

Hydraulic Water Jet Intensifier Machine For Cutting Marble

Adi Purwanto

Jurusan Teknik Mesin-FTI, Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta
Jl. Kalisahak No. 28, Kompleks Balapan, Yogyakarta 55222
Email : addidaiya47@gmail.com

Abstract

Marble is a natural resource rock type, which are available in some areas in Indonesia. Marble is used for various purposes, especially in the field of interior and exterior of houses and the like, such as tiles, pillars, and so forth. The production process starts from the stage of marble cutting, buffing or polishing, and finishing. Almost all companies are still using the marble production process by conventional methods. Production machines for cutting with a circular saw-edged tungsten carbide, the usage will result in a gap cut ± 5 mm, making it less effective and profitable, due to the many cutting going on. In addition to the loss, saw cutting is including rough cutting that will leave a tool mark deep enough, so the process is required prior to finishing the grinding/smoothing first. Capital-intensive companies, usually in renovate their conventional production machines, by the purchase of technology from abroad. The development of technology today, for cutting marble use water jet cutting machine has been widely used. Water Jet cutting Machine (WJM) is a cutting machine that uses water pressure medium which is generated and powered by circuit of hydraulic intensifier. Water jet cutting including cold processes, so heat does not arise. Thus, heat damage does not occur as thermal distortion, thermal stress on the surface of the cut and others. Other than that, WJM including cutting process is environmental friendly, because it does not happen melting material or by-product were dusty. WJM can be designed and developed with standard components and custom components made itself. In WJM there intensifier pump, which serves to change the water pressure, from the pressure of 160.17 bar converted to 4,000 bar. Water at high pressure is then used to cut the process by using directed by nozzles made of sapphire stone to marble surface water cutting speeds 750 m/s. Cutting nozzle diameter of 1 mm, will produce a thick marble cutting only 1 mm.

Key word : Marble, Water Jet cutting Machine, Pressure Intensifier, Nozzle, Hydraulic Intensifier Circuit.

Pendahuluan.

Kecamatan Samigaluh, Temon dan Kokap adalah wilayah Kab Kulonprogo yang telah pernah menjadi lokasi PKM bagi dosen dan mahasiswa IST. AKPRIND Yogyakarta. Potensi sumber daya alam (SDA) daerah ini sangat banyak dan jika dikelola dengan baik dapat menjadikan pendapatan asli daerah (PAD) pada masing-masing kecamatan tersebut.

Mamer, adalah salah satu dari SDA sekaligus merupakan kekayaan alam daerah, namun demikian untuk eksploitasi perlu dipilih dan ditetapkan metode eksplorasi dan produksinya. Dewasa ini, proses pengolahan marmer dan batuan lainnya masih menggunakan pemesinan konvensional, sehingga kecepatan an hasil produksinya belum mampu bersaing pada pasar lokal maupun pasar bebas. Marmer, merupakan sumber daya alam non hayati

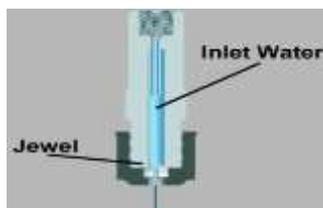
dan merupakan jenis batuan, yang mana kualitas batuan ini dipengaruhi oleh umur batuan tersebut semakin tua umur batuan semakin baik kualitasnya. Marmer sering digunakan untuk berbagai macam keperluan khususnya dibidang interior dan eksterior bangunan rumah dan semacamnya, seperti ubin, tiang penyangga, dan lain sebagainya. Proses produksi marmer bermacam-macam, dari tahap penambangan, pemotongan (*cutting*), penggosokan (*polishing*), dan finishing semua proses tersebut masih menggunakan mesin konvensional. Pada pemotongan awal masih menggunakan gergaji yang akan meng-hasilkan celah potong sekitar 5 mm dan sangat tidak efektif dan efisien. Perkembangan teknologi saat ini sangat pesat, saat ini pemotongan marmer sudah banyak yang meninggalkan metode konvensional. Saat ini pemotongan marmer telah banyak menggunakan mesin pemotong pancaran air *hydraulic water jet*

intensifier machine atau sering disebut WJM (*water jet cutting machine*).

Cara Kerja Water Jet.

Waterjet adalah istilah generik yang digunakan untuk menggambarkan peralatan yang menggunakan aliran air bertekanan tinggi untuk tujuan memotong atau membersihkan benda kerja. Sedangkan, *Abrasivejet* adalah subkategori dari *Waterjets* di mana bahan abrasif ditambahkan untuk mempercepat proses. Dengan kata lain; *abrasive-jet* dan *waterjet* murni adalah jenis waterjet, dan waterjet adalah jenis mesin. Ini adalah istilah yang wajar, dan umum, menggunakan istilah waterjet untuk merujuk kepada *abrasive-jets*, meskipun dalam beberapa kasus harus dibedakan. Pada penelitian ini, digunakan istilah WJM (*water-jetcuting machine*) mengacu pada topik yang mencakup baik *waterjets* murni dan *abrasive-jets*, dan menggunakan istilah murni waterjet dan *abrasive-jet* ketika membahas topik-topik yang khusus untuk satu atau yang lain.

Jika air biasa ditekan pada 60.000 psi (4.000 bar) dan dipaksa melalui lubang yang sangat kecil. Campur air dengan *garnet abrasive* maka akan terjadi aliran yang sangat tipis air mengalir sangat cepat dan akan mengikis bahan yang terekspose. Beberapa waterjets adalah "waterjets murni" dan tidak menambahkan garnet yang abrasif. Ini digunakan untuk memotong bahan lembut, seperti: makanan, karet, dan busa.



Gambar 1. Typical Desain dari nosel WJM
(Sumber: www.waterjet.org)

Apa yang bisa waterjets dipotong dengan water-jet?
Apa yang tidak bisa dipotong dengan water-jet?

Water-jets dapat memotong hampir semua bahan berbentuk lembaran yang ditempatkan di depannya. Bahan yang paling populer dipotong dengan WJM adalah logam (terutama aluminium, karena itu relatif lembut dan dapat dipotong dengan cepat), waterjets dapat memotong bentuk yang rumit dengan presisi tinggi dengan cepat dan ekonomis. Karena logam adalah bahan yang paling umum dipotong oleh bengkel mesin, *water-jets* cenderung digunakan untuk memotong banyak logam.

WJM bekerja dengan prinsip dasar seperti pada Gambar 1.1. di bawah. Oleh karena WJM bekerja

dengan cepat, fleksibel, cukup tepat, maka dalam beberapa tahun terakhir telah menjadi familier dan mudah digunakan. WJM menggunakan teknologi air bertekanan tinggi dipaksa melalui lubang kecil (biasanya disebut "nosel" terbuat dari batu permata *Sapphire*, sebagai tempat untuk berkonsentrasi sejumlah energi yang ekstrim di luasan yang kecil. Pembatasan lubang kecil menciptakan tekanan tinggi dan pancaran kecepatan tinggi. *Water-jets* murni menggunakan kolom air keluar nosel untuk memotong bahan yang lembut seperti popok, permen, dan kayu lembut tipis, tetapi tidak efektif untuk memotong bahan keras.

Air inlet untuk *water-jet* murni bertekanan antara 20.000 - 60.000 psi (1.300 - 6.200 bar). Air bertekanan ini dipaksa melalui lubang kecil nosel dari batu permata, yang biasanya berdiameter 0,007" - 0,020" (0.18 - 0,4 mm). Nosel ini akan menciptakan kecepatan sangat tinggi, kolom air yang sangat tipis (itulah sebabnya mengapa beberapa orang menyebut *water-jets* sebagai "laser air") dengan kecepatan mendekati kecepatan suara (sekitar 600 *mph* atau 960 km/jam).

Aspek Kompetitif Manufaktur

Proses manufaktur dalam menghasilkan barang harus mensyaratkan biaya serendah mungkin dengan kualitas tinggi, serta tanggap terhadap adanya hubungan yang kompleks dari berbagai faktor, antara lain adalah persaingan pasar. Oleh karena itu aspek kompetitif manufaktur harus diperhatikan, dalam arah untuk melestarikan dan mempertahankan kemampuan industri. Diantara aspek-aspek kompetitif manufaktur tersebut, antara lain:

- 1) Seleksi material
- 2) Substitusi material
- 3) Perancangan Produk dan Kuantitas Material
- 4) Pemilihan Proses Manufaktur
- 5) Kemampuan Proses
- 6) Biaya Manufaktur
- 7) Nilai Rekayasa

Dalam praktek perancangan dan pengembangan, tidak semua aspek dapat diwujudkan. Dalam perspektif industri marmer, paling tidak nilai rekayasa dapat diangkat sebagai aspek kompetitif manufaktur. Nilai rekayasa ditentukan oleh nilai moneter, yang dimiliki produk, terwujud dalam bentuk; (a) nilai kegunaan, dan (b) nilai prestise (*prestige*) atau kepuasan (*esteem*). Sebagai contoh, seorang *customer* akan merasa bangga ketika fasad properti-nya berhias batu alam; "*Bali Green*" atau, "*Red Banjar*", atau "*Terumbu Samigaluh*". Jika produksi negara lain dapat memiliki nilai kepuasan

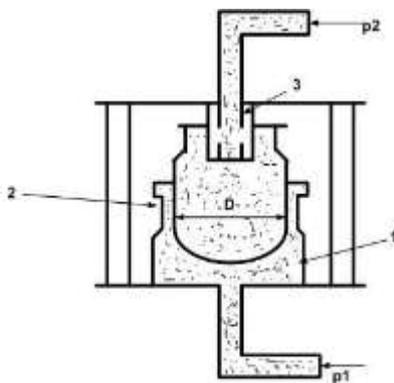
(*esteem value*) di hati penduduk pribumi negeri ini, misalnya; “*Granitto*”, “*Carini*”, “*Roman*”, “*Kanmuri*”, mengapa sumber daya alam (SDA) di negeri ini tidak kita proses menjadi material yang berkemampuan pasar sehingga didapatkan nilai tambah yang lebih besar ?

Metode Eksperimen & Fasilitas yang Digunakan

Metode eksperimen yang digunakan adalah menggunakan *reverse engineering*, yakni menelaah kinerja mesin yang telah ada disuatu industri marmer kemudian menganalisis berdasarkan pustaka yang relevan, serta mensimulasikan perangkat lunak dan/atau perangkat keras yang tersedia. (TP 501. Hydraulic circuit).

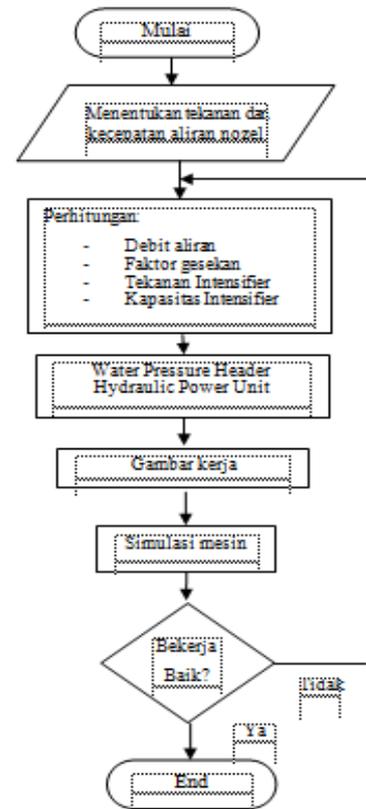
Hidrolik *intensifier* digunakan untuk meningkatkan tekanan (*pressure*) air dari p_1 (pompa hidrolik) menjadi tekanan tinggi pada p_2 . Tekanan p_2 ini yang akan digunakan untuk memotong marmer dengan tekanan sekitar 400 Mpa atau lebih. Tekanan p_1 masuk ke dalam silinder 1 yang mana akan bergerak menekan silinder 2 dan selanjutnya tekanan tersebut akan mengalir melewati silinder 3 dan menghasilkan tekanan tinggi p_2 .

$$p_2 = p_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2 - \frac{4G}{\pi d^2} \quad (\text{Nekrasov; p.40})$$



Gambar 2. Perubahan tekanan pada *water jet intensifier*

Metode perancangan WJM dapat dijelaskan dalam diagram blok di bawah:



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan WJM.

Tekanan dan Kecepatan Nosel *Water Jet Machine*

Tekanan yang keluar dari *intensifier pump* yang diperlukan untuk memotong marmer adalah sebesar 400 Mpa = 4000 bar dengan kecepatan output nosel sebesar 750 m/s. (Indian Institute of Teknologi Kharagpur).

Fluida yang mengalir terdiri dari air dan *Polyolefin Polymer* atau sering disebut DRA (*Drag Reducing Agent*). Aliran fluida yang mengalir pada nosel alirannya akan unsteady nonuniform (Indra Prasetyo; Buku Pintar Migas Indonesia). Material yang akan di gunakan untuk nosel adalah jenis *stainless steel* ASTM (A 423) dengan *tensile stress*nya adalah sebesar 60,000 psi, tahan terhadap karat dan tekanan tinggi (Piping Handbook: 8-19).

Tekanan p_1 pada pompa *Intensifier*

Diameter dalam silinder adalah sebesar 10 cm = 100 mm, maka :

$$p_2 = p_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2 - \frac{4G}{\pi d^2}$$

$$p_1 = p_2 \left(\frac{d}{D} \right)^2 + \frac{4G}{\pi d^2}$$

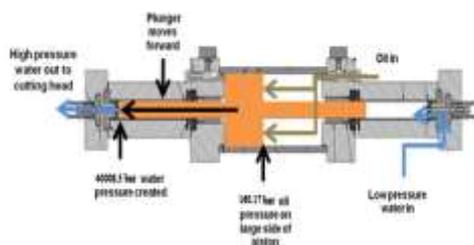
Dicari

$$G = \rho \frac{\pi(D-d)^2}{4} h \times g$$

Jika fluida yang digunakan adalah oli ISO VG 100 = SAE 30W dengan rapat jenis sebesar 912 kg/m^3 pada temperatur 15°C dan panjang langkah piston 7 cm, maka :

$$p_1 = 40,005.2 \text{ N/cm}^2 \left(\frac{2 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} \right)^2 + \frac{4 \times 3.15 \text{ N}}{\pi(2 \text{ cm})^2}$$

$$= 1601.7 \text{ N/cm}^2 = 160.17 \text{ bar}$$



Gambar 4. Pompa Intensifer Kerja Ganda

Perancangan Intensifer meliputi: a) Gaya piston, b) Tegangan geser pada silinder, c) Tebal *end-cover* silinder, d) Tegangan lingkaran silinder (*hoop stress*), e) Tegangan membujur (*longitudinal stress*), f) Tegangan geser maksimum, g) Tekanan ledak (*burst pressure*), dan h) Tekanan kerja.

Fasilitas Yang Digunakan

Dalam penelitian ini digunakan antara lain:

1. Simulator Hidrolik TP 501.
2. Pengukur Cahaya
3. Pengukur Kekasaran (stylus)

Komponen Sirkuit Hidraulik

Komponen sirkuit pompa *intensifier* tersusun dari komponen-komponen berikut:

- a. Katup kontrol arah 4/3 aktuasi hidrolik, 1 unit.
- b. Katup kontrol arah 3/2 aktuasi hidrolik, 2 unit
- c. Katup kontrol arah 3/2 aktuasi pegas – rol, 2 unit
- d. Katup kontrol arah 3/2 aktuasi tombol – pegas, 1 unit

- e. Katup pengatur aliran (*Flow Control Valve*), 2 unit
- f. Silinder kerja ganda (*Double Acting Cylinder*), 1 unit
- g. Hydraulic Power Package, 1 unit

HASIL STUDI KOMPARATIF & PEMBAHASAN

1 Hasil Studi Komparatif

Dari studi tentang proses pemesinan marmer diketahui bahwa pengerjaan marmer jika dikerjakan dengan mesin konvensional adalah menggunakan mesin pemotong jenis *circular saw* dalam pembentukan *slab* (ukuran $< 50 \text{ cm}$), dan menggunakan *fly cutter* untuk proses pemotongan radius.

Metode pemesinan modern (tanpa menggunakan “tools”), secara praktis hanya dapat menggunakan *Water-jet*, atau *Abrasive-jet*. *Abrasive-jet* adalah pengembangan dari *Water-jet* dengan menambahkan polymer dan abrasive untuk mempertinggi kecepatan potong dari mesin.

Tabel. 1. Hasil studi komparatif

Jenis Pemotongan	Mesin yang Digunakan	
	Circular Saw	Water-jet cutting Machine
Pre-machining	✓ Tebal insert minimum 5 mm, sehingga banyak kerugian material.	✓ Diameter nosel 0.5 – 1 mm, kerugian material relatif kecil.
General Machining	- Hanya untuk pemotongan lurus saja.	✓ Sangat baik digunakan.
Fine Cutting*)	- Banyak kerugian material, dengan berbagai ukuran cutter	✓ Sangat baik digunakan untuk drilling, radiusing, cutting
Surface Treatment	- Harus diganti dengan perkakas lain	✓ Colok baik, kendati warna kurang cemerlang



Gambar 5. Pengerjaan *decorative flooring*, sangat efektif dengan *WJMachine*.

Proses Pemesinan (Pre-Machining, General Machining, Fine Cutting)

- 1). Proses pemotongan halus meski dapat dikerjakan dengan pemotongan konvensional, tetapi banyak

keterbatasan, misal: ketersediaan jenis *cuter* berbagai ukuran, terbatas untuk pemotongan lurus.

2). Proses pemotongan halus, antar lain; *in-laying*, *puzzle* tidak mungkin dikerjakan dengan mesin konvensional, tetapi dapat dilakukan sebagai pekerjaan *hand crafting*.

Pengukuran Warna.

Warna permukaan marmer sangat ditentukan oleh variasi pengerjaan proses penyelesaian permukaan, antara lain; a) Polishing, b) Water-jeting, c) Disc Sawed Planing, d) Soft Bush Hammered, dan e) Hard Bush Hammered.

Oleh karena keterbatasan mesin pemroses marmer, proses penyelesaian paling banyak dilakukan adalah proses penyelesaian:

a. Proses Polishing

Proses polishing ini dilakukan dengan menggunakan mesin gosok sederhana berupa roda poles dan roda buffing dengan menggunakan sebuk AlO3.

b. Proses Water jeting.

Sedikit berbeda dengan pemotongan menggunakan WJM, digunakan jenis nosel dengan lubang pipih atau lingkaran dengan gerakan titik ke titik. Pada penyelesaian permukaan dilakukan dengan tekanan sedikit lebih rendah disertai dengan gerak circular atau radial.

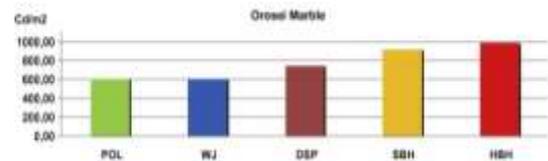
Tabel 2. Perbandingan Proses Penyelesaian Permukaan pada Marmer.

Marmer	Jenis Perlakuan Permukaan
	Polish
	Water Jet
	Disc Sawed Plane
	Soft Bush Hammer
	Hard Bush Hammer & Flame

Sumber: Ciccu, R., Costa, G. University of Cagliari, Department of Geoenvironmental and Environmental Technologies, Cagliari, Italy

Pengukuran Cahaya.

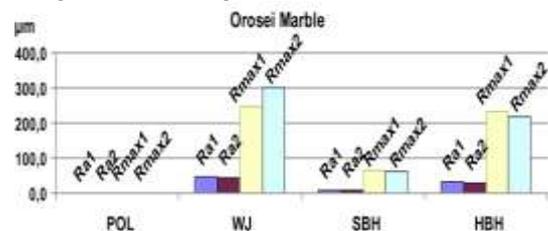
Perbandingan hasil proses perlakuan permukaan pada marmer, diukur berdasarkan kekuatan cahaya, dalam unit Candle/m², diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 5.3. Pengukuran Cahaya pada Marmer dengan Variasi Finishing.

Pengukuran Kekasaran Permukaan.

Kesempurnaan proses penyelesaian permukaan, berdasarkan variasi proses perlakuan permukaan, dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.4. Pengukuran Kekasaran Permukaan pada Marmer dengan Variasi Pengerjaan.

Kesimpulan

Spesifikasi Teknik Water-jet cutting Machine (WJM) Hasil Perancangan

Water jet cutting machine hasil per-hitungan pada bagian-bagian utama, adalah sebagai berikut :

A. Nossel :

1. Tekanan yang bekerja untuk memotong marmer = 2,558.9 bar
2. Kecepatan aliran = 750 m/s
3. Diameter nossel untuk pemotongan = 1 mm
4. Material nossel = stainless steel ASTM (A 423)
5. Tebal dinding nossel = 5 mm

B. Pipa output :

1. Material pipa = stainless steel ASTM (A 423)
2. Tekanan kerja pada pipa = 4000 bar
3. Kecepatan aliran di pipa = 8.87 m/s
4. Tebal dinding pipa = 5 mm

C. Water pressure header :

1. Material water pressure header = stainless steel ASTM (A 423)
2. Kecepatan fluida = 0.075 m/s
3. Tekanan pada water pressure header = 4000.000003bar
4. Tebal dinding = 50 mm

D. Pipa input :

1. Kecepatan fluida pada pipa input = 7.5 m/s
2. Material pipa = stainless steel ASTM (A 423)
3. Tekanan pada pipa = 4000.520bar
4. Tebal dinding pipa = 5 mm

E. Pompa intensifier :

1. Tekanan output pompa = 4000.5223 bar
2. Tekanan input pompa = 160.17 bar
3. Plunger :
 - a. Material = Alloy case hardened steel DIN EN 10084
 - b. Diameter plunger = 20 mm
 - c. Tebal dinding silinder plunger = 10 mm
 - d. Panjang langkah = 70 mm
4. Piston :
 - a. Material = Alloy case hardened steel DIN EN 10084
 - b. Diameter piston = 100 mm
 - c. Tebal piston = 60 mm
 - d. Panjang langkah = 70 mm
 - e. Diameter silinder piston = 100 mm
 - f. Material silinder piston = SNC21 (JIS G4102)
 - g. Tebal silinder = 10 mm
 - h. Tebal end cover = 50 mm
 - i. Kecepatan piston = 0.75 m/s

F. Flexible hose : Tipe FC 194 dengan tekanan kerjanya 375 – 2750 psi

G. Pompa :

1. Fluida oli yang digunakan = SAE 30 W
2. Kapasitas pompa = 59 gpm = 223.4 l/minute
3. Daya pompa = 17 hp
4. Daya motor = 20 hp
5. Kapasitas tanki = 1 liter

Dari hasil studi komparatif *Water-jet cutting Machine (WJM)*, dapat memenuhi hampir semua fungsi dalam proses produksi marmer. Pada tahapan proses produksi; *pre-machining, general machining, fine-cutting*, dapat mengungguli proses pemotongan konvensional. Pada proses perlakuan permukaan WJM, masih dipergunakan untuk proses, kendati warna marmer kurang cemerlang. Proses pemotongan halus, antar lain seperti; *in-laying, puzzle* tidak mungkin dikerjakan dengan mesin konvensional menggunakan *circular sawing*, tetapi sangat baik jika dikerjakan dengan WJM. WJM dengan teknologi terbaru bahkan dapat memotong bentuk *puzzle*, dengan *clearance* 0,2 mm, hampir menyamai performansi mesin laser. Tanpa menggunakan WJM, pekerjaan *in-laying puzzle* harus dilakukan sebagai pekerjaan *hand crafting*.

Spesifikasi teknik hasil perancangan dapat digunakan untuk seleksi produk standard yang terdapat dipasaran. Dalam hal, tidak terdapat kesamaan spesifikasi dengan komponen produk dari fabrikasi komponen hidrolik (FESTO, Dynapac, Rextrot, SMC, Samho, Belussi, etc.) maka dapat dibuat sebagai komponen *custom*.

Pemesinan *water jet* termasuk pemotongan dingin sehingga tidak timbul panas, sehingga pada benda kerja tidak terjadi kerusakan akibat panas. Kecepatan aliran untuk memotong marmer mencapai 750 m/s dengan tebal pemotongan 1 mm. Tekanan untuk memotong marmer adalah 2,558.9 bar sehingga marmer akan terpotong karena kuat tekan marmer hanya sebesar 800 bar atau $80 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

Water jet cutting machine bukanlah mesin perkakas serbaguna. Tetapi WJM, merupakan suatu “alat pemotong” yang menggunakan air bertekanan tinggi untuk memotong marmer. Pemesinan *water jet* termasuk pemotongan dingin sehingga tidak timbul panas, tidak terjadi kerusakan akibat panas. Kecepatan aliran untuk memotong marmer mencapai 750 m/s dengan tebal pemotongan 0.5 – 1 mm. Tekanan untuk memotong marmer adalah 2,558.9 bar sehingga marmer akan terpotong karena kuat tekan marmer hanya sebesar 800 bar atau $80 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Dari studi komparatif dan pembahasan yang

telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa pengadaan *water jet machine* mutlak diperlukan, atau dapat dirakit dengan menggunakan komponen standard berupa; nozzle head, sistem hidrolik, termasuk fixture jika diperlukan.

Pemanfaatan *water jet cutting machine* untuk pemotongan marmer, masih perlu dilakukan analisis teknik berbasis komputer (*computer based analysis technique*) terhadap komponen utama, seperti; *nozzle head*, *hydro amplifier*, yang hendak dibuat sendiri sebagai custom komponen.

Untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut dengan keadaan yang lebih baik, saran berikut, antara lain :

1. Untuk kebutuhan pemotongan dengan ketebalan yang lebih besar dan dengan kekerasan bahan yang lebih tinggi dari marmer, perlu dirancang mesin dengan tekanan yang lebih tinggi.
2. Kondisi nosel harus diperhatikan terhadap keausan selama pemotongan karena berpengaruh terhadap ketebalan pemotongan.
3. Dalam perancangan komponen utama WJM ini tidak termasuk perancangan meja mesin perkakas, tangki penerima, serta sistem koordinat meja perkakas (X-Y table), berikut penggerakannya.
4. Oleh karena meja perkakas WJM juga sebagai meja penerima limbah hasil pemotongan, maka sistem hidrolik lebih cocok diterapkan sebagai penggerak meja perkakas (X-Y table).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada:

1. CV. Keramik Agung, Ngadilangkung-Kepanjen Malang untuk kesempatan, fasilitas dan data serta dukungan dalam penelitian ini.
2. Kris Jos, PT. Mulia Sejati Gallery (Marble & Stone Gallery)

Referensi

- Esposito, Anthony., 2000, *Fluid Power with Applications*, 5th edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Fischer, Ulrich., Gomeringer, Roland., Heinzler, Max., Kilgus, Roland., Naher, Friedrich., Oesterle, Stefan., 2010, *Mechanical and Metal Trades Handbook*, 2nd edition, Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, Germany
- Giesecke., Mitchell., Spancer., Hill., 1971, *Technical Drawing*, 5th edition, The Macmillan

Company., New York.

Giles, Randal V., *Mekanika Fluida dan Hidraulika*, Edisi II, 1984, Erlangga., Jakarta Pusat.

Hoyt, Samuel L., *ASME Hand Book Metals Properties*, 1954, McGraw-Hill Company, Inc., New York.

Kalpakjian, Serope, 1995, *Manufacturing Engineering & Technology*, Addison-Wesley Publishing Company, Singapore.

Karassik, Igor J., Krutzsch, William C., Fraser, Warner H., *Pump Handbook*, 1976, McGraw-Hill, Inc., New York.

Mott, Robert., 2004, *Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis*, jilid 2., Terjemahan oleh Ir. Rines, M.T., 2009, ANDI., Yogyakarta.

Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H., 2002, *Mekanika Fluida*, Edisi Keempat, Jilid 1., Terjemahan oleh Erlangga., 2003., Erlangga., Jakarta.

Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H., 2002, *Mekanika Fluida*, Edisi Keempat, Jilid 2., Erlangga., Jakarta.

Nekrasov, B., Hydraulic For Aeronautical Engineer, Peace Publisher, Moscow.

Paul., S., Prof., *Lecture Manufacturing Processes II*, Indian Institute of Technology Kharagpur.

Raswari., 1986, *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*, Universitas Indonesia., Jakarta.

Sularso., Suga, Kiyokatsu., 1978, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, PT. Pradjna Paramita., Jakarta.

<http://atophysics.wordpress.com>

<http://Wardjet.com>

<http://kmtwaterjetsystem.com>

josemaessams@yahoo.com