

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M1-019 Studi Eksperimental Pengaruh Variasi *Stand of Distance* terhadap Gaya Potong Pada Proses Water Jet Machining

Suhardjono, M. Khoirul Effendi dan Zulfikar Rusdi F.

Laboratorium Mesin Perkakas, Jurusan Teknik Mesin FTI - ITS
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

Phone: +62-31-5946230, FAX: +62-31-5922941, E-mail: suhardjono@me.its.ac.id

ABSTRAK

Proses pemotongan dengan semprotan air dengan kecepatan tinggi atau lebih dikenal dengan nama „Water Jet Machining“ (WJM) termasuk proses non konvensional dan masih belum banyak dikenal di Indonesia. Proses ini ditemukan tahun 1970 dan baru diaplikasikan secara komersial di industri board and paper product tahun 1983. Proses WJM ini dikembangkan terus hingga dapat diaplikasikan pada industri pesawat terbang untuk proses pemesinan material high strength light weight composite yang digunakan untuk pesawat tempur anti radar. Dengan alasan bahwa kemampuan WJM yang sangat hebat ini, maka dipelajari secara eksperimental karakteristik pemesinan tersebut khususnya pengaruh variasi stand of distance (SOD), yaitu jarak antara nozzle dan objek yang dipotong dan sebagai respon yang diamati adalah gaya luaran yang efektif digunakan untuk proses pemotongan. Tekanan air yang saat akan keluar dari nozzle berdiameter 1 mm dan 2 mm adalah 150 Bar. Hasil untuk diameter nozzle 1 mm memperlihatkan bahwa variasi SOD dari 1 mm hingga 15 mm terjadi kenaikan gaya luaran dari 16,5 N hingga 17,9 N. Untuk SOD 15 mm hingga 25 mm terjadi hal yang sebaliknya, yaitu penurunan gaya menjadi 17 N. Sedangkan untuk diameter nozzle 2 mm terjadi hal yang serupa, yaitu terjadi kenaikan gaya luaran dari 7,3 N hingga 9,4 N untuk variasi SOD antara 1mm dan 15 mm. Variasi SOD antara 15 mm dan 25 mm juga terjadi penurunan menjadi 8,5 N. Jadi gaya luaran maksimum untuk pemotongan terjadi pada SOD 15 mm baik untuk diameter nozzle 1mm maupun 2mm.

Kata Kunci: Water Jet Machining (WJM), Gaya potong, Stand of distance, Nozel.

1. Pendahuluan

Pemesinan water jet (water jet machining) adalah sebuah teknik proses erosi dimana air dengan tekanan dan kecepatan tinggi mengikis sedikit demi sedikit butiran material yang berukuran mikroskopik. Prinsip kerja proses ini adalah mengubah tekanan air menjadi energi lain, yaitu kecepatan semprotan air (jet velocity) melalui sebuah nozzle yang terbuat dari material sapphire, ruby atau intan (diamond). Pada tekanan 40.000 psi dihasilkan kecepatan sekitar 2 Mach (kecepatan suara), sedangkan pada 60.000 psi dihasilkan kecepatan lebih kurang 3 Mach.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Pemesinan water jet termasuk proses pemotongan dingin, sehingga timbul panas. Dengan demikian tidak terjadi kerusakan akibat panas seperti distorsi termal (perubahan bentuk), HAZ (*Heat Affected Zone*), tegangan termal (*thermal stress*) pada permukaan yang dipotong dan lain-lain. Selain dari itu, water jet machining (WJM) termasuk proses pemotongan yang ramah lingkungan, karena tidak terjadi pelelehan material atau produk sampingan (*byproduct*) yang berdebu, maka udara disekitarnya tidak tercemar, tidak beracun dan sangat aman dari bahaya kebakaran.

Water jet sebagai pahat potong (*cutting tool*) mempunyai daya potong yang hampir tidak terbatas, karena water jet dapat memotong berbagai material dari yang lunak hingga yang keras, dari yang ulet hingga yang tangguh (*toughness*) dengan tingkat ekonomis yang tinggi. Oleh karena itu WJM berkembang pesat dalam industri arsitektur, ruang angkasa, otomotif, manufaktur, makanan dan buah-buahan, board and paper product, tambang batu bara dan lain sebagainya.

Proses pemotongan water jet diaplikasikan secara komersial pada pertengahan tahun 1970-an. Penggunaan terbesar pada saat itu adalah untuk pemotongan diapers (popok bayi), kertas tissue dan interior otomotif. Water jet dapat bekerja 24 jam sehari, 7 hari per minggu dan 360 hari dalam setahun tanpa terjadi downtime (kemacetan). Dibandingkan dengan proses lain yang terjadi downtime tak terencana (*unplanned downtime*) yang merugikan lebih dari \$20.000,- per jam untuk pabrik diapers dan tissue saja.

Pada tahun 1979, Dr. Mohamed Hashish bekerja pada *flow research*, mulai meneliti metode untuk meningkatkan daya potong dari water jet sehingga dapat memotong metal dan material keras lainnya. Metode yang dikembangkan adalah dengan menambahkan partikel abrasive dalam aliran water jet, sehingga metodenya disebut abrasive water jet machining (AWJM). Hasilnya pada 1980 untuk pertama kalinya abrasive water jet memotong baja, kaca dan beton. Pada 1983 secara komersial abrasive water jet dijual untuk pemotongan kaca pada industri otomotif.

Perkembangan lebih lanjut, teknologi ini diterapkan pada industri pesawat terbang dimana water jet diketahui sebagai alat potong yang sempurna untuk pemotongan high strength material seperti Inconel, Stainless steel dan titanium. AWJM ini juga digunakan untuk pemesinan material *high strength light weight composite* seperti carbon fiber composite yang digunakan pada pesawat terbang militer anti radar.

Bagaimana dengan perkembangan teknologi water jet di Indonesia? Dari penelusuran puluhan bahkan ratusan artikel dalam berbagai prosiding seminar maupun jurnal nasional tidak satupun ditemukan topic bahasan mengenai proses pemesinan water jet. Jadi jika penelitian ini dapat terealisasi, maka penelitian ini adalah yang pertama yang menguak tabir teknologi water jet. Material yang akan diuji pada penelitian ini hanya material yang lunak dan atau mudah terbakar seperti stereo foam, asbes, triplex, beberapa jenis makanan dan buah-buahan yang disesuaikan dengan agrobisnis di Indonesia.

Jadi penelitian ini hanya studi eksperimen sederhana berupa pemodelan untuk mengkaji prinsip kerja WJM, belum diarahkan ke aplikasi komersialisasi. Karena untuk komersial water jet dibutuhkan ultra

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

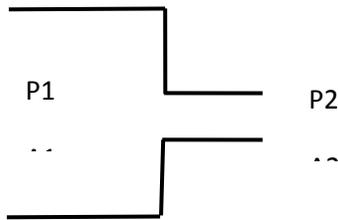
Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

high pressure pump (UHP) dengan daya sekitar 300 HP (setara daya mesin mobil Mercedes Benz SL500, 5000 cc) untuk membangkitkan tekanan hingga 40.000 psi yang akan menghasilkan jet velocity setara dengan 2 Mach. Pompa ini berharga ratusan juta, bahkan bisa mencapai milyaran rupiah. Lagi pula nozzle harus terbuat dari material sapphire atau intan yang harganya ratusan juta rupiah.

Tujuan spesifik dari penelitian ini adalah mempelajari bagaimana pengaruh variasi jarak antara ujung nozzle dan benda kerja (*stand of distance*) terhadap gaya luaran dari semprotan air (*water jet*) yang digunakan untuk proses pemotongan.

2. Dasar Teori

Aliran air melalui sebuah nozzle dapat digambarkan seperti gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Aliran air melalui sebuah nozzle

Air bertekanan tinggi P_1 masuk nozzle dengan luas penampang A_1 dan keluar melalui lubang dengan luas penampang A_2 pada tekanan P_2 . Untuk lubang berpenampang lingkaran, maka luasan dapat dihitung dengan rumus:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (1)$$

Dari persamaan kontinuitas berlaku bahwa laju aliran massa $\dot{M}_1 = \dot{M}_2$ sebelum dan sesudah melalui nozzle adalah sama, sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 \quad (2)$$

dimana:

ρ : massa jenis fluida

A : Luas Penampang

V : Kecepatan aliran fluida

Untuk $\rho_1 = \rho_2$, maka persamaan 2 dapat disederhanakan menjadi

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot A_1}{A_2} \quad (3)$$

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Jika $\xi = \frac{A_1}{A_2}$ adalah rasio luas penampang, maka

$$V_2 = \xi \cdot V_1 \quad (4)$$

Persamaan Bernouli dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (5)$$

atau

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{(\xi^2 - 1) \cdot V_1^2}{2g} \quad (6)$$

atau

$$V_1 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{(\xi^2 - 1)\gamma}} \quad (7)$$

Dengan menggunakan analisa kontrol volume dan persamaan benda bebas (free body) untuk impuls momentum, maka gaya luaran (output) semprotan air R saat keluar dari nozel dapat dihitung sebagai berikut.



Gambar 2. Kontrol volume untuk keseimbangan Impuls-momentum

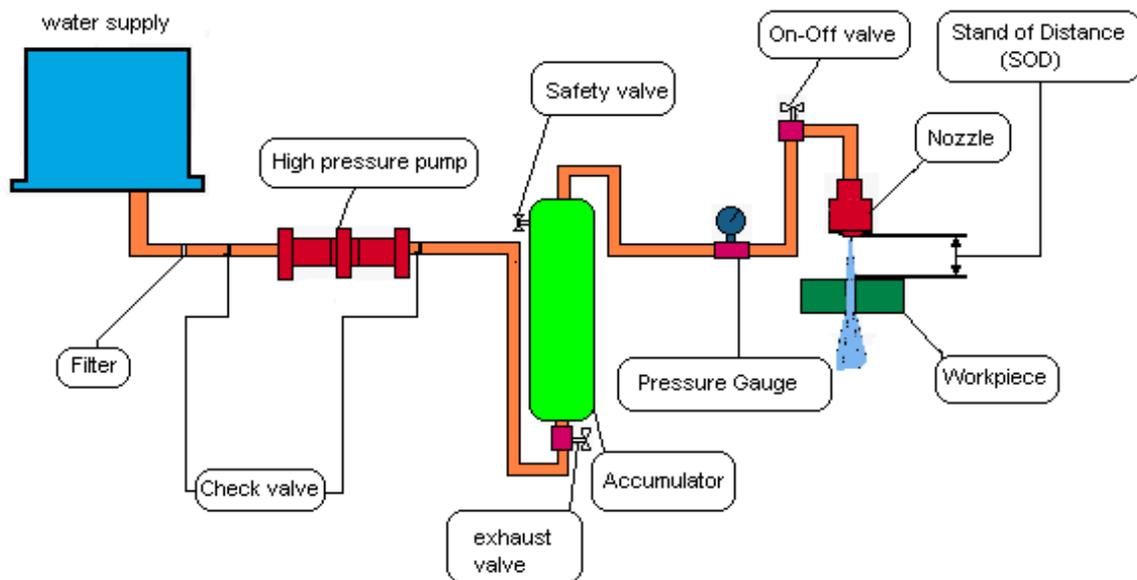
Jadi

$$R = (P_1 - P_a)A_1 - (P_2 - P_a)A_2 - \dot{M}(V_2 - V_1) \quad (8)$$

dimana P_a tekanan atmosfer.

3. Metodologi

Instalasi peralatan percobaan untuk mempelajari fenomena Water Jet Machining (WJM) ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 3. Instalasi Water Jet Machining

Prinsip kerja dari instalasi gambar 3 ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Air dalam volume yang besar ditampung pada tandon agar dapat mensuplai kebutuhan dengan debit 480 liter/jam dari pompa tekanan tinggi yang menaikkan tekanan hingga 150 bar (15 MPa) yang membutuhkan daya listrik 3 kW. Agar air yang masuk dalam pompa tidak tercampur kotoran dan partikel abrasiv lainnya yang dapat memperpendek umur pompa, maka air tersebut perlu disaring dengan filter. Untuk mencegah aliran balik dipasang *check valve*. Air dengan tekanan tinggi kemudian ditampung didalam akumulator agar tekanan dapat lebih stabil saat digunakan proses pemotongan. Exhaust valve disini berfungsi untuk membuang udara yang terperangkap saat awal proses pemompaan air ke akumulator, dimana udara yang terperangkap dapat menurunkan tekanan air dalam akumulator. Untuk mencegah terjadinya ledakan akibat kelebihan tekanan, maka dipasang katup pengaman (safety valve) yang otomatis terbuka, jika tekanan melebihi tekanan yang diijinkan. Besarnya tekanan air dapat dibaca pada pressure gauge yang dipasang sebelum katup buka tutup (On/Off valve). Proses pemotongan dilakukan dengan cara membuka katup On/Off sehingga air dengan tekanan tinggi akan keluar nozel dengan kecepatan yang sangat tinggi, disinilah terjadi perubahan energi dari tekanan menjadi energi kinetik. Akhirnya energi kinetik ini yang digunakan untuk proses pemotongan dan gaya potong tersebut yang diukur saat membentur benda kerja. Untuk mengukur gaya potong tersebut digunakan timbangan digital, jadi yang terukur adalah satuan kgf (kilogram-force) dan selanjutnya dikonversi ke satuan gaya N (Newton). Stand of distance divariasikan dengan mengubah jarak antara ujung nozel dan permukaan timbangan digital tersebut.

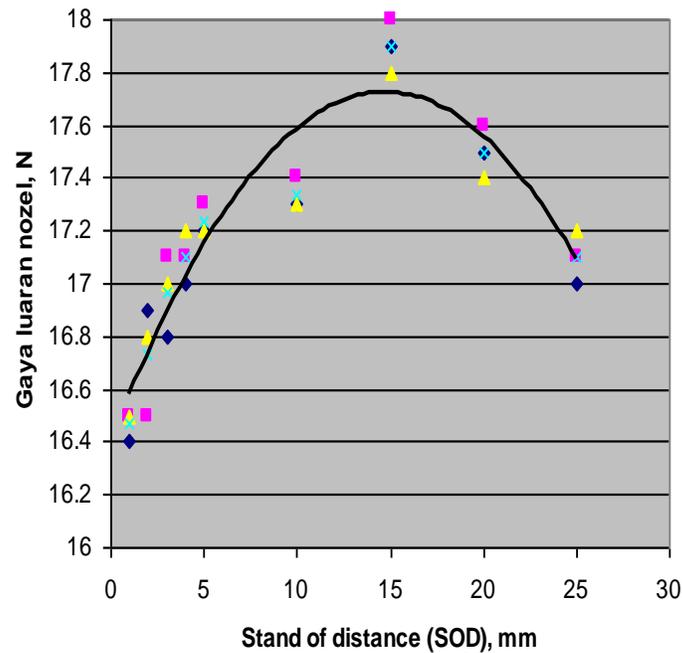
4. Analisis Data

Hasil pengukuran gaya yang dihasilkan oleh semprotan air (water jet) yang melalui sebuah nozel dimana jarak antara nozel dan alat ukur gayanya (stand of distance, SOD) divariasikan dari 1 mm hingga 25 mm ini ditunjukkan pada Tabel I. Percobaan juga dilakukan untuk diameter nozel yang berbeda, yaitu diameter 1 mm dan 2 mm.

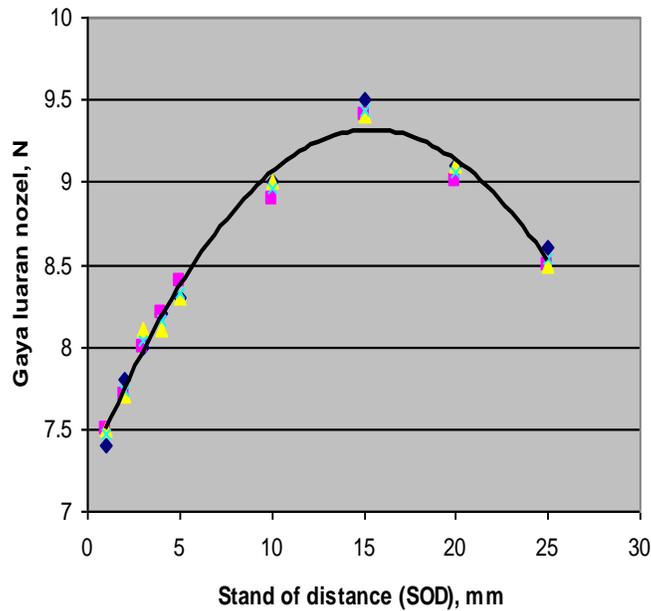
Untuk memperjelas visualisasi dan mempermudah analisis data hasil pengukuran tersebut, maka tabel I diplotkan dalam sebuah grafik fungsi perubahan SOD terhadap gaya yang dihasilkan. Gambar 4 menunjukkan grafik fungsi tersebut untuk diameter nozel 1 mm dan gambar 5 untuk diameter nozel 2 mm.

TABEL I. Gaya potong sebagai variasi SOD (stand of distance untuk diameter nozel 1 mm dan 2 mm).

Dia-meter Nozel (mm)	GAYA (N)								
	SOD 1 mm	SOD 2 mm	SOD 3 mm	SOD 4 mm	SOD 5 mm	SOD 10 mm	SOD 15 mm	SOD 20 mm	SOD 25 mm
1	16.4	16.9	16.8	17.0	17.2	17.3	17.9	17.5	17.0
	16.5	16.5	17.1	17.1	17.3	17.4	18.0	17.6	17.1
	16.5	16.8	17.0	17.2	17.2	17.3	17.8	17.4	17.2
2	7.5	7.8	8.0	8.2	8.3	9.0	9.5	9.1	8.6
	7.4	7.7	8.0	8.2	8.4	8.9	9.5	9.0	8.5
	7.5	7.7	8.1	8.1	8.3	9.0	9.4	9.1	8.5



Gambar 4. Hubungan antara stand of distance (SOD) dan gaya luaran semprotan air dari nozel berdiameter 1 mm.



Gambar 5. Hubungan antara stand of distance (SOD) dan gaya luaran semprotan air dari nozel berdiameter 2 mm.

Dari Gambar 4 dan 5 terlihat bahwa pengaruh stand of distance (SOD) baik untuk diameter nozel 1 mm maupun 2 mm mempunyai pola kurva parabolik. SOD kurang dari 15 mm, semakin besar SOD akan

terjadi kenaikan gaya luaran nozel. Rendahnya gaya luaran dari nozel untuk SOD yang kecil ini disebabkan oleh kenaikan tahanan dari aliran fluida yang menyebabkan penurunan tekanan air pada nozel. Sedangkan untuk SOD diatas 15 mm terjadi hal yang sebaliknya, yaitu terjadi penurunan gaya luaran. Alasannya adalah bahwa semakin jauh jarak nozel dan alat ukur gaya, maka akan semakin besar kehilangan kecepatan semprotan air (jet velocity). Ini dapat diartikan bahwa terjadi penurunan Energi kinetic. Dengan demikian SOD sekitar 15 mm adalah SOD yang paling optimum pada hasil percobaan ini dan selanjutnya disebut SODopt.

Perubahan diameter nozel dari 1 mm menjadi 2 mm untuk percobaan ini memberikan pengaruh pada besaran gaya luaran semprotan air secara signifikan. Kenaikan diameter nozel dari 1 mm ke 2 mm, ternyata terjadi penurunan gaya luaran hingga setengahnya. Namun hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pola perubahan gaya luaran nozel dengan variasi diameter nozel secara lebih mendetail lagi.

5. Kesimpulan

Dari analisis data diatas, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang penting sebagai berikut:

1. Pengaruh stand of distance (SOD) terhadap gaya luaran nozel mempunyai pola parabolic, yang mempunyai titik dimana terjadi gaya luaran maksimum pada satu harga SOD tertentu.
2. Dibawah stand of distance optimum atau SODopt, semakin besar SOD, maka semakin besar pula gaya luaran semprotan air (water jet) yang dihasilkan.
3. Diatas SOD optimum, kenaikan SOD bahkan akan menurunkan gaya luaran semprotan airnya.
4. Semakin besar diameter nozel, maka semakin kecil gaya luaran semprotannya. Namun bagaimana pola perubahan gaya luaran yang diakibatkan oleh variasi diameter nozel secara rinci harus diteliti lebih lanjut.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ini ditujukan kepada Dirjen DIKTI melalui DP2M yang telah membiayai penelitian ini sebagai hibah penelitian fundamental tahun 2009.

Daftar Pustaka

- [1] Himmelreich, U., *Fluiddynamische Modell-untersuchungen an Wasserabrasivstrahlen*. VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 7, Nr 219, 1992.
- [2] Mazurkiewicz, M., Fincuan, L., Ferguson, R. *Investigation of Abrasive Cutting Head Internal Parameters*. In: Woods, P.A. (ed) 1987 Proceedings 9th International Symposium Jet Cutting Technology, BHRA Fluid Engineering, Cranfield (1987), pp 75-84.
- [3] Nienhaus, K., *Ein Beitrag zur Gesteinszerstoerung Durch Stationaere und Instationaere Hoechstdruckwasserstrahlen*, Ph.D. thesis, RWTH Aachen, Aachen, 1984.
- [4] Orbanic, H. And Junkar, M., *An experimental study of drilling small and deep blind holes with an abrasive water jet*, Journal of Engineering Manufacture, London may 2004 Vol. 218, Iss. 5 p.503.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

- [5] Mazurkiewicz, M., Fincuan, L., Ferguson, R. *Investigation of Abrasive Cutting Head Internal Parameters*. In: Woods, P.A. (ed) 1987 Proceedings 9th International Symposium Jet Cutting Technology, BHRA Fluid Engineering, Cranfield, pp 75-84