

Perkakas Bantu Pegang dan Pengarah untuk Fabrikasi *Disc Runner* PLTMH untuk Produksi *Jobshop*

Agus Sutanto^{1,a}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas,
Kampus Limau Manis, Padang, Sumatera Barat, 25163, Indonesia

^asutanto@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Survei yang dilakukan pada bengkel fabrikasi di kota Padang menunjukkan bahwa produksi komponen turbin mikrohidro bersifat *jobshop* (pesanan) dan masih dilakukan dengan cara manual. Dari pengamatan di lapangan untuk pengerjaan komponen *disc runner* (cakram pemutar) menunjukkan bahwa waktu pengerjaan masih lama serta diikuti dengan beberapa pekerjaan tambahan dan perbaikan untuk membentuk profil suku *runner* yang benar. Mampu ulang (repeatability) dan ketelitian profil suku masih rendah dan pekerjaan dilakukan dengan cara yang kurang ergonomis. Berdasarkan hal ini, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk membuat sebuah teknologi yang tepat guna untuk karakteristik bengkel produksi komponen turbin mikrohidro yang ada di Sumbar. Solusi yang diberikan adalah pengerjaan komponen turbin dengan memakai sebuah perkakas bantu pegang dan pengarah (*jig and fixture*) untuk pembuatan komponen turbin mikro hidro yaitu komponen *disc runner*. Solusi ini masih sangat cocok untuk volume produksi rendah dengan ragam produksi yang cukup tinggi atau sesuai dengan sistem produksi *jobshop*. Hasil yang diperoleh pada penilitian ini adalah sebuah prototip perkakas bantu terdiri atas dua bagian. Yang pertama adalah perkakas bantu (*fixture*) yang memegang dan memutar sekaligus membagi segmen benda kerja yang akan diproses. Yang kedua adalah perkakas *jig* yang mengarahkan *torch* dalam memotong benda kerja berbentuk profil suku turbin. Berdasarkan hasil ujicoba yang dilakukan pada bengkel sekitar disimpulkan bahwa perangkat ini dapat mengatasi beberapa kekurangan pada proses pembuatan secara manual terutama dalam menjamin sifat keterulangan dan ketelitian pengerjaan. Dalam uji coba yang dilakukan menunjukkan penggunaan perangkat ini jelas dapat mengeliminir dan mereduksi beberapa langkah proses dan secara drastis mengurangi pengerjaan perbaikan (*reworks*) serta sangat ergonomis dipakai oleh operator. Secara umum, perkakas bantu pegang dan pengarah ini sudah memberikan solusi penerapan ipteks bagi bengkel produksi bersifat *jobshop* untuk pembuatan komponen turbin mikrohidro.

Keywords: perkakas bantu, PLTMH, *disc runner*, produksi *jobshop*

Pendahuluan

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) merupakan suatu konverter energi potensial air menjadi kerja mekanik yang mengerakkan sebuah generator untuk menghasilkan energi listrik skala kecil dan cocok diimplementasikan pada sekumpulan masyarakat desa yang terisolir yang tidak dapat disupplai oleh jaringan listrik PLN. Umumnya PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air jenis *run-off river* di mana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan membuat

sungai buatan di samping sungai utama. Jika dalam kejadian debit air melebihi batas (saat terjadi banjir atau hujan deras), air akan langsung dibuang melalui saluran pembuang yang sejajar dengan pipa penyalur seperti terlihat pada Gambar 1 [1,2]. Kondisi masyarakat yang umumnya cocok memakai PLTMH terletak di kawasan perbukitan dan pegunungan dengan potensi air yang berlimpah namun belum mampu dimanfaatkan untuk menjadi listrik. Aksesibilitas listrik yang masih rendah pada daerah terpencil dan terisolir, tetapi kaya dengan sumber daya air ini terhalang oleh

pembangkitan yang tinggi (tidak ekonomis) terhadap perluasan jaringan listrik. [3].



Gambar 1. Skema PLTMH [2]

Sumbar memiliki potensi yang sangat besar untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) hingga mencapai 500 MW (Sumber: Litbang PLN Wilayah Sumatera Barat dipublikasikan pada Kompas 12 Februari 2009) [3], karena memiliki curah hujan yang relatif tinggi sepanjang tahun dan kondisi geografis yang berbukit dan banyaknya aliran sungai-sungai kecil. Disisi lain, masih cukup banyak desa terpencil dan terisolir memiliki potensi air yang besar akan tetapi jaringan listrik PLN tidak ada. Sehingga penerapan PLTMH dianggap sebuah solusi yang cocok. Untuk itu diperlukan penguasaan teknologi fabrikasi peralatan PLTMH yang memadai oleh bengkel fabrikasi sekitar. Berdasarkan *road map* bidang energi yang dibuat Pemda provinsi Sumatera Barat bersama-sama dengan Kementerian ESDM bahwa Sumatera Barat telah ditetapkan sebagai lumbung energi hijau atau disebut dengan istilah "rangkiang energi hijau" [1,3]. Hal ini diakibatkan oleh kondisi geografis Sumatera Barat yang bergunung-gunung (terletak di pegunungan Bukit Barisan) dan memiliki sungai-sungai kecil yang sangat banyak dan tingkat curah hujan yang relatif tinggi. Potensi ini harus dijawab oleh Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Sumatera Barat khususnya kota Padang yang bergerak di bidang bengkel untuk memproduksi produk/ komponen PLTMH seperti turbin aliran silang dengan berkualitas yang baik dan kompetitif.

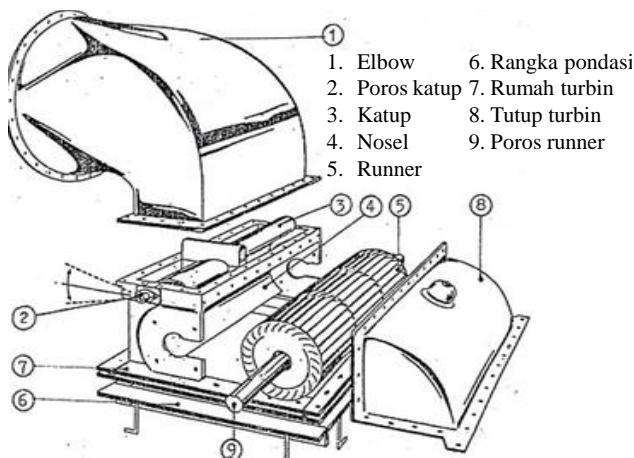
Berdasarkan survei yang sudah dilakukan tercatat ada 3 bengkel yang sudah memiliki pengalaman dan teknologi dalam hal fabrikasi turbin mikrohidro di kota Padang menunjukkan bahwa pengerjaan fabrikasi dilakukan secara manual dengan peralatan produksi yang masih sederhana serta jumlah produksi yang sangat rendah. Sistem produksi dilakukan secara pesanan (jobshop). Beberapa hal dari pengamatan lapangan dapat diidentifikasi menjadi potensi perbaikan ditinjau dari segi produksinya. Hal-hal tersebut adalah mempercepat waktu produksi, meningkatkan kesamaan bentuk, meningkatkan ketelitian pengerjaan, mengurangi pekerjaan perbaikan dan memperbaiki kondisi dan postur kerja yang lebih ergonomis.

Turbin untuk PLMTH

Secara umum terdapat dua jenis turbin air yang bisa dipakai untuk PLTMH yaitu : turbin impuls dan turbin reaksi. Tipe Turbin ini dipengaruhi oleh *head* atau tinggi dari air terhadap turbin dan debit atau volume air di lokasi pembangkit. Faktor lain yang mempengaruhi adalah efisiensi dan biaya. Turbin impuls seperti turbin pelton dan turbin *cross flow* (aliran silang) umumnya menggunakan kecepatan dari air untuk menggerakkan *runner* (bagian yang berputar pada turbin) dan dilepaskan pada tekanan atmosfer. Sedangkan turbin reaksi seperti turbin propeler dan francis menghasilkan daya dari kombinasi tekanan dan pergerakan air. Umumnya turbin impuls secara teknis memiliki *head* yang lebih tinggi dari turbin reaksi, tetapi dengan debit yang lebih rendah [4].

Pada penelitian ini turbin *cross flow* (untuk seterusnya disebut dengan istilah turbin aliran silang) menjadi fokus, karena turbin ini lebih banyak dipakai dan sudah difabrikasi secara manual di bengkel-bengkel yang ada di kota Padang. Turbin aliran silang yang merupakan turbin jenis impuls umumnya memiliki *head* rendah dengan debit yang lebih besar bila dibandingkan dengan turbin pelton. Turbin aliran silang memiliki konstruksi seperti pada Gambar 2 dikenal juga dengan nama turbin *Michell-Banki* yang merupakan penemunya [5]. Selain itu juga disebut turbin *Osberger* yang merupakan perusahaan yang

memproduksi turbin aliran silang [6,7]. Secara teknis turbin jenis ini dioperasikan pada debit 0,2 hingga 10 m³/s dan *head* antara 1 s/d 200 m. Sebagai suatu turbin impuls yang bekerja pada tekanan atmosferik, turbin aliran silang menghasilkan daya dengan mengkonversikan energi kecepatan pancaran air. Meninjau karakteristik kecepatan spesifiknya, ia berada di antara turbin *Pelton* dan turbin *Francis* aliran campur. Secara konstruksi, turbin aliran silang terdiri atas dua bagian utama yang memegang peranan penting yaitu nosel dan pemutar turbin (*runner*). Pemutar turbin dirakit dari beberapa komponen yaitu cakram pemutar (*disc runner*), suku pemutar (*blades Runner*) dan poros pemutar (*shaft runner*). Bagian yang paling rumit dalam proses pembuatannya adalah cakram pemutar. Sedangkan bagian lain yang disebut *nosel* berpenampang persegi, mengeluarkan pancaran air secara ke sepanjang lebar *runner* dengan sudut tertentu (biasanya sekitar 16°) terhadap garis singgung lingkar luar *runner*.



Gambar 2. Komponen-komponen pada turbin aliran silang (cross-flow turbine) [5]

Ditinjau dari teknologi fabrikasi, bagian pemutar turbin (*runner*) adalah bagian yang relatif rumit dibandingkan bagian yang lain pada turbin air jenis aliran silang. Hal ini karena dibutuhkan ketepatan dan keakuratan pembuatan guna mendapatkan hasil yang bagus sesuai dengan spesifikasi teknis hasil rancangannya. Untuk suatu bentuk usaha fabrikasi dengan sistem produksi *batch* maka penggunaan mesin perkakas *CNC EDM Wire Cutting* dimungkinkan, terutama bagian *disc runner* untuk mempercepat produksi dan

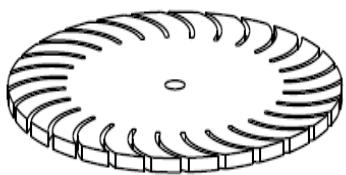
menghasilkan komponen yang lebih teliti dan mampu ulang proses yang tinggi. Contoh usaha fabrikasi yang melakukan ini adalah PT. Kramatraya Sejahtera di Cimahi, Jawa Barat, yang telah membuat 4 varian diameter runner turbin aliran silang [8].

Teknologi Fabrikasi yang Ada

Potensi PLMTH di Sumatera Barat memberikan konsekuensi berkembangnya usaha bengkel fabrikasi turbin aliran silang di kota Padang (sebagai ibukota provinsi) dan sekitarnya. Berdasarkan data yang ada tercatat ada sekitar 3 bengkel yang sudah memiliki pengalaman dan teknologi dalam hal fabrikasi turbin mikrohidro ini. Bengkel-bengkel produksi yang masih terbilang kecil tersebut adalah Bengkel Pro Water, Bengkel BRTTG, dan CV Basra yang semuanya berlokasi di kota Padang. Berdasarkan wawancara lisan dengan pemilik bengkel, ketiga bengkel fabrikasi ini menerima pesanan pembuatan yang berasal dari pemda, Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten dan Kota, PT. PLN, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), proyek-proyek bantuan luar negeri, proyek pengabdian masyarakat dan perorangan. Fabrikasi turbin mikrohidro dengan tipe turbin aliran silang melibatkan pembuatan masing-masing komponen dan diakhiri dengan proses perakitan. Bagian yang terpenting disini adalah pembuatan pemutar (*runner*) turbin. *Runner* atau pemutar turbin aliran silang seperti ditunjukkan pada Gambar 2 No. 5 ini terdiri dari *disc runner*, suku dan poros *runner*.

Disc runner atau cakram pemutar (Gambar 3) berfungsi sebagai dudukan suku turbin yang mempunyai kelengkungan serta sudut kemiringan tertentu guna mendapatkan efisiensi turbin yang tinggi serta menghasilkan luaran daya listrik yang besar. Pembuatan *disc runner* turbin air jenis aliran silang dilakukan dengan proses pemotongan logam dengan beberapa metoda. Di bengkel-bengkel fabrikasi sederhana pemotongan untuk membentuk profil suku dilakukan dengan busur api yang berasal gas asitilin atau *acetylene gas* (C₂H₂) dan LPG. Sedangkan pada bengkel-bengkel yang lebih modern sudah memanfaatkan mesin-mesin canggih seperti pemotongan pelat dengan *CNC EDM*

Wire Cutting untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan teliti. Solusi ini dimungkinkan bila sudah sesuai dengan skala keekonomiannya.



Gambar 3. Disc Runner [9]

Urutan proses

Berdasarkan pengamatan dan referensi [9] tentang rancangan teknologi tepat guna untuk komponen ini, secara umum urutan proses yang dilakukan pada bengkel fabrikasi di kota Padang untuk pembuatan *disc runner* turbin aliran silang adalah sebagai berikut:

- mempersiapkan mal *disc runner* dengan memakai program CAD. Kemudian ditempelkan pada material pelat untuk *template*.
- memberi tanda dan selanjutnya menandai dengan mengurdi sebanyak jumlah *blade* yang dibuat.
- meratakan permukaan material pelat dengan palu besi
- memberi tanda profil sudu *runner* dengan bantuan penitik dan jangka besi untuk menandai jari-jari kelengkungan sudu
- memotongan material dengan mempergunakan las gas asetilin agar menyerupai profil sudu. Pemotongan dilakukan secara *free-hand* tanpa tuntunan terhadap *torch* pemotong untuk seluruh sudu.
- Mengulangi pekerjaan pemotongan untuk profil sudu yang kurang sempurna.
- Melakukan pekerjaan perbaikan sehingga dihasilkan lubang profil sudu yang benar

Defisit dari proses fabrikasi yang ada

Teknologi fabrikasi komponen turbin aliran silang oleh bengkel-bengkel yang ada si Sumbar masih sangat manual. Hal ini dikarenakan volume produksi yang dibuat masih rendah dan sistem produksi *jobshop*. Dari survei yang dilakukan maka dapat diidentifikasi beberapa defisit terhadap proses fabrikasi yang ada yaitu:

- Waktu non-produktif yang cukup tinggi terutama berkaitan dengan persiapan kerja diluar kegiatan fabrikasi itu sendiri seperti 1) pembuatan gambar *template* cakram pemutar dengan program aplikasi CAD, untuk *template* proses pembuatan, 2) pekerjaan penandaan (marking) dengan penitik, jangka maupun mesin gurdy untuk menghasilkan acuan pemotongan profil sudu yang benar, 3) pengrajan tambahan yang bersifat perbaikan bentuk profil sudu setelah dilakukan pemotongan dengan gas *asetilin*. Khusus untuk pekerjaan terakhir memakan waktu yang cukup banyak. Akibat dari hal ini maka waktu non-produktif menjadi lebih dominan sehingga secara kumulatif akan menghasilkan total **waktu pengrajan** yang lama.

- *Disc runner* turbin ini dengan jumlah sudu yang cukup banyak membutuhkan kesamaan bentuk profil dan ukuran. Maka sifat **keterulangan** (repeatability) dalam pengrajan menjadi sangat penting. Dengan cara manual yang dilakukan sekarang ini masih menimbulkan permasalahan, sehingga perlu dicari solusi yang sesuai.
- **Keakuratan** produk yang difabrikasi juga sangat penting dan merupakan defisit yang masih diidentifikasi pada bengkel yang ada. Untuk itu perlu dicari solusi untuk hal ini dengan sebuah perkakas bantu untuk fabrikasi.
- Defisit yang lain yang dapat diidentifikasi adalah tentang posisi dan postur kerja yang kurang **ergonomis**. Diharapkan hal ini dapat diatasi dengan rancangan perkakas bantu yang mengakomodir ukuran dan postur tubuh yang ergonomis dalam bekerja.

Solusi yang Diberikan

Solusi yang ditawarkan adalah pengrajan komponen turbin dengan memakai sebuah perkakas bantu pegang dan pengarah (*jig and fixture*) untuk pembuatan komponen turbin aliran silang yaitu komponen *disc runner*. Solusi ini masih sangat cocok untuk volume produksi rendah dengan ragam produksi yang cukup tinggi atau sesuai dengan sistem produksi *jobshop* [10,11]. Hasil yang diharapkan adalah sebuah prototip perkakas

bantu terdiri atas dua bagian. Yang pertama adalah perkakas bantu (fixture) yang memegang dan memutar sekaligus membagi segmen benda kerja yang akan diproses. Yang kedua adalah perkakas yang mengarahkan *torch* (yang berfungsi sebagai *jig*) yang memotong benda kerja dalam bentuk sebuah profil sudu turbin.

Pada perancangan perkakas bantu, konsep disain yang dipakai diharapkan dapat meminimalisir defisit aktifitas fabrikasi yang telah disebutkan sebelumnya. Untuk itu, konsep disain yang ditawarkan adalah perkakas bantu (*jig & fixture*) yang dirancang seharusnya dapat:

- mereduksi waktu penggerjaan,
- menjamin ketelitian,
- menjamin keterulangan (repeatability),
- mengintegrasikan aspek ergonomi,
- berbiaya rendah (low-cost).

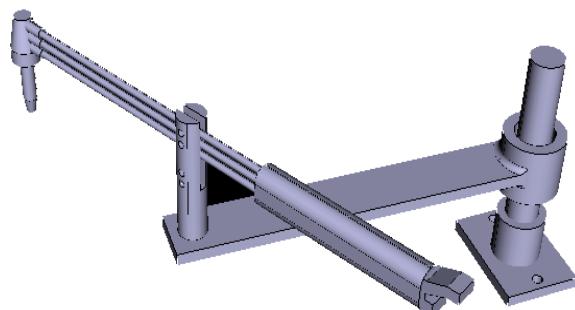
Perkakas bantu pegang dan pengarah yang dibuat seharusnya mempersingkat waktu penggerjaan *disc runner* karena dalam ia dapat menggabungkan beberapa elemen pekerjaan yang sebelumnya dilakukan dengan cara manual secara terpisah. Elemen pekerjaan ini antara lain pembuatan *template* cakram pemutar, *marking* dan *initial drilling*.



Gambar 4. *Fixture* benda kerja

Solusi yang ditawarkan juga berkaitan kemampuan *jig & fixture* yang mampu memberikan ketelitian dan keterulangan (repeatability) dari penggerjaan [12]. *Fixture* yang memegang benda kerja dilengkapi dengan kepala pembagi (dividing head) yang

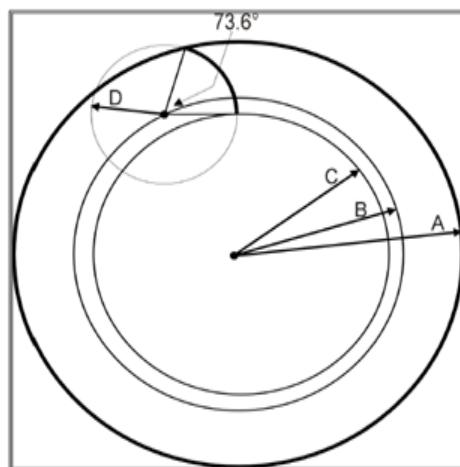
berfungsi untuk membagi dudukkan sudu benda kerja yang akan di potong sebanyak jumlah sudu turbin yang diingini secara teliti seperti terlihat pada Gambar 4. Demikian juga selain pemegang benda kerja (*fixture*), ada bagian yang berfungsi sebagai *jig* yang mengarahkan *torch* las untuk membuat kelengkungan yang benar dan berulang untuk seluruh profil sudu yang terdapat pada *disc runner* seperti terlihat pada Gambar 5. Dengan demikian proses pembuatan dapat menjamin juga sifat mampu ulang (repeatability).



Gambar 5. *Jig* yang menuntun gerakan *torch*

Disain *jig* ini memungkinkan pemotongan untuk tiga variasi parameter *disc runner* (lihat Gambar 6) yaitu:

- variasi diameter cakram,
- variasi radius sudu turbin,
- variasi titik pusat sudu pemutar.



Gambar 6. Karakteristik geometrik *disc runner*

Sudu turbin biasanya dibuat dari busur pipa dengan berdiameter tertentu, sebagai contoh ipa berdiameter 3 atau 4 inchi, yang dipotong dengan sudut tertentu (misalnya

73,6° seperti Gambar 6). Pada proses pembuatannya, *disc runner* ditentukan dulu titik pusatnya sehingga ujung dan pangkal sudu memiliki jari-jari masing-masing A dan C. Bila posisi sudut serang air ingin diubah, maka sudu yang sama dapat diubah orientasinya sedemikian sehingga ujung dan pangkal sudu memiliki jari-jari masing-masing A dan B. Alat bantu pengarah ini dirancang untuk memenuhi persyaratan ketiga variasi perubahan geometrik dari *disc runner* tersebut sehingga proses fabrikasi dapat menyesuaikan dengan hasil rancangannya.



Gambar 7. Aspek ergonomi pada perancangan perkakas bantu

Selain itu perkakas bantu yang dibuat, berdasarkan beberapa referensi, seharusnya memberikan perbaikan dari hal-hal yang berkaitan dengan *human factor* atau aspek ergonomi dalam pekerjaan [13,14]. Pada desain perkakas bantu yang dibuat ini juga telah memperhatikan aspek ergonomi (kesesuaian dengan antropometri manusia Indonesia) dan disertai juga dengan analisa perancangan kerja. Solusi yang diberikan berkaitan dengan hal ini dapat terlihat pada Gambar 7, dimana yang dipilih adalah tipe kerja berdiri. Dengan hal ini diharapkan kenyamanan dan keselamatan kerja bagi operator lebih terjamin. Postur operator dalam bekerja yang semula didominir oleh posisi yang kurang hingga tidak ergonomis seperti: posisi kerja jongkok dan menunduk dengan ini sedapat mungkin dihilangkan.

Konsep berbiaya rendah (low-cost) dengan

produktifitas yang tinggi [15] juga digunakan dalam perancangan dan pembuatan perkakas bantu ini. Diharapkan biaya pembuatan jig and fixture ini juga lebih murah sehingga menghasilkan ongkos tetap (fixed cost) yang juga rendah, sehingga cocok dipakai oleh bengkel skala industri mikro dan UMKM. Dengan ini diharapkan titik impas (break-even point) dapat dengan jumlah produksi yang masih rendah yang tidak lebih dari 20 produk.

Hasil

Prototip perkakas pegang dan pengarah untuk pembuatan *disc runner* PLMTH ini dapat dilihat pada Gambar 7. Ada dua tahapan pengujian yang dilakukan terhadap prototip yang dibuat yaitu a) pengujian tanpa memotong (dry-run test), dan b) pengujian memotong.

Pengujian tanpa memotong

Pengujian tanpa memotong bertujuan untuk menguji apakah jejak (path) dari busur listrik untuk memotong sesuai dengan profil geometrik *disc runner* yang diingini. Pada contoh ini dibuat *disc* dengan diameter 300 mm dengan sudu merupakan busur lingkaran berdiameter 5 inci dengan sudut busur 73,6°. Diameter cakram pada ujung sudu adalah 200 mm. Sudu berjumlah 28 buah, sehingga perhitungan pada kepala dan piringan pembagi untuk tiap interval sudu adalah $1\frac{18}{42}$, yang artinya pada piringan dengan jumlah lubang 42, dilakukan dengan satu kali putaran penuh ditambah sampai dengan lubang ke-18. Hasil pengujian dengan menggunakan kapur seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian tanpa memotong

Pengujian memotong

Pengujian memotong dilakukan beberapa kali dengan memakai campuran gas LPG dan Oksigen (O_2). Beberapa pemasalahan yang ditimbulkan selama pemotongan adalah antara lain busur api kecil sehingga tidak mampu memotong. Solusi untuk masalah ini adalah mengganti kepala *torch* dengan jenis gas dengan nomor yang lebih besar. Masalah yang kedua adalah hasil pemotong tidak baik, sebagian sisi tidak terpotong dan timbul kerak. Hal ini diakibatkan jumlah oksigen yang belum mencukupi sehingga bukaan oksigen diatur sedemikian sehingga seluruh sisi pelat terpotong dan kerak yang muncul sedikit. Permasalahan yang berikutnya yang timbul dalam pengujian memotong adalah gerakan *torch* yang kurang kaku disaat memotong profil sudu. Juga ada beberapa lintasan tidak sesuai dengan profil sudu yang diingini. Solusi yang dibuat adalah menambah rel pembimbing untuk gerakan *torch* (dalam bentuk pelat). Gambar 9 adalah hasil pemotongan untuk keseluruhan sudu (28 buah). Dari hasil uji coba diperoleh waktu pemotongan untuk tiap sudu dengan pelat berbahan *mild steel* tebal 3,2 mm adalah rata-rata 25 detik. Dengan perkakas bantu dan pegang ini dihasilkan waktu pemotongan yang jauh lebih rendah (4 kali lebih cepat dari cara pemotongan manual) dan dengan keterulangan dan ketelitian profil yang lebih baik.



Gambar 9. Hasil uji memotong

Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan sebuah prototip perkakas bantu yang memegang, memutar dan membagi segmen *disc runner*

dalam fabrikasinya. Bagian ini disebut perkakas bantu pegang (fixture). Pada bagian lain ada perkakas yang mengarahkan *torch* yang memotong pelat benda kerja agar berbentuk sebuah profil sudu turbin aliran silang. Bagian ini disebut *jig* yang berfungsi sebagai perkakas pengarah. Perkakas bantu ini sudah berhasil dicoba dan memberikan kontribusi sebagai sebuah bentuk pengembangan teknologi fabrikasi tepat guna bagi bengkel produksi yang bersifat *jobshop* (berproduksi berdasarkan pesanan) yang membuat *disc runner* turbin aliran silang. Hasil uji coba menunjukkan bahwa perkakas bantu mampu :

- mereduksi waktu penggeraan hingga empat kali lebih cepat,
- menjamin ketelitian dan keterulangan penggeraan profil sudu,
- meminimalkan penggeraan tambahan dan perbaikan secara signifikan, dan
- memberi kenyamanan dalam bekerja (lebih ergonomis) dengan menghilangkan posisi kerja jongkok dan membongkok yang terjadi pada pekerjaan manual sebelumnya.

Ucapan terima kasih

Terimakasih atas bantuan pendanaan melalui program PPM DIKTI Tahun 2014, No. Kontrak No. 03/UN.16/PPM-IBM/2014, tanggal 7 Mai 2014.

Referensi

- [1] A.R.Sulistyawaty, Johny, Membawa Terang Lewat PLTMH, diakses dari <http://female.kompas.com/read/2009/04/19/00120394/johny.membawa.terang.lewat.pltmh>.
- [2] D. Sihombing, Apakah PLTMH itu?, diakses dari <http://www.danielnugroho.com/science/apakah-pltmh-itu/>
- [3] A.R.Sulistyawaty, Potensi Energi Mikrohidro di Sumbar capai 500 Megawatt, diakses dari <http://regional.kompas.com/read/2009/02/12/09005371>
- [4] F. Dietzel, Dakso Sriyono,Turbin Pompa dan Kompresor, Erlangga, Jakarta, 1993.
- [5] C. A. Mocmore *et al*, The Banki Water Turbin, Engineering Experiment

- Station, Oregon State Colleg, Corvallis, Oregon, 1998.
- [6] V. J. Verma, The Scenario for Small Hydro Development, Water and Energy International Vol. 39, Issue 4, 1982.
- [7] Desai, V.R. and Aziz, N.M., An Experimental Investigation Of Cross- Flow Turbine Efficiency, Journal of Fluids Engineering, Vol.116, 1944.
- [8] N.N., Turbin Crossflow Tipe T14, http://indonetwork.co.id/kramatraya_sejahtera/1283907/turbin-crossflow-t14.htm (diakses tanggal 31 Maret 2014).
- [9] A. Sutanto, Alfian, N. Effiandi, Rancangan teknologi tepat guna untuk pembuatan cakram pemutar turbin aliran silang skala bengkel, Jurnal Teknika, Vol. 21 No.1 Thn. 2014.
- [10] E. Hoffman, Jig and Fixture Design, Mc Graw Hill, 2003.
- [11] GA. Nader, DG. Parrott, Universal jig/ work holding fixture and method of use, US Patent 7,220,085, 2007.
- [12] MA. Duginske, Woodworking machinery jig and fixture system, US Patent 6,880,442, 2005.
- [13] B. Das, An ergonomic approach to designing a manufacturing work system, Vol. 1, Issue 3, 1997, pp. 231–240.
- [14] VN. Rajan, K. Sivasubramanian, JE. Fernandez, Accessibility and ergonomic analysis of assembly product and jig designs, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 23, Issues 5–6, 1999, pp. 473–487.
- [15] Thurman, J.E et al, Higher productivity and a better place to work: practical ideas for owners and managers of small and medium-sized industrial enterprises, International Labour Office, 1988.