

PERANCANGAN *WELDING FIXTURE* RUNNER TURBINE CROSS FLOW DENGAN METODE EVALUASI DESAIN (EVAD)

Muas M¹⁾, Syaharuddin Rasyid¹⁾

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.

ABSTRACT

The main thing to consider in improving product competitiveness is the rational aspect of economy and production. In line with the demand for precision and ease of replacement of workpieces, jig & fixture has a very important meaning. Product evaluation method with design evaluation method (EVAD) is a method of design concept selection with rating and weighting on the criteria. This method is recommended for evaluating and selecting new product ideas or for concept selection. The purpose of this research is to design welding fixture assembly of cross flow turbine runner component with EVAD method. The method used is the study of literature, description of the demands, the determination of the draft concept, the alternative components, the selection of components, the selection of alternative design assembly, final design, and evaluation of the design results. Based on the result of welding fixture assembling of cross flow turbine component assembly, we have obtained the final design of cross flow turbine welding fixture assembly with consideration of operational ease, operator safety, low production cost, standard component usage, place demands, maintenance ease, and durable.

Keywords: *Welding Fixture, Cross Flow Turbine Runner, EVAD Method.*

1. PENDAHULUAN

Hal utama yang harus diperhatikan dalam meningkatkan daya saing produk adalah aspek ekonomi dan produksi yang rasional. Sejalan dengan tuntutan kepresisian dan kemudahan penggantian benda kerja maka jig & fixture memiliki arti yang sangat penting. Peralatan jig & fixture yang digunakan pada proses produksi benda-benda tunggal, jumlah kecil, dan massal akan sangat berperan karena selalu saja ada benda kerja yang membutuhkan biaya yang sangat tinggi.

Kurang telitinya produk akan menambah tingkat kegagalan benda kerja, sehingga secara langsung meningkatkan biaya. Perencanaan proses produksi akan sangat menentukan jumlah dan jenis peralatan jig & fixture yang digunakan. Seorang perencana harus mengetahui jenis dan fungsi peralatan jig & fixture, bahkan melaksanakan perhitungan biaya maksimal yang diakibatkan oleh penggunaan peralatan tersebut. Selanjutnya dimulailah proses perencanaan yang berawal dari pemesanan, perencanaan konstruksi, manufaktur hingga pengiriman.

Perencanaan peralatan jig & fixture merupakan proses produksi yang secara teknis memiliki kebebasan tak terbatas dan sekaligus sangat tidak tergantung oleh proses yang lain. Sebagai gambaran, apabila seorang konstruktor mesin bekerja dengan ketergantungan yang tinggi terhadap tuntutan-tuntutan manufaktur secara keseluruhan, maka seorang konstruktor peralatan jig & fixture hanya tergantung kepada tuntutan tuntutan proses produksi mesin-mesin yang dipakai, tidak kepada proses pengerjaan benda kerja sebelum dan setelah menggunakan peralatan jig & fixture.

Konstruktor peralatan jig & fixture berada diantara perancang produk dan pelaksana produksi dimana peralatan tersebut digunakan. Artinya di satu sisi dia harus memiliki pengalaman yang sangat baik dalam hal konstruksi dan di sisi lain dia juga harus mengenal dengan baik proses dan manajemen produksi. Dia harus mampu menggabungkan, mempertimbangkan dan bekerja sama dengan disiplin kerja yang lain seperti desain produk, perencanaan dan persiapan produksi serta proses produksi keseluruhan secara teknis dan ekonomis menghasilkan pemecahan konstruksi yang optimal.

Tuntutan dan keinginan pada peralatan jig & fixture tidak saja dititikberatkan pada masalah pencapaian fungsi dan kualitas produk yang prima, tetapi juga biaya langsung yang dikeluarkan untuk produksi, termasuk biaya tambahan yang selalu muncul pada proses revisi harus dihindari atau dipertahankan sekecil mungkin. Hasil yang dicapai oleh konstruktor akan sangat bergantung pada pengetahuan dan persiapannya. Demikian pula tuntutan yang sama akan ditujukan kepada perencana produksi dan pelaksana produksi karena mereka secara langsung berhubungan dengan alat dan pengalaman mereka sangat menentukan konstruksi yang optimal.

¹⁾ Korespondensi: muasmuchtar@gmail.com

Pada proses pengelasan sering terjadi beberapa kesalahan baik dari segi operator maupun dari segi perancangan dan pemilihan alat bantu pengelasan yang digunakan. Kesalahan yang sering terjadi pada saat proses pengelasan yaitu kurangnya kepresisian antara dua buah komponen yang akan dilas sehingga menghasilkan produk yang cacat. Hal ini terjadi karena kesalahan dalam melakukan perancangan dan pemilihan alat bantu yang digunakan sebagai alat untuk menopang benda kerja yang akan dilas. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah alat bantu agar dapat membantu operator dalam melakukan pengelasan. Salah satu alat bantu dalam melakukan pengelasan yaitu Jig dan Fixture.

Pembuatan dan perakitan komponen turbin mikrohidro dilakukan melalui proses permesinan konvensional seperti proses las listrik, proses bubut, proses drilling, proses milling dll. Salah satu komponen turbin mikrohidro adalah runner turbin, dimana dalam pembuatan komponen runner turbin merupakan fase yang menitikberatkan pada toleransi bentuk yang harus dipenuhi pada sebuah elemen tunggal dengan memperhatikan sifat komponen yang diberi toleransi, seperti kelurusan, kedataran, kebulatan, dsb. Sedangkan perakitan komponen runner turbin merupakan fase yang menitikberatkan pada toleransi orientasi, toleransi lokasi, dan toleransi putar, yang harus dipenuhi pada sebuah elemen-elemen yang berhubungan. Elemen-elemen yang berhubungan tersebut harus memperhatikan sifat-sifatnya terhadap toleransi yang diberikan seperti toleransi kesejajaran, toleransi ketegaklurusan, dsb.

Penggunaan alat bantu yang kurang tepat membuat proses pengelasan menjadi terhambat karena operator merasakan kesulitan dalam menggunakan alat bantu tersebut. Selain itu, operator merasa kesulitan dalam memposisikan dua buah komponen yang akan dilas agar produk yang dihasilkan tetap presisi dan sesuai.

Welding fixture yang digunakan saat ini mengharuskan operator memegang alat bantu selama proses pengelasan berlangsung. Hal ini yang mengakibatkan terjadinya cacat produk karena benda kerja akan mudah tergeser sehingga pengelasan kurang presisi. Akibatnya waktu setup menjadi lama dan produk yang dihasilkan menjadi cacat.

welding fixture dapat digunakan sebagai alat bantu produksi proses pengelasan komponen front engine mounting. Penggunaan *Welding Fixture* dapat membantu untuk memberikan solusi proses produksi pengelasan dari sisi waktu set-up, kemudahan pengerjaan dan kecepatan proses produksi (Prasetyo, 2010).

Efek dari posisi jig constrain dan jarak terhadap deformasi pengelasan dapat dikurangi dengan alat penepat pada pengelasan pelat, three-direction jig constraint mempunyai pengaruh yang besar terhadap deformasi komponen. The normal direction jig constraint efektif mengurangi sudut distorsi dari gaya tekan dan penyusutan. Secara umum distorsi sudut lebih dapat dikurangi oleh posisi jig dan jarak yang lebih kecil (Maa, 2015). Gaya kontrol dapat meningkatkan fleksibilitas dalam proses pengerjaan bodi mobil bila dibandingkan dengan penggunaan perlatan konvensional (Keller, 2016).

Sistem Assembling Jig Joint (AJJ) dapat menstabilkan proses penyambungan karena system AJJ menggunakan banyak komponen seperti angile joint, adaptive PC bolts, expanding mandrels dan modular locators. Dengan system AJJ dapat dioperasikan dengan efisien dan teliti, sehingga dapat menurunkan biaya produksi (Zhang, 2016).

Metode pemilihan alternatif desain (metrik morfologi) menggunakan struktur fungsi untuk menemukan alternatif-alternatif konsep produk dan metode yang dapat menemukan banyak alternatif konsep produk. Dua langkah utama dari metode ini yaitu: 1). Setiap sub-fungsi yang tak teruraikan dan sub-sub fungsi dicari solusinya. Solusi-solusi tersebut berupa mekanisme yang dapat melaksanakan sub-fungsi tak teruraikan dan sub-sub fungsi, 2). Untuk menemukan alternatif-alternatif konsep produk, maka dibentuklah kombinasi-kombinasi solusi, yaitu setiap kombinasi terdiri dari satu solusi dari setiap sub-fungsi yang tak teruraikan dan sub-sub fungsi. Setiap kombinasi yang mungkin dibuat merupakan suatu alternatif konsep produk, (Hurst, 1997).

Setelah diperoleh banyak alternatif konsep produk, tidak semua alternatif konsep produk tersebut akan dikembangkan menjadi produk. Hanya satu konsep produk yang terbaik saja yang dikembangkan lebih lanjut untuk menjadi produk. Evaluasi terdiri dari kegiatan membandingkan konsep-konsep produk dan membuat keputusan. Dalam membandingkan dua konsep produk atau lebih, maka sebaiknya kedua konsep produk tersebut sudah dituangkan dalam tingkat abstraksi yang sama.

Metode evaluasi produk dengan metode evaluasi desain (EVAD) merupakan metode pemilihan konsep dengan pemberian peringkat dan bobot pada kriteria-kriteria (Hurst, 1997). Metode ini direkomendasikan untuk mengevaluasi dan menseleksi ide-ide produk baru atau untuk pemilihan konsep. Pada metode EVAD, dibuat daftar kriteria evaluasi dari tiap-tiap kriteria yang telah distandarisasi berdasarkan tujuan strategis perusahaan. Sebagai contoh, satu kriteria, citra produk (product image), dapat memiliki standar-standar yang

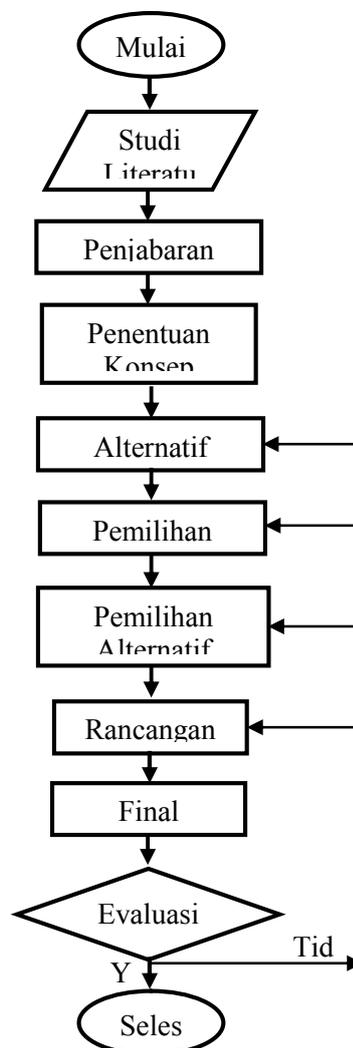
dinyatakan sebagai exclusive(++), modern ordinary(+), traditional (-), outdate (--). Dari diskripsi konsep, dibuat nilai-nilai setiap kriteria. Hasil-hasil ini dimasukkan kedalam diagram yang akan memberikan profil evaluasi untuk tiap ide. Profil-profil lebih dibandingkan secara kualitatif daripada kuantitatif.

Setelah kriteria distandarisasi, diproduksi suatu diagram untuk tiap-tiap konsep. Sperti halnya metode datum, sumbu vertical digunakan untuk kriteria dan sumbu horizontal digunakan untuk konsep-konsep. Empat kolom digunakan untuk tiap-tiap konsep berkisar dari (--) hingga (++) yang masing-masing memiliki nilai yang kemudian dihitung nilai akhir konsep produk yang sedang dinilai.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi hal tersebut adalah dengan melakukan perancangan dan pemilihan alat bantu kembali agar produk yang dihasilkan lebih baik dan produktivitas menjadi meningkat. Penelitian ini akan membahas mengenai alternatif pemilihan welding fixture pembuatan komponen runner turbin.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur penelitian perancangan welding fixture runner turbin cross flow dilakukan berdasarkan diagram alir seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perancangan welding fixture runner turbin cross flow.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Runner turbin merupakan komponen utama dalam sebuah turbin yang berfungsi untuk menghasilkan putaran yang kemudian di transmisikan ke generator. Runner turbin cross-flow ini terdiri dari 3 bagian utama yaitu poros, disc (piringan) dan sudu-sudu. Dalam proses perakitan runner turbin (Gambar 2), terdapat beberapa kekurangan yang disebabkan penggunaan alat bantu yang belum memenuhi syarat fungsional yaitu:

1. Sulit mendapatkan ketegaklurusan antara piringan dan poros.
2. Sulit mendapatkan dimensi yang seragam antar produk.

3. Membutuhkan 2 orang atau lebih dalam proses perkaitanya.

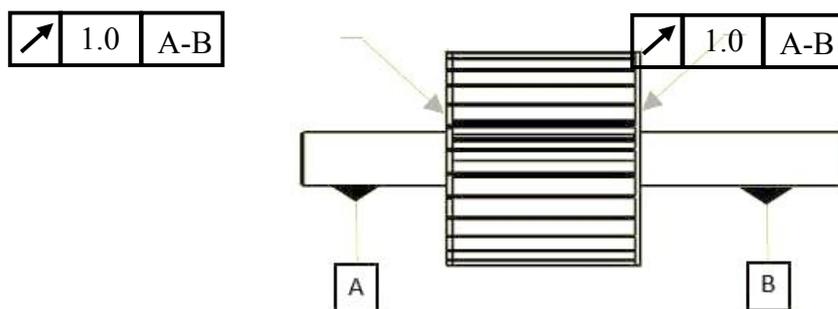


Gambar 2. Proses Perakitan *Runner* turbin.

Dari penjabaran masalah di atas, hasil yang di dapat adalah daftar tuntutan yang harus dan perlu dipenuhi dalam perancangan dimana hal ini merupakan gambaran keinginan dari kosumen pada perakitan komponen *runner* turbin adalah:

1. Kriteria *demands* (keharusan)
 - a. Mampu menghasilkan dimensi produk yang seragam
 - b. Mampu menghasilkan ketegaklurusan sambungan produk yang sesuai toleransi
 - c. Pemasangan dan pengoprasianya mudah
2. Kriteria *wishes* (keinginan)
 - a. Mudah dalam perawatan dan perbaikan
 - b. Komponen yang digunakan mudah di dapat di pasaran
 - c. Tidak membutuhkan tempat khusus
 - d. Harga terjangkau
 - e. Memiliki kekuatan yang baik
 - f. Memiliki umur pakai yang panjang

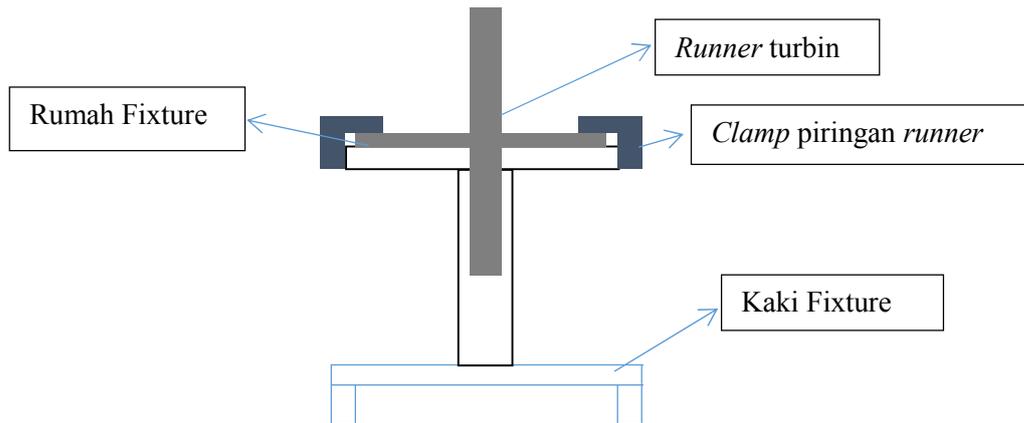
Toleransi yang ditargetkan untuk proses *runout* pada setiap *Side* adalah 1.0 mm pada piringan terhadap poros *runner* (Gambar 3).



Gambar 3. Toleransi *runout* piringan terhadap poros *runner* [A-B].

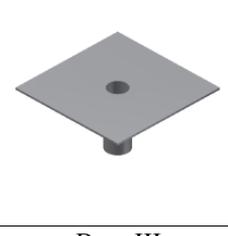
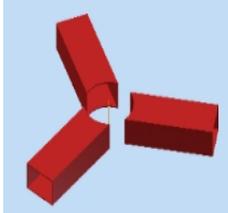
Sehingga poros menjadi acuan terhadap piringan *side* A dan *Side* B dengan toleransi *runout* sebesar 1.0 mm selama proses *runout* berjalan.

Setelah diperoleh daftar tuntutan, selanjutnya adalah mencari konsep rancangan yang mengacu kepada daftar tuntutan tersebut, dengan menggunakan metode *morfologi* untuk mencari konsep rancangan, maka terlebih dahulu ditentukan abstraksi fungsi keseluruhan dan fungsi bagian dari produk, yaitu abstraksi fungsi bagian keseluruhan. Merupakan gambaran umum dari fungsi keseluruhan produk yang di desain, fungsi *fixture* perakitan *runner* dan *casing* turbin *cross-flow* secara umum adalah sebagai alat penepat untuk perkaitan *runner* dan *casing* turbin agar menghasilkan dimensi dan toleransi produk yang sesuai dengan ukuran dasar. Konsep Rancangan *Fixture* Perakitan *Runner* Turbin dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Gambaran umum konsep rancangan *fixture runner*.

Tabel 1. Solusi-solusi setiap komponen *fixture runner*.

Sub Fungsi		Alternatif Komponen		
A	Clamping piringan	Clamping I 	Clamping II 	Clamping III 
B		Rumah I 	Rumah II 	Rumah III 
C		Base I 	Base II 	Base III 

Pemilihan fungsi keseluruhan menjadi fungsi bagian digunakan untuk memudahkan dalam mencari konsep desain, fungsi bagian untuk perancangan *fixture* perakitan *runner turbin* adalah *clamping piringan runner*, *rumah fixture*, dan *kaki fixture*.

Alternatif komponen sub fungsi *fixture*, merupakan gambaran alternatif-alternatif komponen tiap sub fungsi yang akan membentuk fungsi keseluruhan *fixture*. Solusi setiap komponen *fixture runner turbin* dapat dilihat pada tabel 1.

Evaluasi fungsi bagian alternatif komponen dilakukan dengan menguraikan fungsi dan tuntutan fungsi setiap bagian dan memberikan pembobotan pada tiap tiap alternative komponen setiap bagian untuk di bandingkan satu dengan yang lainnya, untuk metode penilaian pada alternatif komponen setiap bagian adalah dengan metode EVAD, dalam metode ini, disusun suatu daftar evaluasi kriteria dan setiap kriteria distandarisasi menurut tujuan strategis, kemudian di susun nilai-nilai setiap kriteria, kemudian alternatif

komponen dibandingkan secara kualitatif. Evaluasi alternatif komponen *fixture* perakitan runner turbin pada clamp piringan (tabel 2), rumah *fixture* (tabel 3), dan dudukan kaki *fixture* (table 4).

Tabel 2. Evaluasi *clamp* piringan.

Kriteria Penilaian	Standar	Alternatif Komponen		
		I	II	III
Kapasitas daya pengekaman	Besar = 3	3	2	3
	Sedang = 2			
	Kecil = 1			
Kemudahan pengoprasian	Mudah = 3	2	3	3
	Sedang = 2			
	Sulit = 1			
Biaya pembuatan/pengadaan	Murah = 3	2	1	2
	Sedang = 2			
	Mahal = 1			
Ketersediaan di pasaran	Mudah diperoleh = 3	2	1	3
	Sulit diperoleh = 2			
	Pesan khusus = 1			
Waktu set up	cepat = 3	3	1	2
	Sedang = 2			
	Lambat = 1			
Kemudahan perawatan	Mudah = 3	3	1	3
	Sedang = 2			
	Sulit = 1			
Kapasitas daya pengekaman	Daya tahan > 100 kali siklus = 3	3	2	3
	Daya tahan > 100kali dengan pemeliharaan = 2			
	Daya tahan < 100 kali siklus = 1			
Total		18	11	19

Tabel 3. Evaluasi rumah *fixture*.

Kriteria Penilaian	Standar	Alternatif Komponen		
		I	II	III
Kestabilan	Stabil = 3	3	3	1
	Kurang stabil = 2			
	Tidak stabil = 1			
Kemudahan Pembuatan	Mudah = 3	2	1	3
	Sedang = 2			
	Sulit = 1			
Biaya pembuatan	Rendah = 3	3	1	3
	Sedang = 2			
	Tinggi = 1			
Kehandalan saat operasi	Daya tahan siklus tinggi = 3	3	3	3
	Daya tahan siklus menengah = 2			
	Daya tahan siklus rendah = 1			
Ketentuan pengerjaan mesin	Sedikit = 3	2	1	2
	Stabil = 3			
	Kurang stabil = 2			
Total		13	9	12

Tabel 4. Evaluasi kaki *fixture*.

Kriteria Penilaian	Standar	Alternatif Komponen		
		I	II	III
Kestabilan	Stabil = 3	3	2	3
	Kurang stabil = 2			
	Tidak stabil = 1			
Kemudahan Pembuatan	Mudah = 3	2	1	2
	Sedang = 2			
	Sulit = 1			
Biaya Pembuatan	Rendah = 3	2	3	2
	Sedang = 2			
	Tinggi = 1			

Tuntutan tempat	Sembarang tempat = 3	3	2	3
	Tempat datar = 2			
	Tempat khusus = 1			
Ketahanan daya pembebanan	Tinggi = 3	3	3	2
	Sedang = 2			
	Rendah = 1			
Total		13	11	12

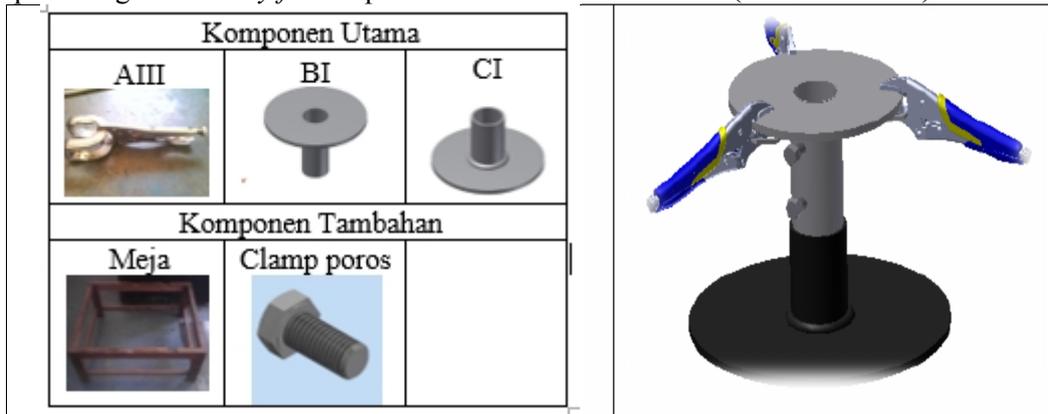
Berdasarkan hasil pemilihan komponen utama pada *fixture* perakitan *runner*, maka pemilihan rancangan *assembly* yang akan dikembangkan dan dibandingkan menjadi konsep rancangan *assembly* adalah alternatif komponen yang mendapatkan peringkat pertama (I) dan kedua (II) yang memiliki nilai tertinggi yang ada pada tabel 5.

Tabel 5. Konsep rancangan *assembly fixture* perakitan *runner* turbin.

Bagian Konsep		Nilai Total Komponen		
		I	II	III
A	Clamp piringan	18	11	19
B	Rumah Fixture	13	9	12
C	Kaki Fixture	13	11	12

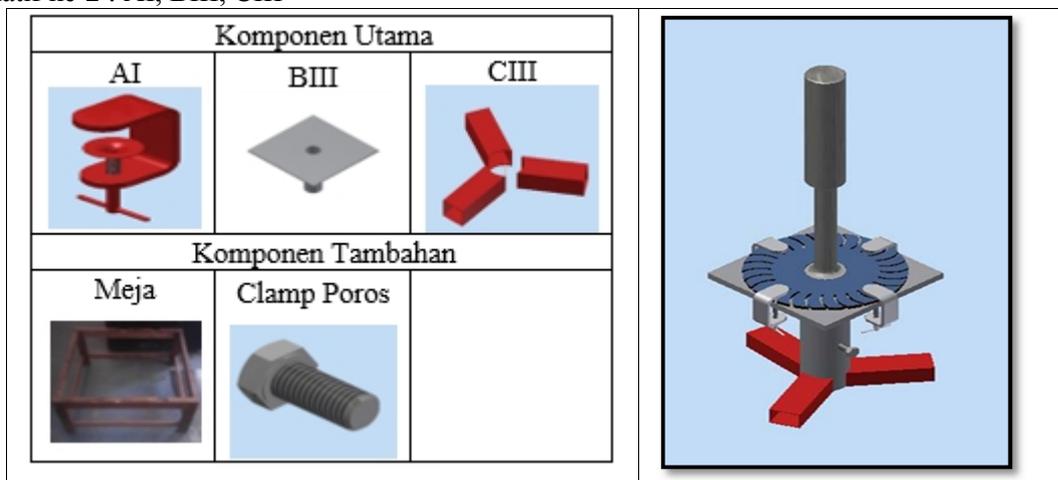
Ket : Peringkat I : AIII, BI, CI dan Peringkat II : AI, BIII, CIII

Pembuatan alternatif rancangan *assembly* mengacu pada komponen utama konsep alternatif komponen yang mendapatkan peringkat pertama dan kedua yang kemudia digabungkan dengan bagian komponen tambahan sehingga menjadi beberapa alternatif konsep rancangan *assembly* yang ada pada gambar alternatif konsep rancangan *assembly fixture* perakitan *runner* turbin adalah (Gambar 5 s.d 8).



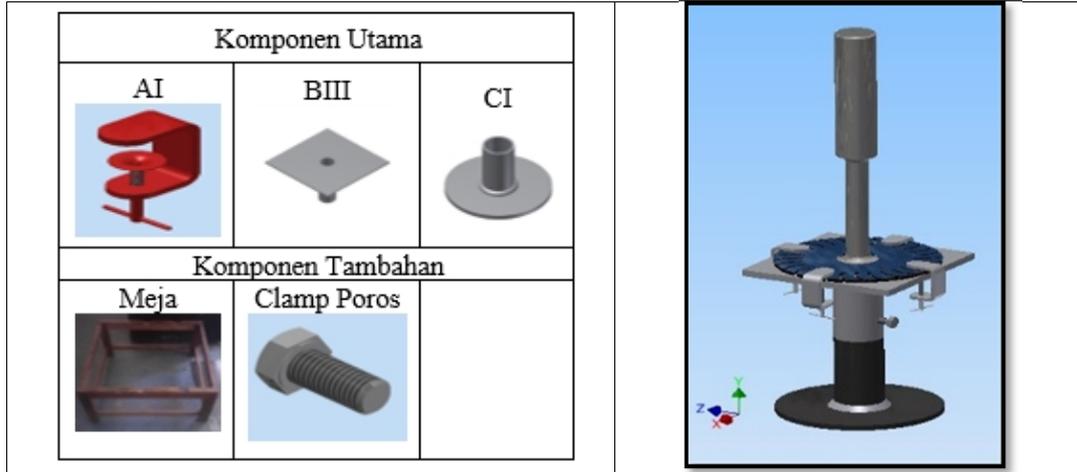
Gambar 5. Alternatif ke-1 *assembly fixture* perakitan *runner*.

Alternatif ke-2 : AI, BIII, CIII



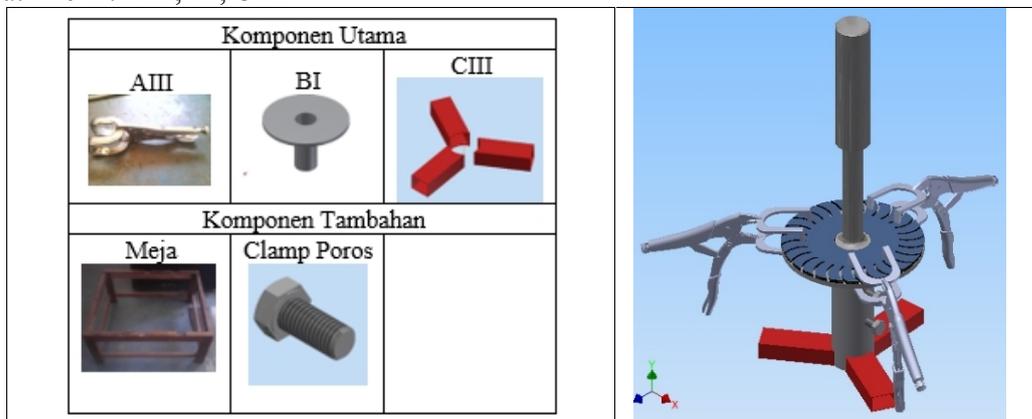
Gambar 6. Alternatif ke-2 *assembly fixture* perakitan *runner*.

Alternatif ke-3 : AI, BIII, CI



Gambar 7. Alternatif ke-3 *assembly fixture* perakitan *runner*.

Alternatif ke-4 : AIII, BI, CIII



Gambar 8. Alternatif ke-4 *assembly fixture* perakitan *runner*.

Alternatif rancangan yang telah dibuat di atas kemudian dilakukan proses pemilihan rancangan dengan membandingkan setiap alternatif-alternatif dengan kriteria yang telah di standarisasi, setelah setiap alternatif di bandingkan maka akan terpilih alternatif yang memiliki nilai tertinggi yang menjadi rancangan akhir dari alat bantu perakitan *runner* dan *casing turbin*. Kriteria yang di standarisasi ini dibuat berdasarkan data keinginan-keinginan pengguna yang masuk dalam kriteria *must and want*. Adapun kriteria tersebut yaitu:

1. Kemudahan pengoprasian, diharapkan dalam pengoprasianya semudah mungkin bagi si operator.
2. Keselamatan operator, alat harus aman bagi operator.
3. Biaya produksi, diharapkan biaya yang diperlukan untuk penyediaan komponen dan material seminimal mungkin.
4. Komponen standard, diharapkan komponen yang digunakan mudah didapat di pasaran agar tidak kesulitan dalam penggantian komponen.
5. Tuntutan tempat, diharapkan alat bantu ini dapat di tempatkan di sembarang tempat.
6. Kemudahan perawatan, diharapkan alat bantu ini mudah dalam perawatannya agar alat tetap bekerja dengan baik.
7. Awet, diaharapkan alat dapat bertahan dalam waktu yang lama sehingga mengurangi waktu perbaikan.

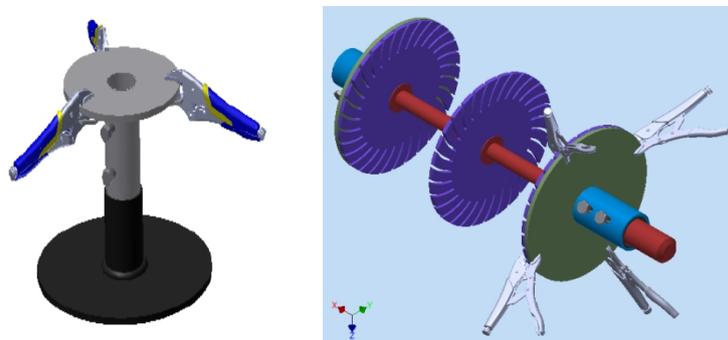
Hasil pemilihan rancangan *assembly runner* runner turbin dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Pemilihan alternatif rancangan *assembly runner* turbin.

No	Kriteria Penilaian	Standar	Nilai	Alternatif Rancangan			
				I	II	III	IV
1	Kemudahan pengoprasian	Sangat Mudah	3	3	2	1	2
		Mudah	2				
		Sedang	1				
		Sulit	0				

2	Keselamatan operator	Aman	3	3	3	3	3
		Kurang aman	2				
		Berbahaya	1				
		Sangat berbahaya	0				
3	Biaya produksi	Murah	3	3	2	1	2
		Sedang	2				
		Mahal	1				
		Sangat mahal	0				
4	Komponen standard	Ada	3	2	3	2	3
		Dengan modifikasi	2				
		Sulit	1				
		Di pesan	0				
5	Tuntutan tempat	Sembarang	3	2	2	1	1
		Sembarang dengan alat bantu	2				
		Tempat datar	1				
		Tempat khusus	0				
6	Kemudahan perawatan	Sangat mudah	3	2	3	3	2
		Mudah	2				
		Sedang	1				
		Sulit	0				
7	Awet	Daya tahan tidak terbatas	3	3	2	3	2
		Daya tahan tidak terbatas dengan pemeliharaan	2				
		Daya tahan terbatas dengan siklus tinggi	1				
		Daya tahan terbatas dengan siklus rendah	0				
Jumlah Nilai				18	17	15	16
Peringkat				1	2	4	3

Dari matrik pemilihan alternatif rancangan di atas, maka alternatif yang memiliki skor tertinggi adalah alternatif I, jadi alternatif tersebut yang akan dibuat menjadi rancangan akhir. Dari sketsa alternatif I maka dapat dikembangkan lagi dan disesuaikan dengan dimensi dari *runner* turbin yang akan dibuat pada alat bantu tersebut. Pada gambar 9 adalah alternatif I *fixture* perakitan *runner* turbin yang akan dibuat menjadi rancangan akhir. Pemilihan desain ini dengan pertimbangan mudah dan murah dibuat, fleksibel dalam penggunaan, dan operator las mudah dalam pengambilan posisi pengelasan.



Gambar 9. Rancangan akhir *fixture* perakitan *runner*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari perancangan welding fixture perakitan komponen runner turbin mikro hidro jenis cross-flow dengan metode Evaluasi Design (EVAD) adalah telah diperoleh rancangan akhir welding fixture perakitan runner turbin cross flow dengan pertimbangan kemudahan pengoprasian,

keselamatan operator, biaya produksi yang murah, penggunaan komponen standard, tuntutan tempat, kemudahan perawatan, dan awet.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Hoffman, Edward G. 1996. *Jig and Fixture Design*. Fourth Edition. Delmar Publisher. (Online), (<https://books.google.co.id> diakses 16 November 2014).
- Hurst, Kenneth S. 1997. *Engineering Design Principles*. Wiley Publisher, ISBN 0470235942, 9780470235942, <https://books.google.co.id/books>
- Keller, Carsten and Matthias Putz. 2016. Force-controlled Adjustment of Car Body Fixtures–Verification and Performance of The New Approach. *Procedia CIRP* 44 (2016) 359 – 364. www.elsevier.com/locate/procedia.
- Maa, Ninshu, Hui Huangb,*, Hidekazu Murakawaa. 2015. Effect of jig constraint position and pitch on welding deformation. *Journal of Materials Processing Technology*; journal home page: www.elsevier.com/locate/jmatprotec
- Prasetyo, Hendro dkk. 2010. Rancangan Welding Fixture Pembuatan Produk Front Engine Mounting Mobil Suzuki Baleno. Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- Prasetyo, Hendro dkk. 2012. Rancangan *Welding Fixture* Pembuatan Rangka Produk Kursi. Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2012 ISBN No. 978-979-96964-3-9. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, ITENAS, Bandung
- Susilawati, Anita. dkk. 2006. “Perancangan Modular Fixture untuk Proses Freis, Milling dan Sekrap”. Dalam *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 3.No2. Riau.
- Zhang, Hongbo, at al. 2016. A Novel Reconfigurable Assembly Jig Based on Stable Agile Joints and Adaptive Positioning-Clamping Bolts. *Procedia CIRP* 44 (2016) 316 – 321. www.elsevier.com/locate/procedia.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan tinggi atas kepercayaan dan bantuan dana dalam pelaksanaan penelitian ini.