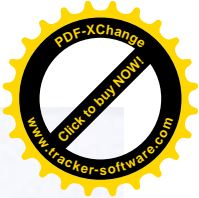
1. RANCANGAN MESIN PEMECAH SABUT KELAPA TIGA TAHAP DENGAN PENDEKATAN PARTISIPATORI Hari Purnomo, Dian Janari, Hardik Widananto .....	D1-D7
2. PENGENDALIAN MOTOR SERVO DC DENGAN MENGGUNAKAN GECKODRIVE320X Rachmad Hartono .....	D8-D11
3. <i>DECIDING THE OPTIMUM SPOKE ANGLE OF MOTORCYCLE CAST WHEEL USING 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 RANCANGAN SISTEM MEKANIK PEMANFAATAN BOBOT KENDARAAN SEBAGAI SUMBER ENERGI PEMBUKA PALANG PINTU (PORTAL)</i> Joni Dewanto .....	D20-D23
6. <i>STUDI DESAIN SCREW FEEDER UNTUK MESIN EXTRUDER MIE JAGUNG UNTUK INDUSTRI KECIL</i> Novrinaldi, Satya Andika Putra, Andi Taufan, Halomoan P. Siregar .....	D24-D28





## K - KONVERSI ENERGI

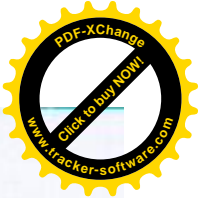
1. ANALISIS PENGUJIAN MESIN PENDINGIN TEMPERATUR RENDAH DENGAN PENUKAR KALOR JOULE-THOMSON MENGGUNAKAN REFRIGERAN CAMPURAN PROPANA DAN NITROGEN  
Ade Suryatman Margana, Muhamad Anda Falahuddin, Sumeru, Henry Nasution ..... K1-K5
2. STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK BRIKET ORGANIK BAHAN BAKU DARI TWA 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 HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE (HAWT) PADA POTENSI ANGIN TROPIS**  
Sutrisno, Peter Jonatan, Fandi Dwiputra Suprianto..... K64-K67
15. **PERANCANGAN PROPELER TURBIN ANGIN POROS HORIZONTAL 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 Ichسانی, 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 SISTEM 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 Yamar 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 MEMREDIKSI 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..... O1-O6
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..... O7-O11
3. **OPTIMASI UNJUK KERJA MESIN SINJAI DENGAN SISTEM PEMASUKAN BAHAN BAKAR PORT INJEKSI MELALUI MAPPING WAKTU PENGAPIAN**  
Bambang Sudarmanta, Tri Handoyo Baniantoro ..... O12-O18
4. **A NUMBER OF VENTING HOLES DISC BRAKE IMPACT ON STATIONARY TEST**  
Ian Hardianto Siahaan, Ervin Edi Hermawan..... O19-O22
5. **ON BOARD DIAGNOSTIC FOR VEHICLE PREVENTIVE MAINTENANCE**  
Ian Hardianto Siahaan, Ninuk Jonoadji ..... O23-O25



## KINCIR ANGIN SAVONIUS ENAM TINGKAT DENGAN MODIFIKASI PANJANG SUDU

Doddy Purwadianto<sup>1)</sup>, D. Johan Primananda<sup>2)</sup>, YB. Lukiyanto<sup>3)</sup>

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sunata Dharma  
Kampus III USD, Paingan, Maguwoharjo, Sleman, Yogyakarta  
Phone : (0274)883037, Fax.(0274)886529  
Email : purwadodi@gmail.com<sup>1)</sup>, ylukiyanto101@gmail.com<sup>3)</sup>

### ABSTRAK

Kincir angin Savonius memiliki keunggulan utama yaitu torsi yang besar. Karakteristik inilah yang membuat kincir angin ini mampu untuk self starting. Keunggulan yang lain adalah dapat menerima arah angin dari berbagai arah sehingga tidak memerlukan mekanisme tambahan untuk penyesuaian arah datang angin. Sedangkan kelemahan kincir angin ini adalah memiliki cp (coefficient of power) yang rendah dibandingkan dengan kincir angin jenis yang lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki urtuk kerja dua buah model kincir angin Savonius enam tingkat, tiap tingkat dua bilah sudu dengan lebar celah yang sama. Perbedaan kedua buah model ini adalah modifikasi yang dilakukan terhadap panjang bilah sudu. Tinggi total dan diameter kedua buah model kincir angin tersebut adalah sama, yaitu 75 cm dan 70 cm. Pengujian kincir angin Savonius ini dilakukan pada lorong angin yang memiliki kecepatan maksimal 8,5 m/detik. Parameter yang diukur adalah kecepatan rata-rata angin, kecepatan putar poros kincir angin dan torsi yang dihasilkan oleh poros kincir angin. Beban kincir angin adalah generator listrik. Pengaturan beban dilakukan dengan mengatur jumlah lampu yang dihubungkan dengan generator tersebut. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa model kincir Savonius dengan bentuk bilah sudu setengah lingkaran memberikan cp dan daya output maksimal yang meningkat. Harga Cp maksimal meningkat dari 15,6 % pada tsr (tip speed ratio) 0,75 menjadi 17,2 % pada tsr 0,95. Tip speed ratio (tsr) dimulai pada harga 0,11 dan 0,18 untuk kincir angin Savonius dengan jari-jari sudu 210 cm dan 208 cm.

**Kata kunci:** Kincir angin Savonius, enam tingkat, diameter sudu, coefficient of power.

### 1. PENDAHULUAN

Perhatian terhadap sumber energi terbarukan semakin meningkat seiring dengan menipisnya cadangan sumber energi tidak terbarukan. Pengalihan potensi berbagai macam sumber energi terbarukan telah mulai banyak dilakukan dan diprediksikan perkembangannya [1], termasuk sumber energi terbarukan yang belum banyak diaplikasikan [2]. Pemerintah Indonesia memberi perhatian pada pengembangan energi terbarukan untuk mendukung keamanan ketersediaan energi tahun 2025 [3]. Salah satu potensi sumber energi terbarukan yang banyak mendapat perhatian adalah energi angin [4, 5]. Pada [3] juga telah terdapat peta jalan (Gambar 1) pengembangan energi angin Indonesia. Salah satu penekanan pada penelitian dan pengembangan adalah *advanced airfoil*.

Penyelidikan potensi energi angin telah dilakukan di sejumlah negara berkembang : Iran [6, 6a], Afrika Selatan [7], Turki [8-10], Trinidad dan Tobago [11], Maroko [12] dan Aljazair [13]. Penyelidikan pemanfaatan potensi energi angin untuk pengolahan garam juga telah banyak dilakukan di sejumlah negara [14-18a]. Studi pemanfaatan energi angin di lepas pantai [19, 20] dan keuntungan dan kerugian ekonomis pemanfaatan energi angin [6,10,12,18, 21-23] juga telah dilakukan meskipun terjadi pro dan kontra [19,24,25].

Di antara berbagai jenis kincir angin, jenis Savonius adalah salah satu yang banyak dikembangkan. Kincir angin jenis Savonius menarik dikembangkan karena konstruksinya sederhana dan tidak memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan arah datang angin. Berdasarkan karakteristik berbagai macam kincir angin (Gambar 2), kincir angin Savonius termasuk dalam kelompok kincir angin dengan Cp yang rendah namun memiliki kelebihan lain yaitu mampu *self starting* pada kecepatan angin rendah dan memiliki torsi yang

relatif besar. Konstruksi sederhana, dapat bekerja pada kecepatan angin rendah dan dapat menerima angin dari segala arah inilah menjadikan kincir angin Savonius sangat sesuai untuk negara berkembang [26].

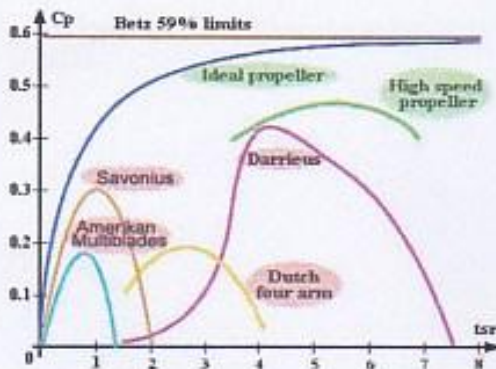
Pada penyelidikan aplikasi kincir angin Savonius sebagai penggerak pompa torak, [27] membandingkan kincir angin Savonius satu dan tingkat, dengan total luas penampang yang sama. Tiap tingkat terdiri dari dua buah sudu yang identik. Hasil yang diperoleh menunjukkan Cp maksimal pada kecepatan angin 8,5 m/s kincir angin satu tingkat adalah lebih tinggi dari tiga tingkat (35,46 % dan 29,50 %) sehingga kincir angin Savonius satu tingkat lebih sesuai untuk penggerak pompa torak.



### 7. Roadmap Sektor Energi Bayu



Gambar 1. Peta Jalan Energi Angin Indonesia (Sumber: [3], halaman 59)



Gambar 2. Hubungan Cp dan tsr berbagai jenis kincir angin [www.windturbine-analysis.com/index-intro.htm]

Pengembangan kincir angin angin poros vertikal dengan menggabungkan kincir angin Darrius dan Savonius telah diselidiki [28]. Pada penyelidikan kincir angin Savonius ini, variasi yang dilakukan adalah jumlah sudu (2 dan 3 buah), lebar celah antar sudu (20 mm, 10 mm dan 0 mm (tanpa celah)) dan jari-jari sudu (50, 52,5, 55, 60, 66, 71 dan 78 mm). Model ini memiliki 1 tingkat dengan dimensi kincir adalah 200 mm (diameter) dan 70 mm (tinggi). Pengujian dilakukan pada lorong angin dengan luas penampang 1,51 m x 0,305 m dengan kecepatan angin antara 7,6 m/detik dan 15,2 m/detik. Hasil yang diperoleh menunjukkan kincir dengan dua sudu memiliki daya output maksimal 50 % lebih tinggi dari pada kincir dengan tiga sudu. Koefisien torsi start kincir tiga sudu sedikit lebih besar dibandingkan dengan dua sudu. Ukuran celah sudu berpengaruh signifikan pada kincir dua sudu, namun tidak signifikan pada kincir tiga sudu.

Penyelidikan kincir angin Savonius dua tingkat dengan variasi lebar celah sudu juga telah dilakukan oleh [29]. Pada penyelidikan ini, tiap tingkat terdiri dari 2 buah sudu. Variasi yang dilakukan adalah lebar celah antar sudu (40 cm, 30 cm, 20 cm, 10 cm dan 0 cm (tanpa celah)) dengan panjang bilah sudu konstan (157 cm). Dimensi kincir adalah 80 cm (diameter) dan 103 cm (tinggi). Pengujian dilakukan pada lorong angin dengan luas penampang 120 cm x 120 cm dengan kecepatan angin maksimal 9 m/detik. Hasil yang diperoleh menunjukkan kincir dengan lebar celah sudu tertentu (overlap 12,5%) akan meningkatkan cp maksimalnya dan untuk lebar celah sudu yang lain justru akan menurunkannya.

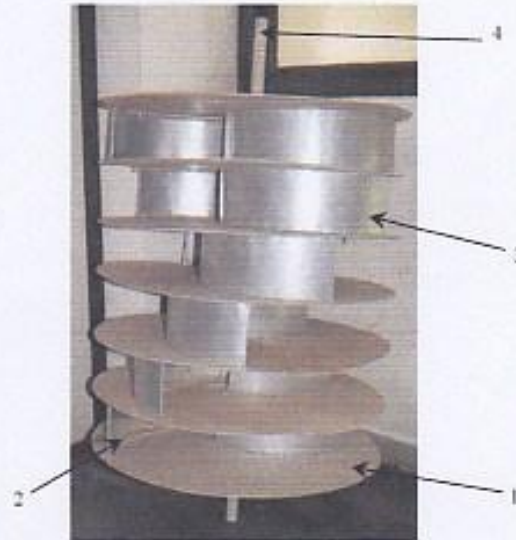
Kincir angin dengan sudu dangkal (diameter lebih besar) memiliki torsi yang lebih besar, namun memiliki unjuk kerja puncak yang lebih rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter sudu pada overlap (perbandingan lebar celah antar sudu dan diameter kincir angin) yang sama (12,5 %) pada kincir angin Savonius dengan jumlah tingkat enam. Overlap 12,5 % ini adalah harga yang diperoleh dari [29]. Dimensi kincir adalah 70 cm (diameter) dan 75 cm (tinggi). Pengujian dilakukan pada lorong angin yang memiliki kecepatan angin maksimal 8,5 m/detik. Beban yang di gunakan untuk mengukur torsi adalah generator listrik.

## 2. METODOLOGI

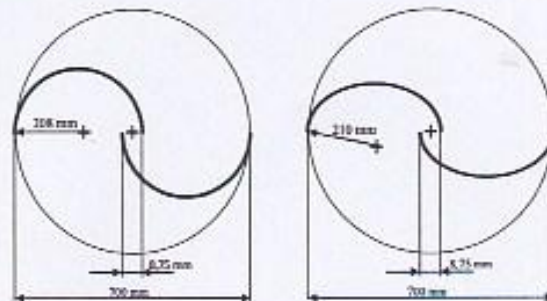
Kincir angin Savonius yang digunakan memiliki enam tingkat dengan jumlah sudu total dua belas buah. Jarak sudu

dengan sudu di atasnya adalah 30 derajat. Bahan sudu, sekat antar tingkat dan poros berturut-turut adalah plat seng, triplek dan pipa PVC berdiameter nominal 0,5 inci. Gambar 3 adalah kincir angin yang diuji.



Gambar 3. Model kincir angin Savonius (1. Sekat, 2. Penguat sudu, 3. Sudu, 4. Poros)

Pada penelitian ini, variasi yang dilakukan adalah panjang jari-jari sudu, yaitu 208 mm dan 210 mm seperti tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi sudu kincir angin

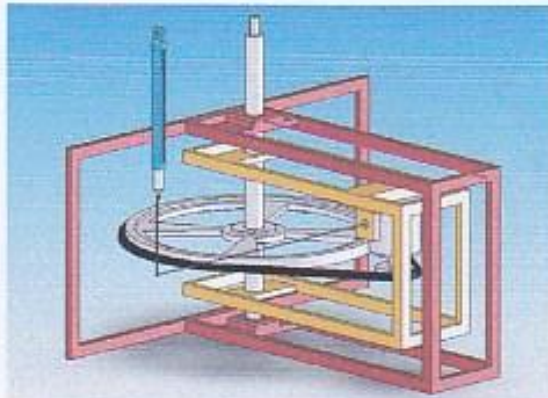
Pengujian dilakukan pada lorong angin yang dapat diatur kecepatannya antara 0 m/detik dan 8,5 m/detik. Poros kincir angin dihubungkan dengan sistem transmisi yang berada di bagian bawah lorong angin. Sistem transmisi ini dihubungkan dengan sebuah timbangan untuk mengetahui besarnya torsi yang dihasilkan oleh kincir angin pada beban tertentu (Gambar 5.). Posisi timbangan dapat diatur sehingga lengan torsi dan tali timbangan selalu tegak lurus. Pengaturan beban dilakukan dengan mengatur jumlah lampu yang terhubung dengan generator listrik yang terdapat pada sistem transmisi.

Persamaan-persamaan dasar yang digunakan adalah: Daya tersedia,  $P_{in}$

$$P_{in} = 0,6 A V_{\infty}^3 \quad (1)$$

$A$  = luas penampang kincir angin

$V_{\infty}$  = kecepatan angin



Gambar 5. Skema sistem transmisi dan pengukur torsi poros kincir

Daya yang dihasilkan poros kincir,  $P_{out}$ :

$$P_{out} = 2 \pi n \left( \frac{1}{60} \right) T \left( \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ N m}} \right) \quad (2)$$

$n$  = kecepatan putar poros kincir angin

Torsi yang dihasilkan poros kincir angin:

$$T = F L \quad (3)$$

$F$  = gaya pada lengan

Koefisien daya,  $C_p$  (coefficient of power):

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (4)$$

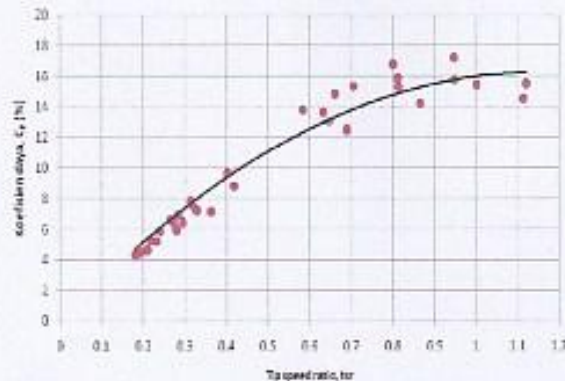
Tip speed ratio,  $tsr$ :

$$tsr = \frac{V_{Tip}}{V_{\infty}} \quad (5)$$

$V_{Tip}$  = kecepatan tangensial ujung sudu

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan, diperoleh grafik hubungan antara  $c_p$  dan  $tsr$  (Gambar 6 dan Gambar 7) untuk kedua jenis kincir angin yang diuji.

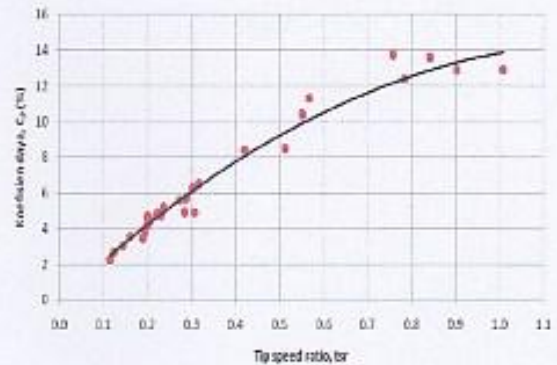


Gambar 6. Grafik hubungan  $C_p$  dan  $tsr$  diameter sudu 208 mm

Dari Gambar 6 dan Gambar 7 diperoleh  $C_p$  tertinggi adalah 17,2 dan 15,6 yang dicapai pada  $tsr$  0,95 dan 0,75. Dibandingkan dengan [29], Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa kincir angin Savonius 6 tingkat dengan jumlah sudu tiap tingkat 2, akan menghasilkan  $C_p$  yang lebih rendah. Hasil ini menguatkan kesimpulan yang diperoleh [27]

dan [28] bahwa semakin banyak tingkat, maka akan menurunkan  $C_p$ -nya.

Pada Gambar 6 terlihat  $tsr$  dimulai sekitar 0,2 sedangkan pada Gambar 7  $tsr$  dimulai sekitar 0,1. Hal ini menunjukkan bahwa kincir angin Savonius dengan sudu dangkal (diameter lebih besar) memiliki torsi yang lebih besar, namun memiliki unjuk kerja puncak yang lebih rendah. Hasil ini sesuai dan menguatkan hasil penelitian [28].



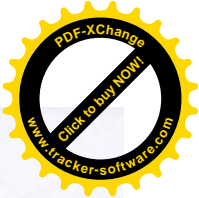
Gambar 7. Grafik hubungan  $C_p$  dan  $tsr$  diameter sudu 210 mm

### 4. KESIMPULAN

Penelitian kincir angin jenis Savonius enam tingkat dengan jumlah sudu tiap tingkat dan overlap 12,5 % telah dilakukan. Variasi yang dilakukan adalah konfigurasi sudu dengan jari-jari 208 mm dan 210 mm. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa model kincir Savonius dengan bentuk bilah sudu setengah lingkaran memberikan  $c_p$  dan daya output maksimal yang meningkat. Harga  $c_p$  maksimal meningkat dari 15,6 % pada  $tsr$  (tip speed ratio) 0,75 menjadi 17,2 % pada  $tsr$  0,95. Tip speed ratio ( $tsr$ ) dimulai pada harga 0,11 dan 0,18 untuk kincir angin Savonius dengan jari-jari sudu 210 cm dan 208 cm.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Demirbas, 'Global Renewable Energy Projections', *Journal Energy Sources, Part B*, 4:212-224, 2009.
- [2] Niel Pearce, 'Worldwide Tidal Current Energy Developments and Opportunities for Canada's Pacific Coast', *International Journal of Green Energy*, 2:365-386, 2005.
- [3] \_\_\_\_\_, 'Buku Putih Penelitian, Pengembangan Dan Penerapan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Energi Baru Dan Terbarukan Untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2005 - 2025', KNRT (Kementerian Negara Riset dan Teknologi) Republik Indonesia, Jakarta, 2006.
- [4] Jeff Anthony, 'Wind Power Engineering Challenges 2007-2015, Cogeneration & Distributed Generation *Journal*, 23:3, 20-33.
- [5] K. Kaygusuz, *Wind Power for a Clean and Sustainable Energy Future, Journal Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 4:1, 122-133, 2009.
- [6] I. Baniasad Askari & M. Ameri (2012): Techno-economic Feasibility Analysis of Stand-alone Renewable Energy Systems (PV/bat, Wind/bat and



- Hybrid PV/wind/bat) in Kerman, Iran, *Journal Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 7:1, 45-60.
- [6a] E. Assareh, M. A. Behrang, M. Ghalambuz, A. R. Noghrehabadi & A. Ghanbarzadeh (2012): An Analysis of Wind Speed Prediction Using Artificial Neural Networks: A Case Study in Manjil, Iran, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 34:7, 636-644.
- [7] T. R. Ayodele, A. A. Jimoh, J. L. Munda & J. T. Agee (2013): Viability and economic analysis of wind energy resource for power generation in Johannesburg, South Africa, *International Journal of Sustainable Energy*, DOI:10.1080/14786451.2012.762777.
- [8] I. Turk Tognal & C. Ertekin (2011): A Statistical Investigation on the Wind Energy Potential of Turkey's Geographical Regions, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33:15, 1399-1421.
- [9] C. Ilkiliç & M. Nursoy (2010): The Potential of Wind Energy as an Alternative Source in Turkey, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32:5, 450-459.
- [10] A. Vardar & B. Çet[ilidot]n (2009): Economic Assessment of the Possibility of Using Different Types of Wind Turbine in Turkey, *Journal Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 4:2, 190-198.
- [11] Sharma C. & Persad D. (2004): Development of a Wind Resource Assessment Tool For Trinidad and Tobago, *Journal Energy Engineering*, 101:3, 50-77.
- [12] D. Zejli, K. E. Aroui, A. Lazrak, K. E. Boury & A. Elmidaoui (2010): Economic feasibility of a 11-MW wind powered reverse osmosis desalination system in Morocco, *Journal Desalination and Water Treatment*, 18:1-3, 164-174.
- [13] S. M. Boudia A. Benmansour, N. Ghellai, M. Benmedjahed & M. A. Tabet Hellal (2012): Monthly and Seasonal Assessment of Wind Energy Potential in Mechria Region, Occidental Highlands of Algeria, *International Journal of Green Energy*, 9:3, 243-255
- [14] Eyad S. Hrayshat (2007): A Wind-Powered System for Water Desalination, *International Journal of Green Energy*, 4:5, 471-481.
- [15] M.A. Darwish (2011): Prospect of using alternative energy for power and desalted water productions in Kuwait, *Journal Desalination and Water Treatment*, 36:1-3, 219-238.
- [16] Lilach Katzir, Y. Volkmann, N. Dultrophe , E. Korngold , R. Mesalem, Y. Oren & Jack Gilron (2010): WAIV - Wind aided intensified evaporation for brine volume reduction and generating mineral byproducts, *Journal Desalination and Water Treatment*, 13:1-3, 63-73.
- [17] George Xenarios, Panagiotis Papadopoulos & Efililia Tzen (2013): Wind desalination for the Island of Mykonos in Greece: a case study, *Journal Desalination and Water Treatment*, 51:4-6, 1219-1228.
- [18] Joachim Käuffler, Robert Pohl & Hadi Sader (2011): Seawater desalination (RO) as a wind powered industrial process — Technical and economical specifics, *Journal Desalination and Water Treatment*, 31:1-3, 359-365.
- [18a] Andrés Payo, Jose M. Cortés, Ana Antoranz & Rafael Molina (2010): Effect of wind and waves on a nearshore brine discharge dilution in the east coast of Spain, *Journal Desalination and Water Treatment*, 18:1-3, 71-79.
- [19] Willett Kempton, Jeremy Firestone, Jonathan Lilley, Tracy Rouleau & Phillip Whitaker (2005): The Offshore Wind Power Debate: Views from Cape Cod, *Journal Coastal Management*, 33:2, 119-149.
- [20] C. M. Wang, T. Utsunomiya, S. C. Wee & Y. S. Choo (2010): Research on floating wind turbines: a literature survey, *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3:4, 267-277.
- [21] M. Balat (2009): A Review of Modern Wind Turbine Technology, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31:17, 1561-1572.
- [22] A. Gungor & N. Eskin (2008): The Characteristics That Define Wind as an Energy Source, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30:9, 842-855.
- [23] Rahim Kurji & Maziar Arjomandi (2012): Techno-economic assessment of the application of small-scale wind turbines, *International Journal of Sustainable Energy*, DOI:10.1080/14786451.2012.748765.
- [24] J. A. Orosa, E. J. Garcia-Bustelo & A. C. Oliveira (2012): Realistic Solutions for Wind Power Production with Climate Change, *Journal Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 34:10, 912-918.
- [25] Charles R. Warren & Richard V. Birnie (2009): Re-powering Scotland: Wind Farms and the 'Energy or Environment?' Debate, *Scottish Geographical Journal*, 125:2, 97-126
- [26] R. Gupta, R. Dus K.K. Sharma, 'Experimental Study of A Savonius-Darrieus Wind Machine', *Proceedings of the International Conference on Renewable Energy for Developing Countries*, 2006
- [27] P. Ghosh , M. A. Kamoji , S. B. Kedare & S. V. Prabhu (2009): Model Testing of Single- and Three-Stage Modified Savonius Rotors and Viability Study of Modified Savonius Pump Rotor Systems, *International Journal of Green Energy*, 6:1, 22-41
- [28] Shankar,P.N., "Development of Vertical Axis Wind Turbine", *Proceeding Indian Acad. Science*, Vol. C2, Pt. 1, India, 1979.
- [29] YB.Lukiyanto, Y. Teguh Triharyanto , Kincir Angin Savonius Dua Tingkat dengan Variasi Celah Antar Suda., *Proceeding Seminar Ilmu Pengetahuan Teknik 2012 "Teknologi Untuk Mendukung Pembangunan Nasional"*, Bandung, November 2012, halaman 21-25