

STUDI EKSPERIMENTAL LAJU KOROSI PADA KAPAL BAJA

Sonja Treisje A. Lekatompessy¹, Gerard R. Latuhihin²

Email: ¹Sonja_lekatompessy@yahoo.com

Fakultas Teknik Universitas Pattimura Jl. Ir. Putuhena Poka, Ambon

ABSTRAK

Korosi merupakan perkaratan, sedangkan perkaratan terjadi karena adanya reaksi reduksi- oksidasi. Peristiwa ini biasa terjadi di dalam pelat kapal sebagai akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Dalam penulisan ini disajikan hasil penelitian tentang analisa ketahanan korosi pada pelat baja yang biasa dipakai sebagai material kapal dengan mengamati perubahan massa yang hilang. Pengendalian korosi pelat baja dilakukan dengan melapiskan cat ke dalam permukaan baja selanjutnya ditempatkan di dalam lingkungan korosif. Penentuan suhu serta waktu tunggu pelapisan cat pada kapal merupakan fokus penelitian ini, karena produk cat yang seringkali dipakai di dok Perikani memiliki ketentuannya sendiri. Kemudian analisa ketahanan korosif plat baja dengan suhu dan waktu tunggu yang berbeda-beda meliputi beberapa pengujian di dalam laboratorium antara lain kekuatan dan daya lekat. Produk cat yang diambil ialah Internasional, sedangkan variable suhu dan waktu tunggu pengecatan masing-masing 2 yang selanjutnya disimulasikan pada pelat baja ST-40 dengan ketebalan 8 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju korosi pada plat baja yang diaplikasikan dengan suhu rendah dan waktu sedikit akan memiliki laju korosi yang cukup tinggi.

Kata Kunci: korosi logam, cat

PENDAHULUAN

Dalam dunia industri perkapalan baja merupakan bahan yang sering kali digunakan sebagai komponen pelat utama baik lambung maupun konstruksi dari sebuah kapal. Dampak ancaman korosi cukup besar sehingga diperlukan beberapa cara untuk melindungi baja tersebut dari berbagai kerusakan yang mungkin terjadi dengan tujuan memperpanjang umur pakai material tersebut.

Ada beberapa prinsip pencegahan korosi yang telah berkembang. Pencegahan korosi pada baja yang cukup luas dikenal adalah dengan cara melapisi baja dengan lapisan penghalang (*coatings*). Coating biasanya dilakukan saat kapal baru selesai di buat maupun saat pengedokan/reparasi kapal. Permasalahan yang terjadi khususnya pada saat reparasi kapal dapat menghambat pekerjaan pada suatu galangan secara keseluruhan, oleh karena itu diperlukan pemecahan masalah pada tiap kasus yang terjadi pada dok tersebut. PT. Perikani Nusantara adalah salah satu perusahaan negara yang bergerak dibidang reparasi kapal.

Dewasa ini permasalahan yang berkaitan dengan pengecatan sering ditemukan di dok terkait. Permasalahan tersebut akan berpengaruh pada kegagalan pengecatan dan sangat berkaitan terhadap pengaruh laju korosi pada kapal.

Penentuan produk cat yang tepat dan tahan terhadap pengaruh lingkungan korosif bukanlah hal yang mudah, karena produk cat yang ada di pasaran saat ini, khususnya cat untuk kapal laut hanya diformulasikan untuk daerah tropis, komposisi dan karakteristiknya belum tentu sama. Merk cat yang biasa digunakan di dok ini merupakan cat kapal Internasional. Merk cat tersebut memiliki beberapa kriteria saat pengecatan salah satunya suhu pada saat pengecatan haruslah 38⁰C serta waktu tunggu untuk pelapisan berikutnya ialah 4 jam, ditinjau dari kondisi lapangan suhu yang digunakan rata-rata dibawah standar dikarenakan hujan serta mendung yang pada akhir-akhir ini sering terjadi. Dalam kondisi demikian karena perusahaan dituntut untuk mengejar waktu deadline maka seringkali mengabaikan suhu serta waktu yang menjadi standar peraturan dari merk cat tersebut. Untuk itu perlu diteliti performance dari cat tersebut jika dipaksakan dalam kondisi demikian, ataupun jika sesuai standar, dan merk cat lain tanpa standar, yang meliputi ketahanan terhadap lingkungan asam, maupun kekuatan adhesi cat.

Sasaran utama penelitian ini adalah untuk mengetahui performance dari pengecatan yang menggunakan cat merk International serta standar suhu dan waktu international dengan pengecatan cat merk international yang tidak menggunakan

standar suhu dan waktu international pada daerah bottom kapal. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui bagaimana laju korosi daerah bottom kapal dengan perlakuan pengecatan menggunakan cat merk international dan standar waktu serta suhunya sesuai dan tidak sesuai dengan standar pabrik international.

KAJIAN TEORI DAN METODE

Peristiwa korosi adalah perkaratan. Sedangkan perkaratan terjadi karena adanya reaksi reduksi-oksidasinya. NACE (*National Association of Corrosion Engineer*) mendefinisikan korosi sebagai penurunan mutu suatu material (biasanya baja) atau sifat-sifatnya yang diakibatkan oleh reaksi dengan lingkungannya. Sedangkan Trethewey (1988) memberikan definisi korosi sebagai penurunan mutu baja akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya [*Korosi untuk Mahasiswa dan Rekrayasawan*]. Secara prinsip bahwa fenomena korosi hanya akan terjadi jika memenuhi keempat faktor berikut [*Organic Coating Technology*]: Anoda, merupakan daerah baja yang mengalami korosi (teroksidasi); Katoda, merupakan daerah baja yang tidak terkorosi (tereduksi); Elektrolit, sebagai media penghantar listrik; Penghubung antara anoda dengan katoda (*metallic path*).

Pada dasarnya semua baja tidak stabil dan cenderung bereaksi dengan lingkungannya, dengan membentuk senyawa oksida atau karbonat yang bersifat stabil. Kecenderungan baja untuk melepaskan elektron pada saat terjadi proses reaksi elektro-kimia dalam membentuk korosi, menunjukkan sifat keaktifan dari baja yang bersangkutan. Reaksi reduksi oksidasi adalah jika ada reaktan yang melepas elektron (spesi ini mengalami reaksi oksidasi, zatnya sering disebut reduktor) dan menerima elektron (spesi ini mengalami reaksi reduksi, zatnya sering disebut oksidator) maka dikatakan reaksi reduksi oksidasi dapat berlangsung. Tingkat kemudahan/kesulitan reaksi reduksi – oksidasi sangat tergantung pada kemudahan dari masing-masing reduktor untuk melepas elektronnya dan oksidator dalam menerima pasangan elektronnya. Sedangkan tingkat kemudahan/kesulitan reaksi reduksi-oksidasinya dapat dilihat dari tingkat energi yang diperlukan untuk reaksi tersebut. Energi yang muncul dari reaksi ini dilambangkan sebagai Potensial Sel standar (E_{sell}), yang secara matematik dapat dituliskan seperti berikut:

$E_{sell} = E_{reduksi} - E_{oksidasi}$ atau

$E_{sell} = E_{kanan} - E_{kiri}$.

Semakin besar harga E_{sell} , berarti semakin mudah reaksi reduksi-oksidasinya tersebut berlangsung, demikian juga sebaliknya, semakin kecil harga E_{sell} semakin susah reaksi reduksi-oksidasinya tersebut berlangsung.

Untuk memperlambat korosi, ada beberapa cara yang bisa ditempuh, yaitu: pelapisan logam, pengecatan, perlindungan katodik, dan memperkecil katalisator dalam sistem.

Pada dasarnya cat dapat dikelompokkan sebagai [*The Protective Action of Organic on Steel: A review*]: wahana (*vehicle*), terdiri dari pelarut dan resin cat, yaitu zat cair yang menjadikan cat memiliki fluiditas dan bila mengering atau menguap meninggalkan selaput kering yang padat (*dry film*); Pigmen yang tersuspensikan dalam wahana. Pigmen mengendalikan laju korosi atau laju difusi reaktan-reaktan pada selaput kering (*dry film*); Aditif yang mempercepat proses pengeringan atau memungkinkan lapisan cat kering lebih tahan terhadap lingkungan kerjanya.

Faktor Suhu dan Waktu pada pelapisan pengecatan berpengaruh terhadap proses pengeringan cat. Selain Selain sifat-sifat cat basah, perlu juga diketahui bagaimana cat tersebut dapat mengering sesuai dengan waktu dan kualitas yang dikehendaki

Rancangan dan prosedur penelitian yang dilakukan antara lain : mempersiapkan spesimen berupa pelat baja ST-40 tebal 8 mm berukuran 5x8 cm; cat yang digunakan pada *bottom area*, menggunakan cat merk Internasional. Proses pengecatan dilakukan sesuai prosedur, yaitu: sebelum pengecatan dimulai terlebih dahulu dilakukan penyiapan permukaan yang bertujuan agar cat dapat menempel dengan baik pada permukaan baja. Pekerjaan persiapan ini meliputi pembersihan secara mekanis (pengamplasan) dan pencucian dengan detergen, yang bertujuan untuk menghilangkan debu, kotoran, minyak, lemak dan pengotor lainnya dari baja. Tahap pengecatan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan metode penyemprotan bertekanan (*air spraying*) dengan peralatan utama *hand air sprayer* dan kompresor udara. Pengecatan dilakukan dengan tekanan sesuai dengan rekomendasi dari pabrik namun temperature divariasikan. Pada akhirnya ketebalan cat hasil pengecatan diukur dengan alat monimeter. Tiap spesimen diambil 8 titik pengukuran. Waktu tunggu pelapisan cat untuk

masing-masing suhu: 24⁰C step I 1 jam step II 2 jam; 24⁰C step I 2 jam step II 4 jam; 31⁰C step I 1 jam step II 2 jam; 31⁰C step I 2 jam step II 4 jam.

Pengujian laju korosi dengan menggunakan HCl dan NaCl. Berikut urutan dari metode yang akan digunakan: Pengujian korosi (*Immersion Test*) untuk spesimen yang dicat (*coating*) mengacu pada ASTM G31-72 (*Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*). Metode ini biasa digunakan untuk mengetahui ketahanan material (pelapis) pada kondisi yang mirip dengan lingkungan sebenarnya yaitu ketahanan terhadap larutan asam dan garam. Larutan yang digunakan pada pengujian ini adalah asam khlorida (HCl 1,5M). Sebelum pengujian ini, spesimen ditimbang dahulu untuk mengetahui berat awal sebelum pengujian. Spesimen ini ditimbang dengan menggunakan alat timbang elektronik. Dalam ASTM G31-72 dicantumkan dua harga volume larutan korosif persatuan luas spesimen yaitu 20 dan 40 ml/cm². Volume yang dipilih adalah 20 ml/cm². Pemilihan ini semata-mata berdasarkan pertimbangan ekonomis. jadi dibutuhkan larutan sebanyak 500 ml. Durasi pengujian selama 2 minggu. Peralatan dan bahan yang digunakan pada pengujian *penyemprotan garam* antara lain: *salt droplet cabinet*, *gun spray*, kompresor, larutan garam (NaCl) sebagai media korosi dan *clarke's solution*. Lama pengujian 4 minggu. Larutan garam dibuat dengan bahan berturut-turut adalah: 26,5 gram NaCl; 2,4 gram MgCl; 3,3 gram MgSO₄; 1,1 gram CaCl₂; 0,73 gram KCl; 0,2 gram NaHCO₃; 0,28 gram NaBr. Semua bahan ini dilarutkan dalam 1 (satu) liter aquades atau air suling. Sebelum pengujian ini, spesimen ditimbang dahulu untuk mengetahui berat awal sebelum pengujian. Spesimen ini ditimbang dengan menggunakan alat timbang elektronik.

Selanjutnya dilakukan pengujian daya lekat cat dengan menggunakan ujung pisau yang tajam, dibuat kotak-kotak kecil dengan panjang rusuk 1 – 2 mm sebanyak 100 kotak. Tempelkan selotip yang daya lekatnya kuat pada kotak-kotak tersebut, kemudian sentakkan selotip tersebut dengan cepat. Dengan melihat berapa jumlah kotak yang rusak, maka didapat persentase untuk menilai daya lekat cat berdasarkan standar ASTM 3359-87. Menghitung laju korosi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{MPY} = \frac{534 \cdot W}{D \cdot A \cdot T}$$

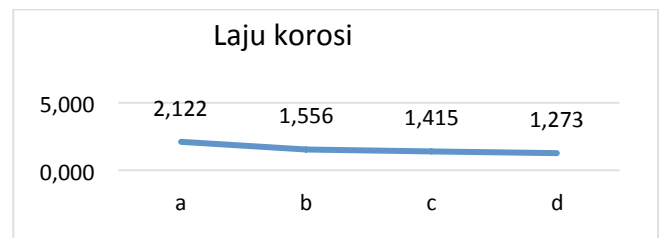
$$\text{mm/yr} = \frac{87.6 \cdot W}{D \cdot A \cdot T}$$

$$\mu\text{m/yr} = \frac{87600 \cdot W}{D \cdot A \cdot T}$$

di mana, W= massa yang hilang akibat terkorosi (mg);
D= rapat massa (gr/cm³)
=7.8 mgr/m³ atau 490lb/ft³;
A= luas permukaan (in²);
T= lama pengujian (jam).

HASIL DAN PEMBAHASAN

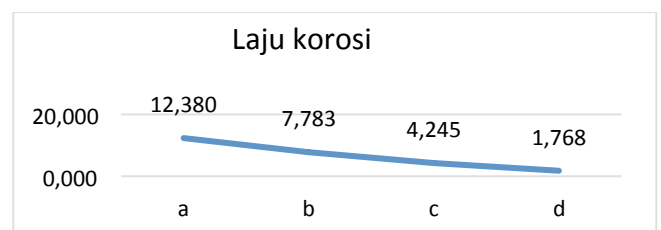
- Immersion test dengan menggunakan HCl 1,5M secara kasat mata dapat dilihat spesimen yang dilapisi cat dengan suhu 24⁰C lebih cepat terkorosi. Spesimen tersebut lebih cepat berkarat dan terkikis catnya.



Gambar 1. Laju korosi material pada Immersion Test dengan HCl 1,5 M

Gambar 1 memperlihatkan bahwa benda uji a, b, c, d mempunyai laju korosi terbesar 2.122 MPY. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa material yang diperlakukan dengan suhu rendah mengalami laju korosi yang cukup besar dibandingkan yang lainnya.

- Immersion test dengan menggunakan NaCl secara kasat mata dapat dilihat spesimen tidak banyak perubahan namun ada bagian-bagian spesimen yang terlihat bereaksi dan membentuk pola pada spesimen.



Gambar 2. Laju korosi material pada Immersion Test dengan NaCl.

Ketahanan korosi terhadap larutan garam yang disemprotkan pada pelat yang dilapisi cat dianalisa dengan membandingkan material pelat satu dengan pelat lainnya yang telah diberi perlakuan berbeda-beda tergantung suhu dan waktu tunggu pengecatan. Hasil perhitungan disajikan didalam Gambar 2. Terlihat bahwa spesimen a, b, c, dan d yang merupakan material yang mendapat perlakuan pengecatan mempunyai laju korosi dibawah nilai 20 MPY yang berarti nilai tersebut masih dapat dikatakan baik. Akan tetapi material yang diberi perlakuan pada suhu dan waktu tunggu minim memiliki nilai yang paling besar sehingga memiliki laju korosi yang tinggi dibandingkan dengan yang lainnya.

- Pengujian daya lekat cat, kesemua cat menunjukkan daya lekat yang baik terhadap pelat yang dilindunginya. Namun cat dengan suhu 24⁰ dan waktu tunggu pelapisan 1 jam kurang baik daya lekatnya. Untuk cat dengan suhu 24⁰ dan waktu tunggu pelapisan 1 jam kerusakan catnya hingga 30%.

KESIMPULAN

- Material yang dicat dalam keadaan suhu rendah (24⁰) dan waktu tunggu pelapisan 1 jam pada pengujian immersion test larutan HCl 1,5M memiliki laju korosi lebih tinggi dibandingkan dengan suhu dan waktu tunggu yang lain.
- Material yang dicat dalam keadan suhu rendah (24⁰) dan waktu tunggu pelapisan 1 jam pada pengujian penyemprotan garam memiliki laju korosi lebih tinggi dibandingkan dengan suhu dan waktu tunggu yang lain.
- Semakin tinggi suhu yang digunakan dan semakin lama waktu tunggu pelapisan pada proses pengecatan maka hasil yang diperoleh semakin baik, laju korosi akan semakin kecil sehingga kapal tidak cepat mengalami perkaratan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2004. *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metal*. United States of America: ASTM G31-72.
- Bayuseno, A.P. 2009. *Analisa Laju Korosi pada Baja untuk Material Kapal dengan dan Tanpa Perlindungan Cat*. Jurnal Rotasi Vol. 11, No. 3
- Fontana, and Mars Guy. 1987. *Corrosion Engineering*. International edition. Mc. Graw Hill Inc.
- Kenneth R. Trethewey, and John Chamberlain. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Terjemahan Alex Tri Kantjono Widodo. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Van Vlack, and H. Lawrence. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Baja dan Bukan Baja)*, 5th ed. PT. Erlangga
- Zdunek, A.D., et al. 1995. *Inspection and Evaluation of Protective Coatings by Visual Imaging Techniques*. Northwestern University

PENGARUH JARAK ALUR TERHADAP KESTABILAN ALIRAN FLUIDA BERDENYUT DALAM SALURAN BERPENAMPANG SEGIEMPAT

Prayitno Ciptoadi

E-mail: pcipto@gmail.com

Program studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Pattimura

ABSTRACT

The pulsatile fluid flow in a transverse grooved channel would become self-sustained oscillatory flow at certain critical Reynold number. The critical Reynold number where laminar unsteady flow changed to unsteady transitional one depends on grooves distances. The objective of this research is to analyze the effect of grooves distances toward the vortex strength and the stability of the fluid flow. This research was done by implementing a closed square cross section channel, where the bottom surface of the channel was semicircle grooved. The frequency of flow oscillation measurement was done by setting up a resistance manometer and measurement was done at several Reynold number. From the research result it is seen that the largest vortex strength occurs at the smallest groove distance. The flows become instability in all of grooves distances by seen Phase Plane method .

Key word: Pulsatile flow, grooved channel, vortex strength, stability.

PENDAHULUAN

Pada aliran laminar di dalam saluran beralur melintang terdapat dua daerah aliran: (i) aliran utama dalam saluran dan (ii) aliran *vortex* resirkulasi dalam alur. Dua daerah tersebut dipisahkan oleh lapisan geser bebas (*free shear layer*). Dalam kondisi stedi, tidak ada pertukaran fluida antara kedua daerah ini. Salah satu kemungkinan untuk meningkatkan laju transport dalam saluran beralur adalah memperbaiki pencampuran lateral (*lateral mixing*) dengan mengganggu lapisan geser pemisah antara aliran utama dan aliran resirkulasi dalam alur (Kang, 2001). Gerakan aliran utama dari hulu ke hilir mengalami defleksi ke dalam alur pada Re 50 sementara aliran *vortex* di dalam alur bergerak ke hilir seiring meningkatnya Re (Adachi dan Uehara, 2003).

Gangguan lapisan geser pemisah yang terjadi seiring meningkatnya bilangan Re akan mengubah kondisi aliran dari stedi ke aliran osilasi pada bilangan Re yang lebih kecil dibandingkan jika fluida mengalir dalam saluran tanpa alur. Aliran osilasi ini dikenal sebagai aliran yang berosilasi terus-menerus (*self-sustained oscillatory flow*). Bilangan Reynold kritis di mana permulaan *self-sustained oscillatory flow* terjadi tergantung pada

panjang alur yakni menjadi lebih kecil jika panjang alur meningkat (Nishimura *et al.*, 2001).

Osilasi aliran terjadi akibat aliran stedi menjadi tidak stabil karena mengalami bifurkasi pada bilangan Reynold kritis tertentu. Ketidakstabilan ini muncul karena dipicu oleh munculnya *Tollmien-Schlichting wave*. Aliran yang berosilasi menginduksi tegangan Reynold (*Reynold stress*) dan mampu meningkatkan difusi momentum yaitu mengangkat energi dari aliran utama ke aliran osilasi dan mempertahankannya. Akibatnya rugi tekanan (*pressure drop*) dari aliran utama meningkat. Ketidakstabilan Kelvin-Helmholtz terbentuk pada tepi alur disebabkan oleh formasi pelengkungan lintasan profil kecepatan, menekan gelombang *Tollmien-Schlichting* di bagian luar alur dan memproyeksikan energi padanya. Akibat dari interaksi kompleks, menghasilkan gelombang berjalan dua dimensi (*two-dimensional traveling waves*) pada bilangan Re cukup rendah (Adachi dan Uehara, 2003).

Kekuatan *vortex* dihubungkan dengan pertukaran fluida antara alur dan saluran dan transport momentum osilasi melintasi *shear layer* (Nishimura *et al.*, 2001). Pada aliran fluida berdenyut di dalam saluran beralur melintang,

vortex utama muncul dalam alur pada dinding bagian bawah saluran selama fasa deselerasi (*deceleration phase*) dan suatu *vortex* tambahan dibangkitkan dekat dinding rata pada bagian atas saluran. Proses pengisian dan pengosongan *vortex* utama menimbulkan pertukaran fluida antara alur dan saluran (Nishimura *et al.*, 1997).

Aliran laminar dalam saluran beralur yang bertujuan untuk meningkatkan laju transport banyak dijumpai. Dalam bidang teknik seperti alat penukar kalor (*compact heat exchanger*), sistem pendingin mikroelektronik (Adachi dan Uehara, 2003) dan juga dalam bidang kedokteran serta biokimia (Nishimura *et al.*, 1997). Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengetahui perilaku aliran fluida dalam saluran beralur melintang. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan pada berbagai kondisi aliran baik kontinyu maupun berdenyut dan berbagai bentuk alur seperti segiempat, segitiga atau setengah lingkaran namun jarak alur tetap. Oleh karena itu penelitian ini memberikan data perilaku aliran fluida berdenyut dalam saluran beralur melintang dengan jarak alur yang berubah-ubah.

KAJIAN TEORI DAN METODE

KAJIAN TEORI

Karakteristik osilasi aliran ditentukan oleh bilangan Strouhal Str dengan persamaan (White, 1991):

$$Str = \frac{fh}{U} \quad (1)$$

dengan f = frekuensi osilasi aliran, Hz

Gerakan fluida diatur oleh persamaan *Navier Stokes* yang ditulis dalam notasi vektor sebagai berikut (White, 1991: 69)

$$\rho \left[\frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U \right] = -\nabla p + \rho g + \mu \nabla^2 U \quad (2)$$

dengan:

$$\begin{aligned} \mu &= \text{viskositas dinamik, N.det.m}^{-2} \\ U &= \text{kecepatan fluida, m.det}^{-1} \\ t &= \text{waktu, det} \end{aligned}$$

Didefinisikan *vorticity vector* Ω , suatu ukuran dari efek rotasi lokal elemen fluida (White, 1991: 89)

$$\Omega = \text{curl } U = 2 \times \omega \quad (3)$$

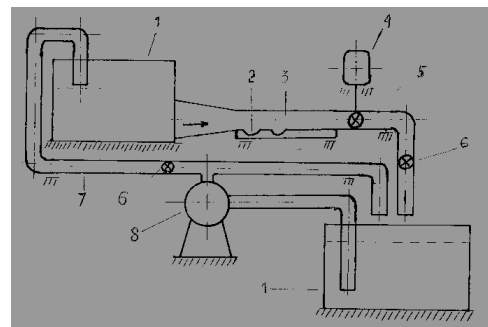
Jika diambil curl dari persamaan (3) diperoleh persamaan transport vorticity (Raisinghania, 2002: 639)

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + (U \cdot \nabla)\Omega =$$

$$\text{METODE} \quad (\Omega \cdot \nabla)U + \nu \nabla^2 \Omega \quad (4)$$

PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan peralatan seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Instalasi Penelitian

Kerangan:

1. Tandon air
2. Alur setengah lingkaran
3. Saluran
4. Motor listrik
5. Katup denyut
6. Katup pengatur aliran
7. Pipa-pipa
8. Pompa

Saluran dibuat dari bahan tembus pandang (mika) berpenampang segiempat. Ukuran saluran adalah panjang $l = 450$ mm, lebar $W = 120$ mm, tinggi $h = 14$ mm. Bagian atas saluran dibuat rata sedangkan bagian bawah diberi alur (*groove*). Alur dibuat berbentuk setengah lingkaran dengan ukuran jari-jari $r = 11,5$ mm. Jumlah alur yang digunakan dua buah dengan jarak antar alur L dibuat periodik terhadap keliling alur K yaitu $\frac{1}{2} K$ (G1), $\frac{3}{4} K$ (G2) dan K (G3) dengan $K = 72,22$ mm. Agar aliran dapat berdenyut, sebuah katup denyut yang digerakan oleh motor listrik dengan kecepatan putar 66 rpm ditempatkan pada bagian hilir saluran. Sebagai pembanding digunakan

juga saluran tanpa alur (G0). Fluida kerja yang digunakan adalah air, kondisi aliran laminar dua dimensi. Variabel penelitian meliputi variabel bebas yaitu: Bilangan Reynold Re dan Jarak antar alur L sedangkan variabel terikat yaitu: frekuensi osilasi aliran.

Teknik Pengambilan data

1. Pengukuran Debit Aliran

Pengukuran debit aliran Q , berdasarkan volume air yang mengalir per satuan waktu. Volume air yang mengalir diatur melalui pembukaan katup yang ditempatkan sebelum dan sesudah saluran beralur. Data debit aliran digunakan untuk menentukan kecepatan aliran fluida dan bilangan Reynold. Kecepatan aliran fluida = debit aliran dibagi luas penampang saluran ($U = Q/A$) sedangkan bilangan Reynold Re dihitung dengan menggunakan persamaan (Nishimura *et al.*, 2001):

$$Re = \frac{U h}{\nu} \quad (5)$$

dengan U = laju aliran, $m \cdot det^{-1}$
 h = tinggi saluran, m
 ν = viskositas kinematik
 ($1,007 \times 10^{-6}$, $m^2 \cdot det^{-1}$)

Hasil perhitungan kecepatan aliran dan Re dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran dan Re

No	Re	$Q, m^3 \cdot det^{-1}$	$U, m \cdot det^{-1}$
1	200	$2,42 \times 10^{-5}$	0,0144
2	450		0,032
3	700	$5,44 \times 10^{-5}$	0,050
4	950		0,068
5	1200	$8,46 \times 10^{-5}$	0,086
		$1,15 \times 10^{-4}$	
		$1,45 \times 10^{-4}$	

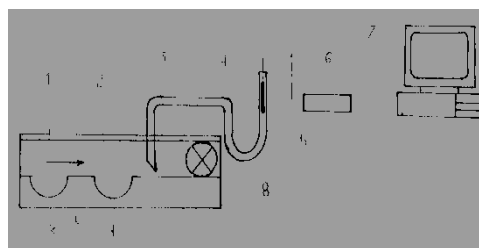
Sumber: Hasil pengukuran (data diolah)

2. Pengambilan Data Fluktuasi Kecepatan Aliran

Pengambilan data seperti terlihat pada gambar 2. Data diambil menggunakan sensor tegangan (salah satu tahanan jembatan

Wheatstone) yang ditempatkan di dalam manometer yang berisi air.

Manometer dihubungkan dengan saluran sedangkan sensor dihubungkan dengan ADC. Data ini ditampilkan pada monitor komputer dalam bentuk grafik dan teks kemudian disimpan dalam bentuk teks. Untuk menjamin keakuratan, jumlah data yang diambil adalah 400 data per detik dan dilakukan 5 kali pengulangan untuk tiap perlakuan. Pengambilan data ini diulangi untuk beberapa nilai variabel bebas.



Gambar 2. Pengukuran Fluktuasi Kecepatan Aliran Fluida

Keterangan:

1. Saluran
 2. Alur setengah lingkaran
 3. Pipa plastik
 4. Manometer
 5. Sensor tegangan
 6. ADC
 7. PPI card dan komputer
 8. Katup denyut
- L: Jarak antar alur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data fluktuasi kecepatan diolah dengan menggunakan program FFT untuk memperoleh frekuensi-frekuensi yang dominan dari tiap-tiap perlakuan. Selanjutnya dari data-data tersebut dihitung bilangan Strouhal Str .

Kekuatan Vortex

Kekuatan vortex digambarkan dengan bilangan Strouhal Str dan Energi Kinetik yang dikandung oleh vortex.

Grafik Kekuatan Vortex vs Bilangan Str

Pada aliran fluida laminar dalam saluran beralur akan terbentuk *shear layer* antara aliran utama dalam saluran dan aliran resirkulasi dalam alur. Untuk aliran yang berdenyut, pada fase akselerasi (katup denyut mulai membuka) *shear*

layer mulai mengalami separasi. Sebuah *vortex* utama terbentuk dalam alur pada tepi atas sisi hulu. Pada saat laju aliran utama maksimum (katup denyut terbuka penuh) *vortex* utama memenuhi seluruh bagian alur. Ketika fase deselerasi (katup denyut mulai tertutup) *vortex* utama berkembang hingga keluar dari tepi alur. Disamping itu terbentuk *vortex* tambahan pada saluran rata dekat dinding bagian atas dengan tanda yang berlawanan dengan *vortex* utama. Kedua *vortex* yang berpasangan (*vortices*) tersebut memenuhi keseluruhan saluran pada saat laju aliran utama minimum (katup denyut tertutup). Setelah itu *vortex* tambahan menghilang. Proses ini berlangsung terus mengikuti osilasi aliran utama (Nishimura *et al.*, 1997).

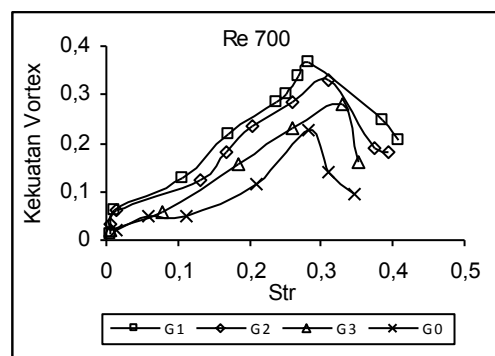
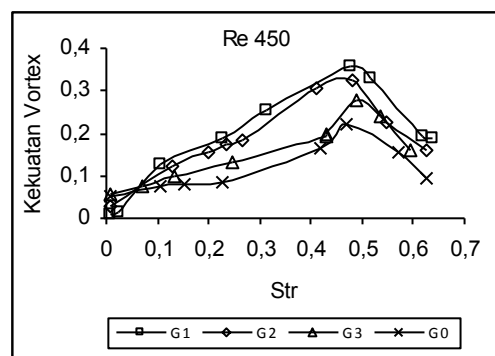
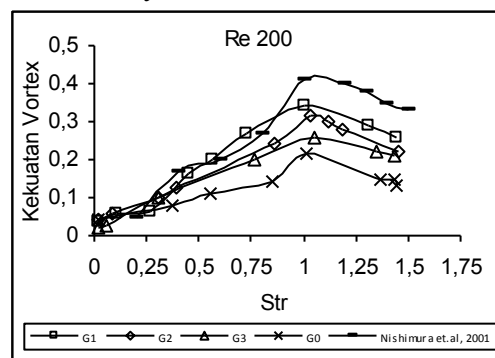
Dari fenomena di atas dapat dilihat bahwa terjadi penggabungan *vortex* (*merging*) ketika laju aliran utama minimum. Proses ini didominasi oleh efek tak stedi ($\partial\Omega/\partial t$) dan efek kekentalan ($\nu V^2/\Omega$) dari persamaan (4) sedangkan efek inersia non linear $(U \cdot V)\Omega$ berkurang. Pertumbuhan *vortex* utama di dalam alur selama fase deselerasi menimbulkan semprotan (*ejection*) fluida di dalam alur dan menghasilkan pertukaran partikel-partikel fluida antara alur dan saluran melintasi *shear layer* (Nishimura *et al.*, 2001). Interaksi antara *vortex* utama di dalam alur dan *vortex* tambahan di dalam saluran juga meningkatkan pencampuran (*mixing*) fluida yang didominasi oleh efek *vortex-stretching* $(\Omega \cdot V)U$ dari persamaan (4) (Gloerfelt *et al.*, 2002).

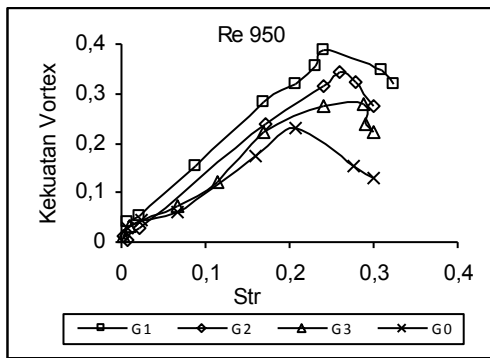
Pertukaran partikel-partikel fluida antara alur dan saluran dihubungkan dengan kekuatan *vortex* utama dan transport momentum osilasi melintasi *shear layer* tergantung pada bilangan Re dan bilangan Str. Hubungan antara kekuatan *vortex* dan bilangan Re untuk tiap perlakuan pada bilangan Re tertentu dapat dilihat pada gambar 3.

Dari grafik pada gambar 3 terlihat bahwa kekuatan *vortex* meningkat seiring meningkatnya bilangan Str. Kekuatan *vortex* mencapai nilai maksimum pada bilangan Str tertentu disebabkan pada nilai bilangan Str tersebut telah terjadi *self sustained oscillatory flow*. Kondisi ini dikarenakan oleh kecepatan aliran osilasi di dalam alur telah mencapai kecepatan aliran utama di dalam saluran dimana terjadi peningkatan amplitudo *vortex* utama dan munculnya *vortex* tambahan. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa nilai bilangan Str pada mana kekuatan *vortex* maksimum untuk $G1 < G2 < G3$. Hal ini

mengindikasikan bahwa interaksi antara *vortex-vortex* utama dalam dua alur dipengaruhi oleh jarak antar alur. Interaksi akan lebih kuat dan lebih cepat mencapai nilai maksimum pada jarak antar alur paling pendek. Untuk saluran tanpa alur kekuatan *vortex* hanya tergantung pada osilasi aliran utama dan nilainya kecil dibandingkan dengan nilai kekuatan *vortex* pada saluran beralur.

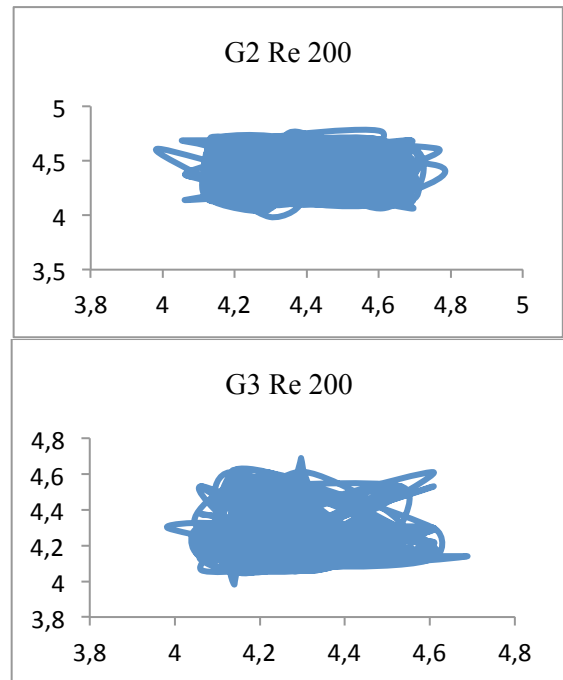
Grafik bilangan Str vs kekuatan *vortex* diverifikasi dengan penelitian Nishimura *et al.*, (2001) pada bilangan Re 200. Kekuatan *vortex* maksimum dari Nishimura *et al.*, (2001) lebih tinggi karena faktor geometri alur. Pada penelitian mereka digunakan alur berbentuk segiempat dengan panjang alur dua kali kedalamannya.



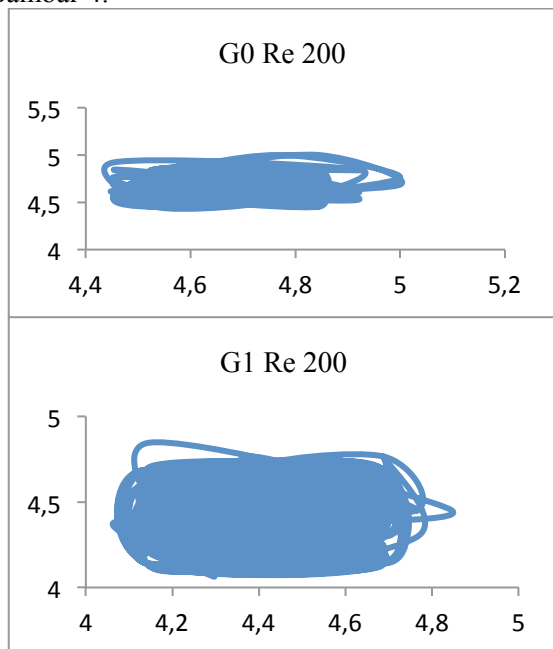


Gambar 3. Grafik Kekuatan Vortex vs Str
Kestabilan Aliran Fluida

Kestabilan adalah kemampuan suatu sistem dinamik untuk kembali ke kondisi keseimbangan awal setelah dikenai suatu gangguan. Dari hasil pengukuran fluktuasi kecepatan aliran fluida dan hasil perhitungan frekuensi aliran fluida ternyata aliran fluida mengalami ketidakstabilan karena mendapat gangguan baik dengan adanya alur dalam saluran maupun dengan adanya katup denyut. Ketidakstabilan aliran fluida seperti terlihat pada Grafik Bidang Fasa aliran pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Bidang Fasa



KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Kekuatan *vortex* dipengaruhi oleh bilangan Re, bilangan Str dan jarak antar alur. Pada interval bilangan Re laminar tak stedi bilangan Str untuk G1, G2, G3 dan G0 mempunyai nilai yang identik sedangkan pada interval bilangan Re transisi tak stedi bilangan Str untuk G1 bernilai paling tinggi diikuti oleh G2, G3 dan G0.
2. Aliran fluida periodik dalam saluran yang beralur melintang mengalami ketidakstabilan meskipun pada bilangan Re yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

Adhaci, T. and Uehara, H. 2003. Linear Stability Analisis of Flow in a Periodically Grooved Channel, *International Journal for Numerical Methods in Fluids* (41): 601-613.

Ciptoadi, P. 2006. Pengaruh Jarak Alur Terhadap Kekuatan Vortex dan Rugi Tekanan Aliran Fluida Berdenyut Dalam Saluran Berpenampang Segiempat, *Journal Ilmu-Ilmu Teknik Diagonal*, Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang, Vol, 7 No. 1

Ciptoadi, P. 2009. Pengaruh Jarak Alur Terhadap Kekuatan Vortex dan Tegangan Geser Osilasi Aliran Fluida Berdenyut Dalam Saluran Berpenampang Segiempat, *Jurnal*

- Teknologi*, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Vol, 6 No. 2
- Ciptoadi, P. 2011. Pengaruh Jarak Alur Terhadap Kekuatan Vortex dan Bilangan Reynold Kritis Aliran Fluida Berdenyut Dalam Saluran Berpenampang Segiempat, *Jurnal Teknologi*, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Vol, 8 No. 1
- Gloerfelt, X.; Bogey, Ch.; Bailly, Ch. and Juve, D. 2002. Aerodynamic Noise Induced by Laminar and Turbulent Boundary Layer Over Rectangular Cavities, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 2476
- Kunitsugu, T. and Nishimura, T. 2000. The Development Process of Self-Sustained Oscillatory Flow in a Grooved Chanel, *Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University, Ube, 755- 8611 Japan*.
- Nishimura, T.; Morega, A.M. and Kunitsugu, K, 1997. Vortex Structure and Fluid Mixing in Pulsatile Flow Through Periodically Grooved Channels at Low Reynold Numbers, *JSME International Journal Series B, Vol. 40, No. 3: 377-385*.
- Nishimura, T.; Yoshinaka, M, and Kunitsugu, K. 2001. Oscillatory Momentum Transport and Fluid Mixing in Grooved Channels for Pulsatile Flow, *Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University, Ube, 755-8611 Japan*.
- Raishingania, M.D. 2002. *Fluid Dynamics (With Hydrodynamics)* Fourth revised edition, S. Chand & Company LTD. New Delhi.
- White, F.M. 1991. *Viscous Fluid Flow*, Second edition, McGraw-Hill, Inc.