



JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA

Jurnal
Teknik Mesin
Indonesia

Vol. 5

No. 2

Halaman
107 - 209

Surabaya
Oktober - 2010

ISSN
1907-350X

JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA

Volume 5 Nomor 2, Oktober 2010

- **Kaji eksperimental pompa kalor temperatur tinggi sebagai penghasil uap menggunakan refrigeran R-600a**
Djuanda, Aryadi Suwono, Ari Darmawan Pasek, Nathanael P. Tandian (Institut Teknologi Bandung) (hal. 107 - 111)
- **Bonding logam electroceramic dengan menggunakan teknologi Selective Laser Sintering**
Zulkifli Amin (Universitas Andalas) (hal 112 - 117)
- **Analisis performansi kolektor surya pelat datar pemanas air dengan variasi ketebalan kaca penutup**
Ketut Astawa (Universitas Udayana) (hal 118 - 121)
- **Pengembangan cetakan lilin untuk pembuatan master kedua pada produksi perhiasan**
Paryana Puspaputra, Indra Nurhadi, dan Yatna Yuwana Martawirja (Institut Teknologi Bandung) (hal 122 - 126)
- **Effect of different shaft orientation due to stability of anisotropic rotor**
Jhon Malta (Universitas Andalas) (hal 127 - 133)
- **Studi keefektifan katub limbah sebagai jebakan udara akibat aliran air yang kontinyu terhadap hasil pencatatan meteran air tipe baling - baling**
Muhamad Jafri dan Isak Sartana Limbong (Universitas Nusa Cendana) (hal 134 - 137)
- **Sistem energi alternatif terpadu dengan menggunakan energi surya, angin dan biomassa sebagai penggerak alat pengering produk pasca panen**
I Gusti Bagus Wijaya Kusuma, I Wayan Bandem Adnyana dan I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa (Universitas Udayana) (hal 138 - 145)
- **Analisis dinamika terbang wahana tanpa awak Ducted Fan**
Toto Indriyanto, Septian Firmansyah dan Hari Muhammad (Institut Teknologi Bandung) (hal 146 - 151)
- **Analisa model dan experimental setup sistem refrigerasi cascade dengan campuran karbondioksida dan ethane sebagai refrigeran temperatur rendah ramah lingkungan**
Nasruddin, M. Idrus Alhamid dan Darwin Rio Budi Syaka (Universitas Indonesia) (hal 152 - 157)
- **Aplikasi Gain Tuning PID dengan beberapa metode optimasi guna flutter suppression struktur sayap pesawat udara**
Henry Kurniawan, Ismoyo Haryanto, Joga Dharma Setiawan (Universitas Diponegoro) (hal 158 - 163)
- **Pemanfaatan limbah enceng gondok untuk pembuatan material bio-komposit dengan matriks resin polyester dan semen putih**
Qomarul Hadi (Universitas Sriwijaya) (hal 164 - 170)
- **Pengaruh pemasangan twisted tape terhadap perpindahan panas dan friction factor dalam laluan bujursangkar**
Ary Bachtiar Krishna Putra, Soo Whan Ahn (Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya) (hal 171 - 175)
- **Fatigue life analysis of liquid ring compressor shaft CO-4301-1**
Gatot Prayogo, Sugeng Supriadi (Universitas Indonesia) (hal 176 - 179)
- **Analisa kontak sambungan tulang pinggul buatan menggunakan metode elemen hingga**
Sugiyanto, Iwan Sutrisno, Jamari, Rifky Ismail, M. Tauviqirrahman (Universitas Diponegoro) (hal 180 - 182)
- **Sintesa dimethyl eter dari gas sintetik (CO dan H₂) dengan katalis Cu/ZnO/Al₂O₃-Al₂O₃**
Said Hi. Abbas (Universitas Khairun Ternate) (hal 183 - 186)
- **Penerapan pembuatan karet bantalan mesin dengan bahan pengisi serbuk nilon pada formula kompon karet alam**
Nur Husodo, Budi Luwar Sanyoto (Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya) (hal 187 - 191)
- **Unjuk kerja regenerative pump dengan modifikasi bentuk impeller yang dioperasikan sebagai turbin air**
Hermawan (Universitas Gadjah Mada) (hal 192 - 196)
- **Pengujian dan simulasi karakteristik motor dc pada industri dengan metode algoritma genetik**
Rafiuddin Syam, Ruslan, Wahyu H. Piarah, Keigo Watanabe (Universitas Hasanuddin) (hal 197 - 202)
- **Pengaruh variasi arus listrik DC pada Aktuator Niti Wire SM495 terhadap kecepatan gerak menutup gripper**
Tjuk Oerbandono, Fathur Rokhman Hidayat (Universitas Brawijaya) (hal 203 - 209)



BADAN KERJA SAMA TEKNIK MESIN INDONESIA (BKS-TM)

Sekretariat :

Jurusan Teknik Mesin FTI ITS - Kampus ITS Sukolilo

Jl. Arief Rahman Hakim - Surabaya 60111

Telp. 031.5946230 , Fax. 031.5922941

ISSN 1907-350X



ISSN 1907-350X
Volume 5 Nomor 2, Oktober 2010

JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA

SUSUNAN DEWAN PENYUNTING

Ketua Penyunting

Dr. Ing. Herman Sasongko

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Wakil Ketua Penyunting

Ir. Hendri D.S. Budiono, M.Eng

Universitas Indonesia - Jakarta

Penyunting Pelaksana

Ir. Sudjud Darsopuspito, MT

Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D

Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Penyunting Ahli (Mitra Bestari)

Dr. Ir. M. Dirhamsyah

Dr. Ir. Darwin, MT

Dr. Ir. Farel H. Napitupulu, DEA

Dr.-Ing. Ir. Ikhwansyah Isranuri

Prof. Dr. Ing. Mulyadi Bur

Dr.-Ing. HairulAbral

Dr. Ir. Kaprawi Sahim, DEA

Prof. Dr. Ir. Tresna P. Soemardi

Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer

Prof. Dr. Ir. Indra Nurhadi

Dr. Ir. Yatna Yuwana Martawirya

Ir. Sutrisno, MSME, Ph.D

Dr. Ir. Suhanan, DEA

Dr. Ir. Berkah Fajar TK., Dipl.Ing

Dr. Ir. Toni Prahasto, M.Ast

Ir. Bambang Indrayadi, MT

Ir. Wahyono Suprpto, MT.Mat

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc, Ph.D

Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA

Prof. Dr. IGB. Wijaya Kusuma

Dr. Ir. I Nyoman Gde Antara, M.Eng

Tri Rachmanto, ST, MT

Dr. Hady Efendi, ST, MT

Amrin Rapi, ST, MT

Dr Ir. Fentje Abdulrauf

Ir. Arifin Sanusi, MT

Universitas Syiah Kuala - Banda Aceh

Universitas Syiah Kuala - Banda Aceh

Universitas Sumatera Utara - Medan

Universitas Sumatera Utara - Medan

Universitas Andalas - Padang

Universitas Andalas - Padang

Universitas Sriwijaya - Palembang

Universitas Indonesia - Jakarta

Universitas Indonesia - Jakarta

Institut Teknologi Bandung - Bandung

Institut Teknologi Bandung - Bandung

Universitas Gajah Mada - Yogyakarta

Universitas Gajah Mada - Yogyakarta

Universitas Diponegoro - Semarang

Universitas Diponegoro - Semarang

Universitas Brawijaya - Malang

Universitas Brawijaya - Malang

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Universitas Udayana - Denpasar

Universitas Udayana - Denpasar

Universitas Mataram - Mataram

Universitas Hasanuddin - Makassar

Universitas Hasanuddin - Makassar

Universitas Sam Ratulangi - Manado

Universitas Cendana - Kupang

Tata Pelaksana Usaha

Wawan Aries Widodo, ST, MT

Giri Nugroho, ST.

Wahyu Wijanarko, ST

Sri Suharti, BA

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Alamat Penyunting

BKSTM - Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp. 031- 5946230, Fax. 031-5922941 Email: mesin@me.its.ac.id

Bank BNI Cabang Surabaya, No. Rek : 0049740325, a.n. : Ir. Sudjud Darsopuspito, MT

JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA. Jurnal ilmiah sains dan teknologi diterbitkan secara berkala dua kali tiap tahun pada bulan Oktober dan Oktober, diterbitkan oleh **Badan Kerjasama Teknik Mesin Indonesia (BKSTM)**. Dewan Penyunting mengundang para peneliti, praktisi, dan profesional di bidang ilmu teknik, khususnya Teknik Mesin, untuk menyumbangkan artikel ke dalam jurnal ini baik dari hasil penelitian maupun pengetahuan populer. Bagi para pembaca yang berminat untuk mendapatkan terbitan **JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA** secara teratur, Dewan Penyunting memberikan kesempatan untuk berlangganan dengan biaya langganan termasuk ongkos kirim tiap tahun : Rp. 75.000,00 (Jawa) atau Rp. 100.000,00 (Luar Jawa). Rekening Bank : BNI Cabang Surabaya No : 0049740325, a.n: Ir. Sudjud Darsopuspito, MT.

ISSN 1907-350X
Volume 5 Nomor 2, Oktober 2010

JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa , Badan Kerja Sama Teknik Mesin Indonesia (BKSTM) bersama ini telah berhasil menerbitkan "**JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA**" untuk edisi : Volume 5 Nomor 2, Oktober 2010.

Dalam edisi Oktober 2010 ini "**JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA**" memuat 19 (sembilan belas) artikel yang diambil dari para peneliti anggota BKSTM , antara lain dari : Institut Teknologi Bandung, Universitas Andalas, Universitas Udayana, Universitas Nusa Cendana, Universitas Indonesia, Universitas Diponegoro, Universitas Sriwijaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Universitas Khairun Ternate, Universitas Gajah Mada, Universitas Hasanuddin, dan Universitas Brawijaya.

Dewan Penyunting mengucapkan terima kasih kepada semua atas terbitnya jurnal ini , khususnya kepada pengirim artikel serta para Penyunting Ahli atas partisipasinya dalam penerbitan ini .

Akhirnya Dewan Penyunting berharap semoga artikel-artikel dalam jurnal ini bermanfaat bagi para pembaca sekalian, dan semoga memberikan inspirasi untuk ikut berperan aktif menyumbangkan tulisannya yang merupakan sarana publikasi hasil penelitian maupun kajian pemikiran ilmiah, serta memberikan masukan berupa kritik dan saran , demi penyempurnaan "**JURNAL TEKNIK MESIN INDONESIA**" di masa mendatang .

Surabaya , Oktober 2010

Dewan Penyunting

Bonding Logam Electroceramic dengan Menggunakan Teknologi Selective Laser Sintering

Zulkifli Amin

JLaboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang 25163 Telp. 0751-72586, FAX: 0751-72566

Abstrak

Electroceramic merupakan jenis material keramik yang aplikasinya banyak digunakan sebagai sensor dan aktuator. Material Electroceramic ini akan dapat berfungsi sebagai aktuator yakni apabila material ini dialiri medan listrik maka akan dihasilkan gerakan mekanis sedangkan akan berfungsi sebagai sensor yakni apabila pada material ini diberikan gerakan mekanis maka akan dihasilkan medan listrik. Pada Electroceramic yang berfungsi sebagai aktuator gerakan mekanis dengan kecepatan dan beban yang tinggi yang dihasilkan oleh material ini akan ditransmisikan ke struktur melalui sambungan atau bonding antara keduanya. Untuk mendapatkan respon frekuensi yang lebih baik, akan lebih baik apabila dilakukan penyambungan (bonding) aktuator ataupun sensor tersebut langsung ke strukturnya. Penyambungan secara langsung ini akan dapat meningkatkan sensitivitas dan waktu respon yang berakibat akan meningkatkan keandalan aktuator ataupun sensor tersebut. Saat ini bonding atau penyambungan antara material electroceramic dan logam dengan menggunakan polymeric adhesives (lem polimer) dan bahkan dengan menggunakan epoxy khusus hasilnya tidak memuaskan dan dapat menyebabkan penyerapan sinyal dan kehilangan frekuensi respon. Bonding dengan menggunakan material adhesive hanya terbatas pada penggunaan dengan temperatur rendah. Penelitian ini mencoba untuk menyelidiki penggunaan teknologi Selective Laser Sintering (SLS) untuk menghasilkan penyambungan (bonding) antara electroceramic dan logam. Percobaan dilakukan dengan menggunakan mesin SLS skala laboratorium. Penyambungan logam ke electroceramic dihasilkan dengan cara mencairkan serbuk logam di atas electroceramic padat. Kualitas hasil penyambungan diteliti dengan menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) dan analisa EDX (Energy dispersive X-ray). Hasil percobaan menunjukkan bahwa adanya kemungkinan untuk melakukan penyambungan secara langsung antara logam besi dan electroceramic dengan menggunakan teknologi SLS. Tetapi penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk mengatasi adanya retak yang timbul pada electroceramic padat.

Kata kunci: *Electroceramic, ferrite, piezoelectric, Selective Laser sintering, SLS, Bonding*

1. Pendahuluan

Material *electroceramic* dari jenis *lead zirconate titanate* (PZT) sudah banyak digunakan dalam aplikasinya sebagai pengendali getaran, sistem *micro-positioning* dan *ultrasound* [1-3]. Agar dapat digunakan sebagai material aktuator maka pada material *electroceramic* ini harus diberikan medan listrik dan kemudian gaya mekanik dan perpindahan (*displacement*) yang dihasilkan oleh keramik ini dapat ditransmisikan ke struktur lain. *Electroceramic* disambungkan ke struktur lain biasanya dengan menggunakan material adhesive seperti epoxy. Lapisan adhesive ini hanya dapat membentuk sambungan yang lemah antara *electroceramic* dan struktur yang akan digerakkan, karena adanya penyerapan sinyal yang cukup berarti dan adanya frekuensi respon yang hilang. Ini disebabkan karena, ketidaksesuaian impedansi antara *electroceramic* dengan material adhesive yang digunakan. Cara yang lebih efisien untuk menyambungkan *electroceramic* dengan sebuah struktur

yang akan diaktuasikan adalah dengan cara menanamkan material *electroceramic* langsung ke struktur yang akan diaktuasikan.

Diharapkan dengan menanamkan material *electroceramic* ini langsung ke struktur dapat dihasilkan sensitivitas dan waktu respon yang jauh lebih baik daripada dengan menggunakan metoda adhesive. Beberapa metoda bonding yang digunakan untuk menyambung logam dan *electroceramic* telah banyak dilaporkan seperti *active brazing* [7], menggunakan pasta logam murni sebagai material penyambung [8] dan sintering dengan suhu rendah [9], walaupun metode *active brazing* mengalami reaksi yang tidak diinginkan pada *electroceramic* sedangkan penggunaan pasta logam murni relative mahal. Semua teknik ini terbatas pada bentuk struktur yang sederhana sehingga tidak memungkinkan untuk digunakan untuk membuat bentuk produk yang disebut *smart net shape* yang menanamkan material yang berfungsi sebagai pengaktuasian ke sebuah struktur.

Makalah ini melaporkan penelitian yang memfokuskan kepada pengujian metoda lain untuk

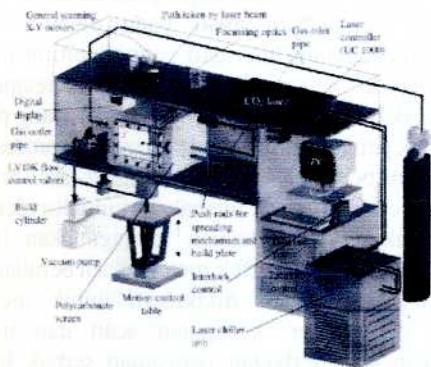
Corresponding author
E-mail: zulkifliamin@ft.unand.ac.id

membonding *electroceramic* dan logam. Tujuan keseluruhan yaitu menggunakan teknik *selective laser sintering* untuk membuat komponen yang melingkupi sebuah komponen *electroceramic*, sehingga produk dengan bentuk geometri apapun dapat dibuat dengan komponen sensor ataupun aktuator yang tertanam didalam/pada struktur tersebut. Metode ini menggunakan pembonding dengan menggunakan laser untuk melingkupi aktuator. Tahap pertama dalam pembuatan produk dengan cara ini adalah untuk melakukan pengujian apakah *scanning laser* dapat digunakan untuk menghasilkan *bonding* antara serbuk logam dan *electroceramic* padat. Pengujian tersebutlah yang menjadi tujuan penelitian yang dipresentasikan di makalah ini.

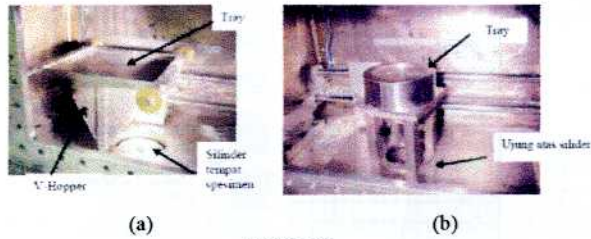
2. Material dan Peralatan

Electroceramic yang dipakai pada percobaan ini adalah *lead zirconate titanate (PZT)* dengan ukuran diameter atau sisi sampel 20 s/d 25 mm dan ketebalan 2 mm. Logam yang digunakan adalah serbuk besi *ferrite* dengan ukuran butir rata-rata 60 μm . Serbuk besi dari jenis *ferrite* digunakan karena merupakan sebuah model material non-alloy yang sederhana. Mesin *Selective Laser Sintering (SLS)* yang digunakan adalah mesin *SLS skala laboratorium* yang terdapat di University of Leeds, United Kingdom. Mesin SLS ini yang secara skematis dapat dilihat pada Gambar 1, menggunakan laser jenis CO2 dengan daya 240 Watt dan diameter laser 1.1 mm pada titik dimana benda kerja diposisikan. Untuk percobaan yang hanya menggunakan serbuk logam, serbuk logam di letakkan di sebuah wadah yang disebut tray (Gambar 2a), sedangkan untuk percobaan bonding antara serbuk logam dan *electroceramic* padat maka gunakan sebuah jig seperti Gambar 2b. Penggunaan jig ini memungkinkan untuk mengontrol ketebalan lapisan serbuk logam yang akan dibonding ke atas sampel *electroceramic*.

Percobaan ini dilakukan dalam ruangan yang dikondisikan mengandung gas Argon.



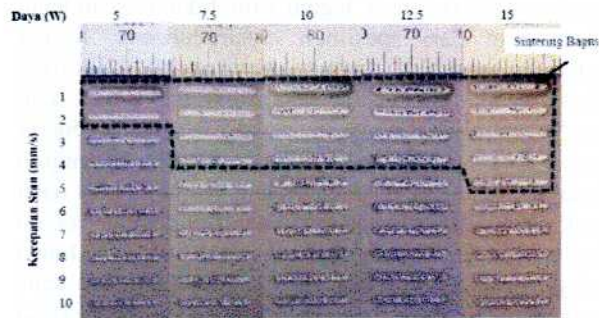
Gambar 1. Skematis mesin SLS



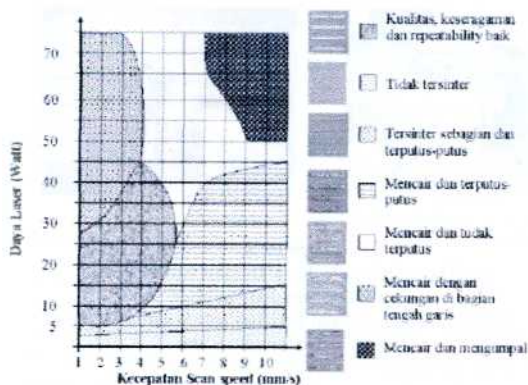
Gambar 2.
(a) Tray untuk percobaan karakteristik interaksi serbuk logam dengan laser,
(b) Jig untuk percobaan bonding antara serbuk logam dan *electroceramic* padat

2. Experimen untuk mengetahui karakteristik interaksi serbuk logam dengan laser

Experimen awal difokuskan kepada pemahaman mengenai parameter menscan dengan laser yang dapat menyebabkan serbuk *ferrite* tersinter/mencair. Experimen ini dilakukan dengan cara menscan satu garis laser dan dengan memvariasikan daya laser yang digunakan serta kecepatan gerak laser ketika menscan. Hasil dari satu set experimen dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil sintering yang bagus didefinisikan yang menghasilkan sampel dengan kualitas, repeatability dan keseragaman yang tinggi. Gambar 4 menunjukkan hasil proses pemetaan scan satu garis dengan menggunakan daya laser dan kecepatan menscan yang bervariasi. Sintering bagus dihasilkan dari hasil scan dengan daya laser sebesar 5 s/d 45 Watt dan dengan kecepatan menscan sebesar 1 s/d 5 mm/s. Ketebalan sampel yang dihasilkan dari proses dengan kondisi di atas adalah sebesar 0.4 s/d 0.9 mm.



Gambar 3. Hasil sintering scan satu garis laser dengan memvariasikan daya laser dan kecepatan gerak laser ketika menscan.



Gambar 4. Hasil proses pemetaan scan satu garis dengan menggunakan daya laser dan kecepatan menscan yang bervariasi.

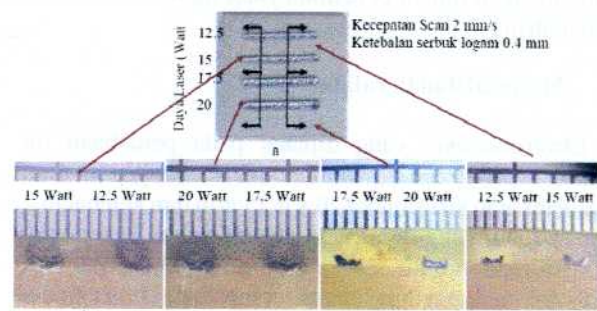
4. Eksperimen bonding dan pengamatan

4.1. Satu garis discan pada serbuk logam ferrite dengan electroceramic dibawahnya

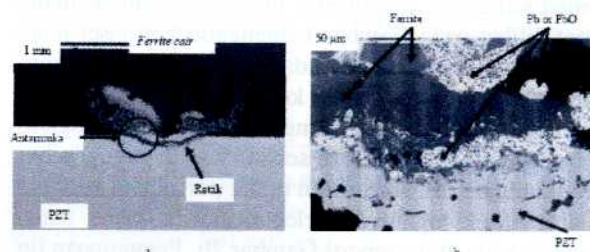
Percobaan awal yang ditujukan untuk membonding logam ferrite dan spesimen electroceramic padat dengan menggunakan sinar laser adalah sederhana saja dengan menggunakan sebuah jig seperti Gambar 2b, dimana serbuk ferrite dengan ketebalan 0.4 mm ditaburkan secara merata diatas sebuah spesimen electroceramic padat, dan kemudian dengan menscan sinar laser yang akan menyebabkan serbuk logam ferrite tersinter/mencair dan terbonding dengan electroceramic di bawahnya. Gambar 5 menunjukkan gambar potongan salah satu spesimen hasil percobaan ini. Hasil gambar dengan menggunakan SEM (scanning Electron Microscopic) juga dapat dilihat pada Gambar 6. Pada spesimen diatas serbuk logam yang tidak terscan telah dibersihkan dari spesimen electroceramic. Kedua gambar tersebut diatas menunjukkan bahwa electroceramic mengalami keretakan saat proses scan laser karena energi panas kejut yang terjadi saat energi laser ditransferkan ke electroceramic. Walaupun demikian, Gambar ini juga menunjukkan adanya hasil yang positif dari serangkaian tes tersebut yakni: logam ferrite menyatu dengan baik, dan adanya tanda terjadinya reaksi bonding pada antarmuka kedua jenis material (logam ferrite dan electroceramic). Pada Gambar 6b dapat terlihat bahwa lead atau oksida lead terpisah dari electroceramic untuk membentuk sebuah antarmuka antara logam ferrite dan electroceramic. Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa jika panas kejut pada electroceramic dapat dikurangi maka bonding yang kuat akan dapat dihasilkan antara logam ferrite dan electroceramic.

Salah satu cara yang terlihat jelas untuk dapat mengurangi panas kejut pada electroceramic adalah dengan mengurangi daya laser yang digunakan. Dari

hasil experiment ditentukan bahwa untuk menghindari keretakan pada electroceramic digunakan laser dengan daya kurang dari 12 Watt dan kecepatan scan laser antara 2 s/d 5 mm/s. Pada experimen dengan menggunakan daya laser yang rendah, walaupun keretakan pada electroceramic tidak terjadi tetapi daya laser sekecil ini tidak cukup untuk menyebabkan serbuk logam ferrite untuk mencair atau walaupun mencair tetapi tidak menghasilkan bonding antara logam ferrite dengan electroceramic di bawahnya. Dengan mempertimbangkan hasil proses pemetaan pada Gambar 4 maka energi tambahan dibutuhkan agar dihasilkan reaksi bonding antara kedua jenis material tersebut.



Gambar 5. Gambar potongan sampel hasil scan satu garis pada serbuk logam ferrite dengan electroceramic dibawahnya.



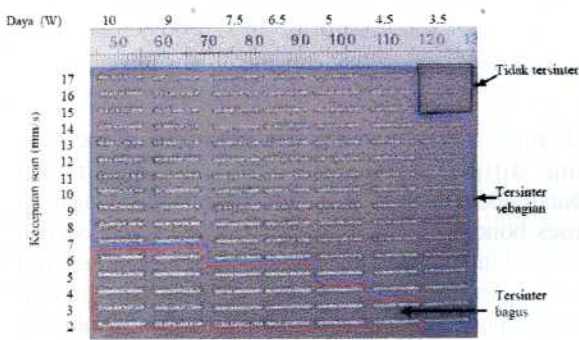
Gambar 6. (a) SEM dari spesimen pada gambar 5e, (b) SEM area yang didalam lingkaran

4.2. Satu garis discan secara berulang pada serbuk logam ferrite

Untuk mengurangi panas kejut pada electroceramic, dibutuhkan pemanasan awal pada electroceramic tersebut. Ada beberapa alternatif yang dipertimbangkan sebagai metode pemanasan awal tersebut, tetapi dari studi kelayakannya diputuskan bahwa cara yang paling efektif untuk pemanasan awal adalah melalui proses scan serbuk logam berulang kali dengan daya laser rendah. Untuk menyelidiki metode ini maka sejumlah experimen telah dilakukan yakni dengan menggunakan logam ferrite untuk mengetahui efek metode scan berulang ini. Serangkaian experimen dilakukan untuk menguji pengaruh daya laser, kecepatan scan dan jumlah pengulangan scan terhadap penyatuan serbuk ferrite. Pengulangan scan dilakukan dalam arah yang sama

dengan waktu jeda rata-rata 0.22 detik dari akhir scan sebelumnya. Sedangkan waktu total antara penscanan pada titik yang sama bervariasi dari 0.81 detik (untuk kecepatan scan 17 mm/s) sampai dengan 5.22 detik (untuk kecepatan scan 2 mm/s). Pada Gambar 7 dapat dilihat satu set hasil eksperimen dari proses ini dengan definisi sintering yang baik sama dengan definisi pada bagian 3.

Dengan membandingkan Gambar 7 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa ada perubahan pada parameter proses yang menghasilkan hasil sintering yang bagus. Untuk daya laser yang sama maka hasil sintering yang bagus terjadi pada kecepatan scan yang lebih cepat untuk scan berulang. Secara keseluruhan diperoleh bahwa pengulangan scan sampai empat kali menyebabkan perubahan yang cukup berarti terhadap penyatuan serbuk logam, tetapi pengulangan yang lebih dari empat kali perubahannya tidak begitu kelihatan. Selain hal di atas, ketebalan hasil scan juga berkurang, spesimen yang terdapat pada Gambar 7 mempunyai ketebalan 0.2 s/d 0.4 mm.



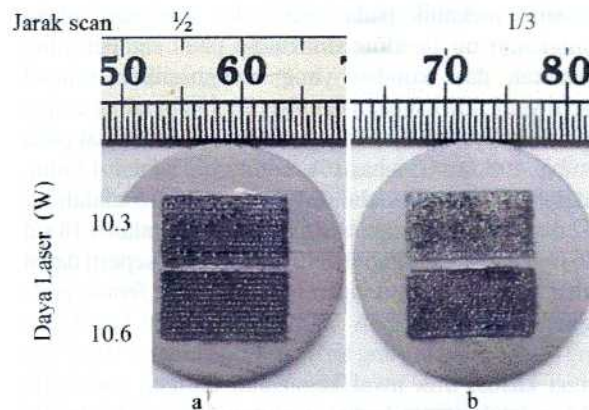
Gambar 7. Satu set hasil eksperimen satu garis discan secara berulang sebanyak 4 kali pada serbuk logam ferrite.

4.3. Satu garis discan secara berulang pada serbuk logam ferrite dengan electroceramic di bawahnya

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan spesimen hasil bonding dengan metoda scan secara berulang. Untuk semua eksperimen yang dilaporkan pada bagian ini, ketebalan serbuk logam yang ditaburkan menutupi electroceramic adalah 0.15 mm. Seperti terlihat pada Gambar 8, eksperimen terbukti cukup berhasil apabila serbuk logam yang dibonding di atas electroceramic berupa lapisan dibandingkan dengan yang berupa garis saja.

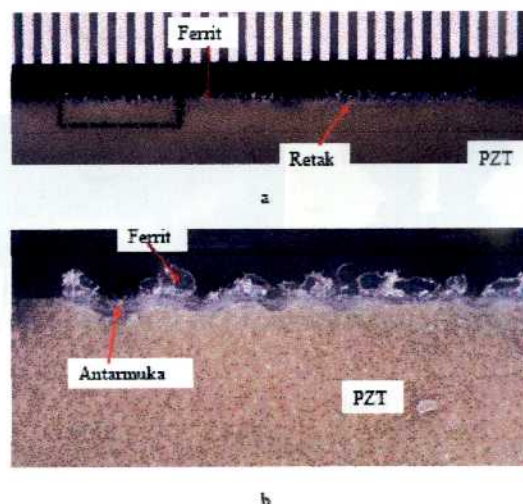
Untuk sampel yang terlihat pada Gambar 8, masing masing garis discan dua kali dengan waktu jeda rata-rata 0.22 detik dari akhir scan sebelumnya ke titik awal pengulangan scan. Garis yang bersebelahan memiliki jarak yang disebut *scan spacing*, jadi spesimen pada Gambar 8a scan berjarak setengah diameter laser dan pada Gambar 8b berjarak sepertiga diameter laser. Jarak

yang sedekat itu berarti bahwa setengah atau sepertiga bagian dari spesimen hasil scan di scan lagi.



Gambar 8. Spesimen hasil bonding dengan metoda scan secara berulang, masing masing garis discan 2 kali dengan kecepatan scan 2 mm/s.

Gambar 9a menunjukkan bahwa proses yang dilakukan dengan metode scan berulang tidak menjamin tidak terjadinya keretakan pada electroceramic, tetapi pada Gambar 9b terlihat spesimen tanpa adanya retak dan adanya antarmuka antara electroceramic dan logam ferrite. SEM sampel ini menunjukkan bahwa antarmuka seperti yang terlihat pada Gambar 6b, terbentuk dari campuran antara logam ferrite dan electroceramic. Ketebalan antarmuka relative tetap 0.1 mm. Analisa Energy dispersive X-ray pada sampel antarmuka menunjukkan bahwa pada titik di antarmuka yang dekat dengan electroceramic terdapat 25% berat Fe dan di bagian yang jauh dengan electroceramic terdapat 70% berat Fe. Ini menunjukkan perubahan secara perlahan di sepanjang 0.1 mm ketebalan antarmuka dari Ferrite ke Electroceramic.

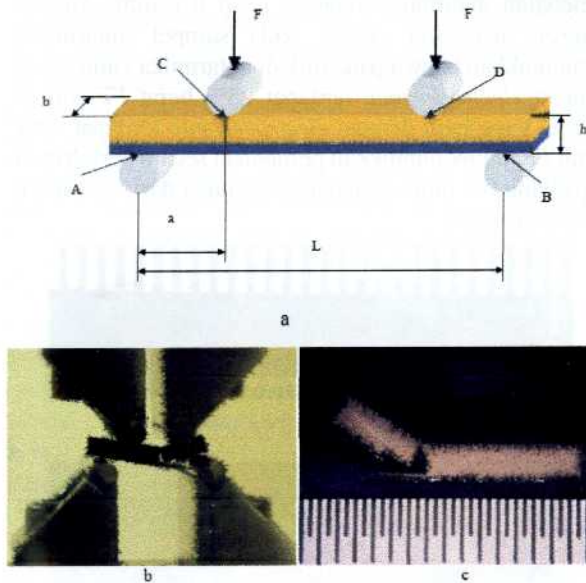


Gambar 9. (a) Potongan penampang specimen hasil proses yang dilakukan dengan metode scan berulang (b) Perbesaran area pada kotak di Gambar 9a.

4.4. Uji Bending

Untuk mendapatkan pengujian mekanik awal dari sifat-sifat mekanik pada antarmuka spesimen, maka serangkaian uji bending dilakukan pada sampel yang dihasilkan dari kondisi yang menghasilkan sampel seperti yang terlihat pada Gambar 8b. Uji bending empat titik dilakukan, set up pengujiannya seperti terlihat pada Gambar 10a dan Gambar 10b. Dimensi L adalah 13 mm, a adalah 2.75 mm, h adalah 2.2 ± 0.1 mm dan b adalah 1.5 s/d 2 mm. Ketebalan lapisan logam ferrite adalah 0.18 s/d 0.36 mm. Delapan sampel diuji dengan arah seperti dapat dilihat pada gambar, dengan lapisan logam ferrite pada bagian tarik. Kedelapan sampel mengalami kegagalan yang setipe dengan yang terlihat pada Gambar 10c. Pada semua kasus, titik awal kegagalan dimulai pada titik yang terletak antara kedua penumpu bagian dalam. Ini menandakan bahwa pengujian adalah sah berlaku. Pada semua kasus kegagalan dimulai pada titik yang terletak pada bagian material electroceramic, kira-kira 0.5 mm dari antarmuka.

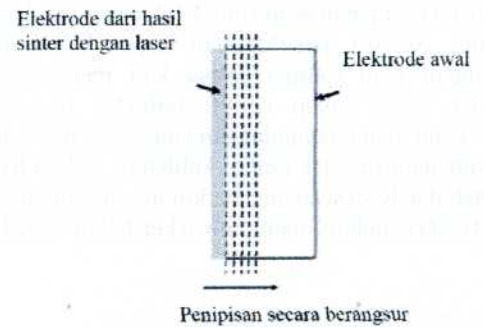
Dari kedelapan pengujian, beban rata-rata yang menyebabkan kegagalan adalah 30 N (berkisar antara 23 s/d 41 N), yakni kira-kira sama dengan nilai tekanan maksimum rata-rata dalam spesimen yakni sebesar 60 MN/m². Harga kekuatan tarik maksimum electroceramic yang diuji diketahui sebelumnya adalah 76 MN/m².



Gambar 10. Uji bending: (a) dan (b) Susunan pengujian, (c) hasil pengujian

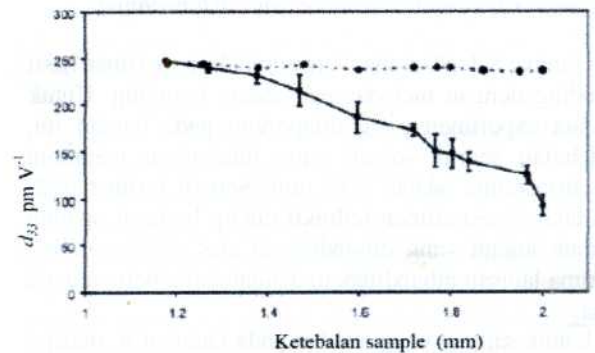
4.4. Pengukuran sifat-sifat listrik dan piezoelectric

Beberapa sampel berbentuk persegi dipotong dengan menggunakan gergaji bermata potong intan. Spesimen ini ditipiskan secara berangsur-angsur (Gambar 11) sehingga bagian yang masih melekat logam hasil sintering dan bagian electroceramic yang terkena efek laser sintering terbuang, tetapi masih meninggalkan elektroda awal utuh. Electroceramic yang digunakan adalah electroceramic yang telah terpolarisasi sebelum dilakukan proses bonding dengan laser.

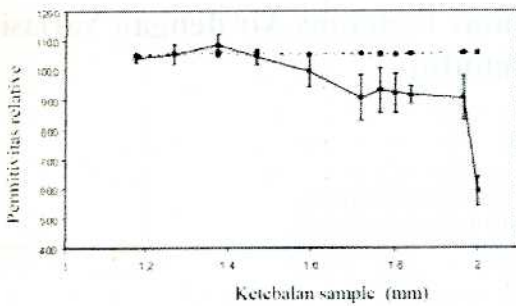


Gambar 11. Skematis teknik penipisan secara berangsur untuk menganalisa sifat listrik dan piezoelectric

Permittivitas relative dan d_{33} diukur untuk spesimen yang ditipiskan secara berangsur-angsur dan dibandingkan dengan spesimen yang tidak mengalami proses bonding dengan laser. Permittivitas relative dan d_{33} diukur dengan menggunakan piezo-meter (uji piezo). Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan efek penipisan material electroceramic terhadap permittivitas relative dan d_{33} . Untuk masing-masing titik data, nilai rata-rata lima buah sampel digunakan untuk kedua jenis sampel (yang dibonding dengan laser dan yang tidak diproses).



Gambar 12. d_{33} sebagai fungsi ketebalan sampel yang dikurangnya secara berangsur-angsur. Garis putus-putus menunjukkan data untuk sampel yang tidak disinter dengan laser.



Gambar 13. Permittivitas relative sebagai fungsi ketebalan sampel yang dikurangi secara berangsur-angsur. Garis putus-putus menunjukkan data untuk sampel yang tidak disinter dengan laser.

Setelah membuang sekitar 800 μm ketebalan *electroceramic* yang mengalami proses bonding dengan laser, nilai d_{33} kembali pada nilai yang sama dengan sampel yang tidak mengalami proses. Dengan membuang sekitar 550 μm ketebalan *electroceramic* menunjukkan nilai permittivitas relative kembali ke nilai semula (nilai yang dimiliki spesimen yang tidak mengalami proses laser). Ini mungkin dapat diterangkan oleh tipe kerusakan yang terjadi selama proses sintering dengan laser.

Panas kejut atau pemanasan sampai temperatur mendekati temperatur transisi (temperatur yang mana diatas temperatur tersebut material *electroceramic* tidak lagi mempunyai sifat *piezoelectric*, dalam hal ini *electroceramic* yang digunakan mempunyai temperatur transisi 320°C) akan cukup membuat turunnya nilai d_{33} . Permittivitas relative juga sedikit dipengaruhi oleh proses polarisasi *electroceramic* ini, tetapi untuk dapat menyebabkan penurunan yang dapat diamati, maka kerusakan secara fisik pasti terjadi baik secara kimia maupun secara fisik. Kerusakan secara kimia dapat saja berupa kehilangan PbO yang mengakibatkan perubahan komposisi *electroceramic*. Sedangkan kerusakan secara fisik dapat saja berupa retak, akibat udara masuk kedalam struktur *electroceramic* yang mengakibatkan penurunan permittivitas relative *electroceramic*. Hal yang menarik dari grafik Gambar 13 adalah ditunjukkannya bahwa setelah proses penipisan ketebalan *electroceramic* pertama, yang hanya membuang bagian electrode hasil laser sintering ditambah sedikit bagian *electroceramic*, terjadi peningkatan nilai permittivitas relative yang tertinggi.

5. Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dapat diambil beberapa kesimpulan seperti dibawah ini:

- Penggunaan laser yang discan pada serbuk logam untuk menghasilkan bonding antara logam dan *electroceramic* terlihat untuk dapat dilakukan, tetapi pengontrolan proses harus dilakukan dengan sangat hati-hati untuk menghasilkan

bonding dengan kualitas yang bagus sementara tetap mempertahankan keutuhan material *electroceramic*.

- Penscanan yang dilakukan secara berulang terlihat menjanjikan menjadi metode yang dapat mengurangi terjadinya kerusakan pada *electroceramic* yang disebabkan oleh panas kejut.
- Kerusakan yang terjadi pada *electroceramic* karena penggunaan sintering dengan laser telah di karakterisasikan dengan menggunakan analisa secara mekanis, listrik dan *piezoelectric*.

6. Ucapan terima kasih

Pekerjaan yang diuraikan dalam makalah ini didukung oleh proyek Engineering Education Development Project Award dari Menteri Pendidikan Nasional. Ucapan terima kasih diucapkan kepada Timothy P. Comyn, Andrew W. Tavernor atas bantuannya untuk kelancaran eksperimen ini. Banyak terima kasih diucapkan kepada Nicholas Jones of Morgan Electroceramic atas penyediaan material *electroceramic*nya. Tak lupa juga diucapkan terima kasih kepada Kenneth W. Dalgarno atas bimbingannya dalam pekerjaan ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Raneraat, J. Van dan R. E. Settrington, *Piezoelectric Ceramics*, Mullard Ltd., 1974.
- Uchino, K., *Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors*, Kluwer Academic Publications, 1974.
- Faffe, B., Cook, W.R., dan Jaffe, H., *Piezoelectric Ceramics*, Academic Press, 1971.
- Park, J. M., Kim, D.S. dan Han, S.B., *Composite Science Technology*, **60**, 2000.
- Sayers, C. M., dan Tait, C.E., *Ultrasonics*, **22**, 1984.
- Gómez, T.E., *IEEE Trans. Ultra. Ferro. Freq. Con.*, **51**, (2004), 624.