



Substitusi Material Komposit Pada Runner Turbin Francis (Composite Material Substitution on Runner Francis Turbine)

Ating Sudradjat, Carolus Bintoro, Heri Widiatoro

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga, Bandung, Telp dan Fax (022) 2013789 dan 2013788

Abstrak

Turbin air merupakan peralatan utama selain generator dalam suatu sistem PLTA, turbin air mengubah energi air menjadi energi puntir yang kemudian diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Salah satu jenis turbin air dari kelompok turbin reaksi adalah turbin Francis, kajian didasarkan pada asumsi kemungkinan peningkatan kinerja melalui proses optimasi profil sudu yang digunakan/dipilih melalui substitusi material komposit pada runner turbin. Penggunaan material tersebut, tentunya didukung dengan proses uji coba spesimen yang juga dikembangkan kearah suatu analisis sebagai dasar dalam pengambilan keputusan, proses tersebut lebih diarahkan pada validasi material dari berbagai kemungkinan dihadapi.

Kata kunci : komposit, runner, substitusi

Abstract

Water turbine is a prominent equipment besides generator in PLTA system. Water turbine change water energy to become turning energy and then change again to become electric energy by a generator. One kind of the water turbine from the reaction water turbine group is Francis turbine. It's base by the assumption possible to increase performance by optimum process profile of convex blade to use by substitution material composite on runner turbine. The using of material composite, surely with support of the testing process and also be expand to some analysis to become the basic to make decision. That process is more to aim of validation material from all the possibility.

Keyword : Composite, Runner, Substitution

1. PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi kebutuhan utama bagi manusia dalam menjalankan hampir keseluruhan aktivitasnya sehari-hari. Hampir semuanya telah dikelola dengan menggunakan energi tersebut, seperti pengaturan lampu lalu lintas, aktivitas rumah sakit, menara pengatur lalu lintas penerbangan, pengelolaan sentra bisnis dll. Kebutuhan akan energi tersebut semakin meningkat, sementara jumlah sumber energinya seperti minyak bumi, batu bara semakin terbatas. Tingginya tuntutan akan energi listrik yang tidak diimbangi oleh penyediaannya memicu terjadinya krisis energi.

Beberapa implikasi dari krisis energi tersebut telah dialami oleh masyarakat Indonesia seperti kenaikan harga BBM, pemadaman listrik bergilir dll. Semuanya itu telah menyebabkan kerugian bagi banyak pihak dan disinyalir mengakibatkan timbulnya gejala sosial di masyarakat Indonesia khususnya. Kondisi tersebut telah mendorong berbagai pihak untuk mengembangkan energi baru dan terbarukan.

Indonesia yang merupakan negara kepulauan, terdiri dari beberapa pulau besar dan banyak pulau kecil. Pulau Jawa dan pulau-pulau besar lainnya, memiliki banyak aliran sungai besar dan kecil. Sungai-sungai tersebut hingga kini belum dimanfaatkan dengan baik, selain sebagai alat transportasi dari perahu, kapal, hingga sampah rumah tangga maupun industri. Potensi air yang demikian melimpah, merupakan sumber energi yang murah dan ramah lingkungan, namun belum dimanfaatkan secara maksimum dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik terutama di pedesaan, karena alasan teknik dan ekonomis. Turbin yang merupakan bagian dari sistem pembangkit tenaga listrik secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula dimana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya dapat berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air, berdasarkan segi perubahan momentum kerja fluida maka salah satu



jenis turbin yang sering digunakan adalah turbin Francis.

Turbin francis bekerja menggunakan proses tekanan lebih disaat air jatuh memasuki *runner*, dimana sebagian dari energi tinggi jatuh dan bekerja pada *guide vane* yang diubah sebagai kecepatan arus masuk. Sisa energi tinggi bekerja di sudu jalan, sedangkan pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja disudu jalan dengan secara maksimum.

Bagian-bagian turbin Francis terdiri dari :

1. *Scroll Casing / Spiral Casing* (Rumah Siput)

Bagian ini umumnya terbuat dari *cast iron*, *welded rolled steel plate*, atau *Concrete* tanpa *steel plate lining* berbentuk pipa yang mengelilingi *runner blade*, semakin ujung semakin mengecil, sehingga membentuk seperti rumah siput dengan tujuan supaya air yang mengalir dapat merata dan untuk menghindari kehilangan efisiensi.

2. Sudu pengarah (*guide vane*)

Bagian berfungsi sebagai pintu masuk air dari *spiral casing* menuju *runner blade*, dan juga berfungsi sebagai distributor agar air disekeliling *runner* mempunyai debit yang sama rata, dan sebagai pengamanan turbin pada saat terjadi gangguan.

3. Sudu gerak (*runner*)

Bagian ini disebut sudu gerak (*runner blade*), energi kinetik air yang dikenakan padanya diubah menjadi energi mekanik (rotor).

4. Poros utama

Bagian ini bisa dibuat dalam dua bagian utama yaitu bagian atas *generator shaft* dan bagian bawah turbin *shaft* yang dikopling dengan kopling tetap

5. Bantalan Utama

Bagian ini berfungsi sebagai bantalan yang menopang *main shaft*, yang menahan guncangan atau getaran bila turbin sedang beroperasi

Kajian energi turbin pada skala (model) maupun prototipe, sedang dikembangkan oleh banyak peneliti didunia. Kajian terutama untuk skala pembangkit listrik kecil, sebagaimana menjadi keunggulan teknologi ini apabila dikaitkan dengan lokasi yang banyak ditemui. Namun demikian kajian yang secara spesifik membahas mengenai perubahan penggunaan bahan baku pembuatan dari bagian-bagian tertentu turbin Francis masih jarang ditemui pula.

Posisi penelitian dan potensi untuk diaplikasikan di Indonesia yang masih terbuka, membuat kajian

pengembangan teknologi ini menjadi menarik. Sehingga tujuan penelitian diarahkan untuk mendapatkan nilai efisiensi ongkos melalui pemanfaatan material komposit. Pencapaian efisiensi ongkos tersebut diharapkan dapat membuka aspek prospektif pemanfaatan teknologi ini sebagai pembangkit alternatif. Dalam penelitian ini diharapkan diperoleh suatu *tools* untuk mendukung teknik proses rancang bangun turbin mikrohidro model turbin Francis dan penggunaan material komposit pada *runner* turbin.

URGENSI PENELITIAN

Davis, mengemukakan bahwa menggunakan tenaga air sebagai sumber energi mekanik bukanlah ide yang baru. Apa yang baru adalah modernisasi, turbin motor biaya rendah yang dirancang khusus untuk memenuhi tujuan tersebut [1]. Jadi, dapat dikatakan bahwa pemanfaatan energi potensial dengan menggunakan turbin dan generator teknologi modern adalah kebangkitan kembali teknologi air. Dengan demikian penelitian yang diusulkan ini adalah terkait dengan pemanfaatan teknologi material komposit dalam proses pembuatan turbin.

Setiap sungai yang tidak terlalu kecil yang mengalir dengan deras, dimana banyak ditemui di wilayah Indonesia, menawarkan kekayaan energi bersih, energi yang bebas dari segala bentuk polusi dimana hanya menunggu digunakan. Pada kenyataannya sumber daya tersebut dibiarkan untuk tidak digunakan, sehingga membiarkan kemiskinan dipedesaan tetap terjadi. Banyak mesin penting untuk peningkatan produktivitas dan kenyamanan manusia yang hanya dapat dijalankan dengan menggunakan energi listrik. Permasalah tersebut juga akan memindahkan sampah (sisa industri pertanian) ke pasar di perkotaan karena masalah energi.

Pengembangan peralatan pembangkit energi dengan dimensi yang kecil dan memiliki turbin ideal yang berputar dengan kecepatan tinggi menjadikannya sebuah turbin yang tidak rumit dan mahal. Turbin tersebut dapat direalisasikan dengan memanfaatkan teknologi modern dalam proses pembuatannya. Dengan demikian, bagi kebanyakan masyarakat pedesaan, yang mempunyai air berskala kecil dapat memanfaatkan teknologi ini sebagai sumber praktis dalam memberikan energi listrik. Dalam penelitian ini mencoba untuk mengembangkan teknik produksi turbin air model Francis dengan memanfaatkan teknologi material komposit dengan *special treatment* pada *coating surfaceny*. Adapun langkah-langkah pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan, seperti :



1. Melakukan kajian dan perancangan (design) awal terhadap bentuk dan ukuran runner dari turbin Francis yang dilanjutkan dengan simulasi uji struktur, dengan memanfaatkan perangkat lunak Catia. Hal ini dasar yang akan digunakan pada proses penentuan optimalisasi sudu dengan CFD Numeca.
2. Melakukan kajian terhadap spesifikasi material komposit yang akan digunakan melalui kaji karakteristik sifat mekanik.

STUDI PUSTAKA/PATEN TERDAHULU

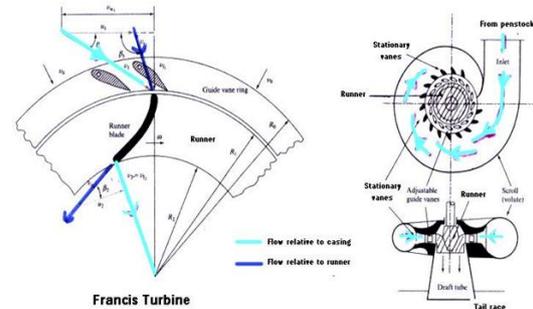
Terdapat ketergantungan antara kinerja suatu elemen mesin dengan sistem proses produksi dan pemasangannya, dimana efek samping dari proses tersebut dapat terjadi. Pemasangan komponen yang merupakan salah satu kegiatan produksi juga penting perannya, karena terkait dengan penanganan yang tepat dan menghindari setiap kesalahan yang dapat menghasilkan kesalahan geometri. Kesalahan tersebut dapat menghasilkan getaran yang pada akhirnya dapat mengurangi kinerja yang kemungkinan dapat dihasilkan oleh turbin. Energi hidrolik dari air akan diubah menjadi energi mekanik poros pada turbin, sehingga setiap ketidaktepatan geometri akan menimbulkan interaksi yang dapat menjadi penyebab penurunan kinerja [4].

Muntean, dalam kajiannya mengenai aliran dalam distributor turbin Francis, menyatakan bahwa tidak ada pelepasan aliran didalam *guide vane* pada keseluruhan batasan operasinya [5]. Memang dalam *paper*nya dinyatakan bahwa pengaruh viskositas diabaikan dan prosedur analisis dan optimasinya yang ditinjau perlu untuk mendapatkan perhatian khusus. Asumsi lain yang digunakan adalah aliran dianggap *steady*, karena tidak ada ketidaksempurnaan. Oleh karena itu kajian ini perlu didalam lebih jauh dengan menggunakan perangkat lunak yang ada dan teknologi komputer yang semakin maju.

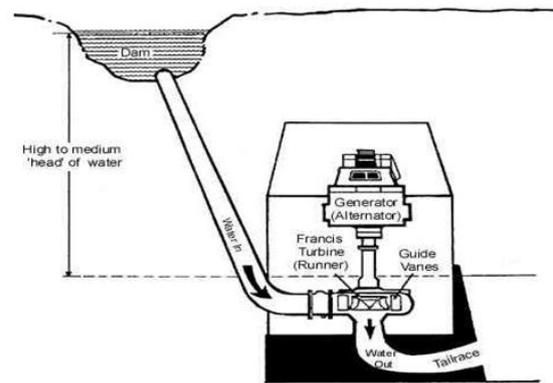
Analisis *steady state Computational Fluid Dynamik* (CFD) yang telah dilakukan oleh Nennemann [6], telah secara integral dan baik memvalidasi bagian dari struktur rencanan selama bertahun-tahun hingga sekarang. Namun demikian, dengan adanya perkembangan perangkat lunak CFD dan jangkauan teknologi komputer, maka kajian *unsteady* perlu dilakukan, untuk memprediksi aliran secara lebih detail [6].

Kajian teoritik yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah lebih terkait dengan aspek segitiga kecepatan antara *guide vane* dengan *runner* (*impeller*) turbin Francis. Untuk lebih membuat

ideal, maka *runner* pada turbin menggunakan profil agar pola aliran dapat diperoleh dengan baik. Kajian selama ini, pada *runner* tidak menggunakan airfoil sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1. Prinsip kerja turbin Francis sendiri diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Pola aliran yang selama ini kebanyakan digunakan dalam kajian.



Gambar 2. Turbin Francis berfungsi dengan adanya head dari air

Pada generasi lebih lanjut dari hidropower, tekanan masyarakat terhadap pengematan biaya agar biaya produksi lebih rendah dan menghasilkan keluaran yang lebih maksimal dengan mesin yang lebih kompak terus dikedepankan. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengarah dan mencoba untuk merespons tuntutan berdasarkan kajian penyempurnaan interaksi di antara *guide vane* dan *runner*nya.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan dan Pengujian Material

Penelitian yang dilakukan ini telah menfokuskan pada proses perancangan awal hingga kaji eksperimental spesimen material komposit yang rencananya akan digunakan dalam proses pembuatan prototipe turbin Francis, yang dalam



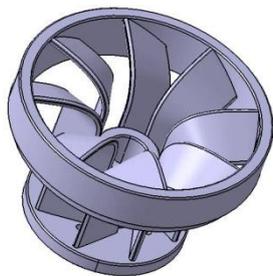
pelaksanaannya menggunakan perangkat lunak Catia.

Perancangan awal ini dimaksudkan untuk mendapatkan suatu rancangan runner awal yang akan digunakan sebagai masukan dalam proses komputasional CFD/Numeca untuk mendapatkan optimalisasi profil sudu runner turbin Francis. Sejalan dengan metoda rancangan pada umumnya, maka proses rancangan runner pun akan melalui beberapa tahapan seperti :

- Melakukan pemahaman terhadap persoalan yang dihadapi, dimana rancangan runner merupakan pekerjaan awal yang harus dilakukan terlebih dahulu dilakukan dibanding komponen turbin lainnya. Hal ini karena titik bahasan utama dalam turbin Francis adalah runner-nya, termasuk pula persoalan lainnya yang mungkin terjadi.
- Mempelajari berbagai parameter termasuk berbagai kemungkinan perubahannya
- Mempersiapkan berbagai data dan informasi yang diperlukan
- Melakukan analisis dan sintesa
- Melakukan rancangan
- Membuat gambar teknik
- Melakukan evaluasi dan analisis

Pembuatan model digunakan alat bantu yaitu perangkat lunak Catia V5R19 yang dikerjakan di laboratorium CAD Politeknik negeri bandung. Adapun dimensi dari model runner tersebut adalah diameter terbesar 190 mm dan diameter terkecil 125 mm dengan tinggi 110 mm.

Adapun hasil rancangan runner turbin Francis sementara seperti pada gambar 3 model runner turbin Francis berikut :

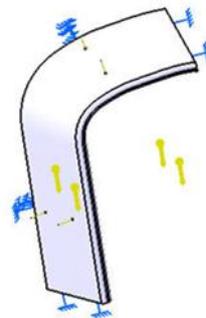


Gambar 3 Rancangan awal model runner turbin Francis

Rancangan runner tersebut akan menggunakan teknologi material komposit dalam hal ini dipakai polystyren, uji struktur digunakan untuk mengetahui kekuatan material yang akan dipakai agar dapat memudahkan dalam proses perencanaan pemilihan materialnya. Pengujian struktur ini juga tidak hanya menggunakan material polystyren tetapi juga menggunakan material steel dan plastic sebagai pembandingnya. Untuk pengujian strukturnya model yang digunakan hanya salah satu blade/sudunya saja karena hal ini sudah cukup untuk mewakili dari proses pengujian tersebut seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4 dibawah.



Gambar 4 Sudu



Gambar 5 Kondisi Batas



Gambar 6 Deformed mesh

Kondisi pengujian struktur runner secara sederhana seperti pada gambar 5, pencekaman pada sisi-sisi



sudu (biru) dikondisikan seperti pada model runner. Kemudian dari salah satu sudu (blade) tersebut diberi tekanan pada permukaannya yang besarnya bervariasi 0 – 100N dengan pengaruh gaya gravitasi (panah kuning) sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$. Setelah pengkondisian maka proses selanjutnya adalah proses perhitungan, secara cepat Catia V5R19 akan menghitung hasil dari proses pengujian struktur. Gambar 6 menjelaskan bahwa deformasi yang terjadi pada mesh (jejaring) sudu yang diuji letaknya sangat bervariasi. Tampak terlihat deformasi maksimum terjadi di mesh sudu bagian atas. Besar dari deformasi mesh dapat kita lihat pada perpindahan translasi (translation displacement).

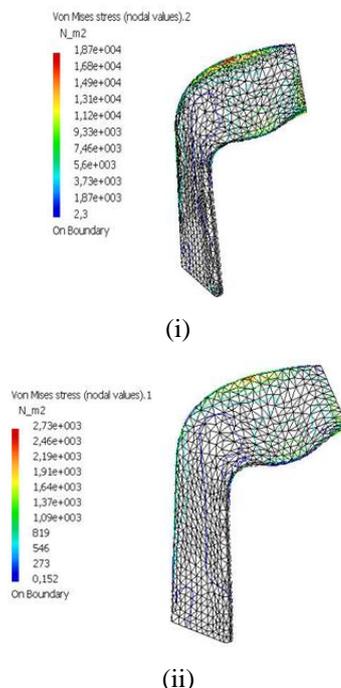
Besar translation displacement vector atau perpindahan translasi maksimum (merah) berada di daerah deformasi maksimum yaitu didaerah permukaan atas sudu yang besarnya adalah $3,85 \times 10^{-6} \text{ mm}$ untuk material Steel dengan diberi tekanan pada permukaan sudu sebesar 0 N sedang untuk material komposit (Polystiren) deformasi maksimum terjadi sama dengan $3,10 \times 10^{-5}$ diberi tekanan yang sama bila material komposit tersebut diberi tekanan 100 N diperoleh nilai deformasi maksimum sebesar $2,34 \times 10^{-4}$. Terlihat nilai perpindahan translasi ternyata besarnya sangat kecil sekali sehingga dalam hal ini nilai tersebut tidak berpengaruh banyak terhadap materialnya.

Pengujian Tarik

Untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik material komposit, dilakukan pengujian tarik dan takik agar didapat material yang sesuai dengan yang diperlukan. Acuan spesimen yang digunakan adalah mengacu pada spesimen pelat standar ASTM E 8 *Sub size*. Karena dalam proses pembuatan *specimen* dilakukan dengan menggunakan *hand made*, maka keseragaman data ukuran lebar dan tebal terjadi beragam, sehingga menghasilkan tegangan tarik yang berbeda pula, adapun hasil uji tarik seperti pada tabel 1 dimana untuk keperluan pemilihan proses laminasi komposit cukup dengan mendapatkan tegangan tarik maksimumnya. Tegangan nominal maksimum yang ditahan oleh specimen sebelum patah disebut tegangan tarik, yaitu merupakan perbandingan antara beban maksimum yang dicapai selama percobaan tarik dan penampang mula-mula.

$$\text{Tegangan Tarik} = \frac{\text{Beban maksimum}}{\text{Penampang batang mula-mula}}$$

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_o}$$



Gambar 7. Tegangan yang terjadi pada steel (i) dan komposit (ii)



Tabel 1 Hasil dari proses uji tarik

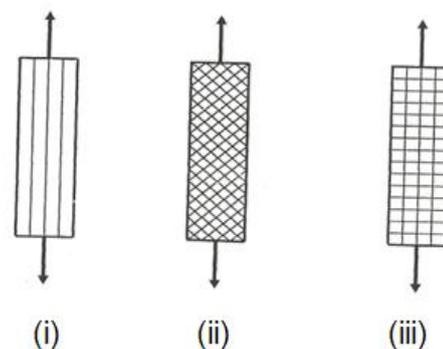
Spesimen	lebar (mm)	tebal (mm)	luas (mm ²)	F _{max} (kg)	σ _m (Kg/mm ²)
A	8,36	2,7	22,572	176	7,797271
A	8,02	3,07	24,6214	175	7,107638
B	8,29	2,82	23,3778	135	5,774709
B	8,41	2,67	22,4547	115	5,121422
C	8,95	2,67	23,8965	170	7,114013
C	8,41	2,77	23,2957	170	7,297484
A*	8,59	2,32	19,9288	295	14,8027
B*	9,01	2,29	20,6329	340	16,47854
B*	8,76	2,34	20,4984	260	12,68392
A*	8,82	2,22	19,5804	187	9,550367
C*	9,15	2,59	23,6985	300	12,65903
C*	8,76	2,41	21,1116	370	17,52591

Keterangan :

- A = bentuk memanjang dengan komposisi 40/60
- B = bentuk anyaman dengan sudut 45⁰ dengan komposisi 40/60
- C = bentuk anyaman melintang dengan komposisi 40/60
- A* = bentuk memanjang dengan komposisi 50/50
- B* = bentuk anyam dengan sudut 45⁰ dengan komposisi 50/50
- C* = bentuk anyam melintang dengan komposisi 50/50

Struktur dasar dari material komposit tersusun oleh serat penguat dan matrik, secara umum jenis serat yang sering digunakan adalah serat gelas, serat karbon dan serat kevlar sedangkan pengaturan arahnya disesuaikan dengan kebutuhannya. Kekuatan komposit tergantung pada komposisi serat dan resin, jenis dan orientasi serat, resin yang digunakan. Dari berbagai serat yang banyak digunakan adalah serat gelas, keunggulan dari serat ini terutama selain ringan juga mempunyai sifat mekanik yang cukup baik, tahan terhadap panas, tahan korosi dan mudah untuk diproses serta murah.

Dalam penelitian ini, material komposit yang digunakan adalah serat gelas dengan matrik polyester (resin), dan orientasi bentuk serat memanjang, anyaman dengan sudut 45⁰ dan anyaman melintang seperti pada Gambar 8



Gambar 15 Orientasi anyaman serat (i) memanjang, (ii) anyaman dengan sudut 45⁰ dan (iii) anyaman melintang

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa nilai hasil perhitungan tegangan tarik maksimum menunjukkan adanya perbedaan nilai dari setiap variasi komposisi maupun variasi bentuk laminasi, untuk melihat perbedaan secara signifikan dilakukan uji statistic dengan taraf keberartian 0,05 seperti Tabel 3 dan Tabel 4 berikut :



Tabel 2 Rancangan data uji

Bentuk posisi serat	Komposisi	
	40/60	50/50
Memanjang	14,8027	7,797271
	16,47854	7,107638
Anyam dengan sudut 45 ⁰	12,68392	5,774709
	9,550367	5,121422
Anyam melintang	12,65903	7,114013
	17,52591	7,297484

Tabel 3 pengolahan data uji

Bentuk posisi serat	Komposisi		Jumlah
	40/60	50/50	
Memanjang	31,28124	14,904909	46,18615
Anyam dengan sudut 45 ⁰	22,23429	10,896131	33,13042
Anyam melintang	30,18494	14,411497	44,59644
Jumlah	83,70047	40,212537	123,913

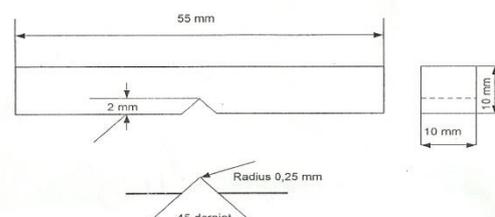
Tabel 4 Perataan kuadrat uji tarik

Pengaruh Variasi	JK	Derajat Kebebasan	Rataan Kuadrat	F Hitung		F Tabel
Jenis Serat	25,37074	2	12,68537	0,029527	<	5,14
Komposisi	157,6	1	157,6	0,366839	<	5,99
Interaksi	-2555,29	3	-851,763	-1,98261	<	4,76
Galat	2577,697	6	429,6162			
Total	205,3777	12				

Kesimpulan : material yang akan digunakan adalah komposit dengan menggunakan serat anyam dan komposisi resin dan serat adalah 40 : 60

Uji Takik

Spesimen yang digunakan pada proses uji takik mengacu pada ASTM E23 *standars specimen for Chapy impact test* dengan ukuran 10 mm x 2,5 mm x 55 mm, bentuk specimen seperti gambar 9 berikut:



Gambar 9 Spesimen uji takik



Hasil proses uji takik menunjukkan bahwa pada komposisi campuran dengan 40/60 lebih mampu menahan gaya pukul dibanding komposisi 50/50 dimana setelah dilakukan pengujian dihasilkan bahwa komposisi 40/60 semua specimen tidak terjadi patah seperti terlihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Hasil uji takik untuk komposisi 40/60 untuk semua variasi bentuk serat

Sedangkan untuk hasil uji takik dengan komposisi 50/50 seperti pada terlihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11 Hasil uji takik untuk komposisi 50/50 untuk semua variasi bentuk serat

Melalui proses perhitungan energi yang dipakai untuk mematahkan specimen (E) = mg.(H₁ – H₂), didapat nilai seperti Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Hasil uji takik untuk semua specimen uji sesuai variasi bentuk serat dan variasi komposisi

Code Spesimen	β		h_2	ΔE
A	15	0,96592583	20,4445	75751,1
A	17,5	0,95371695	27,76983	75176,21
B	16	0,95630476	26,21714	75298,06
B	16	0,95630476	26,21714	75298,06
C	16	0,95630476	26,21714	75298,06
A*	5	0,9961947	2,28318	77176,4
A*	5	0,9961947	2,28318	77176,4
B*	3	0,99862953	0,822282	77291,05
B*	3	0,99862953	0,822282	77291,05
C*	5	0,9961947	2,28318	77176,4
C*	5	0,9961947	2,28318	77176,4

$$h_1 = 985,6726$$

Berdasarkan gambaran diatas maka dapat disimpulkan bahwa ratio fiber terhadap per resin akan semakin tinggi yang berarti semakin kuat menahan tekanan takiknya.

Pembahasan

Penelitian ini lebih difokuskan terhadap perancangan turbin francis, yang memanfaatkan material komposit sebagai bahan baku pembuatan runner dan rumah siputnya. Untuk membantu merancang komponen penting dalam turbin air yang sesuai dengan pola aliran fluida digunakan perangkat lunak CFD Numeca, yang hingga saat ini

kajian masih terus berlangsung. Hal tersebut karena masalah pemodelan produk yang belum conform dengan pola aliran yang terjadi, sehingga hasil perhitungan belum diperoleh.

Namun dari pengujian tarik dan takik telah dilaksanakan dan hasilnya cukup menggembirakan dimana diperoleh hasil kekuatan tarik bahan yang tertinggi adalah 17,5 Kg/mm² dan yang terendah adalah 9,6 Kg/mm². Uji takik memberikan hasil yang cukup menggembirakan karena nilainya cukup tinggi. Dengan demikian nilai-nilai pengujian ini akan digunakan dalam memperhitungkan kekuatan produk, sehingga variasi ketebalan menjadi faktor



utama. Hasil pengujian ini sudah cukup memberikan informasi bahwa komposit dengan segala keunggulannya dapat digunakan dalam pembuatan runner turbin Francis.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji struktur untuk material komposit (Polystiren) deformasi maksimum terjadi sama dengan $3,10 \times 10^{-5}$ diberi tekanan yang sama dengan material steel bila material komposit tersebut diberi tekanan 100 N diperoleh nilai deformasi maksimum sebesar $2,34 \times 10^{-4}$. Terlihat nilai perpindahan translasi ternyata besarnya sangat kecil sekali, sehingga dalam hal ini nilai tersebut tidak berpengaruh banyak terhadap materialnya. Dan hasil uji tarik menunjukkan bahwa material yang akan digunakan adalah komposit dengan menggunakan serat anyam dan komposisi resin dan serat adalah 40 : 60. Sedangkan hasil uji takik menunjukkan bahwa ratio fiber terhadap per resin akan semakin tinggi yang berarti semakin kuat menahan tekanan takiknya. Dengan demikian tidak diragukan lagi bahwa material komposit dapat digunakan dalam pembuatan runner maupun rumah siput dari turbin Francis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Miles Rohan, Bolivian Times, January 6, 2000
2. Hermod Brekke, STATE OF THE ART IN TURBINE DESIGN, Norwegian University of Science and Technology, ermod.brekke@maskin.ntnu.no
3. Magnoli M.V., Numerical simulation of pressure oscillations in Francis turbine runners, JASS 2009-Joint Advanced Student School, St. Petersburg, 29.3-7.4.2009
4. Hari Prasad Neopane, et.al., Alternative Design of a Francis Turbine for Sand Laden Water, *International Conference on Small Hydropower - Hydro Sri Lanka, 22-24 October 2007*
5. Sebastian MUNTEAN, et.al., Analysis Of The Gamm Francis Turbine Distributor 3d Flow For The Whole Operating Range And Optimization Of The Guide Vane Axis Location, The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics Timisoara, Romania, October 21 - 22, 2004
6. Nennemann, B, Vu, T.C., Farhat, M., CFD prediction of unsteady wicket gate-runner interaction in Francis turbines: A new standard hydraulic design procedure, École Polytechnique de Montréal/GE Energy Hydro 795 George V