

DETEKSI FENOMENA *CHATTER* PADA PROSES *TURNING* MENGGUNAKAN SINYAL SUARA

Darman¹, Feblil Huda²

¹Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Mesin, ²Dosen Teknik Mesin
Laboratorium Konstruksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹darman.d@student.unri.ac.id, ²feblil.huda@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Chatter is an excessive vibration that occurs due to performing of tools which have a negative effect that causes poor surface quality, disproportionate use of tools, damage to equipment, and etc. By these reasons chatter has become important research area in mechanical engineering to detect its existence in operational condition of machining process. In this research, the chatter detection method by using sound signal was developed. The artificial chatters were then generated by unsharpening the lathe cutting. The uncalibrated microphone which operated by PC and MATLAB software was then used to grap the sound data from operating turning process. The sound signals in normal and chatter condition were then processed to perform sound signal in the time domain, frequency domain, and spectrogram. The existence of chatters was signed by excessive vibration and bad roughness of turning process product. The Spectrogram display TF representation, Time-Magnitude domain and 3D spectrogram. TF representation showing magnitude enhancement, that occurs during the chatter. the Time-Magnitude domain showing time span of the chatter and 3D spectrogram can be seen in the contours and characteristics from chatter. From whole of representation, the chatter can be detected.

Keywords : Sound Signal, Chatter, Turning Process, Spectrogram

1. Pendahuluan

Proses bubut (*turning*) merupakan proses dimana benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang diujung poros utama (*spindle*) dengan mengatur lengan pengatur, yang terdapat pada kepala diam (*head stock*), putaran poros utama (n) dapat dipilih [1]. Pada prosesnya, terdapat beberapa jenis cacat yang dapat terjadi selama proses bubut (*turning*) dilakukan salah satunya diakibatkan oleh *chatter*. *Chatter* adalah getaran berlebih yang terangsang atau terjadi akibat benda kerja (*work piece*) dan alat (*tools*) yang memiliki efek negatif yaitu menyebabkan kualitas permukaan yang buruk, penggunaan alat yang tidak proporsional, kerusakan alat dan lain-lain [2]. Berbagai bentuk *chatter* dapat dilihat pada Gambar 1.



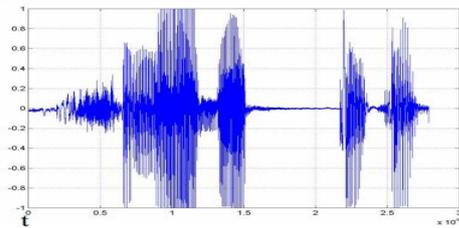
Gambar 1 Beberapa Fenomena *Chatter* yang Terjadi [3]

Maka dari itu, diperlukan cara mendeteksi *chatter* agar dapat mengetahui kapan fenomena *chatter* tersebut terjadi pada saat proses bubut (*turning*) untuk mengurangi efek negatif yang ditimbulkan atau kerugian lainnya. Salah satu metode yang sering digunakan untuk mendeteksi getaran ialah dengan menggunakan akselerometer. Tetapi, harga yang mahal selalu menjadi kendala dari penggunaan akselerometer tersebut. Dalam penelitian ini, salah satu metode usulan yang digunakan lebih terjangkau dari segi harganya ialah dengan memanfaatkan sinyal suara yang ditimbulkan dari proses bubut (*turning*) untuk mendeteksi fenomena *chatter* yang terjadi. Sinyal suara tersebut diolah dan dibandingkan dengan data normal agar fenomena *chatter* yang terjadi dapat terdeteksi dengan benar.

Sinyal suara adalah salah satu sinyal yang sangat dipengaruhi frekuensi dan merupakan bentuk sinyal diskrit yang sangat dipengaruhi oleh waktu [4]. Untuk menggunakan sinyal ini yaitu dengan melakukan teknik perekaman sinyal suara secara realtime sebagai sinyal input yang berupa sinyal proses pemesinan melalui mikrofon [5]. Sinyal tersebut akan langsung diolah dengan proses enkripsi.

Dalam menjalankan proses enkripsi, sinyal informasi yang berupa sinyal analog dalam domain waktu di konversikan ke dalam domain frekuensi menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Jadi, Spectrogram digunakan sebagai

metodenya sedangkan FFT digunakan untuk mentransformasikan sinyal tersebut. Transformasi ini agar mempermudah dalam menganalisis sinyal yang telah ditransformasikan karena sinyal dalam bentuk diskrit lebih mudah diacak atau dienkripsi. Sinyal yang telah masuk proses enkripsi inilah yang akan dapat melihat fenomena *chatter* [6]. Gambar 2 merupakan contoh dari sinyal suara.



Gambar 2 Contoh Sinyal Suara dengan Ucapan “Selamat Datang” [7]

Sinyal suara juga dapat dikatakan sebagai getaran suatu benda. Selama bergetar, perbedaan tekanan terjadi di udara sekitarnya. Pola osilasi yang terjadi dinamakan sebagai gelombang. Gelombang mempunyai pola sama yang berulang pada interval tertentu yang disebut sebagai periode. Sinyal wicara merupakan sinyal yang bervariasi lambat sebagai fungsi waktu, dalam hal ini ketika diamati pada durasi yang sangat pendek (5-100ms) karakteristiknya masih stasioner [7].

Short time fourier transform (STFT) adalah suatu metode transformasi sinyal analog ke dalam bentuk sinyal digital yang berjenis transformasi fourier cepat yang dalam bahasa inggris nya disebut dengan *Fast Fourier Transform* (FFT). Seperti halnya FFT, STFT berguna untuk mengubah sinyal analog yang berupa gelombang suara manusia ke dalam bentuk sinyal digital.

Short time fourier transform (STFT) dibagi menjadi dua jenis, diantaranya yaitu :

1. *Discrete time-short time fourier transform*

Rumus dari discrete time short time fourier transform yaitu :

$$STFT = \{x[n]\} \equiv X(m, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \omega[n - m] e^{-j\omega n} \dots\dots\dots (9)$$

2. *Continuous time-short time fourier transform*

Rumus dari continuous time short time fourier transform yaitu :

$$STFT = \{x(t)\} \equiv X(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \omega(t - \tau) e^{-j\omega t} dt \dots\dots\dots (10)$$

STFT sama seperti transformasi fourier standar sering digunakan untuk menganalisa suara dan untuk menghasilkan grafik spectrogram.

Pada Gambar 3 menunjukkan proses bubut secara umum, dan untuk mendeteksi *chatter* dengan sinyal suara, elemen dasar dari proses bubut dapat digunakan sebagai acuan dalam analisa *chatter*. Dimana, elemen dasar dari proses bubut tersebut, dapat mempengaruhi percepatan

terjadinya *chatter*. Elemen dasar dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang diturunkan dengan memperhatikan kondisi pemotongan yang telah ditentukan sebagai berikut.

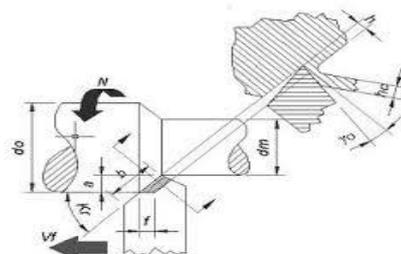
1. Benda kerja
 $d_o = \text{diameter mula (mm)}$
 $d_m = \text{diameter akhir (mm)}$
 $l_t = \text{Panjang Pemesinan (mm)}$
2. Mesin Bubut
 $a = \text{Kedalaman Potong (mm)}$
 $a = \frac{(d_o - d_m)}{2} \text{ (mm)} \dots\dots\dots (1)$
 $f = \text{gerak makan } \left(\frac{mm}{r}\right)$
 $n = \text{putaran Poros Utama (r/min)}$

Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut,

1. Kecepatan Potong
 $v = \frac{\pi d n}{1000} \text{ (m/min)} \dots\dots\dots (2)$

Dimana, d = diameter rata-rata, yaitu :

$$d = (d_o - d_m) / 2 \dots\dots\dots (3)$$



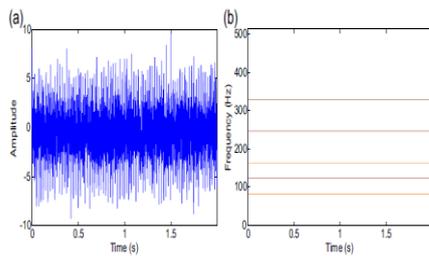
Gambar 3 Proses Bubut (*Turning*) [5]

2. Kecepatan Makan
 $v_f = f \cdot n \text{ (mm/min)} \dots\dots\dots (4)$
3. Waktu Pemotongan
 $t_c = \frac{l_t}{v_f} \text{ (min)} \dots\dots\dots (5)$

2. Metode Deteksi Chatter dengan Sinyal Suara

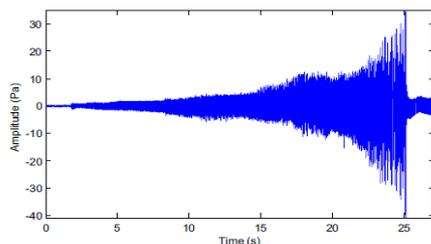
Penting untuk melakukan deteksi dan penekanan *Chatter* untuk memperbaiki kualitas permukaan dan menghindari kerusakan pada proses pemesinan. Pemilihan sensor yang tepat dapat meningkatkan sensitivitas, akurasi, dan ketahanan sistem deteksi *Chatter*. Karena esensi fisik *Chatter* adalah getaran, ide untuk menggunakan sinyal getaran untuk deteksi *chatter* dan prediksinya sudah jelas. Selain itu, regeneratif *Chatter* menghasilkan kekuatan mesin yang berlebihan dan kemudian meningkatkan arus / kekuatan motor, yang juga dapat digunakan untuk pemantauan *Chatter*. Sinyal suara atau *acoustic emission* (AE) yang muncul dari getaran mekanis yang dihasilkan di zona pemotongan juga dapat digunakan untuk mendeteksi dan mengendalikan kejadian *Chatter*. Karena pengaturan pengukuran sederhana dan tanpa kontak, sinyal suara mudah dikumpulkan dan

tidak mengganggu dalam proses bubut. Di masa lalu, berbagai teknik deteksi *Chatter* berdasarkan sinyal suara telah dilakukan salah satunya oleh Delio dkk. membandingkan mikrofon dengan sensor lain yang biasa digunakan (misalnya dinamometer, *displacement probes*, dan akselerometer) dan dapat disimpulkan bahwa sinyal suara adalah yang paling sesuai untuk deteksi *Chatter* dalam banyak kasus. Altintas dan Chan juga melakukan analisis frekuensi spektrum pada sinyal suara dan amplitudo maksimum pada frekuensi spektrum digunakan sebagai indikator deteksi *Chatter*. Varian statistik dari sekali sinyal suara per revolusi dihitung sebagai indikator *chatter*. Sinyal audio berbasis waktu dianalisis secara *offline* untuk mengidentifikasi frekuensi *Chatter*, dan peta suara dibangun untuk mendapatkan stabilitas diagram lobus. Jin dan Poudel melakukan penelitian dengan memonitor getaran *Chatter* menggunakan sinyal tekanan suara dalam proses *milling* mikro. Yang dan Wan dkk, mengukur kekuatan suara dan pemotongan bersama dengan spektrum frekuensi untuk proses *milling*. Selain proses *milling*, sinyal suara juga digunakan untuk deteksi *Chatter* pada *turning* [6]. Sinyal suara dan domain TF dari sinyal suara dapat dilihat pada Gambar 4.



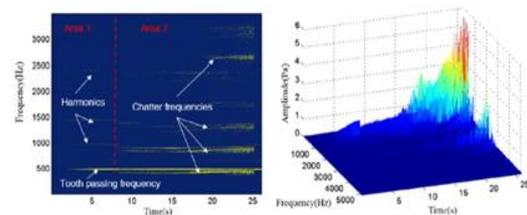
Gambar 4 Hasil Rekaman Sinyal Suara (Kiri) dan Representasi Domain TF (Kanan) [6]

Suara yang muncul dari getaran mekanis yang dihasilkan di zona pemotongan dapat digunakan untuk mendeteksi kejadian *Chatter*. Ketika *Chatter* terjadi, amplitudo meningkat dalam domain waktu, sementara itu, beberapa komponen frekuensi baru yang diberi nama frekuensi *Chatter* muncul selain *spindle* yang berputar bebas, frekuensi melewati gigi, dan harmonisasinya. Sangat wajar melakukan analisis dalam domain frekuensi untuk deteksi *Chatter* [6]. Gambar 5 merupakan rekaman sinyal suara proses pemesinan.

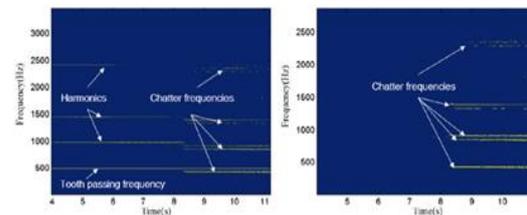


Gambar 5 Contoh Hasil Rekaman Sinyal Suara Proses Pemesinan [6]

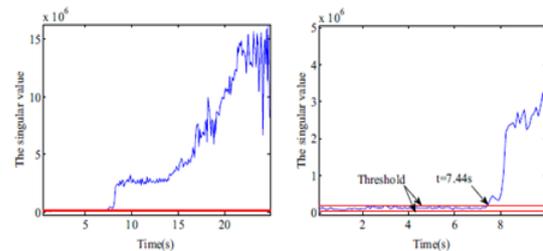
Langkah-langkah yang dilakukan dalam mendeteksi fenomena *chatter* ini yang pertama dimulai dari Akuisisi sinyal yaitu Sinyal suara diukur dengan mikrofon dalam waktu sebenarnya. Setelah itu, Sinyal suara dengan panjang N diproses, dan menghasilkan representasi dalam domain waktu, frekuensi dan pengolahan dalam bentuk spectrogram. Representasi spectrogram dari sinyal suara dapat dilihat dalam bentuk *time-frequency*, *time-magnitude* dan 3 dimensi. matriks TF dengan baris M dan kolom N diperoleh untuk mewakili representasi TF. Frekuensi *spindle* memutar, frekuensi *tooth Passing*, dan harmonisasi ada dalam keseluruhan proses pemotongan (stabil atau *Chatter*), yang amplitudonya erat kaitannya dengan parameter pemotongan. Representasi TF pada sinyal suara dan tampilan 3 dimensi disajikan pada Gambar 6 Dan Gambar 7 merupakan domain TF setelah di *filter*.



Gambar 6 Representasi TF 2 Dimensi (Kiri) dan 3 Dimensi (Kanan)[2]



Gambar 7 Representasi TF Sebelum di *Filter* (Kiri) dan Setelah di *Filter* (Kanan)[2]



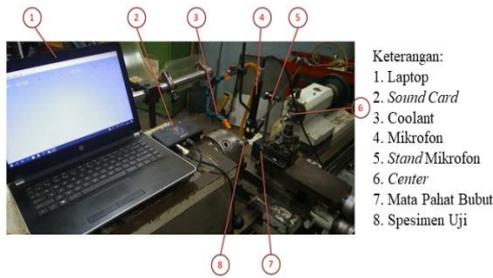
Gambar 8 Penunjukkan Waktu Terjadinya *Chatter* (Kiri) dan Perbesaran Grafik Penunjukkan Terjadinya *Chatter* (Kanan)[2]

Waktu terjadinya fenomena *chatter* dapat diketahui melalui grafik domain *time-magnitude*. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

3. *Set-up* Pengujian

Pembuatan *Set-up* pengujian disesuaikan dengan alat yang tersedia dengan harga yang lebih terjangkau seperti menggunakan mikrofon, laptop,

sound card, kabel mikrofon, kabel data dan satu set mesin bubut konvensional. Gambaran *set-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 *Set-Up* Pengujian

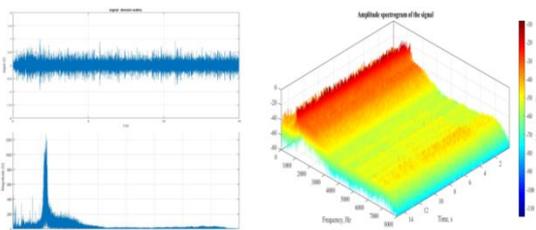
Perangkat untuk perekaman sinyal suara terdiri dari beberapa komponen penting yaitu mikrofon, *Sound Card*, kabel mikrofon, laptop dan *stand* mikrofon yang ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10 *Setup* Perekaman

Mikrofon berguna untuk mengubah suara menjadi getaran listrik sinyal Analog. Suara yang ditangkap oleh mikrofon diteruskan ke *Sound card* yang memiliki fungsi utama yaitu pengolah sinyal audio atau suara. *Sound card* meneruskan ke laptop untuk menampilkan hasil perekaman sinyal suara melalui kabel data. *Stand* mikrofon hanya berfungsi sebagai dudukan mikrofon saat melakukan perekaman sinyal suara.

Ada 2 program pengolahan MATLAB yang digunakan untuk pengolahan, yang pertama program untuk menampilkan domain waktu dan domain frekuensi dari sinyal suara. Kedua, program yang digunakan untuk menampilkan spectrogram. Grafik yang dihasilkan dari kedua pengolahan program MATLAB dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Grafik Hasil Pengolahan

4. Hasil dan Pembahasan

Data yang diambil dari penelitian ini yaitu pengambilan data normal dan data *chatter*. Tujuan dari pengambilan data normal dan *chatter* ialah untuk membandingkan hasil sinyal suara saat

pembubutan normal dengan hasil sinyal suara saat terjadinya fenomena *chatter* tersebut. Proses yang dipilih dalam pengambilan data adalah proses *roughing*. material yang digunakan dalam penelitian ini ialah Baja ST 37 dengan menggunakan Pahat HSS, dan ditumpulkan saat pengambilan kondisi *chatter* agar mempercepat terjadinya *chatter*. Dengan parameter input seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter Input Pengujian

Parameter Input	Nilai
Diameter Awal	25,3 mm
Diameter Akhir	24,8 mm
<i>feeding</i>	0,5 mm/r
Kecepatan Putaran <i>Spindle</i>	1000 rpm
Waktu Pemoangan	15 detik

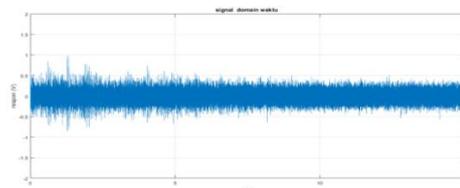
Parameter output pada Tabel 2 dihitung berdasarkan persamaan 1,2,3,4 dan 5 yaitu kedalaman potong, diameter rata-rata, kecepatan potong, gerak makan dan kecepatan makan. Parameter tersebut merupakan parameter yang berkaitan dengan proses terjadinya *chatter*.

Tabel 2 Parameter Output Pengujian

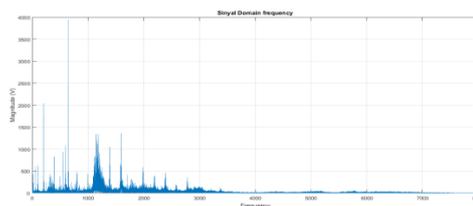
Parameter Output	Nilai
Kedalaman Potong	0,25 mm
Diameter Rata-rata	24,8 mm
Kecepatan Potong	77,9 m/min
Gerak Makan	500 mm/min
Kecepatan Makan	125 mm

4.1 Data Normal

Pada data normal dengan kecepatan putaran *spindle* 1000 rpm memiliki karakteristik tersendiri terlihat pada domain waktu data dengan kecepatan putaran *spindle* 1000 rpm respon yang terjadi selama proses pembubutan lebih rapat dilihat dari grafik pada Gambar 12. Sumbu X menyatakan waktu dalam detik dan sumbu Y menyatakan respon dalam *volt*. domain frekuensi memiliki puncak-puncak frekuensi tertinggi yang cukup banyak. Puncak frekuensi tertinggi hampir mencapai *magnitude* 4000 terdapat pada Gambar 13.

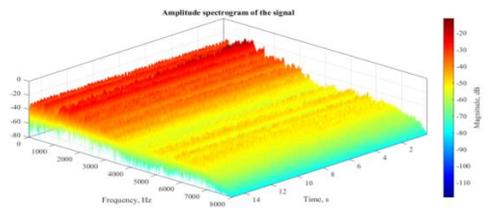


Gambar 12 Grafik Domain Waktu Pengujian 6

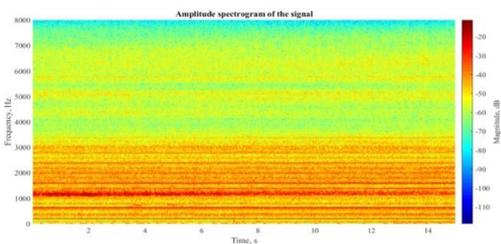


Gambar 13 Grafik Domain Frekuensi Pengujian 6

Gambar 14 menampilkan spectrogram 3D. rentang frekuensi 0-3000 Hertz *magnitude* relatif tinggi yaitu hampir menyeluruh warna yang terlihat adalah merah. Data normal kecepatan putaran *spindle* 1000 rpm ini, konstan dari awal hingga akhir.

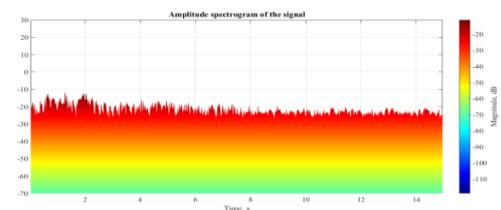


Gambar 14 Grafik Spectrogram 3D Pengujian

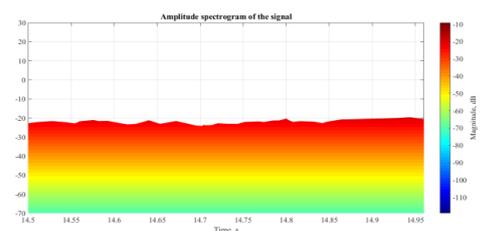


Gambar 15 Grafik Domain TF Pengujian

Domain TF pada Gambar 15 terlihat garis-garis merah pada sumbu X dimulai dari detik ke-0 sampai detik ke-15 dengan sumbu Y dari frekuensi 0 Hertz sampai 3000 Hertz. Domain TF dari 1000 rpm memiliki karakteristik penyebaran *magnitude* dari frekuensi tertinggi lebih luas hingga mencapai 3000 Hertz. Domain *Time-Magnitude* menjelaskan *magnitude* pada kondisi normal selalu konstan dan dapat dilihat pada Gambar 16. Apabila diperbesar seperti terlihat pada Gambar 17, kontur grafik terlihat landai tanpa adanya peningkatan dari awal hingga akhir pembubutan. Validasi data normal ini dapat dilihat pada hasil permukaan yang didapat pada Gambar 18.



Gambar 16 Grafik Domain *Time-Magnitude* Pengujian



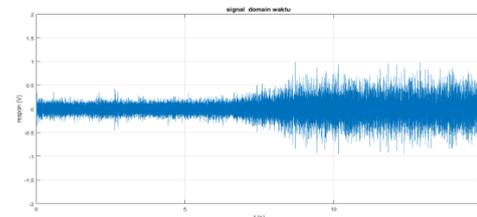
Gambar 17 Grafik Perbesaran Domain *Time-Magnitude* Pengujian



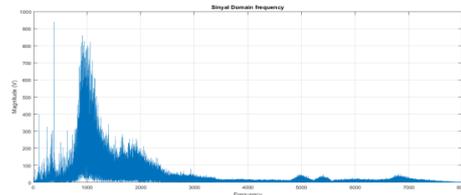
Gambar 18 Hasil Pembubutan Pengujian 2 Data Normal

4.2 Data Chatter

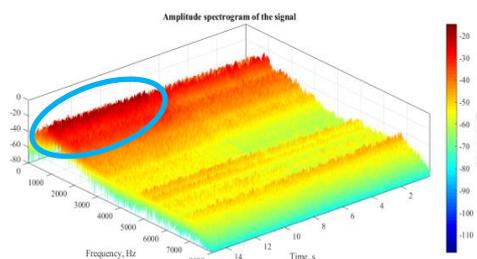
Domain waktu pada Gambar 19 dengan sumbu X adalah waktu dan sumbu Y sebagai respon, memperlihatkan peningkatan respon dari grafik domain waktu pada rentang detik ke-7,5 sampai detik ke-15. Domain frekuensi dari data *chatter* 1000 rpm dengan pemakanan 0,5 mm berbeda dengan data normalnya. *Magnitude* tertinggi dari frekuensi hanya mencapai 1000 Hertz dengan tidak banyak puncak yang muncul pada grafik yang terlihat pada Gambar 20.



Gambar 19 Grafik Domain Waktu Pengujian (*Chatter*)



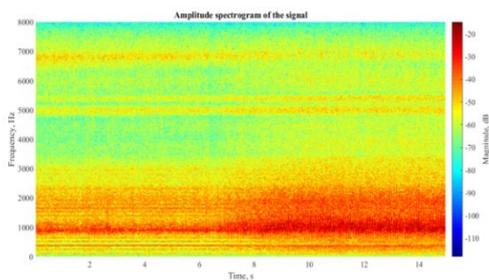
Gambar 20 Grafik Domain Frekuensi Pengujian 6 (*Chatter*)



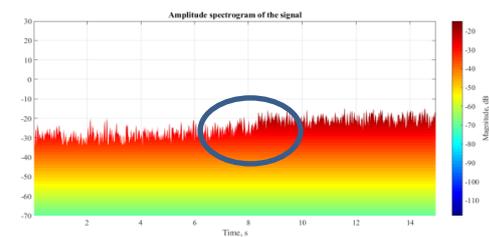
Gambar 21 Grafik Spectrogram 3D Pengujian (*Chatter*)

Analisa yang dapat dilakukan pada spectrogram 3D di Gambar 21 dari data *chatter* ini ialah terjadinya peningkatan *magnitude* di rentang waktu detik ke 10 hingga 15, ditandai dengan warna merah pekat yang dihasilkan dari data sinyal suara tersebut. Lebih jelas nya untuk dilihat pada domain TF pada Gambar 22 Dibawah ini.

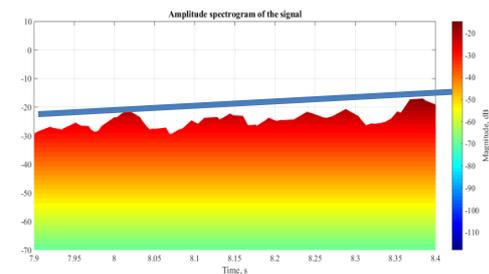
Memperlihatkan dengan jelas peningkatan warna yang terjadi sepanjang waktu ke-7 hingga 15 detik.



Gambar 22 Grafik Domain TF Pengujian (*Chatter*)



Gambar 23 Grafik Domain *Time-Magnitude* Pengujian (*Chatter*)



Gambar 24 Perbesar Domain *Time-Magnitude* Pengujian (*Chatter*)

Pada domain *time-magnitude* Gambar 23, terlihat jelas adanya peningkatan seolah-olah seperti bertingkat tepat diantara sebelum terjadinya *chatter*. Gambar 24 merupakan perbesar pada posisi mula terjadinya *chatter* yaitu pada detik ke-8, Apabila ditarik garis lurus, maka semakin lama akan semakin naik dikarenakan *magnitude* yang terjadi semakin besar saat *chatter* terjadi. Hal ini sejalan dengan hasil permukaan spesimen uji yang terlihat pada Gambar 25 Dibawah ini. *Chatter* pada data 1000 rpm dengan pemakanan 0,5 mm ini disebabkan mata pahat bubut yang ditumpulkan untuk menimbulkan *chatter*.



Gambar 25 Hasil Pembubutan Pengujian 6 Data *Chatter*

5. Kesimpulan

Deteksi fenomena *chatter* pada proses bubut (*turning*) dapat dilakukan menggunakan sinyal suara dengan membandingkan analisa domain waktu, domain frekuensi dan spectrogram pada kondisi pembubutan normal dan kondisi *chatter* menggunakan *software* MATLAB. Domain waktu memperlihatkan perbandingan antara waktu dengan respon yang dihasilkan selama proses pembubutan, dan *chatter* terjadi dengan peningkatan respon yang signifikan selama rentang waktu 9 sampai 15 detik pada kondisi *chatter*. Domain frekuensi dihasilkan dengan menggunakan FFT yang menjelaskan tentang frekuensi pribadi tertinggi dari proses pembubutan, dimana pada kondisi normal berkisar 3000 - 4000 *volt* dan kondisi *chatter* berkisar 900 – 1000 *volt*. Spectrogram dianalisa dari berbagai pandangan yaitu spectrogram 3D, domain TF (*time-frequency*) dan domain *time-magnitude*. Spectrogram 3D kondisi normal terlihat konstan dari awal hingga akhir waktu pembubutan selama 15 detik, sedangkan pada kondisi *chatter* terlihat adanya peningkatan *magnitude*. Pada domain TF terjadi peningkatan *magnitude* ditandai dengan peningkatan warna merah di rentang waktu 9 - 15 detik pada kondisi *chatter*. domain *time-magnitude* memperjelas peningkatan *magnitude* dan rentang waktu terjadinya fenomena *chatter* tersebut. Perbesar domain *time-magnitude* dapat dilihat waktu permulaan terjadinya *chatter* yaitu pada detik ke 7,9 detik. Hasil permukaan spesimen pengujian membedakan hasil pembubutan dalam kondisi normal dan kondisi saat terjadinya *chatter*. Dan variasi dari parameter input mempengaruhi hasil parameter output seperti kedalaman potong, kecepatan potong dan kecepatan putaran *spindle* mempercepat terjadinya fenomena *chatter*.

Daftar Pustaka

- [1] Rochim, Taufiq. 2007. Klasifikasi Proses, Gaya dan Daya Pemesinan. Institut Teknologi Bandung.
- [2] Hongrui, C, Yiting, Y, Xuefeng, C, Xingwu, Z. 2016. ‘*Chatter Detection in Milling Process Based on Synchrosqueezing Transform of Sound Signals*’, *State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi’an Jiaotong University, Xi’an 710049, China*
- [3] Munoa, J, Beudaert, X, Dombavari, Z, Altintas, Y, Budak, E, Brecher, C, Stepan, G. 2016. *Chatter Suppression Techniques in Metal Cutting*. CIRP Annals-Manufacturing Technology 65(2016) : 785-808.

- [4] Estrada, Richie. 2008. Pengolahan Sinyal Suara Menggunakan Matlab. Teknokrida.
- [5] Santoso, Tri B.,Huda,Miftahul. Modul Proses Perekaman Dan Pengeditan Sinyal Wicara.
- [6] Permana, Silvi Dewi. 2010. Pengembangan Algoritma Enkripsi untuk Sistem Komunikasi Pembicaraan Aman Berbasis FFT. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro. UNILA. Bandarlampung.
- [7] Hanggarsari, P, Fitriawan, H, Yuniati, Y.2012. Simulasi Sistem Pengacakan Sinyal Suara Secara *Realtime* Berbasis *Fast Fourier Transform* (FFT). Electrical Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro Vol (6) : 3.