

**SURAT PERJANJIAN
PELAKSANAAN PENELITIAN**



LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 1 dari 7

PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi NOMOR : 100/Penelitian/PTUPT/UN34.21/2019

Pada hari ini **Senin** tanggal **Satu** bulan **April** tahun **Dua Ribu Sembilan Belas** kami yang bertanda tangan di bawah ini :

1. Dr. Suyanta, M.Si. : Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Negeri Yogyakarta yang beralamat di Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama UNY; selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**.
2. Dr. Eng. Didik Nurhadiyanto, M.T. : Dosen dari Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, yang beralamat di Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta, dalam hal ini bertindak sebagai Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2019 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA yang selanjutnya secara bersama-sama disebut **PARA PIHAK** Dengan berdasarkan pada ketentuan sebagaimana tersebut di bawah ini:

1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2003, tentang Keuangan Negara
2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional
3. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 01 Tahun 2004, tentang Perbendaharaan Negara.
4. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2004, tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Keuangan Negara;
5. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
6. Peraturan Presiden Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi;
7. Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah;
8. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 32/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Masukan Tahun 2019;
9. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 60/PMK.02/2018 tentang Persetujuan Kontrak Tahun Jamak oleh Menteri Keuangan;
10. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 69/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun 2019;
11. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015, tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;
12. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 69 Tahun 2016 tentang Tata Cara Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer Penelitian;
13. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2018 tentang Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri;
14. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2018 tentang Penelitian;



SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 2 dari 7

15. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 209/M/KPT/2018 tentang Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Edisi XII;
16. Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan Republik Indonesia Nomor : 15/PB/2017 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pembayaran Anggaran Penelitian Berbasis Standar Biaya Keluaran Sub Keluaran Penelitian;
17. Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 01/E1/KPT/2019 tentang Pejabat Pembuat Komitmen Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;
18. Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 7/E/KPT/2019 tentang Penerima Pendanaan Penelitian di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2019;
19. Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2019 antara Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dengan Universitas Negeri Yogyakarta Nomor: 194/SP2H/LT/DRPM/2019

PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Pelaksanaan Penelitian dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

**Pasal 1
PELAKSANAAN PENELITIAN**

- (1) PIHAK PERTAMA memberi tugas kepada PIHAK KEDUA, dan PIHAK KEDUA menerima tugas tersebut sebagai penanggung jawab pelaksanaan Penelitian dengan judul : **"Peningkatan Performa Gasket Metal Bergelombang Melalui Proses Coating Multi Layered"**
- (2) PIHAK PERTAMA memberi tugas kepada PIHAK KEDUA, dan PIHAK KEDUA bersedia:
 - a. Dipantau dan dievaluasi;
 - b. Dinilai luaran penelitian;
 - c. Dilakukan validasi luaran tambahan;oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi.
- (3) PIHAK PERTAMA memberikan dana Penelitian yang tersebut pada Pasal 1 sebesar **Rp 211.125.000 (Dua Ratus Sebelas Juta Seratus Dua Puluh Lima Ribu Rupiah)** sesuai Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 7/E/KPT/2019 tentang Penerima Pendanaan Penelitian di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2019
- (4) PIHAK KEDUA berhak menerima dana tersebut pada ayat (1) dan berkewajiban menggunakan sepenuhnya untuk pelaksanaan penelitian sebagaimana pasal 1 sampai selesai sesuai ketentuan pembelanjaan keuangan negara



SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 3 dari 7

- (5) Dalam hal PIHAK PERTAMA berhenti dari jabatannya sebelum Surat Perjanjian ini berakhir, maka PIHAK PERTAMA akan menyerahkan tanggungjawabnya kepada pejabat baru yang menggantikan.
- (6) Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.
- (7) Apabila Ketua tim pelaksana penelitian tidak dapat menyelesaikan penelitian atau mengundurkan diri, maka PIHAK KEDUA mengusulkan pengganti Ketua tim pelaksana penelitian yang merupakan salah anggota kepada PIHAK PERTAMA, untuk dimintakan persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.
- (8) Dalam hal tidak adanya pengganti Ketua tim pelaksana penelitian sesuai dengan syarat ketentuan yang ada, maka penelitian dibatalkan dan dana dikembalikan ke Kas Negara

Pasal 2

JANGKA WAKTU PELAKSANAAN PENELITIAN

- (1) Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 terhitung mulai tanggal 01 April 2019 sampai dengan tanggal **30 Oktober 2019**.
- (2) Untuk pendanaan penelitian pada tahun berikutnya, dilakukan Perjanjian Penelitian baru dengan merujuk kepada hasil penilaian atas capaian tahun berjalan yang dilakukan oleh Komite Penilaian dan/atau Reviewer Keluaran Penelitian dari Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.

Pasal 3

CARA PEMBAYARAN

- (1) Pembayaran dana Penelitian ini akan dilaksanakan melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UNY dan dibayarkan secara bertahap ke PIHAK KEDUA dengan ketentuan sebagai berikut :
 - a. Pembayaran sekaligus (100 %) sebesar **Rp.211.125.000 (Dua Ratus Sebelas Juta Seratus Dua Puluh Lima Ribu Rupiah)**
 - b. Pembayaran dana luaran tambahan sebesar **Rp. 15.000.000 (Lima Belas Juta Rupiah)**
- (2) Pembayaran pendanaan penelitian tahap pertama sebagaimana dimaksud pada Pasal 3 ayat (1) huruf a, diberikan dengan ketentuan apabila perbaikan proposal dan rancangan pembiayaan sesuai dengan Pasal 1 ayat (3) sudah diunggah ke laman <http://simlitabmas.ristekdikti.go.id> dengan mengikuti tata cara mengunggah sesuai ketentuan dari Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.
- (3) Dana luaran tambahan sebagaimana dimaksud pada Pasal 3 ayat (1) huruf b dibayarkan kepada PIHAK KEDUA pada bulan **Oktober 2019**.
- (4) Apabila luaran tambahan dinyatakan tidak valid oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan sebagaimana dimaksud Pasal 1 ayat (1), maka dana luaran tambahan yang sudah diterima harus disetorkan kembali ke kas negara.



LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 4 dari 7

- (5) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 ayat (1) akan berikan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA ke melalui rekening sebagai berikut:

Nama : DIDIK NURHADIYANTO
Nomor Rekening : 0039222667
Nama Bank : BNI
Alamat Bank : UGM YOGYA

- (6) PIHAK PERTAMA tidak bertanggung jawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan PIHAK KEDUA dalam menyampaikan data sebagaimana dimaksud pada ayat (6) dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

Pasal 4

PERTANGGUNGJAWABAN AKADEMIK

- (1) PIHAK KEDUA berkewajiban mengunggah ke laman <http://simlitabmas.ristekdikti.go.id> dokumen sebagai berikut :
- Revisi proposal penelitian;
 - Catatan harian pelaksanaan penelitian;
 - Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
 - Laporan akhir penelitian;
 - Luaran penelitian;
- sesuai aturan yang berlaku paling lambat tanggal **16 November 2019**.
- (2) PIHAK KEDUA berkewajiban menyerahkan ke PIHAK PERTAMA dokumen sebagai berikut dalam bentuk *softcopy* dan *hardcopy*:
- Laporan akhir penelitian;
 - Luaran penelitian;
 - Hardcopy* dari laporan hasil penelitian sebanyak 2 (dua) eksemplar dan luaran penelitian sebanyak 1 (satu) eksemplar dengan ketentuan sebagai berikut :
 - Bentuk/ukuran kertas ukuran A4.
 - Warna cover **merah**
 - Di bagian bawah cover ditulis :

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi
Sesuai Kontrak Penelitian Anggaran Tahun 2019
Nomor: 080/SP2H/LT/DRPM/2019

- (3) PIHAK KEDUA berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib penelitian berupa : **Hak Cipta, Dokumen Feasibility Study**
- (4) PIHAK KEDUA diharapkan dapat mencapai target luaran tambahan penelitian berupa: **Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional**



SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 5 dari 7

- (5) PIHAK KEDUA berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dan ayat (3) kepada PIHAK PERTAMA;
- (6) Mempresentasikan hasil penelitiannya pada seminar yang akan dilaksanakan oleh PIHAK PERTAMA
- (7) Luaran penelitian yang berupa publikasi ilmiah wajib mencantumkan pemberi dana penelitian.

Pasal 5

PERTANGGUNGJAWABAN KEUANGAN

- (1) PIHAK KEDUA berkewajiban mempertanggungjawabkan pembelanjaan dana yang telah diterima dari PIHAK PERTAMA dan menyimpan bukti-bukti pengeluaran yang telah disesuaikan dengan ketentuan pembelanjaan keuangan Negara.
- (2) Perpajakan yang timbul atas transaksi penggunaan dana penelitian menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA disetorkan ke Kantor Pelayanan Pajak, pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5 %, pajak pajak lain sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- (3) PIHAK KEDUA berkewajiban mengembalikan sisa dana yang tidak dibelanjakan kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan ke Kas Negara.
- (4) Biaya pajak materai dalam surat perjanjian ini dibebankan pada PIHAK KEDUA
- (5) PIHAK KEDUA berkewajiban menunggah ke laman <http://simlitabmas.ristekdikti.go.id> dokumen Surat Pertanggungjawaban Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan, sesuai aturan yang berlaku paling lambat tanggal 16 November 2019.
- (6) PIHAK KEDUA berkewajiban menyerahkan ke PIHAK PERTAMA dokumen Surat Pertanggungjawaban Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan.

Pasal 6

SANKSI

- (1) Apabila sampai batas waktu perjanjian PIHAK KEDUA belum menyerahkan laporan akhir hasil penelitian kepada PIHAK PERTAMA, maka PIHAK KEDUA dikenakan sanksi berupa bunga keterlambatan sebesar 1‰ (satu permil) setiap hari keterlambatan sampai dengan setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai surat perjanjian pelaksanaan penelitian, terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan sampai dengan berakhirnya pembayaran dana penelitian oleh PIHAK PERTAMA.
- (2) Bagi Peneliti yang tidak dapat menyelesaikan kewajibannya dalam Tahun Anggaran yang sedang berjalan dan waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka seluruh dana yang belum sempat dicairkan dinyatakan hangus dan kembali ke Kas Negara.
- (3) Apabila PIHAK KEDUA tidak dapat melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 maka harus mengembalikan seluruh dana yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA, untuk selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (4) Apabila dikemudian hari terbukti bahwa judul penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 dijumpai adanya indikasi plagiat dengan penelitian lain dan/atau diperoleh indikasi ketidakjujuran dan itikad kurang baik yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka penelitian tersebut dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan seluruh dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetor ke Kas Negara.



SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 6 dari 7

- (5) Dalam hal tidak dipenuhinya Pertanggungjawaban Akademik sebagaimana dimaksud Pasal 4 dan Pertanggungjawaban Keuangan sebagaimana dimaksud Pasal 5, maka PIHAK KEDUA dikenai sanksi administratif.
- (6) Sanksi administratif sebagaimana dimaksud pada ayat (5) dapat berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut turut.

**Pasal 7
HASIL PENELITIAN**

- (1) Hasil Penelitian berupa Hak Kekayaan Intelektual dari pelaksanaan penelitian tersebut diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku.
- (2) Setiap publikasi, makalah, dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini wajib mencantumkan pemberi dana dalam hal ini Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat ,Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi;
- (3) Hasil penelitian berupa peralatan dan atau alat (barang inventaris) yang dibeli dari kegiatan penelitian ini adalah milik negara yang dapat dihibahkan kepada Universitas Negeri Yogyakarta atau Lembaga Pemerintah lain melalui Berita Acara Serah Terima (BAST).

**Pasal 8
KEADAAN KAHAR**

- (1) PARA PIHAK dibebaskan dari tanggungjawab atas keterlambatan atau tidak terlaksananya kewajiban seperti tercantum dalam perjanjian penelitian disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian diluar kekuasaan PARA PIHAK yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (*force majeure*) yang secara langsung mempengaruhi terlaksananya perjanjian penelitian, antara lain : bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade ekonomi, sabotase, revolusi, pemberontakan, kekacauan, huru-hara, kerusuhan, mobilisasi, keadaan darurat, gangguan navigasi;
- (2) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*) sebagaimana dimaksud pada ayat (1) di atas, maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak yang berwenang secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (*force majeure*) untuk mendapatkan pengesahan, dan PARA PIHAK dengan i'tikat baik segera membicarakan penyelesaiannya.

**Pasal 9
PENUTUP**

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara PARA PIHAK dalam pelaksanaan perjanjian penelitian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah;
- (2) Surat Perjanjian pelaksanaan penelitian ini dibuat rangkap 2 (dua), dan dibubuhi meterai sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan mempunyai kekuatan hukum yang sama.



LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 7 dari 7

- (3) Pasal-pasal dalam perjanjian ini bersifat mengikat secara mutlak, apabila terjadi perubahan atau penambahan terhadap isi perjanjian ini, PIHAK PERTAMA dan PIHAK KEDUA dapat melakukan musyawarah dan dituangkan dalam Addendum Perjanjian yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari perjanjian ini.

PIHAK KEDUA

Dr. Eng. Didik Nurhadiyanto, M.T.
NIDN 0004067103

PIHAK PERTAMA

Dr. Suyanta, M.Si.

NIP 196605081992031002

LAPORAN PENELITIAN

Kode>Nama Rumpun Ilmu: 431/Teknik Mesin (dan Ilmu
Permesinan Lain)
Bidang Fokus : Material maju

LAPORAN

PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



PENINGKATAN PERFORMA GASKET METAL BERGELOMBANG MELALUI PROSES *COATING MULTI LAYERED*

Ketua Tim Peneliti

Dr. Eng. Didik Nurhadiyanto, MT.
NIDN. 0004067103

Dr. Ir. Mujiyono, MT., W.Eng. IPM.
NIDN. 0015057109

Dr. Sutopo, MT.
NIDN. 0013037104

Dibiayai oleh:

**Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi
Sesuai Kontrak Penelitian Anggaran Tahun 2019
Nomor: 080/5P2H/LT/DRPM/2019**

**UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
OKTOBER, 2019**

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI

Judul Penelitian : PENINGKATAN PERFORMA GASKET METAL BERGELOMBANG MELALUI PROSES COATING MULTI LAYERED

Jenis Usulan : Institusi

Bidang Fokus : Material Maju

Kode>Nama Rumpun Ilmu : Kode 431/Teknik Mesin (dan Ilmu Permesinan Lain)

Tema Isu Strategis Nasional : Pembangunan manusia dan daya saing bangsa (Human development & competitiveness)

Ketua Peneliti :

a. Nama Lengkap : Dr. Eng. Ir. DIDIK NURHADIYANTO, S.T., M.T.

b. NIDN : 0004067103

c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala

d. Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

e. Nomor HP/Surel : 081804293605/didiknur@uny.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Dr. Ir. MUJIYONO, MT. W.Eng.

b. NIDN : 0015057109

c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Yogyakarta

Anggota Peneliti (2)

a. Nama Lengkap : Dr. Ir. SUTOPO, S.Pd., M.T.

b. NIDN : 0013037104

c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Yogyakarta

Institusi Mitra :

a. Nama Institusi Mitra : PT Bhakti Bunga Ananda-Gas Companies

b. Alamat : Kalasan, Yogyakarta

c. Penanggung Jawab : Ardana, BE., SSP., M.Si.

Lama Penelitian Keseluruhan : 2 tahun

Usulan Penelitian ke- : 1

Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp 211,125,000.00

Biaya Penelitian

- Dana DRPM : Rp 211,125,000.00

- Dana internal PT : Rp 0

- Dana institusi lain : Rp 0 /in kind tuliskan:

Biaya Luaran Tambahan : Rp 15,000,000.00

Kab. Sleman, 29 Oktober 2019
Ketua Tim Peneliti,

Didik Nurhadiyanto

Dr. Eng. Ir. DIDIK NURHADIYANTO, S.T., M.T.
NIP. 19710604 199702 1 001



Prof. HERMAN DWI SURJONO, M.Sc., MT., Ph.D.)
NIP. 19640205 198703 1 001



IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

1. Judul Penelitian : Peningkatan Performa Gasket Metal Bergelombang Melalui Proses *Coating Multi Layered*
2. Tim Peneliti

No	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Instansi Asal	Alokasi Waktu (Jam/minggu)
1	Dr. Eng. Ir. Didik Nurhadiyanto, MT.	Ketua	Rekayasa Perancangan dan Manufaktur	UNY	10
2	Dr. Ir. Mujiyono, MT., W.Eng. IPM.	Anggota 1	Material	UNY	8
3	Dr. Ir. Sutopo, MT.	Anggota 2	Pemesinan	UNY	8

3. Objek Penelitian (jenis material yang akan diteliti dan segi penelitian): Penelitian ini adalah gasket metal bergelombang ukuran 25A. Gasket metal bergelombang ini sudah dikembangkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, termasuk pengusul proposal ini. Objek penelitian ini adalah merekayasa gasket yang sudah ada yang memiliki kelemahan, yaitu masih memerlukan gaya pengetatan yang tinggi dan masih ada yang bocor pada kekasaran tertentu. Untuk itu kami akan melakukan pelapisan *multi layered* material gasket dengan material yang lebih lunak. Pelapisan multi layered ini menggunakan material yang sama atau kombinasi di antara ketiga material. Material gasket ini adalah SUS304 dan pelapisnya adalah nikel murni, tembaga murni atau aluminium murni. Bila pelapisan ini berhasil maka akan diperoleh gasket dengan kekakuan gasket yang tinggi untuk memperoleh *contact stress* tinggi. Karena bahan pelapisnya lebih lunak maka material ini akan mengisi kekasaran flens yang ada sehingga diperoleh *contact width* yang lebih besar. *Contact width* yang lebih lebar dan *contact stress* yang tinggi akan mengurangi tingkat kebocoran.
4. Masa Pelaksanaan
Mulai : bulan : April tahun: 2019
Berakhir : bulan : Nopember tahun: 2020
5. Usulan Biaya DRPM Ditjen Penguatan Risbang
 - Tahun ke-1 : Rp. 211.125.000,00
6. Lokasi Penelitian (lab/studio lapangan): Bengkel Fabrikasi PTM FT UNY, Bengkel Pemesinan PTM FT UNY, Lab Mekanika Terapan PTM FT UNY, dan Lab. Desain Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
7. Instansi lain yang terlibat (jika ada, dan uraikan apa kontribusinya).
Dalam penelitian ini kami melibatkan Lab Desain Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Fakultas Teknik Universitas Udayana Bali, sebagai rekan dalam melakukan simulasi, dan PT. Bhakti Bunga Ananda-Gas Companies.
8. Temuan yang ditargetkan (penjelasan gejala atau kaidah, metode, teori, atau antisipasi yang dikonstruksikan pada bidang ilmu).
Temuan yang ditargetkan adalah dihasilkan:

- a. Analisis simulasi menggunakan FEM tentang *contact stress* dan *contact width* untuk proses pengetatan gasket metal bergelombang dengan pelapisan nikel, tembaga dan aluminium secara *multi layered* dengan material yang sama atau gabungan ketiga material sehingga diperoleh ketebalan dan kombinasi yang paling optimal.
 - b. Metode *coating* nikel dan tembaga terhadap material gasket dari SUS304.
 - c. Gasket metal bergelombang yang sudah di-*coating* untuk mencegah kebocoran dengan gaya pengetatan yang rendah.
9. Kontribusi mendasar pada suatu bidang ilmu (uraikan tidak lebih dari 50 kata, tekankan pada gagasan fundamental dan orisinal yang akan mendukung pengembangan iptek).
Diperolehnya metode *coating* material SUS304 menggunakan nikel dan tembaga. Diperoleh gasket metal bergelombang berlapis nikel dan tembaga sehingga meningkatkan *contact stress* dan *contact width*. Peningkatan ini bisa mencegah kebocoran dan menurunkan gaya pengetatan. Gasket metal bergelombang ini sebagai pengganti material asbes yang tahan temperatur tinggi dan zat kimia akan segera teratasi.
10. Jurnal ilmiah yang menjadi sasaran (tuliskan nama terbitan berkala ilmiah internasional bereputasi, nasional terakreditasi, atau nasional tidak terakreditasi dan tahun rencana publikasi).
Jurnal ilmiah sasaran adalah *Journal of Engineering Science and Technology* pada tahun 2019 sudah bisa submit.
11. Rencana luaran HKI, buku, purwarupa atau luaran lainnya yang ditargetkan, tahun rencana perolehan atau penyelesaiannya.
Rencana luaran yang akan dihasilkan adalah paten sederhana HKI pada tahun 2020.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
IDENTITAS DAN URAIAN UMUM	iii
DAFTAR ISI	v
RINGKASAN	vi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Perumusan Masalah	2
1.3.Tujuan Khusus	2
1.4.Manfaat dan Target Riset	2
1.5. Rencana Capaian Tahunan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. <i>State of Art Review</i>	4
2.2.Studi Pendahuluan yang Sudah Dilakukan	4
2.3.Gasket Metal Bergelombang	7
2.4.Proses Coating	8
BAB 3. METODE PENELITIAN	12
3.1.Bahan Penelitian	12
3.2.Mesin Uji dan Peralatan Penelitian	14
3.3. Proses Penelitian Secara Keseluruhan	19
3.4.Bagan Alir Penelitian	21
3.5.Proses Penelitian Tahun 2019	23
BAB 4. BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN	47
4.1. Anggaran Biaya	48
4.2. Jadwal Penelitian	48
BAB 5. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	49
5.1. Analisis Simulasi	49
5.2. Analisis Eksperimen	50

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	57
6.1. Kesimpulan	57
6.2. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN-LAMPIRAN	60
Lampiran 1. Susunan Organisasi dan Pembagian Tugas Tim Peneliti	61
Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Pengusul	62

RINGKASAN

Gasket dari material asbes sangat baik untuk mencegah kebocoran. Hal ini ditandai dengan kisaran temperatur yang tinggi dan ketahanan terhadap pengaruh kimia. Tetapi material asbes sangat berbahaya karena menyebabkan penyakit yang serius. Penggunaan material asbes di seluruh dunia sangat banyak, tetapi saat ini sudah dilarang.

Para peneliti memiliki tantangan untuk mencari material gasket alternatif setelah produksi dan penggunaan asbes dilarang. Material ini diharapkan memiliki performa yang bagus seperti asbes. Penggunaan material gasket pengganti asbes sudah dilakukan antara lain grafit, fiber glass, fiber keramik, resin fluorkarbon memerlukan biaya yang mahal dan masih memiliki permasalahan dalam penggunaan gasket dan *life time* yang pendek.

Penelitian berikutnya adalah pengembangan gasket metal bergelombang. Banyak peneliti yang sudah melakukan penelitian ini. Gasket dibuat bergelombang supaya diperoleh *contact stress* yang tinggi sehingga membentuk garis segel yang rapat. Di samping itu untuk mengurangi gaya aksial yang tinggi. Penelitian ini sudah dilakukan dan sudah diperoleh desain gasket yang optimum. Gasket yang diperoleh sudah menunjukkan tidak ada kebocoran. Namun masih dibutuhkan gaya pengetatan masih cukup tinggi. Pada kekesaran permukaan flens yang tinggi masih terdapat kebocoran. Kebocoran ini disebabkan adanya tidak kontak antara gasket dengan flens.

Untuk mengatasi tingginya gaya pengetatan dan kebocoran tersebut, peneliti berusaha merekayasa dengan membuat permukaan gasket yang lebih lunak dari material SUS304 sebagai material gasket. Dengan membuat permukaan yang lebih lunak tetapi kekakuan gasket tidak berubah, yaitu dengan cara *coating multi layered* terhadap material yang lebih lunak. Material coating adalah nikel dan tembaga dibuat beberapa layar baik dengan material sama atau berbeda. Diharapkan material tersebut bisa mengisi ruang antara gasket dan flens yang tidak kontak.

Penelitian ini dimulai dari desain gasket, desain dies, proses forming, proses coating gasket, sampai uji kebocoran. Selain itu dilakukan simulasi untuk mengetahui besaran *contact stress* dan *contact width* pada ketebalan *coating* 20 μm dan 30 μm . Menurut hasil simulasi ketebalan coating 30 μm memiliki *contact width* yang lebih besar dan *contact stress* yang tidak terlalu menurun sehingga bisa dianggap lebih bagus dibanding ketebalan *coating* 20 μm . Hasil *coating* baik tembaga maupun nikel terjadi kerekatan yang bagus, seragam dan tidak terjadi retak. Setelah diuji pada uji kebocoran tidak terjadi kerusakan pada hasil *coating*. Hasil uji

kebocoran menunjukkan bahwa kebocoran menurun pada gasket metal bergelombang yang dilapisi nikel dan tembaga. Pelapisan tembaga menunjukkan kinerja yang lebih bagus dibandingkan nikel dilihat dari kebocorannya. Namun pelapisan nikel menunjukkan kinerja yang lebih bagus dibandingkan dengan gasket metal bergelombang yang standar. Kinerja gasket metal bergelombang dengan pelapisan ketebalan 30 μm menunjukkan kinerja yang lebih bagus dibandingkan pelapisan dengan ketebalan 20 μm .

BAB 1. PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Kebutuhan gasket di industri perminyakan dan pertambangan sangat tinggi. Gasket dari material asbes sangat baik untuk mencegah kebocoran karena tahan temperatur tinggi dan pengaruh kimia. Tetapi material asbes sangat berbahaya karena menyebabkan penyakit yang serius. Penggunaan material asbes di seluruh dunia sangat banyak, tetapi saat ini produksi dan penggunaan asbes sudah dilarang [1]. Pemerintah Indonesia juga melarang penggunaan dan produksi asbes [2,3].

Penggunaan material gasket pengganti asbes sudah dilakukan antara lain grafit, fiber glass, fiber keramik, resin fluorkarbon memerlukan biaya yang mahal dan masih memiliki permasalahan dalam penggunaan gasket dan *life time* yang pendek [4,5,6]. Namun performa dari bahan-bahan tersebut masih jauh dari performa asbes.

Saeed et al. [7] mengajukan *super seal gasket* (SSG), gasket metal baru bergelombang berukuran 25A yang memberikan efek pegas pada metal dan membentuk garis segel dengan flens. **Contact stress dan contact width merupakan parameter desain yang penting untuk optimasi performa dari gasket.** Haruyama et al. [8] meneliti batas *contact width* yang diijinkan supaya tidak bocor pada gasket metal bergelombang menggunakan analisis *finite element method* (FEM) dan hasil eksperimen. **Tampak ada hubungan antara contact width dengan kebocoran helium, semakin besar contact width akan menurunkan kebocoran.**

Nurhadiyanto et al. [9] mencari desain optimum gasket metal ukuran 25A dengan simulasi menggunakan FEM berdasarkan *contact width*, efek pembentukan dan efek *contact stress*.. **Desain gasket plastik memiliki performa yang lebih baik dibandingkan desain elastik.** Haruyama et al [10] meneliti pengaruh kekasaran permukaan terhadap kebocoran pada gasket. **Kebocoran akan meningkat dengan semakin besarnya kekasaran permukaan.** Haruyama et al [11] dan Nurhadiyanto et al [12] menganalisis secara simulasi *contact width* dan *contact stress* pada gasket metal bergelombang berdasarkan kekasaran permukaan. **Contact width antara flens dan gasket pada flens yang memiliki kekasaran yang kecil akan meningkat.** Winarto et al. [13] meneliti *coating* pada *steel ball bearing* menggunakan *nanocomposite*. **Hasilnya menunjukkan terjadi ikatan yang kuat antara steel dengan material coating.**

Desain gasket metal bergelombang di atas masih menggunakan gaya pengetatan yang tinggi. Kebocoran tetap terjadi pada permukaan kasar karena hanya sebagian permukaan yang kontak. **Oleh karena itu perlu rekayasa gasket bergelombang permukaan kasar flens diisi material gasket yang lebih lunak bila terjadi kontak dengan gaya pengetatan yang rendah.**

1. 2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas bisa dirumuskan masalah gasket metal bergelombang sebagai berikut.

- a. Proses *coating* apa yang sesuai dengan kebutuhan pembuatan permukaan yang lebih lunak dari SUS304?
- b. Material apa yang paling sesuai sebagai material *coating* dengan hasil lebih lunak dari pada SUS304?
- c. Bagaimana hasil kerekatan antara SUS304 dengan material *coating*?
- d. Bagaimana hasil *coating multi layered*? Komposisi apa saja yang menghasilkan *coating* paling bagus?
- e. Bagaimana hasil uji kebocoran gasket metal bila dibandingkan antara gasket metal sebelum dan sesudah di-*coating*?

1. 3. Tujuan Khusus

Tujuan utama penelitian ini adalah **merekayasa gasket metal bergelombang dengan cara *coating multilayered material yang lebih lunak untuk meningkatkan *contact width* dan mempertahankan *contact stress****. Untuk mencapai target tersebut diperlukan beberapa tahap penelitian dengan tujuan spesifik sebagai berikut.

- a. Mengetahui jenis *coating* yang sesuai untuk memperlunak permukaan gasket metal dengan bahan SUS304.
- b. Mengetahui material yang menghasilkan permukaan *coating* lebih lunak dibandingkan dengan bahan SUS304.
- c. Mengetahui kerekatan antara SUS304 dengan material *coating*.
- d. Mengetahui hasil *coating multi layerd* dan komposisi apa saja yang menghasilkan *coating* paling bagus.
- e. Mengetahui hasil uji kebocoran pada beberapa level kekasaran permukaan secara eksperimen.

1. 4. Manfaat dan Target Penelitian

Manfaat yang diperoleh setelah rekayasa ini antara lain:

- a. Diperoleh gasket metal bergelombang yang memiliki *contact stress* tinggi dan *contact width* besar akan mengurangi tingkat kebocoran.

- b. Ditemukan material gasket pengganti asbes sehingga bahan gasket lebih aman dari penyakit yang membahayakan, yaitu kanker.
- c. Target riset adalah merekayasa gasket metal bergelombang yang sudah ada dengan proses *coating* sehingga tingkat kebocoran akan menurun.

1.5. Rencana Capaian Tahunan

Penelitian ini dilaksanakan selama dua tahun dengan rincian capaian setiap tahun bisa dilihat pada Tabel 1.1.

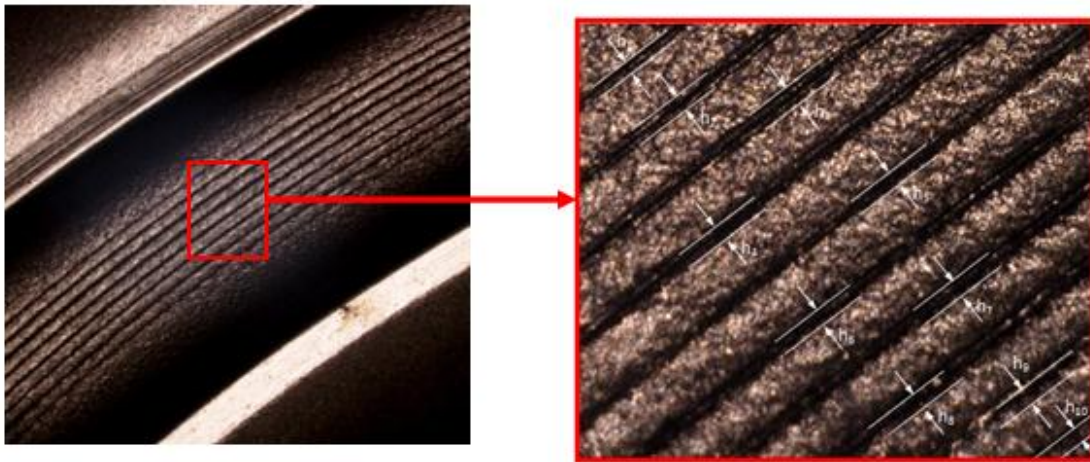
Tabel 1.1. Rencana Target Capaian Tahunan

No	Jenis Luaran		Indikator Capaian		
	Kategori	Subkategori	TS ¹⁾	TS+1	TS+2
1	Artikel ilmiah dimuat di jurnal ²⁾	Internasional bereputasi	accepted	accepted	
		Nasional terakreditasi			
2	Artikel ilmiah dimuat di prosiding ³⁾	Internasional terindeks			
		Nasional			
3	<i>Invited speaker</i> dalam temu ilmiah ⁴⁾	Internasional			
		Nasional			
4	<i>Visiting Lecturer</i> ⁵⁾	Internasional			
5	Hak Kekayaan Intelektual (HKI) ⁶⁾	Paten		Terdaftar	
		Paten sederhana			
		Hak cipta			
		Merek dagang			
		Desain produk industri			
		Indikasi geografis			
		Perlindungan varietas tanaman			
Perlindungan topografi sirkuit terpadu					
6	Teknologi Tepat Guna ⁷⁾				
7	Model/Purwarupa/Desain/Karya Seni/Rekayasa Sosial ⁸⁾				
8	Buku Ajar (ISBN) ⁹⁾				editing
9	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) ¹⁰⁾		Level 5	Level 6	

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. State of Art Review

Pada penelitian sebelumnya gasket dengan kekasaran tinggi, yaitu $3,5\mu\text{m}$ masih terjadi kebocoran. Hal ini terjadi karena *contact width* antara flens dengan gasket relatif kecil. **Keaslian penelitian ini adalah meningkatkan *contact width* dengan membuat permukaan gasket menjadi lebih lunak melalui proses *coating multilayered* tetapi material gasket masih memiliki kekakuan gasket yang sama.** Kekakuan yang sama akan membuat *contact stress*-nya tetap tinggi. Ketika gasket metal menempel pada flens, material *coating* yang lebih lunak akan mengisi permukaan flens yang kasar. *Contact width* tampak sesudah kontak antara gasket dengan flens bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. *Real contact width* pada gasket hasil pengukuran setelah kontak dengan flens

2.2. Studi Pendahuluan yang Sudah Dilakukan

Road map pengembangan produk gasket metal sebelumnya dan rencana ke depan dapat digambarkan pada skema pada Gambar 2.2. Dalam *road map* tersebut sebagian besar peneliti ikut terlibat dalam pengembangannya. Kebanyakan hasil penelitian tersebut di-*publish* dalam jurnal internasional atau seminar internasional. Informasi selengkapnya bisa dilihat pada keterangan Gambar 2.2 di bawah ini. Pengembangan gasket metal bergelombang dimulai dari Saeed et al. yang memodelkan secara simulasi untuk mencari desain yang optimum dan membuat gasketnya. Pengembangan selanjutnya dilakukan oleh Choiron, Haruyama, Nurhadiyanto, Widder, Ushijima

dan lain-lain. Pada prinsipnya penelitian-penelitian ini mendesain gasket untuk meminimalkan tingkat kebocoran setelah dilakukan uji kebocoran.

Pengembangan desain produk melalui simulasi komputer untuk memprediksi kebutuhan kondisi menggunakan model numerik. Model-model komputasi akan memiliki kontribusi besar dalam mengurangi jumlah percobaan yang secara tradisional digunakan untuk merancang produk. Apabila sudah diperoleh desain yang optimal maka dilanjutkan dengan produksi dan ujicoba untuk pengambilan data.

Sampai penelitian terakhir, sudah diperoleh beberapa desain yang tidak bocor bila diukur menggunakan kebocoran gas helium. Tetapi masih diperlukan gaya pengetatan yang cukup tinggi. Beberapa jenis desain gasket masih ditemukan kebocoran karena kekasaran flens. Pada penelitian ini direkayasa supaya permukaan gasket menjadi lebih lunak sehingga apabila kontak dengan flens yang kasar maka material gasket terluar akan mengisi kekasaran tersebut. Rekayasa yang dilakukan adalah melakukan proses *coating* dengan material yang lebih lunak.

Hasil yang dijanjikan dalam penelitian ini adalah produk gasket metal bergelombang dari bahan SUS304 yang sudah dilakukan *coating* dengan material yang lebih lunak sehingga menurunkan tingkat kebocoran. Selain itu dari hasil penelitian ini akan diperoleh satu makalah yang diikutkan dalam seminar internasional dan satu makalah yang diterbitkan dalam jurnal internasional bereputasi.

Road Map Penelitian

- Asbes merupakan bahan gasket yang terbaik karena tahan terhadap temperatur dan bahan kimia.
- Penggunaan dan produksi asbes dilarang di seluruh dunia secara bertahap di masing-masing negara sejak tahun 2000-an
- Peneliti melakukan penelitian yang serius untuk mengembangkan material gasket dari asbes.

Penelitian Bahan Gasket

- Non metalik *Glass Fiber Reinforced Plastic* (GFRP) oleh Estrada: 1999. Kelebihan GFRP adalah tahan terhadap korosi tetapi kelemahannya mudah terjadi perambatan retak.
- Non metalik *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) oleh Huang: 2001. Kelebihannya adalah sangat tahan terhadap zat kimia tetapi memiliki kelemahan, yaitu tidak tahan terhadap tekanan dan temperatur.
- Spiral wound dari semi metalik oleh Roos: 2002 dan Khrisna: 2007. Kelebihannya adalah tahan terhadap temperatur dan tekanan tinggi tetapi kelemahannya adalah rapuh
- Metalik berupa flat solid (Toshimichi: 2000), Octogonal (Zou: 2008) dan Corrugated (Saeed: 2008). Kelebihan metal adalah tahan terhadap zat kimia dan temperatur tinggi, *recyclability, reliability*.

Penelitian Gasket Metal Bergelombang

Desain gasket elastis

Riset 1: Riset oleh Saeed dkk (2008)

- Mengajukan super seal gasket (SSG)
- Mendesain gasket ukuran 25A dengan menggabungkan bibir anular melingkar
- Bibir ini menyebabkan efek pegas pada metal dan membentuk garis segel dengan flens
- *Contacts stress* dan *contact width* merupakan parameter desain penting untuk performa optimum dari gasket
- Namun harga *contact width* saat tidak bocor belum didefinisikan

Riset 2: Riset oleh Haruyama dkk (2009)

- Meneliti batas *contact width* yang diijinkan supaya tidak bocor
- *Contact width* saat tidak bocor ditentukan dengan membandingkan hasil hubungan antara beban pengetatan pada flens secara eksperimen dan simulasi

Riset 3: Riset oleh Choiron dkk [14] (2011)

- Mempelajari validasi *contact width* antara simulasi (FEM) dengan pengukuran nyata menggunakan tekanan-kertas sensitif
- Terdapat kesesuaian hasil antara simulasi dengan eksperimen
- Meningkatnya beban pengetatan akan menurunkan tingkat kebocoran helium dan meningkatkan *contact width*

Desain gasket plastis

Riset 1: Riset oleh Choiron dkk [15] (2011)

- Mencari desain yang optimum gasket metal bergelombang berdasarkan elastis (0-MPa) dan plastik (400-MPa)
- Tanpa mempertimbangkan efek forming
- *Contact width* pada desain plastik lebih lebar dibandingkan desain elastis.
- *Contact stress* pada desain plastik cenderung lebih banyak plastiknya.

Riset 2: Riset oleh Nurhadiyanto dkk (2012)

- Mencari desain yang optimum gasket metal bergelombang berdasarkan elastik dan plastik
- Melibatkan efek forming
- Desain plastik lebih bagus dibandingkan desain elastik dilihat dari tingkat kebocoran helium

Desain gasket memperhitungkan kekasaran permukaan

Riset 1: Riset oleh Haruyama and Nurhadiyanto dkk (2013)

- Meneliti pengaruh kekasaran permukaan terhadap tingkat kebocoran helium
- Gasket 400-MPa lebih bagus dari pada gasket 0-MPa dilihat dari tingkat kebocoran helium.
- *Contact width* pada gasket 400-MPa lebih lebar dari pada *contact width* 0-MPa.
- *Contact width* pada gasket dengan kekasaran permukaan kecil terlihat lebih lebar dari pada kekasaran permukaan besar.
- Semakin halus kekasaran permukaan flens semakin tidak mudah bocor

Riset 2: Riset oleh Haruyama and Nurhadiyanto dkk (2014)

- Meneliti menganalisis *contact width* pada gasket bergelombang berdasarkan kekasaran permukaan
- Penulis membandingkan hasil pengukuran secara nyata dan simulasi menggunakan FEM
- Hasil pengukuran *contact width* secara nyata cenderung mirip dengan hasil simulasi FEM
- *Contact width* nyata untuk gasket 400-MPa lebih lebar bila dibandingkan 0-MPa.
- Hasil pengukuran *contact width* pada flens yang memiliki kekasaran permukaan 1,5 μm lebih lebar dibandingkan kekasaran permukaan 2,5 μm dan 3,5 μm .

Riset 3: Riset oleh Nurhadiyanto dkk (2015)

- Menganalisis *contact stress* dan *contact width*, khususnya saat tepat terjadi kebocoran
- *Contact width* dan *contact stress* saat tepat tidak terjadi kebocoran masing-masing adalah 0,195 mm dan 800MPa.
- *Contact width* pada kekasaran 1,5 μm lebih lebar dari pada yang 2,5 μm dan 3,5 μm .

Modifikasi permukaan gasket melalui coating multi layered dengan material yang lebih lunak dari pada SUS 304

Pengembangan gasket berikutnya

- Gasket ini masih memerlukan gaya pengetatan yang cukup tinggi.
- Kekakuan gasket berbahan SUS 304 sudah mencukupi untuk memberikan *contact stress* yang tinggi.
- Perlu dilakukan rekayasa dengan mengubah permukaan gasket yang lebih lunak.
- Hal ini dilakukan supaya *contact width* semakin lebar dan partikel permukaan gasket akan masuk dan mengisi permukaan flens yang kasar.

Gambar 2.2. Road Map Penelitian
6

2.3. Gasket Metal Bergelombang

Material dasar gasket adalah SUS304 yang tahan terhadap bahan kimia dan temperatur tinggi. Material SUS304 memiliki karakteristik tegangan nominal 398,8MPa, modulus tangensial 1900,53 MPa dan modulus elastisitas 210GPa.

Bentuk gasket berupa piringan bergelombang yang terdiri dari 2 cembung di bagian atas dan bawah. Bentuk awal gasket adalah piringan flat kemudian dilakukan pembentukan dingin menggunakan dies dengan pembebanan tertentu. Gasket yang optimum dengan ukuran 25A bisa dilihat pada Gambar 2.3 [9].



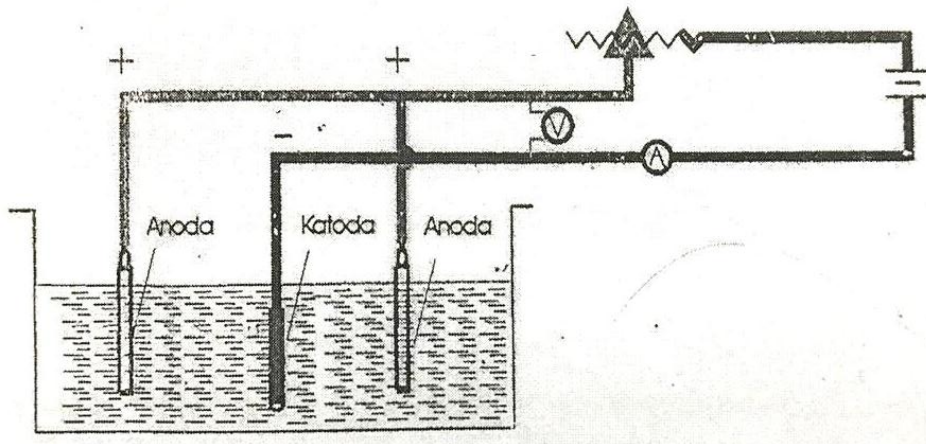
Gambar 2.3. Gasket metal bergelombang

Diameter luar dan diameter dalam dari gasket menggunakan dimensi standar berdasarkan JISB2404 [16]. Dimensi dies diperoleh dari ukuran optimum menggunakan analisis metode elemen hingga dan metoda Taguchi. Bahan flens yang digunakan dalam penelitian ini adalah SUS304 berupa general-purposed flange based on JISB2220 [17]. Dimensi flens 25A diameter and 10 K pressure used in this test.

Haruyama et al [10] meneliti pengaruh kekasaran permukaan *flange* terhadap kebocoran. Kekasaran permukaan *flange* sangat mempengaruhi kebocoran helium karena karakter baja sangat kaku dan tidak mudah menempel dengan material baja. Semakin kecil kekasaran permukaan *flange* maka akan semakin kecil tingkat kebocoran helium, sebaliknya semakin besar kekasaran permukaan akan semakin besar pula tingkat kebocoran helium.

2.4. Proses *Coating*

Dalam penelitian ini *coating* yang kami maksudkan adalah proses elektroplating. Elektroplating adalah proses melapiskan suatu logam (atau bahan lainnya) dengan logam lain dengan bantuan arus listrik sehingga kualitas dari logam pelapis juga dapat dimiliki oleh materi yang akan dilapis. Tujuan utama dari proses elektroplating (pelapisan logam) adalah untuk mengubah atau membuat kualitas permukaan suatu benda menjadi lebih baik. Misalnya, membuat benda menjadi lebih tahan korosi, memiliki tampilan yang lebih estetik/indah, lebih tahan terhadap abrasi, lebih keras, dan kualitas-kualitas baik lainnya. Gambaran lebih jelas mengenai proses elektroplating bisa dilihat pada Gambar 2.4. Elektroplating digunakan di berbagai industri, antara lain otomotif, perhiasan, konstruksi dan bangunan, peralatan listrik, peralatan elektronik dan konektor, busana, sanitasi, pengepakan, dan lain-lain. Selain untuk mendukung kebutuhan elektroplating untuk industri-industri ini, kami juga melayani kebutuhan industri pengecoran logam, yaitu pada proses *Hot Dip Galvanizing* (pelapisan permukaan besi dan baja untuk mencegah korosi) dan dengan menyediakan bahan pengecoran jenis besi dan bukan besi [18].

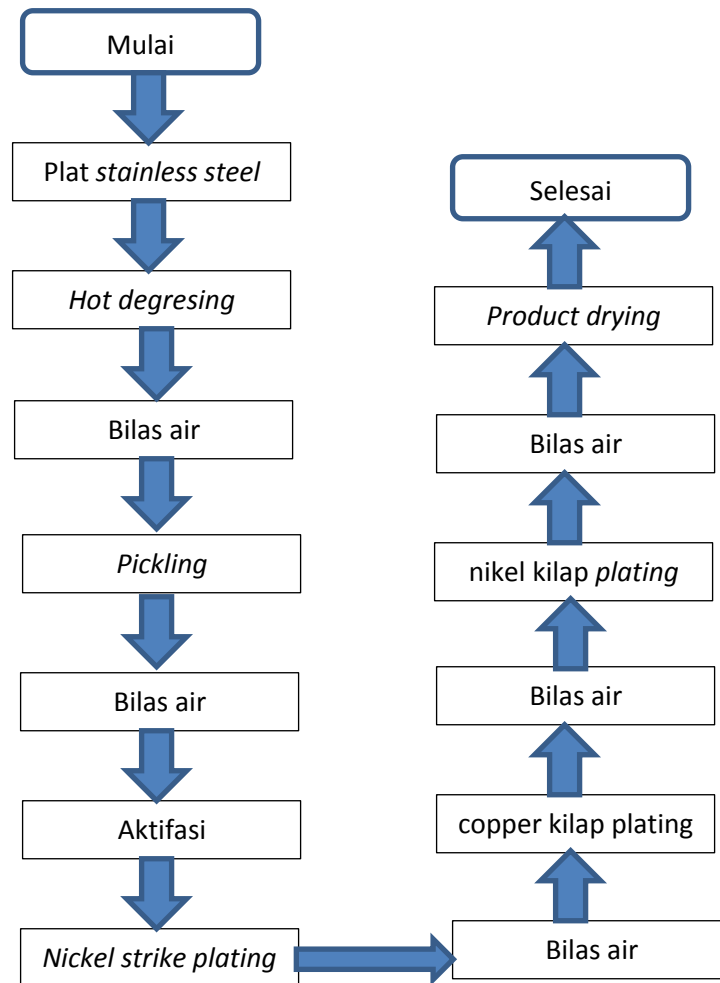


Keterangan:
A : Ampermeter
V : Voltmeter
+ : Anoda
- : Katoda

Gambar 2.4. Rangkaian proses elektroplating

Pada prinsipnya proses pelapisan merupakan proses pengendapan logam secara elektrokimia. Barang-barang yang akan dilapisi harus ditempatkan dalam suatu elektrolit (larutan yang digunakan sebagai media proses elektroplating) sebagai katoda. Sebagai anoda biasanya digunakan logam yang diendapkan.

Bagian alir proses elektroplating secara keseluruhan bisa dilihat pada Gambar 2.4. Langkah-langkah tersebut mencakup tahapan-tahapan hot degreasing untuk mencuci lemak cuci asam, bilas air (*rinsing*), pickling dengan merendam metal selama 15 menit untuk menghilangkan karat, bilas air, aktifasi dengan merendam pada larutan kurang lebih 1 menit sampai keluar gas, proses *nickel* kilap plating khusus untuk elektroplating *stainless steel*, bilas air, proses *copper plating* dan bilas air, langkah terakhir adalah pengeringan.



Gambar 2.4. Bagan alir proses elektroplating logam *stainless steel*

Tahap *hot degreasing* berfungsi untuk membersihkan lemak menggunakan larutan alkali, sehingga akan dihasilkan permukaan yang betul-betul bersih yang bisa terbasahi air dengan merata (*water break free surface*). Cuci lemak bisa dilakukan dengan cara mencelupkan sambil menggoyang-goyangkan benda kerja selama beberapa menit.

Larutan *pickling* dibuat dari air sebagai pelarut dan asam klorida (HCl) sebagai zat terlarut sebanyak 20%. Apabila logamnya adalah *stainless steel* maka proses *pickling* menggunakan 30% H₂SO₄. Proses *pickling* dengan merendam *stainless steel* selama kurang lebih 1 menit sampai menimbulkan gas pada bendanya.

Proses pelapisan nikel memerlukan larutan lapis nikel. Kedua larutan bisa dibedakan sebagai berikut di bawah ini.

Larutan lapis nikel dasar dengan komposisi sebagai berikut:

Nikel sulfat (NiSO ₄ 6H ₂ O)	150 – 200 gr/L
NIKEL Khlorida (NiCl ₂ 6H ₂ O)	20 – 30 gr/L
Asam borat (H ₃ BO ₃)	25 – 35 gr/L

Larutan untuk lapis nikel kilap dengan komposisi sebagai berikut:

Nikel Sulfat (NiSO ₄ 6H ₂ O)	250 – 325 gr/L
Nikel Khlorida (NiCl ₂ 6H ₂ O)	45 – 65 gr/L
Asam borat (H ₃ BO ₃)	25 – 40 gr/L
Brightener	4 cc/L

Setelah proses pelarutan ini selesai, tidak berarti larutan sudah siap dipakai. Biasanya dilakukan elektrolisa pendahuluan dengan menggunakan rapat arus yang rendah (0,5 – 1 A). Hasil endapan dari elektrolisa pendahuluan ini akan memberikan indikasi apa yang sebaiknya dilakukan terhadap larutan tersebut.

Larutan untuk lapis nickel strike di atas logam *stainless steel* mempunyai komposisi:

Nikel Khlorida (NiCl ₂ 6H ₂ O)	240 – 300 gr/L
Pure Hydrolic Acid	86 ml/L

Larutan untuk lapis tembaga mempunyai komposisi:

Copper sulfat (CuSO ₄ 6H ₂ O)	200 gr/L
Sulfuric Acid (H ₂ SO ₄)	30 ml/L

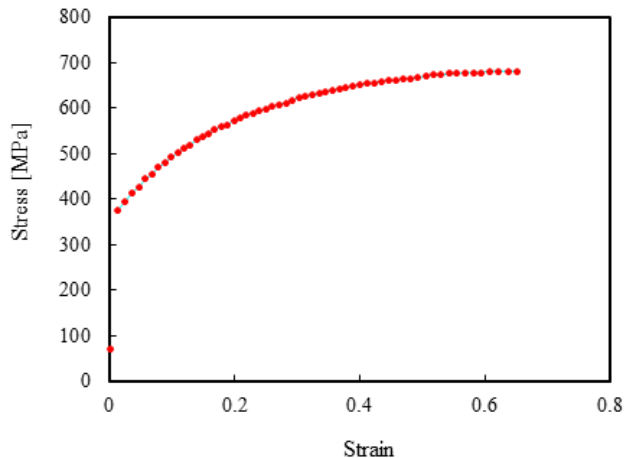
Sesuai dengan hukum Farady, berat palapisan elektroplating bisa dihitung menggunakan rumus (2.1).

$$W = \frac{e i t}{965.000} \quad (2.1)$$

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

SUS304 digunakan sebagai material gasket karena keefektifannya dalam lingkungan temperatur tinggi dan tekanan tinggi. Properti material ini ditentukan melalui tes tegangan tarik berdasarkan pada JISZ2241 [19], tegangan luluh, modulus elastisitas (E), dan modulus tangen masing-masing adalah 398.83MPa, 210GPa, dan 1900.53MPa. Gambar 3.1 menunjukkan diagram tegangan-regangan material SUS304. Karakteristik material SUS304 terlihat pada Tabel 3.1.



Tabel 3.1. Karakteristik SUS304

Properties	Value
Tegangan luluh (σ)	398.83 [MPa]
Modulus elastisitas (E)	210 [GPa]
Modulus tangen	1900.53 [MPa]
Poisson rasio	0.3

Gambar 3.1 Diagram tegangan-regangan SUS304

Material pelapis adalah tembaga dan nikel murni. Gambar 3.2 menunjukkan tembaga murni dan Gambar 3.3 menunjukkan nikel murni. Tembaga memiliki karakteristik tegangan nominal 195MPa, modulus tangen 1150MPa, dan modulus elastisitas 115GPa [20] dan [21]. Nikel memiliki karakteristik tegangan nominal 210MPa, modulus tangen 1200MPa, dan modulus elastisitas 170GPa [20] dan [21].

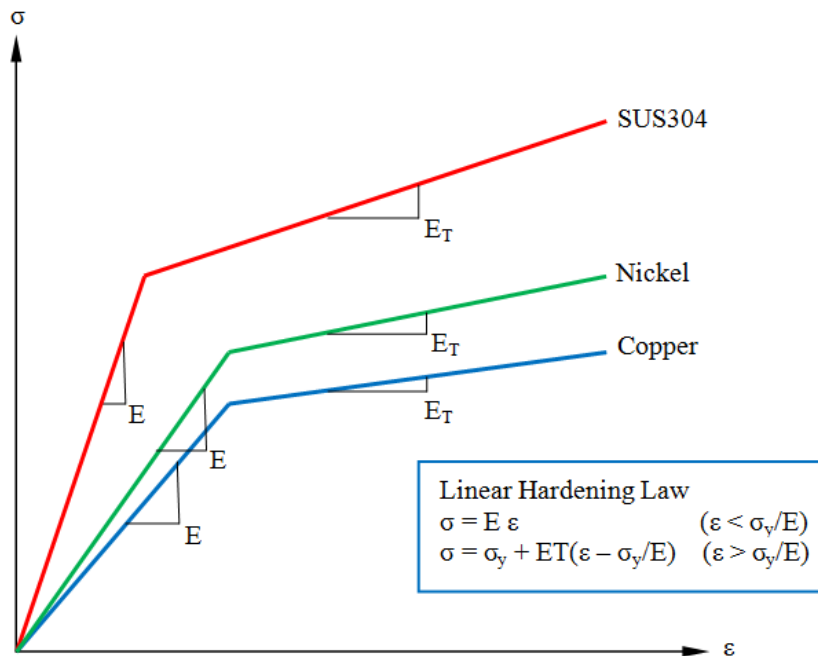


Gambar 3.2. Bahan tembaga



Gambar 3.3. Bahan Nikel

Berdasarkan karakteristik kedua material, terlihat bahwa tembaga dan nikel lebih lunak dari pada baja. Karakteristik tembaga dan nikel dibandingkan dengan SUS304 terlihat pada Gambar 3.4. Ketiga material tersebut digunakan *multi layered* baik material itu secara sendiri maupun bersama-sama.

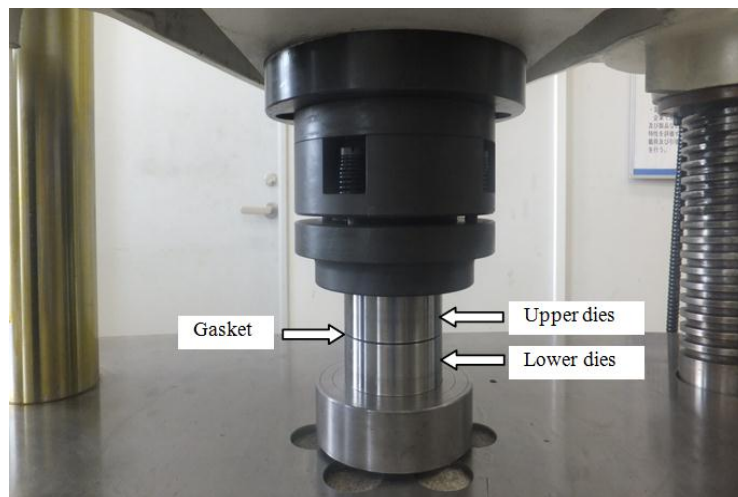


Gambar 3.4. *Linear strain hardening model for SUS304, copper and nickel material*

3.2. Mesin Uji dan Peralatan Penelitian

Proses simulasi menggunakan software MSC Marc versi 12 tahun 2012. Simulasi hanya menggunakan proses pengetatan gasket oleh flange. Tahap tersebut dimodelkan menggunakan analisis FEM menggunakan *software* MSC. Marc [22]. Proses simulasi ini untuk memperoleh hubungan gaya aksial dengan *contact width* dan *contact stress*.

Gasket diproduksi dengan menggunakan pembentukan dingin. Proses ini dinamakan proses *forming* dalam analisis simulasi. Bentuk gasket direalisasikan menggunakan *punch* untuk memberikan gaya pada material supaya meluncur pada *dies*. Karenanya, efek pembentukan diperhatikan pada pemodelan desain gasket. Mesin testing universal UH-1000 KNI dengan kekuatan 100 ton digunakan untuk membentuk material gasket menjadi gasket. Gambar 3.5 menunjukkan proses pembentukan untuk memproduksi gasket.



Gambar 3.5. Proses pembentukan dingin

Untuk membentuk material, selain menggunakan mesin press juga menggunakan *dies* agar material gasket terbentuk menjadi gasket bergelombang, lihat Gambar 3.6. Material dies adalah bohler K105 stainless steel. Kekerasan bohler K105 adalah 15,3 HRC. Kekerasan material ini tidak cukup bila digunakan sebagai *dies* untuk membentuk gasket. Gambar 3.6 menunjukkan dies sebelum dilakukan *hardening*. Kami melakukan treatment dengan proses *hardening*. Setelah dilakukan proses *hardening* kekerasan material adalah 54,1 HRC. Pengukuran kekerasan sebelum dan sesudah proses *hardening* bisa dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.6. Dies sebelum proses *hardening*



(a) sebelum *hardening*



(b) sesudah *hardening*

Gambar 3.7. Pengukuran kekerasan sebelum dan sesudah proses *hardening*

Proses *hardening* bisa dilihat pada Gambar 3.8 dan 3.9. Gambar 3.8 menunjukkan proses pembakaran pada dapur pemanas. Temperatur pembakaran sampai suhu 900°C.

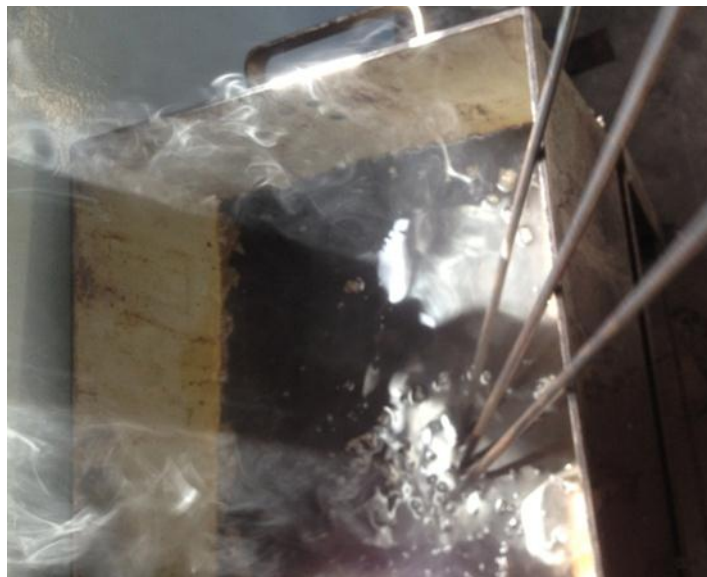
Temperatur ini akan membakar material dies. Proses selanjutnya adalah *hardening* dengan mencelupkan secara mendadak material dies panas ke dalam oli, lihat Gambar 3.9.



(a) pemanas

(b) indikator temperatur

Gambar 3.8. Proses pembakaran



Gambar 3.9. Proses pendinginan mendadak

Setelah pencelupan material dies panas secara mendadak ke dalam oli sampai dingin, selanjutnya diangkat dengan menggunakan alat. Langkah selanjutnya adalah membersihkan dengan kain kering yang halus. Dies kering siap digunakan untuk membentuk material gasket, lihat Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Dies untuk membentuk gasket

Peralatan selanjutnya adalah elektroplating seperti terlihat pada Gambar 3.11. Peralatan ini dibuat sendiri oleh peneliti bekerjasama dengan anak perusahaan PT. MAK Kalasan, Yogyakarta. Saat ini peralatan tersebut dihibahkan ke lab Bahan, Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT UNY.



Gambar 3.11. Peralatan elektroplating

Untuk uji struktur mikro, kami melakukan di lab Bahan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT UNY. Alat ini memiliki pembesaran sampai 400 kali. Gambar 3.12 menunjukkan peralatan untuk menguji struktu mikro yang kami maksudkan.



Gambar 3.12. Uji struktur mikro

Peralatan untuk mengukur kebocoran gasket menggunakan *water pressure test*. Gambar 3.13 menunjukkan peralatan yang kami maksudkan. Pada tahun pertama ini belum diukur kebocoran. Alat tersebut hanya digunakan untuk melakukan pengetatan gasket setela dielektropalting.



Gambar 3.13. *Water pressure test*

3.3. Proses Penelitian Secara Keseluruhan

Penelitian ini terbagi dalam 4, yaitu riset I, II, III, dan IV. Masing-masing mempunyai fokus tertentu dan secara umum dapat dilihat pada *road map* Gambar 2.2. **Riset I** difokuskan pada simulasi komputer menggunakan software *Solid Work*, *Hypermesh*, *MSC.Marc* dan *Excel*. Simulasi ini digunakan untuk mencari ketebalan *coating* yang optimal dengan material nikel dan tembaga, *contact stress* dan *contact width*. Kegiatan simulasi ini dilaksanakan di Lab Mekanika Terapan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNY. Lisensi *software* khususnya yang *MSC. Marc* diperoleh dari Yamaguchi University Japan. Model gasket maya dengan variasi desain dibangun dengan menggunakan empat langkah utama, yaitu parameterisasi, *meshing* otomatis, perhitungan pengolahan, pengolahan akhir, dan optimasi. Pertama, model parameter 2-D dibangun menggunakan *software solidwork*. Selanjutnya data dari Solidwork (*file IGES*) dilakukan *meshing* menggunakan *software Hypermesh*. Setelah proses *meshing* selesai *file* disimpan dalam NAS. Kemudian *file* dikonfigurasi untuk memperoleh perhitungan pengolahan dan model *running* pada *software MSC.Marc*. Setelah analisa FEM lengkap analisis

keluaran akan diset dalam file TXT. Hasil *file* TXT ditransformasikan dalam *Microsoft excel* menggunakan perintah MACRO. Hasil keluarannya berupa status kontak, *contact stress* setiap saat pada semua posisi bagian cembung. Penghitungan *contact width* korelasi gaya aksial pada bagian cembung nomor 1 sampai 4 dilakukan dalam beberapa tahap perintah MACRO.

Riset II difokuskan pada pengembangan *coating* material SUS304 dengan material lain yang lebih lunak, antara tembaga dan nikel dalam *multi layered* baik satu jenis material *coating* maupun bersama-sama. Target yang akan dicapai pada riset II adalah permukaan material setelah proses *coating* masih lebih lunak dari pada SUS304. Sifat-sifat material tahan terhadap temperatur tinggi sekitar 150°C. Kegiatan *coating* ini dilakukan di UNY Yogyakarta. Selain itu pada riset II ini diuji coba pengetatan gasket metal bergelombang *multi layered*. Uji coba ini untuk melihat keadaan *coating* setelah dilakukan pengetatan. Keberhasilan *coating* adalah bila tidak terjadi kerusakan *coating* setelah digunakan dengan uji pengetatan.

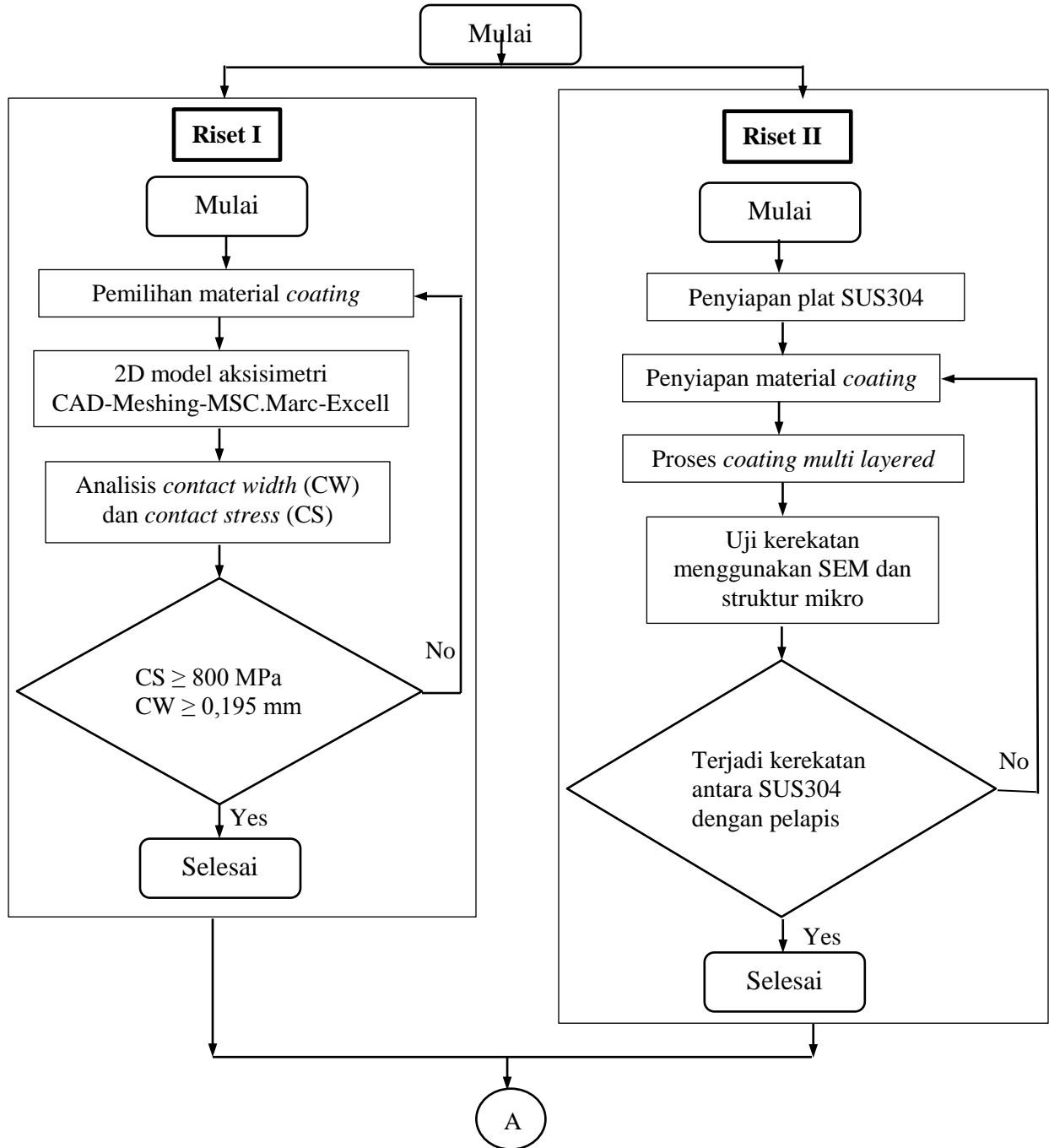
Riset III difokuskan pada proses pembentukan gasket dari material SUS304. Material dalam bentuk plat dilakukan proses *punch* untuk memperoleh diameter gasket yang diinginkan. Selanjutnya material gasket dalam bentuk lingkaran dilakukan proses *forming* untuk membentuk gasket bergelombang. Proses *forming* dalam suhu kamar, menggunakan mesin *universal testing*. Beban yang diberikan sebesar 950 KN diberikan dalam waktu 1 menit dengan pengulangan 3 kali. Proses selanjutnya adalah proses *coating multi layered* baik material yang sama atau gabungan ketiga material pada gasket metal bergelombang. Kegiatan ini juga dilakukan di UNY Yogyakarta. Proses *coating* dilakukan melalui proses elektroplating. Target yang dicapai pada riset III adalah diperoleh permukaan material gasket setelah proses *coating* masih lebih lunak dari pada SUS304. Sifat-sifat material tahan terhadap temperatur tinggi sekitar 150°C.

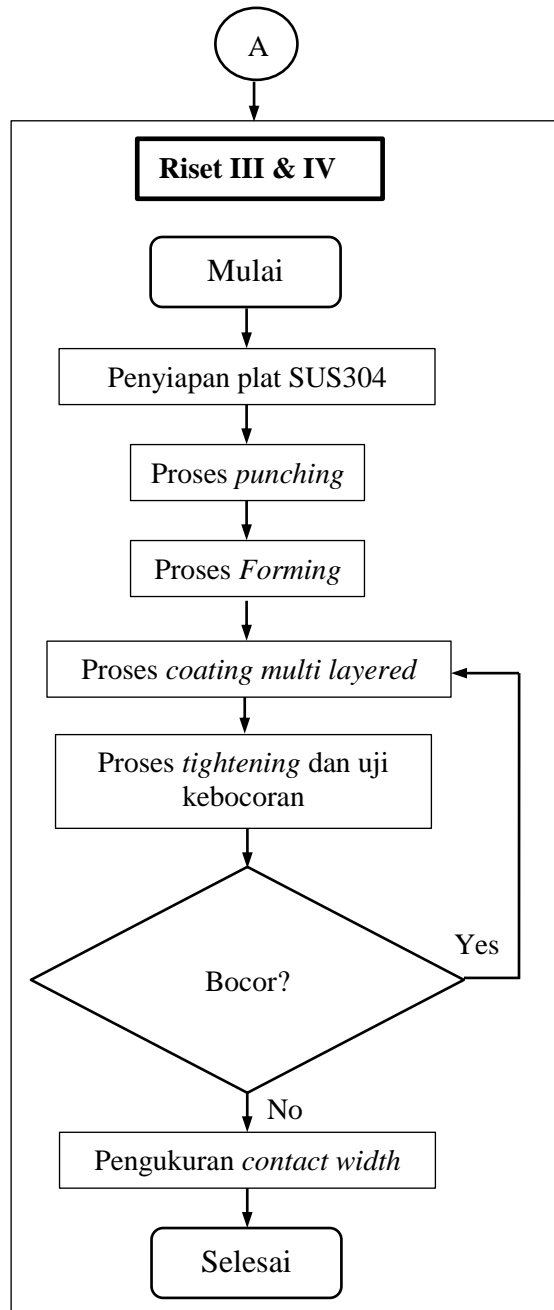
Riset IV difokuskan pada uji coba dan pengambilan data kebocoran secara eksperimen. Proses *forming* untuk membuat gasket dan pembuatan flens dilakukan di UNY. Pengujian kebocoran ini dilakukan pada suhu kamar dan suhu tinggi sekitar 150°C. Suhu tinggi perlu diujicoba karena penggunaan gasket pada boiler berada pada suhu tinggi tersebut. Sementara itu *punch* dan *dies* untuk proses *forming* dilakukan di lab Pemesinan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY. Proses pengukuran tingkat kebocoran dilakukan di lab Mekanika Terapan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY.

Riset I dan II dilaksanakan dan diselesaikan pada tahun pertama, yaitu tahun 2019 sedangkan riset III dan IV dilaksanakan dan diselesaikan pada tahun kedua, yaitu tahun 2019.

3.4. Bagan Alir Penelitian

Skema penelitian tahun pertama dan tahun kedua dapat dilihat pada Gambar 3.14. Penjelasan skema penelitian bisa dilihat pada sub bab 3.3. Kegiatan ini akan dilakukan selama 2 tahun. Tahun pertama berfokus pada simulasi menggunakan FEM untuk melihat pengaruh pelapisan melalui *coating* terhadap *contact stress* dan *contact width*.





Gambar 3.14. Diagram alir proses penelitian

Selain itu proses *coating* dengan bahan yang lebih lunak dari pada SUS304. Bahan *coating* menggunakan nikel dan tembaga. Setelah itu dipilih bahan apa yang terbaik. Pada tahun kedua berfokus pada produksi gasket serta melakukan tes kebocoran menggunakan *water pressure test*. Kebocoran gasket diuji pada suhu kamar, namun gasket diberi dua perlakuan, yaitu perlakuan

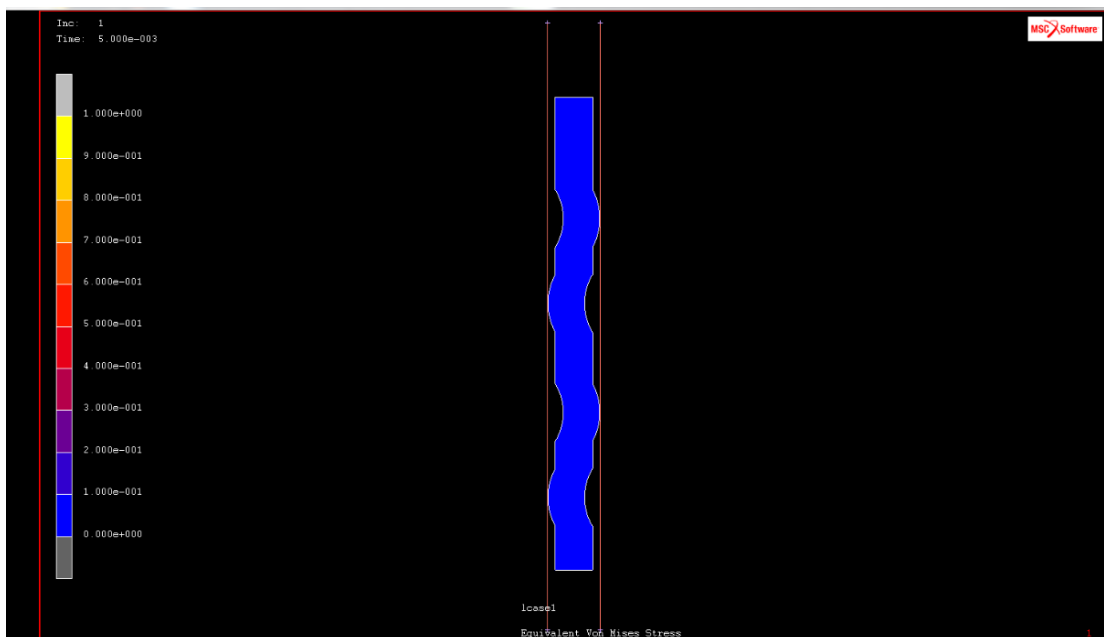
pada suhu kamar dan perlakuan pada suhu tinggi, yaitu 150°C. Pengukuran kebocoran tetap dilaksanakan pada suhu kamar karena kesulitan pengukuran kebocoran pada suhu tinggi.

3.5. Proses Penelitian Tahun 2019

Prosedur penelitian ini melalui beberapa tahap, yaitu pembentukan gasket metal bergelombang, proses coating, uji pengetatan dan uji kerekatan.

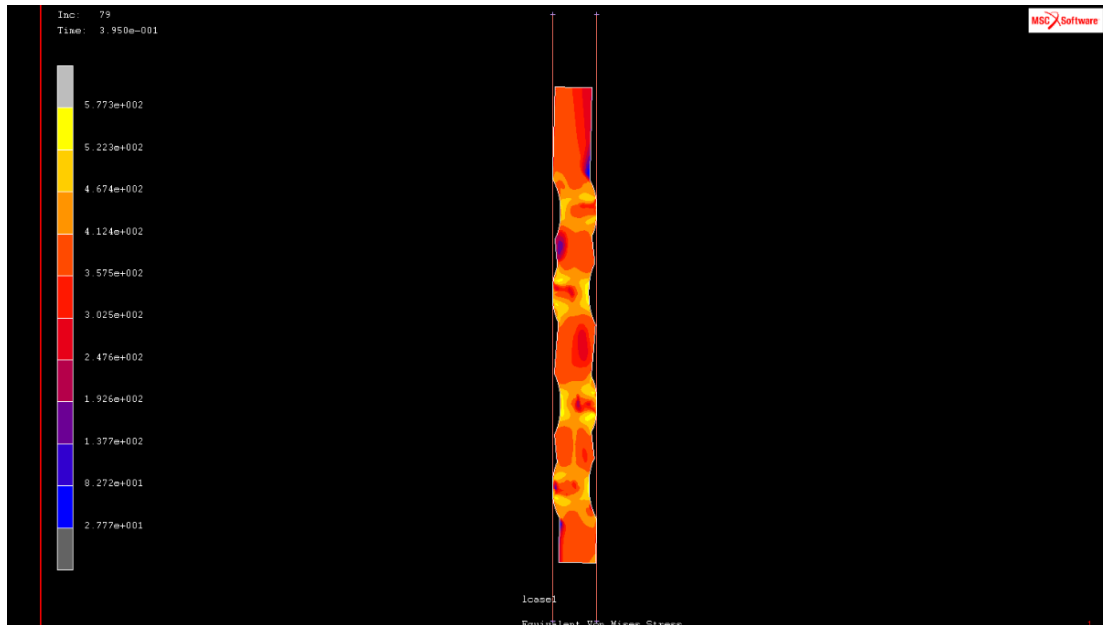
a. Simulasi Proses Pengetatan Gasket Menggunakan Flange

Model gasket maya dengan variasi desain dibangun dengan menggunakan empat langkah utama, yaitu parameterisasi, *meshing* otomatis, perhitungan pengolahan, pengolahan akhir, dan optimasi. Pertama, model parameter 2-D dibangun menggunakan *software solidwork*. Selanjutnya data dari Solidwork (*file IGES*) dilakukan *meshing* menggunakan *software* Hypermesh. Setelah proses *meshing* selesai *file* disimpan dalam NAS. Kemudian file dikonfigurasi untuk memperoleh perhitungan pengolahan dan model *running* pada *software* MSC.Marc. Setelah analisa FEM lengkap analisis keluaran akan diset dalam file TXT. Hasil *file* TXT ditransformasikan dalam *Microsoft excel* menggunakan perintah MACRO. Hasil keluarannya berupa status kontak, tegangan kontak setiap saat pada semua posisi bagian cembung. Penghitungan lebar kontak korelasi gaya aksial pada bagian cembung nomor 1 sampai 4 dilakukan dalam beberapa tahap perintah MACRO.

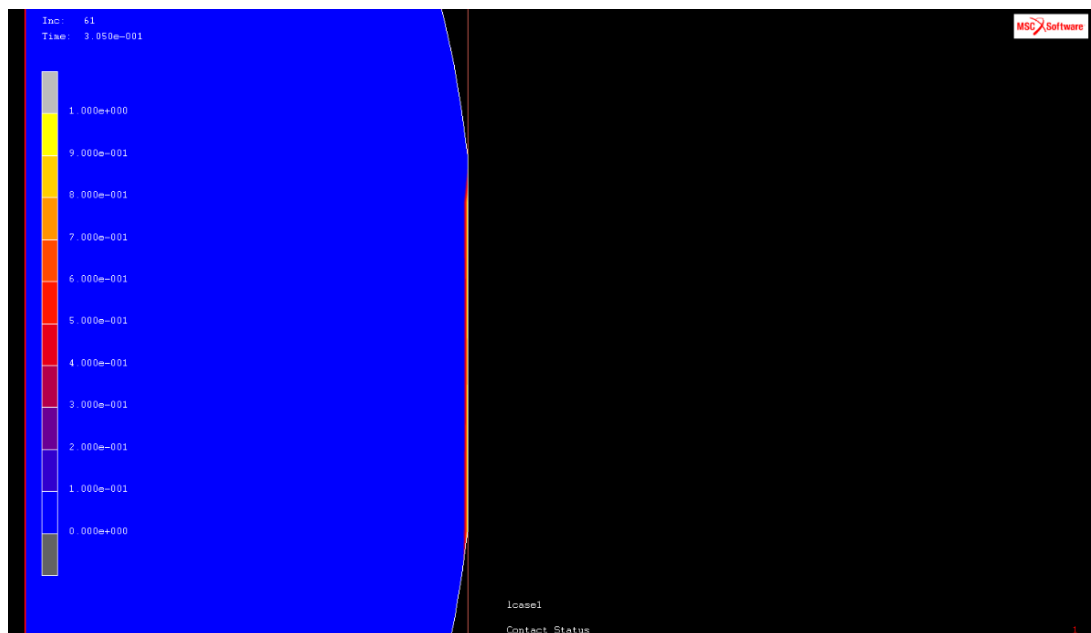


Gambar 3.15. Setting proses pengetatan

Persiapan proses pengetatan gasket menggunakan flange bisa dilihat pada Gambar 3.15. Gasket yang sudah dilapisi nikel atau tembaga diketatkan oleh *flange*. Material gasket baik SUS304, tembaga atau nikel dianggap deformabel. Garis *flange* dianggap kaku.



Gambar 3.16. Proses pengetatan



Gambar 3.17. Puncak gasket saat terkena pengetatan flange

b. Proses Hardening Dies

Gasket dimanufaktur menggunakan mold press. Proses ini dinamakan proses forming dalam analisis simulasi. Proses pembentukan menggunakan mesin press yang memiliki kekuatan beban sampai 150 ton atau 1500 KN. Sebelum proses forming, kami menyiapkan dies. Material dies adalah bohler K105 stainless steel. Kekerasan material bohler K105 adalah 15.3 HRC. Kekerasan material tersebut tidak cukup sebagai material dies. Gambar 3.16 menunjukkan dies yang sudah dibentuk namun belum dilakukan pengerasan.



Gambar 3.16. Dies sebelum proses hardening

Kami melakukan proses hardening untuk memperoleh material yang lebih keras lagi. Setelah dilakukan proses hardening, kekerasan dies menjadi 54.1 HRC. Pengukuran kekerasan material dies sebelum dan setelah dilakukan proses hardening bisa dilihat pada Gambar 3.17. Proses hardening bisa dilihat pada Gambar 3.18 dan 3.19. Gambar 3.18 menunjukkan proses pemanasan pada dapur. Temperatur pada proses pemanasan ini sampai 900°C, lihat Gambar 3.18. Temperatur ini akan membakar material dies. Proses selanjutnya adalah mencelupkan die yang sudah dipanasi secara langsung ke dalam cairan oli, lihat Gambar 3.19.



(a) sebelum hardening



(b) setelah hardening

Gambar 3. 7. Pengukuran kekerasan

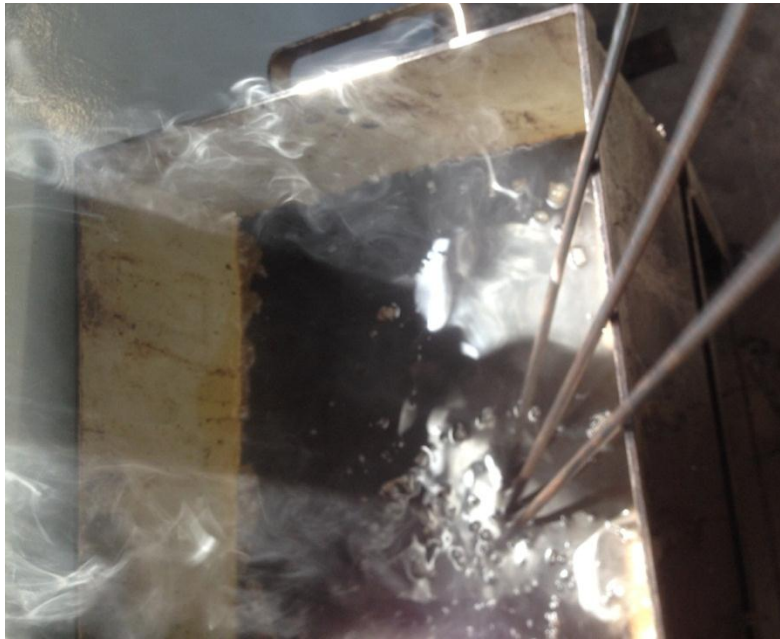


(a) pemanas

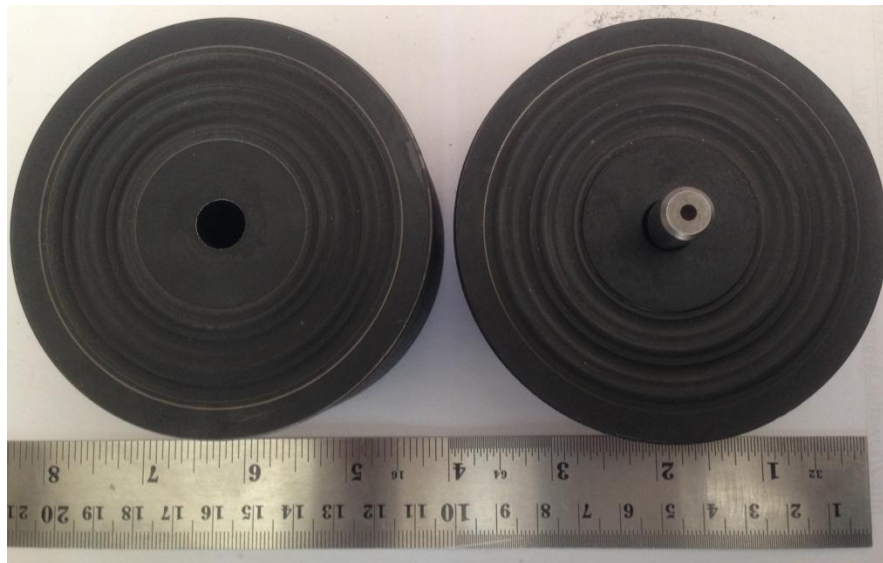


(b) indikator temperatur

Gambar 3.18. Proses pemanasan



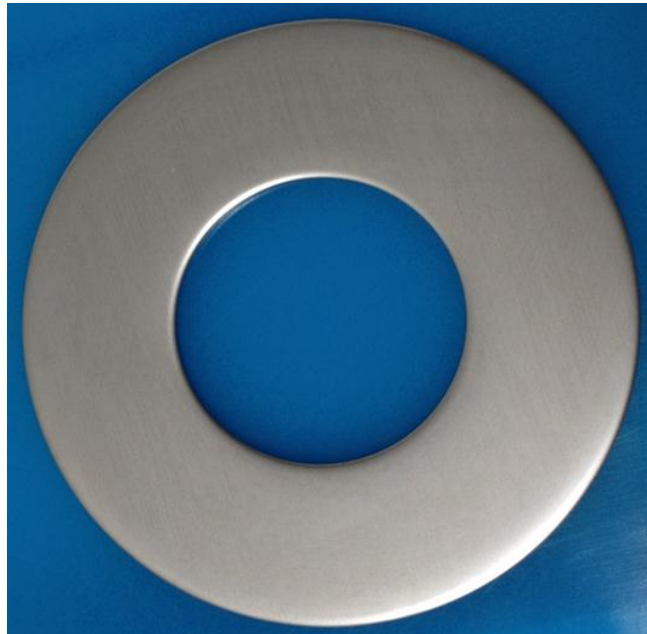
Gambar 3.19. Proses pencelupan oli secara cepat



Gambar 3.20. Dies setelah proses hardening

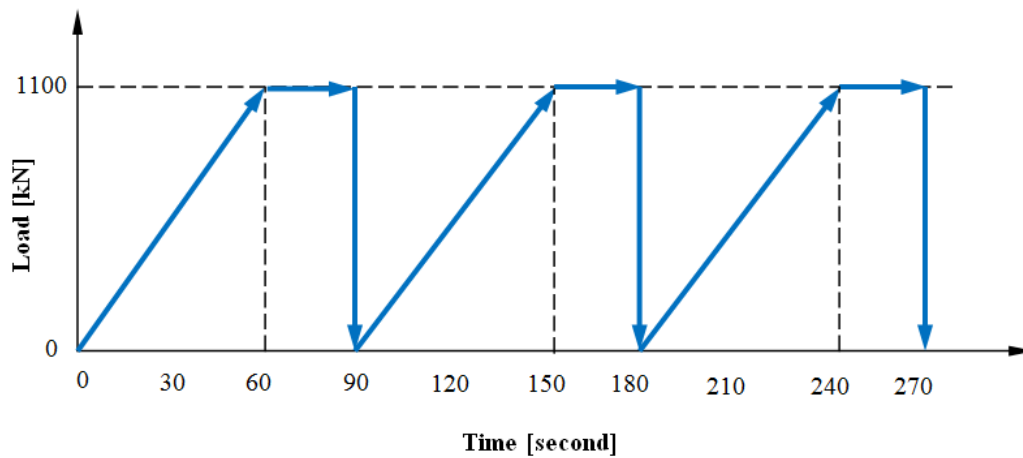
c. Pembentukan Gasket Metal Bergelombang

Kita siapkan material gasket berupa cakram berlubang dengan ketebalan 1,5 mm, diameter dalam 7,5 mm dan diameter luar 2 mm. Gambar 3.21 menunjukkan material gasket yang akan dibentuk.



Gambar 3.21. Material gasket

Kita lakukan proses *forming* dengan menggunakan mesin *press* dengan gaya sebesar 950kN. Proses *forming* dilakukan sebanyak 3 kali dengan masing-masing *forming* membutuhkan waktu selama 30 detik. Proses *forming* yang 3 kali untuk menghindari adanya efek *spring back*. Pembebanan yang diberikan bisa dilihat pada Gambar 3.22. Gasket metal bergelombang yang sudah terbentuk bisa dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.22. Gaya pembebanan dalam forming gasket



Gambar 3.23. Gasket metal bergelombang

d. Proses *coating* dengan metode elektroplating

Variabel elektroplating adalah arus dan waktu yang digunakan. Proses *coating* untuk memperoleh ketebalan lapisan $20\mu\text{m}$ dan $30\mu\text{m}$ untuk masing-masing material *coating*. Urutan proses *coating* bisa dilihat pada Gambar 2.4. Terdapat perbedaan antara *coating* nikel dan tembaga. Pada proses *coating* nikel hanya sampai pada *coating* nikel kilap, namun pada proses *coating* tembaga dimulai dari mulai sampai selesai pada Gambar 2.4. Kegiatan seting peralatan elektroplating bisa dilihat pada Gambar 3.24. Setelah seting peralatan selesai, penelitian ini juga mengadakan pelatihan elektroplating bagi dosen dan teknisi. Tujuan pelatihan ini agar dosen dan teknisi bisa melakukan elektroplating secara mandiri untuk digunakan pembelajaran elektroplating bagi mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin yang mengambil mata kuliah Kimia Teknik. Gambar 3.25 menunjukkan gambar saat pelatihan elektroplating pada dosen dan teknisi.



Gambar 3.24. Setting peralatan elektroplating



(a) proses penjelasan

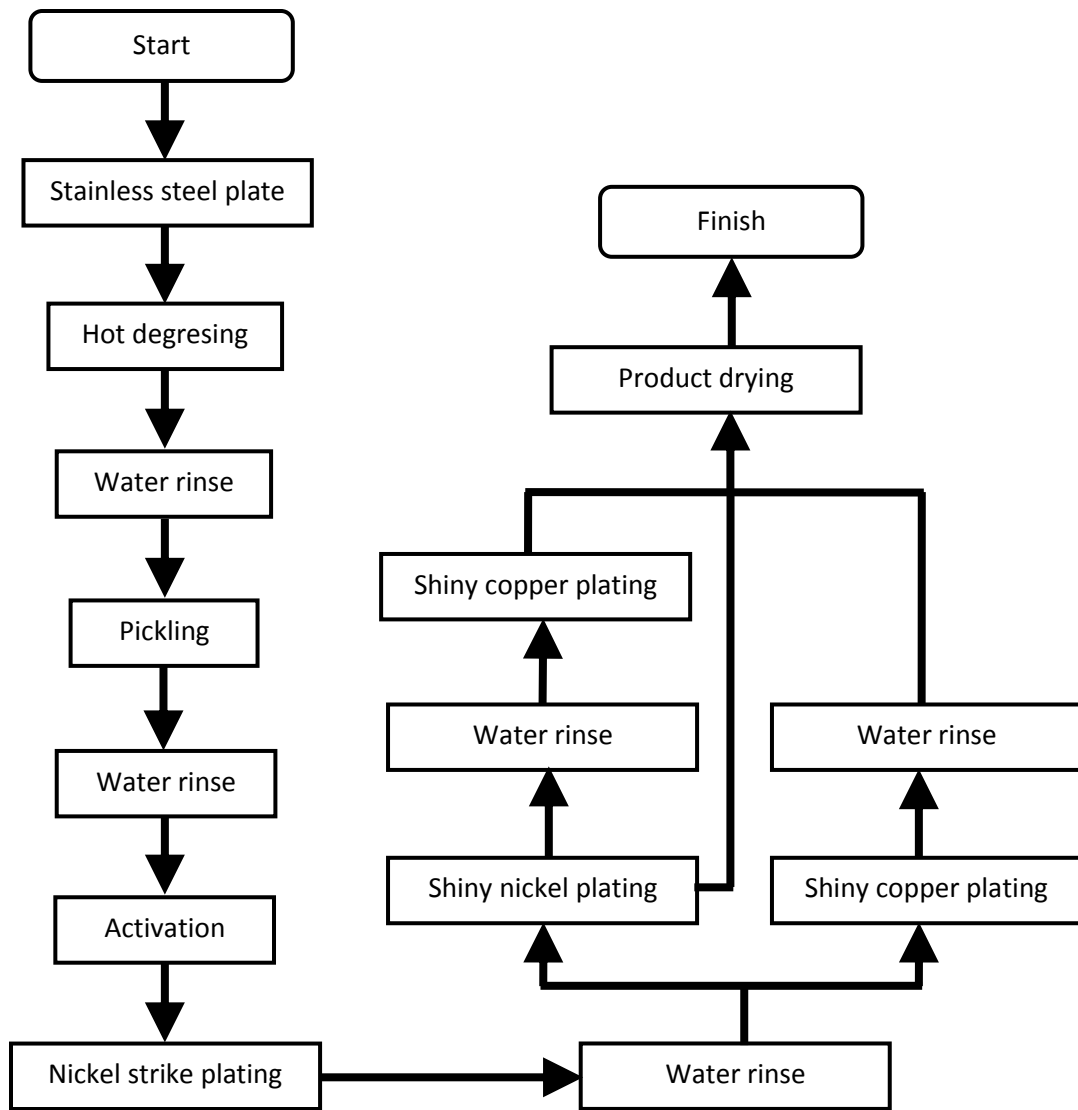


(b) proses praktik dan pencontohan

Gambar 3.25. Pelatihan proses elektroplating

Urutan Elektroplating secara skema bisa dilihat pada Gambar 3.26. Gambar tersebut merupakan pengembangan dari flowchart pada Gambar 2.2. Kegiatan elektroplating secara keseluruhan bisa dilihat mulai Gambar 3.27 sampai dengan Gambar 3.37. Penjelasan proses pada Gambar 3.27 sampai dengan 3.37 lebih lengkap bisa dilihat pada sub bab 2.4. Untuk menghindari kerusakan pada kulit maka kita harus menggunakan pelindung tangan, karena sebagian cairan adalah zat kimia yang bersifat asam dan bisa merusak kulit. Namun demikian sebenarnya ada cairan berupa air biasa, khususnya pada proses pembilasan.

Pada proses plating kita menggunakan kawat untuk menggantung gasket. Kawat ini akan menghalangi gasket yang seharusnya terjadi pelapisan. Oleh karena itu posisi kait seminimal mungkin menghalangi gasket. Selain itu posisi kait harus diubah-ubah supaya tidak menutupi satu tempat pada gasket. Proses pelapisan juga terjadi pada satu sisi, sehingga posisi kawat bisa diubah ketika proses pelapisan pada sisi yang lainnya.



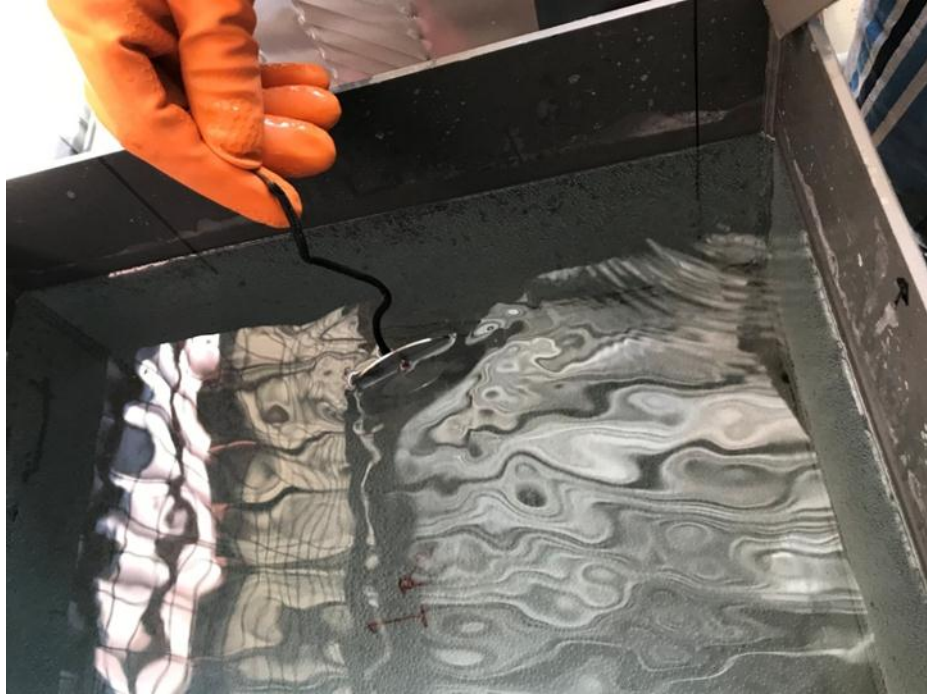
Gambar 3.26. Bagan alir proses elektroplating logam *stainless steel*



Gambar 3.27 *Hot degreasing*



Gambar 3.28. Bilas air



Gambar 3.29. *Pickling*



Gambar 3.30. Bilas air



Gambar 3.31. Aktivasi



Gambar 3.32. *Nickel strike plating*



Gambar 3.33. Bilas air



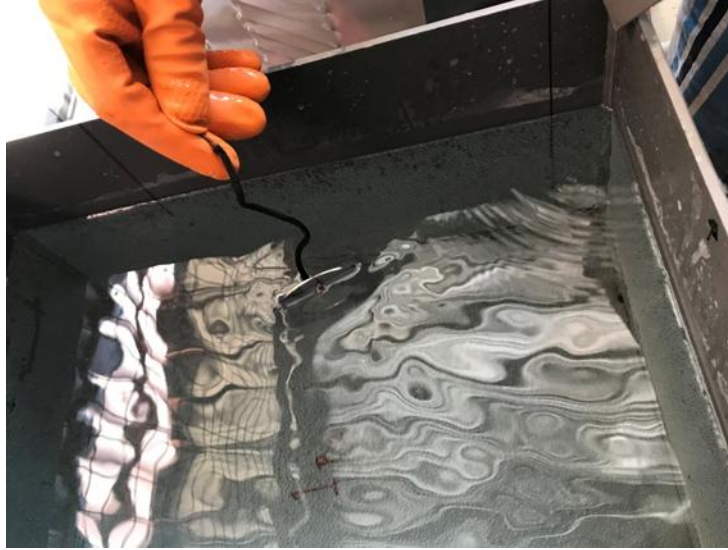
Gambar 3.34. Proses nikel kilap plating



Gambar 3.35. Bilas air



Gambar 3.36. Proses *copper* kilap plating



Gambar 3.37. Bilas air

Proses elektroplating ini menggunakan arus 1 A dan 4 Volt. Dalam hal ini kami melakukan pelapisan nikel, tembaga, nikel dan tembaga. Walaupun hanya pelapisan tembaga maka tetap harus melalui proses *nickel strike*. Selanjutnya proses pelapisan menuju kepada nikel kilap, tembaga kilap, atau nikel kilap dan tembaga kilap. Waktu yang dibutuhkan untuk masing-masing proses adalah sebagai berikut.

1. Hot degreasing untuk membersihkan lemak-lemak yang menempel. Kegiatan ini membutuhkan 2-3 menit. Setiap selesai proses memerlukan pembilasan air selama 1-2 menit.
2. Pickling untuk menghilangkan karat dengan cara merendam material selama 15 menit pada larutan pickling, selanjutnya bilas air selama 1-2 menit.
3. Aktifasi dengan cara merendam larutan asam H_2SO_4 dengan keasaman PH4 selama kurang lebih 1 menit atau sampai keluar gelembung udara.
4. Nickel strike plating. Khusus pelapisan baja harus melalui proses ini dengan cara merendam selama 2 menit anodik dan 3 menit katodik, selanjutnya dibilas dalam air
5. Nikel kilap plating sesuai kebutuhan ketebalan pelapisan, selanjutnya bilas dengan air.
6. *Copper plating* sesuai kebutuhan ketebalan pelapisan, selanjutnya bilas dengan air. Proses *copper plating* tidak diperlukan bila tidak memerlukan pelapisan tembaga.

Gambar 3.38 dan Gambar 3.39 menunjukkan gasket metal bergelombang setelah dilakukan

pelapisan nikel dan tembaga. Gambar 3.40 menunjukkan gasket standar, gasket *coating* nikel dan gasket *coating* tembaga.



Gambar 3.38. Gasket metal bergelombang *coating* tembaga



Gambar 3.39. Gasket metal bergelombang *coating* nikel



Gambar 3.40. Gasket sebelum *coating*, *coating* tembaga dan *coating* nikel

e. Hasil *coating* diuji kerekatan menggunakan struktur mikro

Gambar 3.41 menunjukkan spesimen uji kerekatan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 400 kali. Sebelumnya gasket metal bergelombang dengan *coating* tembaga dan nikel di potong sesuai spesimen yang dibutuhkan. Spesimen ini dilakukan baik *coating* tembaga maupun nikel.



Gambar 3.41. Spesimen uji struktur mikro

Sebelum pengukuran uji struktur mikro dilakukan pengamplasan sampai kehalusan 1500. Untuk memudahkan pengamplasan maka perlu dibuatkan pemegang menggunakan resin, lihat Gambar 3.41.

Keberhasilan coating adalah diperoleh hasil *coating* dengan material tembaga dan nikel. Permukaan terluar harus lebih lunak daripada SUS304. Selain itu antara material dasar dengan material *coating* terjadi ikatan yang kuat.

f. Focus Group Discussion (FGD) dengan Ahli

1) Focus Group Discussion dengan Ahli Gasket Metal Bergelombang

Forum group discussion yang pertama kami lakukan di ruang *meeting* Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY. Kami mengundang narasumber yang ahli tentang gasket metal bergelombang yang sudah melakukan penelitian lebih awal tentang gasket metal bergelombang. Dr. Eng. Moch Agus Choiron dari Universitas Brawijawa adalah peneliti yang sudah memulai meneliti gasket metal bergelombang sejak tahun 2008. Selain itu kami juga mengundang dosen dan teknisi di jurusan Pendidikan Teknik Mesin. Gambar 3.42 menunjukkan proses diskusi selama FGD berlangsung.

Pada FGD ini kami mendiskusikan kelayakan proses elektroplating dan melihat kelayakan hasil elektroplating pada gasket metal bergelombang. Dari hasil diskusi kami menyimpulkan bahwa gasket metal bergelombang yang dilapisi nikel dan tembaga layak untuk dilanjutkan penelitian dengan mengujicoba pada pipa. Namun demikian perlu dilakukan pengujian pada temperatur tinggi sekitar 150°C.



(a) Proses diskusi



(b) proses diskusi



(c) proses diskusi



(d) proses diskusi



(e) proses diskusi

Gambar 3.42. Proses diskusi selama FGD pertama berlangsung

2) Focus Group Discussion dengan Industri

Forum Group Discussion kedua dilaksanakan di Hotel Galuh Prambanan pada hari Selasa, 29 Oktober 2019. Kegiatan ini berlangsung mulai pukul 9 sd 15 WIB, dengan narasumber bapak Ardana, BE., SSP., M.Si. Beliau adalah Manajer Teknik PT Bhakti Bunga Ananda-Gas Companies. Masukan yang dapat diberikan adalah bagaimana kalau ke depan pengujian kebocoran gasekt dilaksanakan secaya nyata. Bukan lagi berdasarkan uji lab, karena kenyataannya ada kondisi yang berbeda di antara uji lab dan uji nyata di lapangan.

Kondisi diskusi berlangsung dengan bagus, terjadi diskusi antara pak Ardhana dengan peserta diskusi. Pertama, ketua peneliti melakukan presentasi penelitian yang sudah dilakukan, selanjutnya pembahasan oleh narasumber dan diskusi terbuka. Kondisi saat FGD bisa dilihat mulai Gambar 3.43 sampai dengan 3.4



Gambar 4.3. Kondisi saat pembukaan FGD



Gambar 4.4. Presentasi ketua peneliti



Gambar 4.5. Kondisi saat diskusi



Gambar 4.5. Kondisi saat tanya jawab



Gambar 4.6. Kondisi saat pembahasan oleh nara sumber dari industri

BAB 4. BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN

4.1 Anggaran Biaya

Anggaran biaya bisa kami ringkas seperti terlihat pada Tabel 4.1. Semua anggaran biaya sudah memenuhi batasan maksimal yang sudah ditentukan oleh panduan. Anggaran biaya dibagi dalam empat besar jenis pengeluaran, yaitu bahan habis pakai; pengumpulan data; analisis data (termasuk sewa peralatan); dan pelaporan, luaran wajib dan luaran tambahan. Data selengkapnya setia item pada keempat jenis keluaran di atas bisa di lihat pada Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja yang di-upload pada file tersendiri.

Tabel 4.1. Ringkasan anggaran biaya Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi

NO	Jenis Pengeluaran	Biaya Penelitian Tahun ke-1 (Rp)
1	Bahan yang meliputi pembelian bahan habis pakai, pembelian ATK dan konsumsi untuk seluruh kegiatan penelitian	67.412.423
2	Pengumpulan data meliputi proses pemotongan dan pembuatan, biaya teknis, biaya instruktur saat pelatihan elektroplating, biaya kegiatan FGD, dan biaya perjalanan dinas untuk pengumpulan data	44.128.500
3	Analisis data (termasuk sewa peralatan) meliputi biaya pembantu peneliti, beberapa kegiatan seminar, dan biaya perjalanan dinas untuk pengambilan data	32.525.650
4	Pelaporan, luaran wajib dan luaran tambahan meliputi biaya penyusunan pelaporan, publikasi, proof reading artikel, pembuatan draft paten dan perjalanan dinas ke luar negeri untuk mengikuti seminar internasional	67.058.427
Jumlah		211.125.000

BAB V

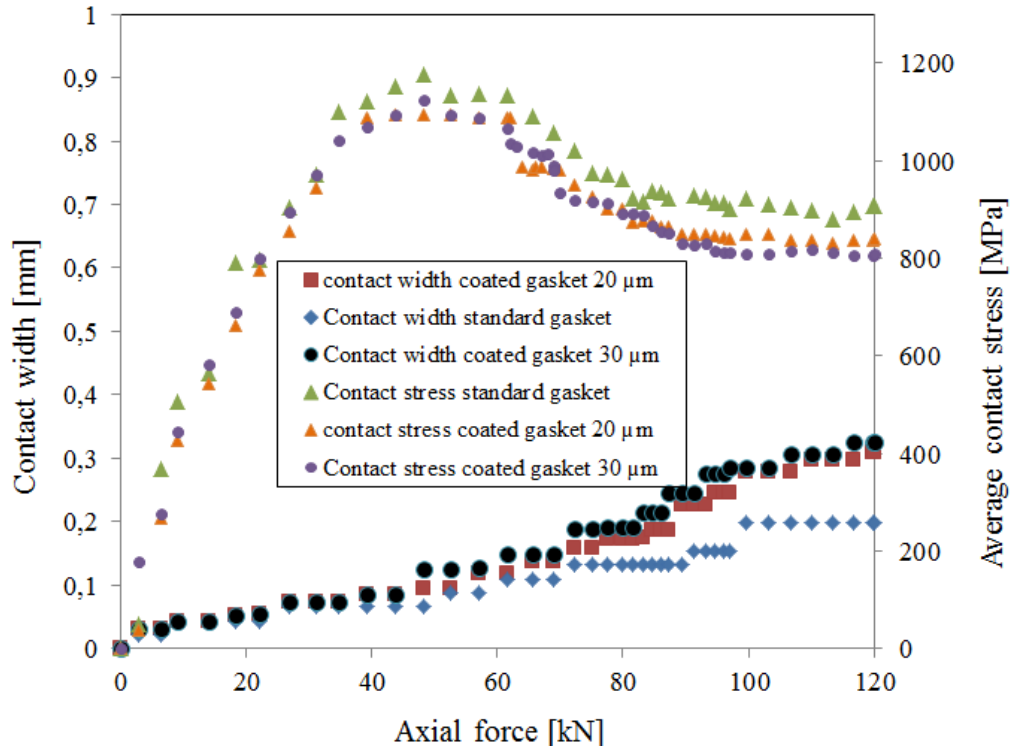
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Simulasi

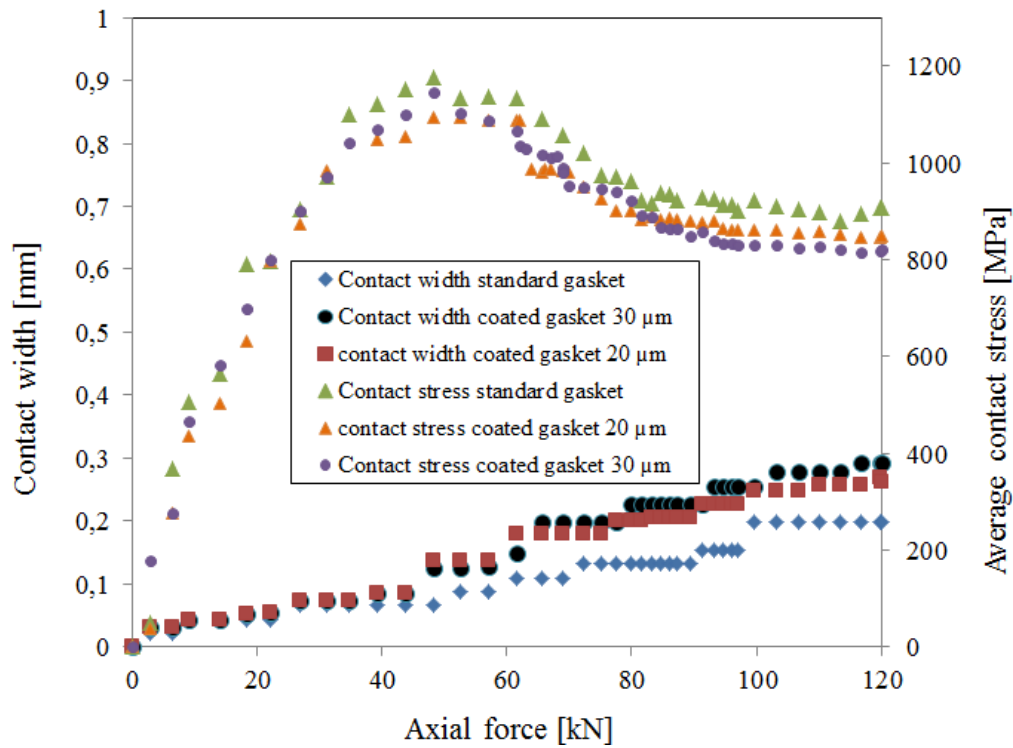
Hasil simulasi menunjukkan bahwa *contact stress* dan *contact width* antara gasket yang dilapisi tembaga terlihat pada Gambar 5.1. *Contact stress* dan *contact width* pada gasket metal bergelombang pada ketebalan lapisan 10 μm dan 15 μm tidak berbeda dengan gasket metal bergelombang standar, sehingga tidak digambarkan. Kita lihat bahwa *contact width* meningkat dengan adanya pelapisan tembaga setebal 20 μm dan 30 μm . Hal ini menunjukkan bahwa lapisan terluar dari gasket metal bergelombang mengisi kekasaran permukaan gasket. *Contact width* gasket metal bergelombang dengan pelapisan 30 μm lebih besar dibandingkan pelapisan 20 μm dan tanpa pelapisan. *Contact width* gasket metal bergelombang dengan pelapisan 20 μm lebih besar dibandingkan dengan gasket metal bergelombang standar.

Di sisi lain, *contact stress* untuk gasket metal bergelombang standar lebih tinggi dibandingkan gasket metal bergelombang yang dilapisi tembaga dengan ketebalan 20 μm dan 30 μm . Hal ini sesuai dengan tegangan yang diberikan pada luasan suatu benda. Dengan gaya yang sama diberikan pada benda, bila luasan membesar maka tegangannya mengecil dan sebaliknya bila luasannya mengecil maka tegangannya membesar. Sesuai pembahasan peneliti sebelumnya [6] bahwa *contact stress* minimum supaya tidak terjadi kebocoran adalah 800 MPa. Berdasarkan Gambar 5.1 seluruh *contact stress* masih di atas 800 MPa sehingga kebocoran masih bisa dicegah. Performa kebocoran bisa dilihat dari *contact width*, semakin besar *contact width* berarti kebocoran fluida akan menurun dan sebaliknya semakin kecil *contact width* maka kebocoran akan meningkat.

Dari pembahasan di atas dan berdasarkan data pada Gambar 5.1 maka bisa diambil kesimpulan bahwa gasket metal bergelombang dengan coating tembaga dengan ketebalan 30 μm memiliki performa yang lebih bagus dibandingkan dengan gasket metal bergelombang dengan ketebalan pelapisan 20 μm atau gasket metal bergelombang standar. Gasket metal bergelombang yang dilapisi tembaga dengan ketebalan 20 μm memiliki performa yang lebih bagus dibandingkan dengan gasket metal bergelombang standar.



(a) hasil simulasi untuk pelapisan dengan tembaga



(b) hasil simulasi untuk pelapisan dengan nikel

Gambar 5.1. *Contact stress* dan *contact width* gasket metal bergelombang

5.2. Analisis Eksperimen

Kecepatan pengendapan selama proses elektroplating berlangsung sesuai hukum Farady bahwa berat logam yang diendapkan berbanding lurus dengan kuat arus dan waktu. Pernyataan tersebut dirumuskan seperti pada persamaan (5.1).

$$W = \frac{A_r \cdot I \cdot t}{Z_A \cdot 96500} \quad (5.1)$$

Where: A_r : Berat atom
 Z_A : Elektron valensi
 I : Kuat arus
 t : waktu

Kerapatan lapisan (ρ) bisa dirumuskan seperti pada persamaan (5.2) sedangkan ketebalan lapisan bisa dilihat pada persamaan (5.3).

$$\rho = \frac{\text{Layer weight}}{\text{Layer volume}} \quad (5.2)$$

$$\text{layer thickness} = \frac{\text{Layer weight}}{\rho \cdot \text{Layer area}} \quad (5.3)$$

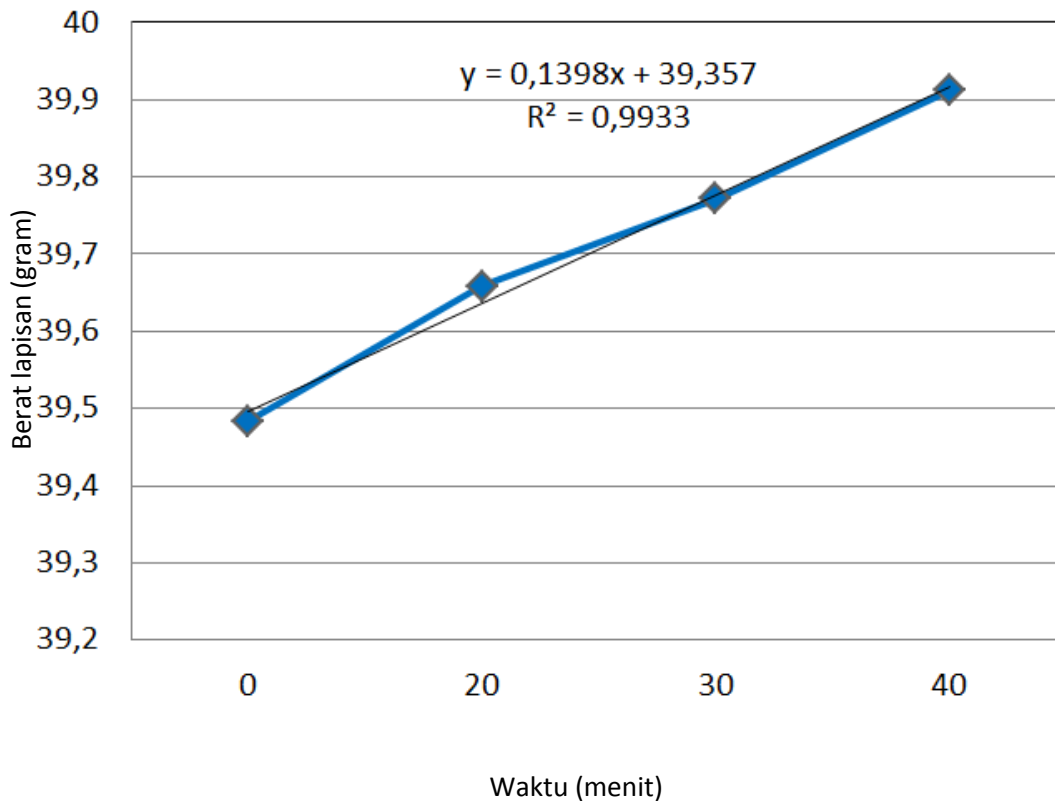
Luasan yang terkena pelapisan adalah luasan atas dan bawah ditambah luasan keliling luar dan keliling dalam. Dimensi gasket adalah diameter luar (D) 74,6 mm, diameter dalam (d) 35,1 mm dan tebal gasket (t) 1,6 mm. Setelah dilakukan perhitungan luas total yang terlapisi adalah 7354,1828 mm². Berat jenis material tembaga adalah 8,96 gr/cm³ atau 0,00896 gr/mm³ dan nikel adalah 8,908 gr.cm³ atau 0,008908 gr/mm³.

Tabel 5.1 dan Gambar 5.2 menunjukkan data elektroplating nikel pada gasket metal bergelombang. Data tersebut menunjukkan berat awal dan pertambahan berat pelapisan nikel dalam waktu 40 menit. Proses elektroplating material nikel dilakukan pada arus 1 ampere, sedangkan elektroplating tembaga menggunakan arus 3 ampere.

Tabel 5.1. Data berat pelapisan nikel

No	Initial weight (gram)	Shiny nickel weight (gram)		
		20 minute	10 minute	10 minute
1	39,38	39,44	39,54	39,75
2	39,68	39,71	39,86	39,91
3	39,34	39,55	39,63	39,87
4	39,63	39,69	39,79	39,97
5	39,39	39,90	40,04	40,06
Average	39,484	39,658	39,772	39,912

Dalam Gambar 5.2 ditunjukkan pada sumbu x adalah waktu dalam menit dan sumbu y menunjukkan berat total gasket. Terjadi hubungan kenaikan berat lapisan nikel terhadap waktu, sehingga akan sangat mudah memprediksi berat nikel dalam waktu yang akan datang.



Gambar 5.2. Penambahan berat lapisan nikel berdasarkan waktu

Berdasarkan Tabel 5.2, rata-rata berat dalam waktu 40 menit adalah 0,428 gram. Selanjutnya perhitungan tebal *coating* menggunakan rumus:

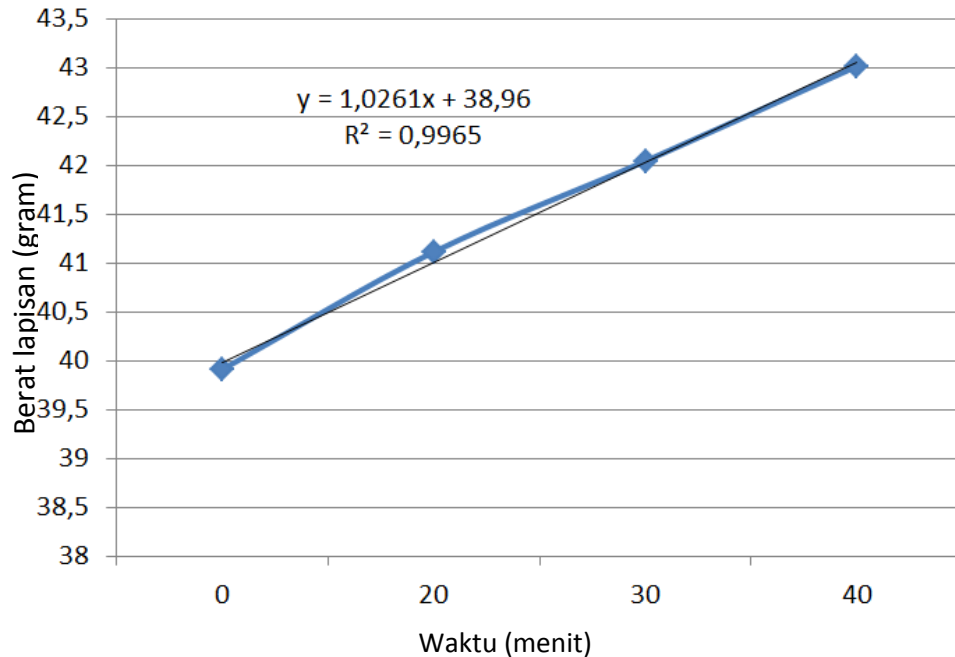
$$\rho = \frac{\text{penambahan massa}}{\text{volume}} = \frac{\text{penambahan massa}}{\text{luas x tebal coating}}$$

$$\text{tebal coating} = \frac{\text{penambahan massa}}{\text{luas x } \rho} = \frac{0,428}{7354,1828 \times 0,008908} = 0,00653325 \text{ mm} = 6,53325 \mu\text{m}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka bisa ditentukan bahwa untuk memperoleh ketebalan lapisan 20 μm , maka waktu yang dibutuhkan adalah 120 menit. Sedangkan ketebalan 30 μm bisa diperoleh dalam waktu 184,6 menit.

Tabel 5.2. Data berat pelapisan tembaga

No	Initial wight (gram)	Berat tembaga kilap (gram)		
		20 menit pertama	10 menit kedua	10 menit ketiga
1	39,75	40,75	41,77	42,85
2	39,91	40,97	41,64	42,68
3	39,87	41,10	41,86	42,56
4	39,97	41,66	42,87	43,93
5	40,06	41,09	42,10	43,09
Average	39,912	41,1175	42,048	43,022



Gambar 5.3. Penambahan berat lapisan tembaga berdasarkan waktu

Tabel 5.2 dan Gambar 5.3 menunjukkan data elektroplating tembaga pada gasket metal bergelombang. Proses elektroplating material tembaga menggunakan arus 3 ampere. Berdasarkan Tabel 5.2, rata-rata berat dalam waktu 40 menit adalah 3,12 gram. Selanjutnya perhitungan tebal *coating* menggunakan rumus:

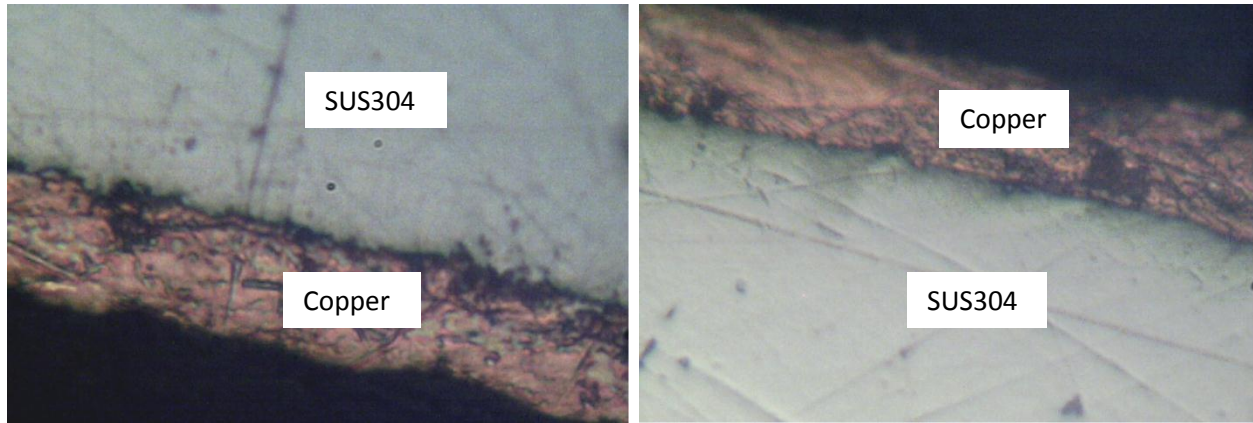
$$\rho = \frac{\text{penambahan massa}}{\text{volume}} = \frac{\text{penambahan massa}}{\text{luas} \times \text{tebal coating}}$$

$$\text{tebal coating} = \frac{\text{penambahan massa}}{\text{luas} \times \rho} = \frac{3,12}{7354,1828 \times 0,00896} = 0,02237597 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka bisa ditentukan bahwa untuk memperoleh ketebalan lapisan 20 μm , maka waktu yang dibutuhkan adalah 36 menit. Sedangkan ketebalan 30 μm bisa diperoleh dalam waktu 53,63 menit.

Sampai dengan ini kita bisa menentukan jenis elektroplating untuk memperoleh lapisan nikel dan tembaga dengan ketebalan masing-masing 20 μm dan 30 μm . Dalam hal ini untuk memperoleh ketebalan tertentu dengan menambah atau mengurangi waktu proses elektroplating.

Penelitian selanjutnya adalah menentukan bagaimanakah kerekatan antara lapisan dengan nikel atau tembaga dengan gasket. Kerekatan ini bisa dilihat menggunakan uji struktur mikro. Kerekatan lapisan nikel dan tembaga bisa dilihat pada Gambar 5.4 sampai dengan Gambar 5.7.

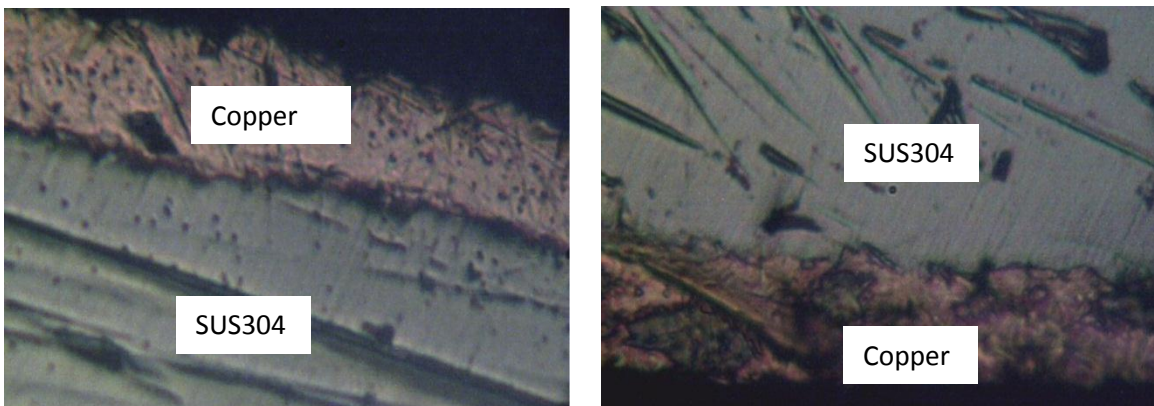


(a) Sisi bawah

(b) Sisi atas

Gambar 5.4. Kerekatan gasket dengan tembaga setelah digunakan

Gambar 5.4 menunjukkan hasil gasket metal bergelombang yang dilapisi tembaga dan sudah digunakan pada flens untuk mencegah kebocoran. Foto tersebut merupakan hasil pengambilan di sisi atas dan bawah dari gasket. Tampak pada sisi pinggir ada warna coklat yang menunjukkan lapisan tembaga. Pada sisi atas dan bawah tampak antara SUS 304 dan tembaga terdapat garis pemisah antara kedua lapisan. Hal ini berarti antara SUS 304 dengan tembaga tidak terjadi difusi dan tembaga hanya menempel pada SUS 304.

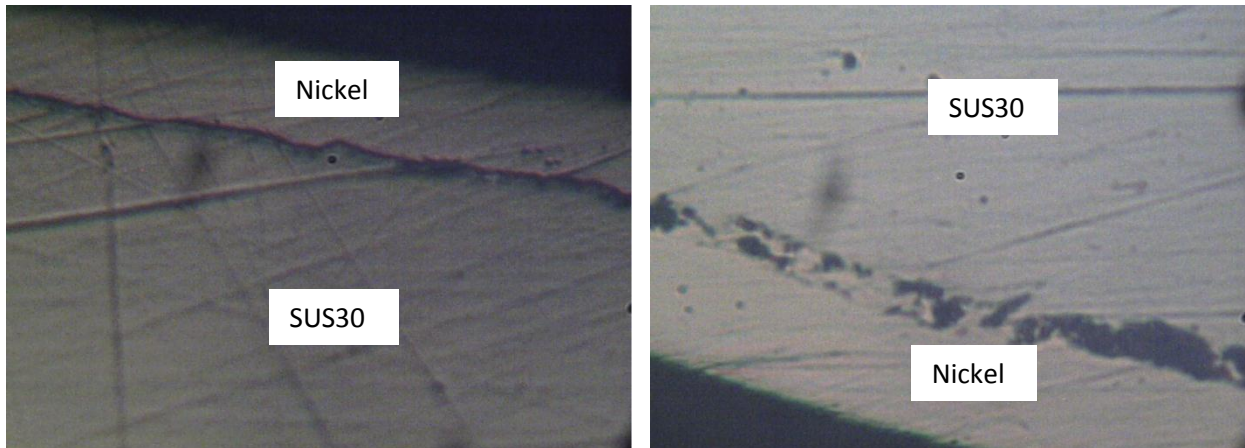


(a) Sisi atas

(b) Sisi bawah

Gambar 5.5. Kerekatan gasket dengan tembaga sebelum digunakan

Gambar 5.5 menunjukkan hasil gasket metal bergelombang yang dilapisi tembaga dan belum digunakan pada flens untuk mecegah kebocoran. Foto tersebut merupakan hasil pengambilan di sisi atas dan bawah dari gasket. Tampak pada sisi pinggir ada warna coklat yang menunjukkan lapisan tembaga. Pada sisi atas dan bawah tampak antara SUS 304 dan tembaga terdapat garis pemisah antara kedua lapisan. Hal ini berarti antara SUS 304 dengan tembaga tidak terjadi difusi dan tembaga hanya menempel pada SUS 304.

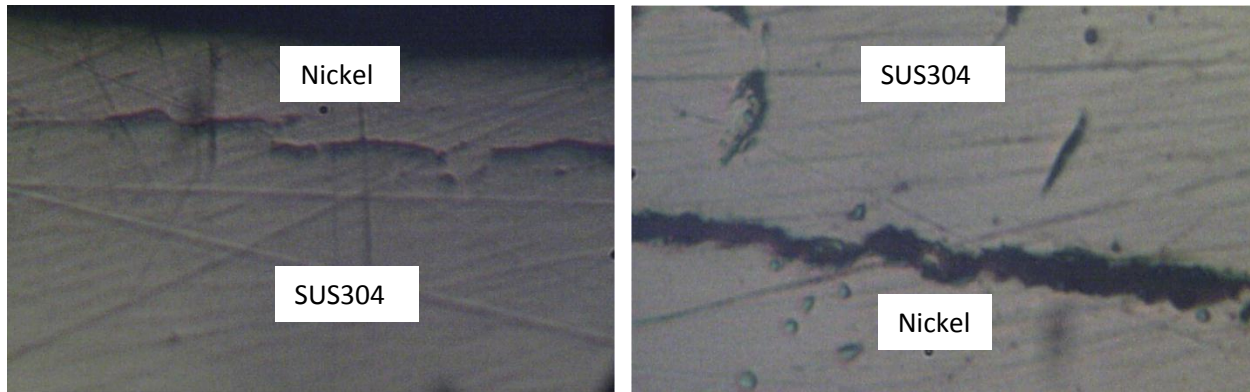


(a) Sisi atas

(b) Sisi bawah

Gambar 5.6. Kerekatan gasket dengan nikel setelah digunakan

Gambar 5.6 menunjukkan hasil gasket metal bergelombang yang dilapisi nikel dan sudah digunakan pada flange untuk mecegah kebocoran. Foto tersebut merupakan hasil pengambilan di sisi atas dan bawah dari gasket. Tampak pada sisi pinggir ada lapisan tipis yang menunjukkan lapisan nikel. Pada sisi atas dan bawah tampak antara SUS 304 dan nikel terdapat garis pemisah antara kedua lapisan. Hal ini berarti antara SUS 304 dengan nikel tidak terjadi difusi dan nikel hanya menempel pada SUS 304.



(a) Sisi atas
 (b) Sisi bawah
 Gambar 5.7. Kerekatan gasket dengan nikel sebelum digunakan

Gambar 5.7 menunjukkan hasil gasket metal bergelombang yang dilapisi nikel dan belum digunakan pada flange untuk mencegah kebocoran. Gambar tersebut merupakan hasil pengambilan di sisi atas dan bawah dari gasket. Tampak pada sisi pinggir ada lapisan tipis yang menunjukkan lapisan nikel. Pada sisi atas dan bawah tampak antara SUS 304 dan nikel terdapat garis pemisah antara kedua lapisan. Hal ini berarti antara SUS 304 dengan nikel tidak terjadi difusi dan tembaga hanya menempel pada SUS 304.

Pengujian menggunakan struktur mikro menunjukkan bahwa tidak terjadi difusi antara nikel atau tembaga pada SUS 304. Namun demikian tidak terdapat perbedaan antara kerekatan nikel atau tembaga dengan SUS 304, baik sebelum dan sesudah digunakan untuk mencegah kebocoran. Lapisan nikel dan tembaga terjadi secara masif dan tidak pecah. Keadaan ini tetap sama baik sebelum gasket digunakan atau setelah digunakan. Selanjutnya perlu dicek performa gasket setelah dilapisi nikel atau tembaga.

Hasil akhir penelitian ini adalah pengujian kebocoran menggunakan *water pressure test*. Hasil kebocoran bisa dilihat pada Tabel 5.3. Performa gasket yang paling bagus adalah gasket dengan pelapisan tembaga, setelah itu pelapisan nikel dan yang terakhir gasket standar. Ketebalan pelapisan 30 μ m lebih bagus dibandingkan ketebalan 20 μ m.

Tabel 5.3. Uji kebocoran gasket dengan *water pressure test*

Axial force (kN)	Water pressure test (MPa)	SUS304 gasket	Cu Coated		Ni Coated	
			20 μ m	30 μ m	20 μ m	30 μ m

40	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	Leak	No Leak	No Leak	Leak	No Leak
	10	Leak	Leak	Leak	Leak	Leak
	12	Leak	Leak	Leak	Leak	Leak
60	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	10	Leak	No Leak	No Leak	Leak	No Leak
	12	Leak	Leak	No Leak	Leak	Leak
80	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	10	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	12	Leak	No Leak	No Leak	Leak	No Leak
100	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	10	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	12	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Menurut pembahasan di atas dan hasil penelitian maka bisa diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Telah ditemukan proses coating yang sesuai untuk pelapisan nikel dan tembaga pada gasket SUS 304. Proses tersebut adalah elektroplating. Untuk mengaktifkan ion material SUS 304 perlu dilakukan aktivasi menggunakan 30% H₂SO₄. Proses aktivasi dengan merendam *stainless steel* selama kurang lebih 1 menit sampai menimbulkan gas pada bendanya. Setelah proses aktivasi maka dilakukan proses elektrolisis nikel kilap sampai ketebelan yang diperlukan. Untuk elektroplating tembaga maka tetap dilakukan aktivasi dan selanjutnya proses elektroplating tembaga kilap sampai ketebalan yang diinginkan.
2. Lapisan nikel dan tembaga tidak terjadi difusi pada SUS 304, namun begitu antara nikel atau tembaga menempel pada material SUS 304. Material lapisan tidak pecah baik sebelum digunakan maupun setelah digunakan. Penempelan nikel atau tembaga pada SUS 304 terjadi baik material belum digunakan maupun setelah digunakan.
3. Hasil uji kebocoran, diperoleh pelapisan nikel dengan ketebalan 20 μ m dan 30 μ m lebih bagus dari pada gasket standar. Gasket dengan lapisan tembaga 20 μ m dan 30 μ m juga lebih baik dari pada pelapisan Ni.

6.2. Saran

1. Perlu dicari perhitungan secara simulasi bagaimana pergeseran antara material SUS 304 dengan material *coating* nikel atau tembaga.
2. Perlu juga dicari perhitungan secara analitis gaya geser yang terjadi saat proses pengetatan gasket.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asbestos is hard to replace as Japan heads for ban, *Sealing Technology* 1 (2006) 1.
- [2] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 74 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun.
- [3] Undang-Undang Republik Indonesia No. 9 Tahun 2008 tentang Penggunaan Bahan Kimia dan Larangan Penggunaan Bahan Kimia Sebagai Senjata Kimia.
- [4] Estrada, H., Parsons, I.D., Strength and Leakage Finite Element Analysis of GFRP Flange Joint, *International Journal of Pressure Vessel and Piping* 76 (1999) pp. 543-550.
- [5] Krishna, M.M., Shunmugam, M.S., Prasad, N.S., A Study on the Sealing Performance of Bolted Flange Joints with Gaskets using Finite Element Analysis, *International Journal of Pressure Vessel and Piping* 84 (2007) pp. 349-357.
- [6] Ross, E., Kockelmann, H., Hann, R., Gasket Characteristics for Design of Bolt Flange Connections of Metal-to-metal Contact Type, *International Journal of Pressure Vessel and Piping* 79 (2002) pp. 45-52.
- [7] Saeed, H.A, Izumi, S., Sakai, S., Haruyama, S., Nagawa, M., Noda, H., (2008), Development of New Metallic Gasket and its Optimum Design for Leakage Performance, *Journal of Solid Mechanics and Material Engineering* 2: 1 pp. 105-114.
- [8] Haruyama S., Choiron M.A, Kaminishi K., (2009), A Study of Design Standard and Performance Evaluation on New Metallic Gasket, *Proceeding of the 2nd International Symposium on Digital Manufacturing*, Wuhan China, pp. 107-113.
- [9] Nurhadiyanto D., Choiron M.A., Haruyama S., Kaminishi K., (2012), Optimization of New 25A-size Metal Gasket Design Based on Contact Width Considering Forming and Contact Stress Effect, *World Academy of Science, Engineering and Technology* Vol.6 pp. 661-665.
- [10] Haruyama, S., Nurhadiyanto, D., Choiron, M.A., and Kaminishi, K., (2013), Influence of Surface Roughness on Leakage of New Metal Gasket, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 111-112 pp. 146-154.

- [11] Haruyama, S., Nurhadiyanto, D., and Kaminishi, K., (2014), Contact Width Analysis of Corrugated Metal Gasket based on Surface Roughness, *Advanced Material Research*, Vol. 856 pp. 92-97.
- [12] Nurhadiyanto, D., Haruyama, S., Kaminishi, K., Karohika, IMG., Mujiyono, (2015), Contact Stress and Contact Width Analysis of Corrugated Metal Gasket, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 799-800 pp. 765-769.
- [13] Winarto, Priadi, D., Sofyan, N., Anggoro, M.A., (2015), Wear Resistance and Interlocking Properties of AISI 5200 Steel Ball Bearing Coated by Nanocomposites, *International Journal of Technology* 3, pp 471-479.
- [14] Choiron M.A, Haruyama S., Kaminishi K., (2011), Simulation and Experimentation on the Contact Width of New Metal Gasket for Asbestos Substitution, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 5, pp. 1182-1186.
- [15] Choiron M.A, Haruyama S., Kaminishi K., (2011), Optimum Design of New 25A-size Metal Gasket Considering Plastic Contact Stress, *International Journal of Modeling and Optimization*, vol. 1, no. 2 pp. 146-150.
- [16] JISB244, *Dimensions of gaskets for use with the pipe flanges*, Japanese Standards Assosiations, 2006.
- [17] JIS B2220, *Steel Pipe Flanges*, Japanese Standards Association, 2004.
- [18] Belkin, P.N., Yerokin, A., Kusmanov, S.A., Plasma Electrolytic Saturation of Steel with Nitrogen and Carbon, *Surface and Coating Technology*, 307 (2016) pp. 1134-1218.
- [19] JIS Z2241, (1998), *Method of Tensile Test for Metallic Materials*, Japanese Standards Association.
- [20] Materials Data Book, Cambridge University Engineering Department, 2003 Edition.
- [21] Cambridge Engineering Selector software (CES 4.1), 2003, Granta Design Limited, Rustat.
- [22] MSC Marc. *User manual* (2007).

Lampiran 1. Susunan Organisasi Tim Peneliti dan Pembagian Tugas

No	Nama/NIDN	Institusi asal	Bidang Ilmu	Alokasi waktu (jam/minggu)	Uraian tugas
1	Dr. Eng., Didik Nurhadiyanto, ST., MT./ 0004067103	Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT, UNY	Rekayasa Perancangan dan Manufaktur	10	Mengkoordinasikan kegiatan anggota, melakukan simulasi, eksperimen mendesain proses forming
2	Dr. Ir. Mujiyono, ST., MT., W.Eng. IPM./ 0015057109	Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT, UNY	Material	8	Melakukan desain <i>coating</i> , memproses <i>coating</i> , dan membentuk gasket
3	Dr. Sutopo, MT./ 0013037104	Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT, UNY	Pemesinan	8	Mendesain dies, menyiapkan material SUS 304 dan membuat flens

Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Pengusul

Biodata Ketua Peneliti

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Eng. Didik Nurhadiyanto, ST., MT.
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
4	NIP/NIK/Identitas lainnya	19710604 199702 1 001
5	NIDN	0004067103
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Boyolali, 4 Juni 1971
7	E-mail	didiknur@uny.ac.id
8	Nomor Telepon/HP	081804293605
9	Alamat Kantor	Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNY Karangmalang Yogyakarta
10	Nomor Telepon/Faks	(0274) 520327/(0274) 520327
11	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S-1 = 30 orang; S-2 = - orang; S-3 = - orang
12	Mata Kuliah yang Diampu	1. Dinamika Teknik
		2. Getaran Mekanis
		3. Metode Elemen Hingga
		4. Mekanika Teknik
		5. Matematika
		6. Fisika
		7. Proses Produksi

B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	UNDIP	ITS	Yamaguchi University
Bidang Ilmu	Teknik Mesin	Rekayasa Perancangan dan Manufaktur	Material and Mechanics
Tahun Masuk-lulus	1991-1996	1998-2001	2011-2014
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Kaji Eksperimental Charge dan Discharge Tangki Dengan Variabel Tekanan dan Buka-an Katup	Studi Eksperimental Pengaruh Vibrator terhadap Getaran Pad sebagai Efek ABS pada Pengereman Cakram	Influence of Surface Roughness on Leakage of the Corrugated Metal Gasket
Nama Pembimbing/Promotor	Sudargana, MS.	Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, Ph.D.	Prof. Ken Kaminishi, Ph.D. Prof. Shigeyuki Haruyama, Ph.D.

C. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	Jml (Juta Rp)
			Sumber*	
1.	2015	Rekayasa Konverter Motor Berbahan Bakar Gas LPG untuk Mengatasi Detonasi Saat Penyalaan <i>Idle</i>	DIPA UNY	20
2.	2015	Analisis Tingkat <i>Contact Stress</i> dan <i>Contact Width</i> pada Gasket Metal Bergelombang Saat Mulai Tidak terjadi Kebocoran	DIPA FT	10
3.	2016	Rekayasa Panel Tahan Peluru Level IV Standar NIJ dari Komposit Serat Rami dan Hardfacing Material HV/1000 (HMHV1000) dengan Matriks Epoksi	Stranas	100
4.	2016	Rekayasa Mesin Centrifugal Casting untuk Pipa BNCT Berbahan Alumunium Murni	DIPA FT	15
5.	2017	Rekayasa Panel Tahan Peluru Level IV Standar NIJ dari Komposit Serat Rami dan Hardfacing Material HV/1000 (HMHV1000) dengan Matriks Epoksi	Stranas tahun kedua	100
6.	2017	<i>Reengineering Corrugated Metal Gasket to Increasing Contact Width Using Coating Process to Decreasing Leakage Rate</i>	Kerjasama Luar Negeri	75
7.	2017	Unjuk Kerja Super Kapasitor sebagai Media Penyimpan Energi Listrik Guna Mendukung Pengembangan <i>Home Energy System</i> Media Pembelajaran Energi Terbarukan	Penelitian Produk Terapan	60
8.	2018	Nilai Energi Kalor BahanBakar Alternatif Olium Berbasis Limbah Minyak Berat Terhadap Variasi Formula Proses Produksi	Research Group	15
9.	2018	Komposit Tahan Peluru dari Serat Rami Dihibrida Titanium yang Diproses Electroless	Peneltian Unggulan PT	199

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	Jml (Juta Rp)
			Sumber*	
1.	2015	Pelatihan Pemrograman CNC Menggunakan Simulator SSCNC untuk Guru SMK DIY	DIPA FT UNY	5
2.	2016	Presentasi “Ide Kreatif dan Rancangan Penelitian Menyongsong LKIR dan NYIA 2016”	SMA Negeri 6 Yogyakarta	-

3.	2016	Pelatihan Praktik Pengecoran Aluminium bagi Guru-guru SMK Program Keahlian Teknik Mesin	SMK Muh 1 Salam, SMK N 1 Magelang dan SMK N 3 Yogyakarta	7,5
4.	2017	Workshop Model Pembelajaran Pelatihan CNC	BLPT Yogyakarta	17
5.	2018	Rancang Bangun dan Pembuatan Kompor Bioetanol Sederhana dari kaleng Bekas sebagai Pengganti Kompor Lilin Kemah Pramuka untuk Guru-guru SD Imogiri Bantul Yogyakarta	FT UNY	8

E. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel	Nama Jurnal	Volume/Nomor/Tahun
1.	Optimization of New 25A-size Metal Gasket Design Based on Contact Width Considering Forming and Contact Stress Effect	World Academy of Science, Engineering and Technology	Vol: 6 Tahun 2012
2.	Surface Roughness of Flange Contact to the 25A-size Metal Gasket by Using FEM Simulation	World Academy of Science, Engineering and Technology	Vol: 7 Tahun 2013
3.	Influence of Surface Roughness on Leakage of New Metal Gasket	International Journal of Pressure Vessels and Piping	111-112 Tahun 2013
4.	Deformation Characteristic of Thin Stainless Gasket Material	Applied Mechanics and Materials	Vol.: 392 Tahun 2013
5.	Contact Width Analysis of Corrugated Metal Gasket Based on Surface Roughness	Advanced Materials Research	Vol: 856 Tahun 2014
6.	Contact Stress and Contact Width Analysis of Corrugated Metal Gasket	Applied Mechanics and Materials	Vol: 799-800, No: Tahun 2015
7.	Development of 25A-Size Three-Layer Metal Gasket by Using FEM Simulation	International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering	Vol: 10, No: 3, Tahun 2016
8.	Ramie Fiber Reinforced Epoxy (RFRE) Composite for Bulletproof Panels	Journal of Fundamental and Applied Science	ISSN 1112-9867, Spesial Issue Tahun 2017
9.	Analysis of Contact Width and Contact Stress of Three-Layers Corrugated Metal Gasket	International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering	Vol: 11, No. 4. Tahun 2017
10.	Manufacture of Nickel Collimator for BMCT: Smelting of Nickel Using Electrical Arc Furnace and Centrifugal	Indonesian Journal of Physic and Nuclear Applications	Vol 3 No 1, Tahun 2018

	Casting Preparation		
--	---------------------	--	--

F. Pemakalah Seminar Ilmiah (*Oral Presentation*) dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.	The 8 th International Conference on Innovation and Management	Contact Width Evaluation of New 25A-size Metal Gasket Considering Forming Effect	30 November - 2 Desember 2011 di RIHGA Royal Hotel Kokura Jepang
2	International Conference on Aerospace, Mechanical, Automotive and Material Engineering	Optimization of New 25A-size Metal Gasket Design Based on Contact Width Considering Forming and Contact Stress Effect	28-29 Februari 2012 di NH Anglo American Hotel, Florence Italy
3	International Conference on Aerospace, Mechanical, Automotive and Material Engineering	Surface Roughness of Flange Contact to the 25A-size Metal Gasket by Using FEM Simulation	27-28 Februari 2013 di NH Calderon Hotel, Barcelona Spain
4	The 5 th International Conference on Mechanical and Electrical Technology	Deformation Characteristic of Thin Stainless Gasket Material	20-21 Juli 2013 di Xinhua International Hotel Chengdu China
5	International Conference on Material Science and Engineering Technology	Contact Width Analysis of Corrugated Metal Gasket Based on Surface Roughness	16-17 November 2013 di Hotel Novotel London, The United Kingdom
6	International Conference on Mechanical and Electrical Technology	Contact Stress and Contact Width Analysis of Corrugated Metal Gasket	1-2 Juli 2015 di Bali, Indonesia
7	International Conference on Plastic, Rubber and Composite	Rami Fiber Reinforced Epoxy (RFRE) Composite for Bulletproof Panels	19-20 Mei 2017 di Phuket, Thailand
8	International Conference on Technology and Vocational Teachers (ICTVT)	The Characteristic of Aluminum Casting Product Using Centrifugal Casting	28 September 2017 di Hotel Sheraton Mustika Yogyakarta
9	International Conference on Mechanical Engineering and Applied Composite Materials (MEACM)	Simulation Analysis of 25A-Size Corrugated Metal Gasket Coated Copper to Increase Its Performace	23-24 November 2017 di Regal Hotel, Hongkong
10	International Conference on Technology and Vocational Teachers (ICTVT)	An Analysis of Changes in Flange Surface Roughness after being Used to Toghten a Corrugated Metal Gasket	15 November 2018 di Digilib UNY, Yogyakarta

G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	Getaran Struktur	2015	116	K-Media
2	Mekanika Teknik untuk Vokasional Teknik Mesin	2016	200	UNY Press

H. Perolehan HKI dalam 5-10 Tahun Terakhir

No.	Judul /Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1	Konverter Kit untuk Mesin Motor Bakar Empat Langkah	2017	Paten Sederhana	

I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul /Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1	-			

J. Penghargaan dalam 10 Tahun Terakhir (dari Pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberian Penghargaan	Tahun
1.	Satya Lencana 10 Tahun	Presiden RI	2011
2.	The Best Presenter	IPN Education Group	2017

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pelaporan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2019.

Yogyakarta, 23 Oktober 2019
Pengusul,



Dr. Eng. Didik Nurhadiyanto, MT.
NIP. 19710604 199702 1 001

Biodata Anggota 1

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Ir. Mujiyono, MT., W.Eng. IPM.
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Jabatan Fungsional	Lektor
4	NIP/NIK/Identitas lainnya	19710615 199702 1 001
5	NIDN	0015067103
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Bantul/15 Juni 1971
7	E-mail	mujiyonouny@yahoo.com
8	Nomor Telepon/HP	08156881557
9	Alamat Kantor	Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNY Karangmalang Yogyakarta
10	Nomor Telepon/Faks	(0274) 520327/(0274) 520327
11	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S-1 = 36 orang; S-2 = - orang; S-3= - orang
12	Mata Kuliah yang Diampu	1. Bahan Teknik Dasar
		2. Bahan Teknik Lanjut
		3. Mekanika Bahan
		4. Teori Pengelasan
		5. Praktik Pengelasan SMAW
		6. Pengujian Las

B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	UGM	UGM	UGM
Bidang Ilmu	Teknik Mesin	Teknik Mesin	Teknik Mesin
Tahun Masuk-lulus	1990-1996	1998-2000	2006-2011
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Pengaruh Fraksi Volume terhadap Sifat Mekanis Komposit Serat Glass dan Polyester (Rekayasa material)	Pengaruh <i>Shot Peening</i> Terhadap Laju Perambatan Retak Fatik Pada Paduan Al 2024-T3 dan Al 2524-T3 yang di <i>Stretching</i> (Rekayasa material)	Rekayasa Sekresi Kutu Albasia Sebagai Matriks Alam Biokomposit (Pembuatan material jenbis baru)
Nama Pembimbing/Promotor	Prof. Ir Jamasri, Ph.D.	Prof. Ir Jamasri, Ph.D.	Prof. Ir Jamasri, Ph.D.

C. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1.	2010	Pembuatan Material Biokomposit dari Serat Rami dan Bambu dengan Matriks Alam Sekresi Kutu Lak (48 jt)	DIKTI Hibah Bersaing	47
2.	2012	Matriks Matlac dari Sekresi Kutu Lak untuk Membuat Biokomposit dengan <i>Reinforcement</i> Serat Rami Acak	STRANAS DIKTI	90
3.	2012	Pengembangan Mesin Simulator Las (MeSiL) untuk Pembentukan Skill Pengelasan yang Efisien dan Efektif	Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi	80
4.	2012	Pengembangan Welding Procedure Specification (WPS) pada Mata Kuliah Praktik Shielded Metal ARC Welding (SMAW) di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta	Penelitian Fakultas	15
5.	2012	Tracer Study lulusan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY dari tahun 2008-2012	Penelitian Fakultas	15
6.	2013	Matriks matlac dari sekresi kutu lak untuk membuat biokomposit dengan reinforcement serat rami acak	STRANAS DIKTI	90
7.	2013	Rekayasa mesin simulator las (MeSiL) untuk pembentukan skill pengelasan yang efisien dan efektif	Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi	80
8.	2013	Rekayasa Panel Tahan Peluru dari Komposit <i>Hybride</i> Serat Rami dan <i>Titanium Nitride</i> (TiN) dengan Matriks Epoksi	Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi	125
9.	2014	Pengembangan Beamport of Colimator Tube Berbahan Nikel dengan <i>Centrifugal Casting</i> untuk	Konsorsium SINAS Kemenristek BATAN-UNY-UGM-UNS	1.000

		Aplikasi <i>Boron Neutron Capture Cancer Therapy</i>		
10.	2014	Pengembangan Karburator Untuk Motor Berbahan Gas LPG	Kerjasama UNY-Yamaguchi University dan, PMT Jepang	20
11.	2014	Pengembangan Tungku Peleburan Aluminium sebagai Media Pembelajaran Teknik pengecoran di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT UNY	Hibah Unggulan Perguruan Tinggi	40
12.	2015	Rekayasa Konverter Motor Berbahan Bakar Gas LPG untuk Mengatasi Detonasi Saat Penyalaan <i>Idle</i>	DIPA UNY	20
13.	2015	Analisis Tingkat <i>Contact Stress</i> dan <i>Contact Width</i> pada Gasket Metal Bergelombang Saat Mulai Tidak terjadi Kebocoran	DIPA FT	10
14.	2016	Rekayasa Panel Tahan Peluru Level IV Standar NIJ dari Komposit Serat Rami dan Hardfacing Material HV/1000 (HMHV1000) dengan Matriks Epoksi	Stranas	100
15.	2016	Rekayasa Mesin Centrifugal Casting untuk Pipa BNCT Berbahan Aluminium Murni	DIPA FT	15
16	2017	Rekayasa Panel Tahan Peluru Level IV Standar NIJ dari Komposit Serat Rami dan Hardfacing Material HV/1000 (HMHV1000) dengan Matriks Epoksi	Stranas tahun kedua	100

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	Jml (Juta Rp)
			Sumber*	
1.	2010	Mesin Pembuat Tepung Garut untuk pemberdayaan masyarakat di Clereng, Sendangsari, Pengasih, Kulon Progo	DIPA UNY	10
2.	2011	Mesin Pembuat Tepung Sukun untuk masyarakat Desa Pereng, Sendangsari, Pengasih, Kulon Progo	DIPA UNY	15
3.	2011	Pelatihan Web dan Microsoft Excel bagi Guru-Guru SMA Muhammadiyah Prambanan	Swadaya	5
4.	2012	Pelatihan Visual Welding Inspection untuk Meningkatkan Kompetensi Guru Las di MGMP Pengelasan se-Kabupaten Bantul	DIPA UNY	15

5.	2012	Pelatihan Aplikasi <i>Welding Procedure Specification</i> (WPS) bagi Guru-guru Pengelasan di SMK Sedayu	DIPA UNY	7
6.	2013	Pengembangan Tungku Peleburan Aluminium Untuk Mendukung Kompetensi Pengecoran Di SMK Program Studi Keahlian Teknik Mesin	DIPA UNY	15

E. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel	Nama Jurnal	Volume/Nomor/Tahun
1.	Material Science and Research India	Volume 7 No. 1	
2.	Insect secretion on Albazia tree as biobased material alternative for matrix composite	Material Science and Research India	Volume 7 No. 1
3.	Mechanical Properties of Ramie Fibers Reinforced Biobased Material Alternative as Natural Matrix Biocomposite	International Journal of Materials Science	Volume 5, Number 6
4.	Modification of Insect Secretion on Kesambi Tree By Using Anhydride Phthalic as Biobased Material Alternative for Matrix Composite	International Journal of Metallurgical & Materials Science and Engineering	Vol 3 issue 2 Juni 2013

F. Pemakalah Seminar Ilmiah (*Oral Presentation*) dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.	Seminar Nasional Hasil Penelitian Rekayasa dan MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta	Rekayasa Biokomposit dari Sekresi Kutu Lak dan Serat Rami. Seminar Nasional Hasil Penelitian Rekayasa dan MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta	Yogyakarta, tanggal 4 Desember 2010. pp. 421-434
2.	Seminar Nasional Hasil Penelitian Rekayasa dan MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta	Metode Pengerasan pada Proses Karburising Padat. Seminar Nasional Hasil Penelitian Rekayasa dan MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta	Yogyakarta, tanggal 4 Desember 2010. pp. 31-45
3.	6 th Internat'l Workshop on Green Composite	<i>Mechanical Properties of Ramie Natural Fiber with</i>	Kumoh National Institute of

		<i>Shellac Natural matrix for Green Composite</i>	Technology, Korea
4.	Seminar Nasional Optimalisasi Penelitian dan PPM untuk Pencerahan dan Kemandirian Bangsa.	PENGEMBANGAN mesin simulator las (MeSiL) untuk pembentukan skill pengelasan yang efisien dan efektif	LPPM UNY 7-8 Mei 2013. Prosiding Seminar ISBN: 978-979-562-028-0
5.	Seminar Nasional Pendidikan Vokasi Sebagai Disiplin Ilmu	Rekayasa Sensor Pengukur Kecepatan Gerak Elektroda Las Menggunakan Accelerometer 3 Axis untuk Merekam Skill Penegelasan Secara Realtime	ADGVI kerjasama dengan UNY , 14 Desember 2014. Prosiding Seminar ISBN: : 978-6027981-24-9
6.	Seminar Nasional Pendidikan Vokasi Sebagai Disiplin Ilmu	Kebutuhan Bahan Praktik Untuk Membentuk Skill Pengelasan Posisi 1 G	ADGVI kerjasama dengan UNY , 14 Desember 2014. Prosiding Seminar ISBN: : 978-6027981-24-9
7.	Seminar Internasional BNCT	Manufaktur Collimator BNCT Berbahan Nikel dengan Metode <i>Gravity Casting</i> dan Analisis Potensi Centrifugal Casting sebagai Metode Alternatif	
8.	International Conference on Plastic, Rubber and Composite	Rami Fiber Reinforced Epoxy (RFRE) Composite for Bulletproof Panels	19-20 Mei 2017 di Phuket, Thailand

G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	-			

H. Perolehan HKI dalam 5-10 Tahun Terakhir

No.	Judul /Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1.	Biokomposit Hijau dari serat rami dan sekresi kutu lak. Patent Indonesia.	2010	Paten sederhana	P 00200800473
2.	Karburising Padat Secara Kontinyu.	2008	Paten sederhana	P 00201000857
3.	100 Inovator Terbaik Indonesia Tahun 2008 oleh BIC dan Kemenristek	2013	Produk inovasi	Buku 100 Inovator Indonesia
4.	Creative Design and Manufactur Product		Kerjasama UNY dan Yamaguchi	<i>Colaboration teaching Pengembangan</i>

			University, Jepang	Produk
--	--	--	-----------------------	--------

I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul /Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1	-			

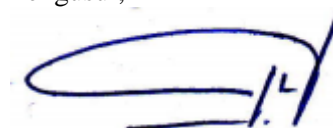
J. Penghargaan dalam 10 Tahun Terakhir (dari Pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberian Penghargaan	Tahun
1	Satya Lencana 10 Tahun	Presiden RI	20

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pelaporan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2019.

Yogyakarta, 23 Oktober 2019
Pengusul,



Dr. Ir. Mujiyono, MT. W.Eng. IPM.
NIP. 19710615 199702 1 001

Biodata Anggota 2

A. Identitas Diri

1	Nama lengkap	Dr. Sutopo, MT.
2	Jabatan Fungsional	Lektor
3	NIP	19710313 200212 1 001
4	NIDN	0013037104
5	Tempat dan tanggal lahir	Pati, March 13 th 1971
6	E-mail	sutopo@uny.ac.id
7	Telepon	+628122753154
8	Alamat	Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNY Karangmalang Yogyakarta

B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Universitas	IKIP Yogyakarta	UGM	UNY
Bidang Studi	Mechanical Engineering Education	Mechanical Engineering	Vocational Education
Tahun masuk-lulus	1990-1995	2004-2006	2008-2015
Judul skripsi	Kajian Daya Pemanas Air Sistem Elektrik dengan Pendekatan Analisis Dimensi	Pengaruh Deposisi Lapisan Tipis TiN-AlN-TiN terhadap Ketahanan Aus Pahat Bubut High Speed Steel	Pengaruh Sertifikasi Guru SMK terhadap Kinerja Sekolah
Nama Promotor	Drs. Subiyono, MP.	Mudjijana, M.Eng	Prof. Djemari Mardapi, Ph.D. Prof. Pardjono, Ph.D.

C. Pengalaman Penelitian 5 tahun terakhir

No.	Tahun	Judul	Pembiayaan	
			Sumber dana*	Jumlah (Juta Rp)
1.	2014	Tanggapan Masyarakat Terhadap Implementasi Kurikulum 2013	Balitbang-Kemdikbud	200
2.	2014	Citra Pendidikan Nasional	Balitbang-Kemdikbud	200
3.	2015	Pengaruh Sertifikasi Guru SMK terhadap Kinerja Sekolah	Disertasi	50
4.	2016	Pengembangan Praktik Pengecoran Aluminium di SMK Program Keahlian Teknik Mesin	DIPA UNY	15

5.	2016	Upaya Meningkatkan Kualitas Pembelajaran Di SMK Jurusan Teknik Mesin Melalui Penerapan Model Pembelajaran Kooperatif	DIPA UNY	15
----	------	--	----------	----

D. Pengalaman PPM 5 tahun terakhir

No.	Year	Title	Funding	
			Resource*	Amount (Juta Rp)
1.	2014	IbPE Kerajinan Mainan Edukatif Berbahan Kayu di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta (tahun-2)	DIKTI	100
2.	2015	IbPE Kerajinan Mainan Edukatif Berbahan Kayu di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta (tahun-3)	DIKTI	100
3.	2015	IbPE Kerajinan Kayu di Kabupaten Bantul (tahun-1)	DIKTI	100
4.	2016	IbPE Kerajinan Kayu di Kabupaten Bantul (tahun-2)	DIKTI	100
5.	2016	IbPE Usaha Kerajinan Kayu di Mangunan, Dlingo, Bantul (tahun-1)	DIKTI	100
6.	2017	IbPE Kerajinan Kayu di Kabupaten Bantul (tahun-2)	DIKTI	100

E. Publikasi Jurnal 5 tahun terakhir

No.	Title	Name of Journal	Volume/Number/Year
1	Penerapan Model Pembelajaran Algoritma-Heuristik Sebagai Upaya Untuk Meningkatkan Kualitas Pembelajaran Praktik Permesinan	Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan,	Volume 17, Nomor 2, Oktober 2014 ISSN 18929-5797, Hlm: 279-297).

F. Pemakalah 5 tahun terakhir

No.	Name of Conference	Title	Time and Place
1.	Lokakarya dan Seminar Pengembangan Akreditasi LPTK, Studi Kesulitan Prodi yang belum Terakreditasi, Studi Performance Prodi Pasca Akreditasi	Pengembangan Akreditasi LPTK, Studi Kesulitan Prodi yang belum Terakreditasi, Studi Performance Prodi Pasca Akreditasi	2012, Jakarta

2.	Bimtek Pembekalan Pemerataan Mutu Keahlian Guru SMK Melalui Kerjasama Dengan Dunia Usaha dan Industri	Mutu Keahlian Guru SMK Melalui Kerjasama Dengan Dunia Usaha dan Industri	2013, Jakarta
3.	Seminar Nasional Pendidikan Vokasi	Pedagogi vokasi: pengembangan metode pengajaran dan pembelajaran pendidikan kejuruan untuk meningkatkan profesionalisme guru	5 Pebruari 2015 di Yogyakarta
4.	International Seminar: The Role of the Technological and Vocational Education in Asean Economic Community	An Impact of VHS Teacher Certification on Teacher Performances.	3-6 August, 2016 State University of Medan

G. Pengalaman penulisan buku 5 tahun terakhir

No.	Judul	Tahun	Jumlah halaman	Publisher

H. Paten 5 tahun terakhir

No.	Judul	Tahun	Jenis	Number P/ID
1	-			

J. Penghargaan 5 tahun terakhir (dari pemerintah, asosiasi, dan institusi lain)

No.	Jenis penghargaan	Institusi pemberi penghargaan	Tahun

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pelaporan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2019.

Yogyakarta, 23 Oktober 2019

Pengusul,

Dr. Sutopo, MT.

NIP. 19710313 200212 1 001

LUARAN WAJIB HAK CIPTA



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201988029, 10 Desember 2019

Pencipta

Nama : **Dr. Eng., Didik Nurhadiyanto, ST., MT., Dr. Ir. Mujiyono, MT.,
W.Eng. IPM., , dkk**

Alamat : Prenggan RT 002 RW 016, Sidokarto, Godean, Sleman, Yogyakarta,
Sleman , Di Yogyakarta, 55564

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **LPPM UNY**

Alamat : Jl Colombo No. 1 Karangmalang Depok Sleman Yogyakarta, Sleman,
Di Yogyakarta, 55281

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku Panduan/Petunjuk**

Judul Ciptaan : **Standar Operasional Prosedur Rekayasa Gasket Metal
Bergelombang Dengan Coating Nikel**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 29 Oktober 2019, di Yogyakarta

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.

Nomor pencatatan : 000169726

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001



LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Dr. Eng., Didik Nurhadiyanto, ST., MT.	Prenggan RT 002 RW 016, Sidokarto, Godean, Sleman, Yogyakarta
2	Dr. Ir. Mujiyono, MT., W.Eng. IPM.	Denggung Tridadi, Sleman, Yogyakarta
3	Dr. Ir. Sutopo, S.Pd., MT.	Jl. Pandeyan No. 3 RT 016 RW 004, Pandeyan, Umbulharjo, Sleman, Yogyakarta
4	Isa Ibnu Ahbar	Gg. Bulu No 62 Krangkungan, Sanggrahan, Depok, Sleman, Yogyakarta





REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201988034, 10 Desember 2019

Pencipta

Nama : **Dr. Eng., Didik Nurhadiyanto, ST., MT., Dr. Ir. Mujiyono, MT.,
W.Eng. IPM., , dkk**

Alamat : Prenggan RT 002 RW 016, Sidokarto, Godean, Sleman, Yogyakarta,
Sleman, Di Yogyakarta, 55264

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **LPPM UNY**

Alamat : Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok Sleman Yogyakarta, Sleman,
Di Yogyakarta, 55281

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku Panduan/Petunjuk**

Judul Ciptaan : **Standar Operasional Prosedur Rekayasa Gasket Metal
Bergelombang Dengan Coating Tembaga**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 29 Oktober 2019, di Yogyakarta

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.

Nomor pencatatan : 000169978

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001



LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Dr. Eng., Didik Nurhadiyanto, ST., MT.	Prenggan RT 002 RW 016, Sidokarto, Godean, Sleman, Yogyakarta
2	Dr. Ir. Mujiyono, MT., W.Eng. IPM.	Denggung Tridadi, Sleman, Yogyakarta
3	Dr. Ir. Sutopo, S.Pd., MT.	Jl. Pandeyan No. 3 RT 016 RW 004, Pandeyan, Umbulharjo, Sleman, Yogyakarta
4	Anggi Maulana Amrullah	Ngunan-unan, Srigading, Sanden, Bantul, Yogyakarta



LUARAN TAMBAHAN
ARTIKEL

SUS304 Material Coating with Nickel Through Electroplating



D. Nurhadiyanto, Mujiyono, W. Abbas, Sutopo, and S. Haruyama

Abstract Material coating may improve the material surface by repairing the appearance of a material and hardening or softening the surface. Stainless steel is hard to be coated because it is not a conductor in nature. Thus, there is a need to put an effort and creativity to coat stainless steel. SUS304 stainless steel has a relatively hard surface which functions as a seal, so it needs to be coated with softer materials in order to fill the flange surface roughness. This study aims to coat SUS304 with nickel using the electroplating method. Electroplating is a procedure that is initiated with the activation and nickel strike plating processes. The results of this study show that nickel can fully coat the SUS304. The nickel coat attaches well to the material, and there is no nickel crack on the material surface.

Keywords Stainless steel · Coating · Nickel · Electroplating

1 Introduction

Material coating is usually done with the purpose of increasing resistance to corrosion, protecting the base metal against corrosion, or obtaining certain properties of materials. Coating may be done by melting, spraying, vacuum deposition, cladding, and electroplating. A coating method depends on the purpose of coating as well as the materials being coated.

A study focusing on the uses of corrugated metal gaskets reveals that in a high level of flange surface roughness, there is a leak in the metal gasket since the gasket material does not fill and completely cover the roughness of the surface Haruyama et al. [1]. Thus, the outermost surface should be coated with softer material. Three softer layers are used in the forming process Haruyama et al. [2] and Karohika et al.

D. Nurhadiyanto (✉) · Mujiyono · W. Abbas · Sutopo
Mechanical Engineering Education, Universitas Negeri Yogyakarta, Colombo street No 1
Karangmalang, 55281 Yogyakarta, Indonesia
e-mail: didiknur@uny.ac.id

S. Haruyama
Graduate School of Innovation and Technology Management, Yamaguchi University, Yamaguchi,
Japan

[3]. The weakness of this modification is that the softer material does not blend well with the base material, and they even tend to come apart after the cold forming process.

Nurhadiyanto et al. [4] conducted a study that employed the finite element method (FEM) to coat a SUS304 gasket with copper. The study aimed to determine the contact width and contact stress of the gasket after being coated with copper. It was found that the contact width increased and contact stress decreased after the gasket was coated.

Since copper-coated SUS304 gasket has been investigated, a further study needs to be conducted on corrugated stainless steel gasket coating with nickel in order to provide support for the previous study. However, there is a problem in determining the method of coating SUS304 with nickel.

Agboola et al. [5] reviewed the properties and parameters of nickel coating. The energy needed in the electroplating process and material costs is of important considerations in conducting the study. The most important coating criteria are the quality and uniformity of the deposited metal. Nickel coating is widely used for decoration and engineering purposes. The appearance and properties of deposited nickel material may vary in accordance with the control of coating operation parameter.

Wahab et al. [6] conducted a study on nickel-coated cemented carbide. This nickel coating improves the quality of the gasket surface, for example, in obtaining certain thickness and uniformity. The thickness of the coating is directly proportional to the period of coating and inversely proportional to the width between the anode and the cathode (electrode), whereas consistency tends to increase in the large electrode gaps. Empirical models of both coating thickness and uniformity are developed with various coating thicknesses and periods, and then optimized solutions are determined using these models.

This study focuses on coating SUS304 material with nickel. The coating is done using the electroplating method. The purposes of this study are coating SUS304 with nickel, examining the bond strength between SUS304 and the nickel layer, and investigating whether there is a crack on the nickel layer.

2 Material and Method

The base material used in this study is SUS304, which is characterized by the nominal stress of 398.8 MPa, tangent modulus of 1900.53 MPa, and elastic modulus of 210 GPa. The coating material is nickel having a nominal stress of 210 MPa, tangent modulus of 200 MPa, and elastic modulus of 170 GPa [7] and [8]. Nickel is softer than SUS304 in nature.

The SUS304 material is in the form of a perforated disk with ridges in its top and bottom. Based on the shape, this material is called a corrugated metal gasket. The corrugated surface on the disk is formed using the cold forming method with a certain pressure [1]. The disk thickness is 1.5 mm with 7.5 mm inner diameter and 20 mm outer diameter.

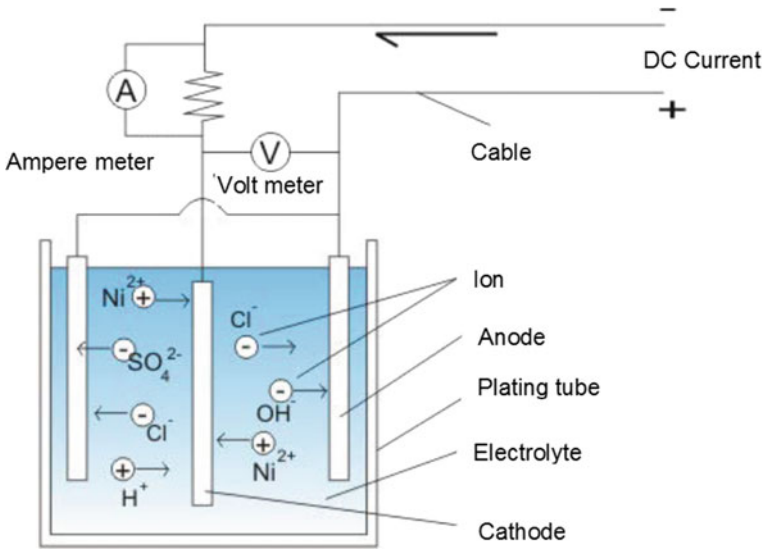


Fig. 1 The process of electroplating

Electroplating is a process of coating a metal with other metals using electrical current. In this study, the main purpose of electroplating is to make SUS304 surface softer without affecting its original stiffness. The coating material is resistant to corrosion and destructive chemicals. The process of electroplating is presented in Fig. 1 [9].

Nickel coating is an electrochemical deposition process. The SUS304 material was put in an electrolyte as a cathode. The nickel bar functioned as an anode that would stay in the SUS304 material. The electroplating on SUS304 is not an easy process since SUS304 is not a conductor. Nickel cannot be easily attached in the SUS304 material before the activation and nickel strike processes are in place. Those procedures were carried out to make the surface/pores of the stainless steel open. The flowchart of the electroplating process for coating stainless steel with nickel is presented in Fig. 2.

Hot degreasing cleans fat attached on the SUS304 material. The fat cleansing is done by rubbing the surface of the gasket with the alkaline solution for 2–3 min before rinsing with water for 1–2 min.

The pickling process was to remove rust on SUS304 by immersing the gasket in 20% hydrochloric acid (HCl) solution for 15 min. When the process was done, the gasket was rinsed with water to remove dirt. Then, the stainless steel was again immersed in the 30% H₂SO₄ solution for about one minute until gas came out of the gasket. This procedure was carried out in order to activate the stainless steel ions, so the gasket can be coated with nickel.

The next step, nickel strike plating, is carried out only if the object being coated is stainless steel. The solution for nickel strike plating was composed of nickel chloride

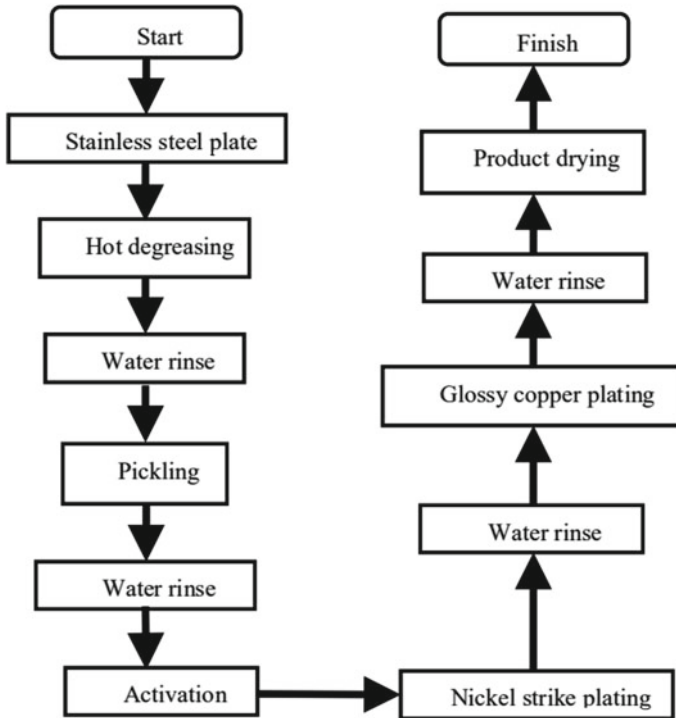


Fig. 2 Flowchart of the electroplating process

($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 240–300 gr/L and pure hydrochloric acid 86 gr/L. This procedure was done by immersing the gasket into the solution for 2 min anodic and 3 min cathodic. The last step of this procedure was rinsing the object with water.

After going through the nickel strike plating process, SUS304 was ready to be coated with nickel under the process of shiny nickel plating. The solution used in this process was nickel sulfate ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 250–325 gr/L, nickel chloride ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 45–65 gr/L, boric acid (H_3BO_3) 25–40 gr/L, and 4 cc/L brightener. Current and voltage values were used 1 A and 4 V, respectively. The duration of the coating process depends on the desired and required thickness. After completing each step of the procedure, the gasket was rinsed with water. The thickness of the nickel layer on the stainless steel gasket varied from 20 to 30 μm . Figure 3 presents the gasket before and after being coated.

The microstructure test was a procedure to examine whether the nickel attached well to the SUS304 material. Before the gasket was tested, it was cut in accordance with the required specimen. Sandpaper was used to make the surface of the specimen softer, into the 1500 level. After the test specimens were formed using resin, microstructure testing was done by examining the specimens under a microscope with 400 times magnification. The microspecimen structure is shown in Fig. 4, and the equipment used in microstructure testing is shown in Fig. 5.

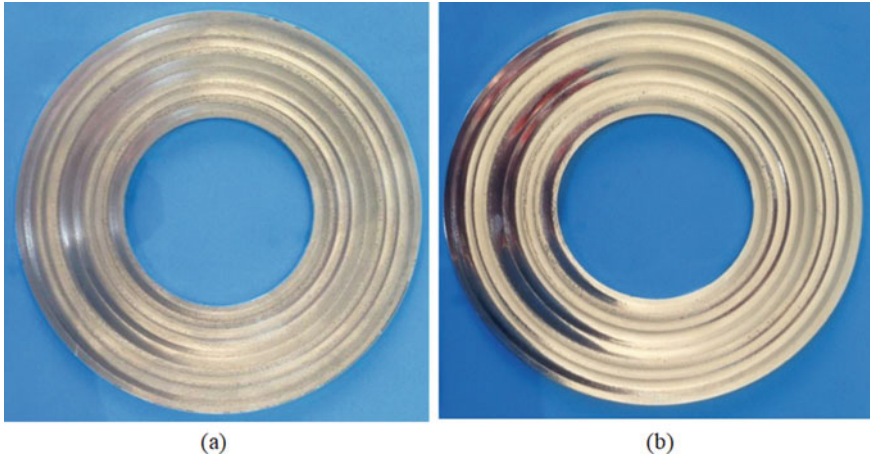


Fig. 3 Flowchart of the electroplating process **a** gasket before being coated with nickel, **b** gasket after being coated with nickel



Fig. 4 Specimens in the microstructure test

3 Results and Discussion

The bond strength of nickel coated to SUS304 is examined using the microstructure test from the visual state only. The bond of the nickel layer is presented in Fig. 6.

Figure 6 shows the results of nickel coating on SUS304 material. From two images of the gasket, it can be seen that there is a nickel layer on the edge of the stainless steel surface. In addition, from the upper and lower sides, there is a line dividing two layers. This means that there is no diffusion of nickel coating on SUS304. Moreover, the nickel layer attaches well on the SUS304 surface since there is no crack on it.

The SUS304 material's outer diameter (D) is 74.6 mm, its inner diameter is 35.1 mm, (d), and it has 1.6 mm thickness (t). Nickel coating covers a total of



Fig. 5 Specimens in the microstructure test

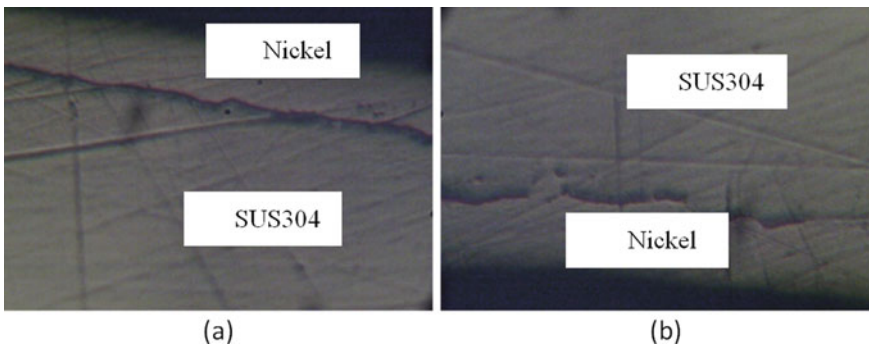


Fig. 6 Nickel bond on SUS304 **a** the top surface of tge gasket, **b** the bottom surface of the gasket

7354.1828 mm² of the stainless steel surface. The specific gravity of nickel is 0.008908 gr/mm³. The bond strength (ρ) is formulated in Eq. (1), while the thickness of the layer is shown in Eq. (2).

$$\rho = \frac{\text{Layer weight}}{\text{Layer volume}} \tag{1}$$

Table 1 Weight gained after 40 min of coating

No	Initial weight (gram)	Shiny nickel weight (g)		
		20 min	10 min	10 min
1	39.38	39.44	39.54	39.75
2	39.68	39.71	39.86	39.91
3	39.34	39.55	39.63	39.87
4	39.63	39.69	39.79	39.97
5	39.39	39.90	40.04	40.06
Average	39.484	39.658	39.772	39.912

$$\text{layer thickness} = \frac{\text{Layer weight}}{\rho \cdot \text{Layer area}} \quad (2)$$

Table 1 shows the data of SUS304 weight and the amount of nickel coating its surface. Those data present the initial weight and weight gained after 20, 30, and 40 min of coating which employs 1 A of current for each procedure.

Table 1 shows that the average weight gained in 40 min is 0.428 g. It indicates that as time increases, the material gains more weight. Thus, it is easy to predict the weight of nickel after certain periods of coating. The coating thickness is calculated using the Eq. (2).

Based on the above data, it is predicted that it takes 120 min to obtain the specified thickness of 20 μm , and 184.6 min to obtain 30 μm .

In accordance with the discussion above, SUS304 coating with nickel may be carried out using the electroplating procedure, but since SUS304 is not a conductor in nature, activation and nickel strike plating processes need to be done beforehand. The above-mentioned processes activate the ions and open up the stainless steel's pores. Nickel is not diffused into the material since it is well attached on the surface of the material. The bond of both materials is massive and even, so there is no crack on the surface being coated. The activation process should be done until gas comes out of the SUS304 gasket. If no gas comes out of the material during the process, the nickel may not be attached well on SUS304.

4 Conclusions

Based on the results of coating and microstructure testing in this study, the following conclusions can be drawn.

1. The electroplating procedure is done to coat the SUS304 material with nickel. In order to make the nickel fully coat the stainless steel surface, activation and nickel strike processes to open up the SUS304 ions should be conducted. Then, shiny nickel coating may be done as required.

2. There is no diffusion of nickel on SUS304 surface because the coating attaches only on the base material.
3. There is a quite strong bond between the SUS304 material and nickel, and there is no crack on the material surface.

Acknowledgements This project was supported by Ministry of Research, Technology, and Higher Education of the Republic of Indonesia by the scheme of “Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi” year 2019.

References

1. Haruyama S, Nurhadiyanto D, Choiron MA, Kaminishi K (2013) Influence of surface roughness on leakage of new metal gasket. *Int J Press Vessels Pip* 111–112:146–154
2. Haruyama S, Karohika IMG, Sato A, Nurhadiyanto D, Kaminishi K (2016) Development of 25A-size three-layer metal gasket by using FEM simulation. *Int J Mech Aerosp Indust Mechatron Manuf Eng* 10:527–533
3. Karohika IGM, Haruyama S, Kaminishi K, Oktavianty O, Nurhadiyanto D (2017) Analysis of contact width and contact stress of three-layer corrugated metal gasket. *Int J Mech Aerosp Ind Mechatron Manuf Eng* 11:870–879
4. Nurhadiyanto D, Mujiyono, Sutopo, Ristadi FA (2018) Simulation analysis of 25A-size corrugated metal gasket coated copper to increase its performance. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 307:1–6
5. Agboola OS, Sadiku ER, Biotidara OF (2012) The properties and the effect of operating parameters on nickel plating (review). *Int J Phys Sci* 7(3):349–360
6. Wahab HA, Noordin MY, Izman S, Kurniawan D (2013) Quantitative analysis of electroplated nickel coating on hard metal. *Sci World J*
7. *Materials Data Book* (2003) Edition Cambridge University Engineering Department
8. Cambridge Engineering Selector software (CES 4.1) (2003) Granta design Limited. Rustat
9. Belkin PN, Yerokin A, Kusmanov SA (2016) Plasma electrolytic saturation of steel with nitrogen and carbon. *Surf Coat Technol* 307:1134–1218

THE PERFORMANCE OF NICKEL AND COPPER AS COATING MATERIALS FOR CORRUGATED METAL GASKETS

DIDIK NURHADIYANTO^{1,*}, SHIGEYUKI HARUYAMA²,
MUJIYONO¹, SUTOPO¹, FEBRIANTO A. RISTADI¹

¹Department of Mechanical Engineering Education, Faculty of Engineering,
Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No. 1,
55281 Karangmalang, Yogyakarta, Indonesia

²Graduate School of Innovation and Technology Management,
Yamaguchi University, Ube, Japan

*Corresponding Author: didiknur@uny.ac.id

Abstract

The corrugated metal gasket is currently still very much in development. This kind of gasket is essential to replace asbestos gasket, in which the production and usage are now prohibited. One of the developments in corrugated metal gasket is the formation of three-layered gasket materials. However, the manufacture of this formation is difficult as the three materials that are formed together cannot strongly bond. The purpose of this research is to form a coating of copper and nickel for SUS304 corrugated metal gasket. The purpose of the coating is to have the outer layer, which is of copper or nickel, to infiltrate the rough surface of the pipe flange, resulting in a much higher contact width. The research also incorporates simulation and experimental work to determine the performance of the coated corrugated metal gasket. Results from the simulation and experiments indicate that the corrugated gasket's performance is improving, which was shown by the increase in contact width and the decrease of leakage from the water pressure test. The increase in contact width was 54% but the contact stress decrease 18% for copper coated 30 μm and contact width was increase 39% but the contact stress decrease 8% for nickel coated 30 μm . The leakage did not occur when axial force 80 kN for standard gasket, 40 kN for copper coated, and 60 kN for nickel coated when the water pressure test 12 MPa.

Keywords: Coating, Corrugated metal gasket, Experimental, Leakage, Simulation.

1. Introduction

Corrugated metal gasket is currently being developed to replace asbestos gasket. Metal gasket is most suitable for pipe joints with a stream of corrosive and high temperature chemicals. The metal in this case is corrosion-resistance steel. The metal gasket is made corrugated to make it stick tightly to the flange. The corrugated part of the gasket consists of flats and rounds areas. The flat areas give a spring effect and the rounded areas serve to generate local contact stress. The rounded part of the gasket would form a sealing liner at the flange, which would then prevent leakages [1].

Corrugated metal gasket sized according to 25A standard has been developed by Nurhadiyanto et al. [2] using finite element method. An optimum design were tested using helium test. The influence of flange surface roughness towards leakages was researched by Haruyama et al. [3]. The surface roughness of the pipe flange greatly affects the leakage. The aforementioned research, however, still have their weaknesses as they required high tightening force. It was also observed that for a flange with a high surface roughness (above $3.5\mu\text{m}$), helium leakage was still occurred. To overcome the surface roughness problems while maintaining spring stiffness of the gasket. Haruyama et al. [4] and Karohika et al. [5] have modified the standard gasket by layering the outer part with a softer material. In addition to the primary metal gasket material, the outer part was coated with a layer of copper. However, it was quite difficult to manufacture the gasket with three layers of materials because copper cannot bond well with steel.

Nurhadiyanto et al. [6] developed an SUS304 corrugated metal gasket coated with copper, which is a softer material, utilizing finite elements method. The result showed an increase of contact width and a slight decrease of contact stress. The increase in contact width will lower the gasket leakage rate. However, this theory of leakage test has not been proven by experimental methods. Further research needs to be carried out to find other material which is softer than SUS304 but has the characteristics that can withstand high temperature condition and is corrosion resistant. Among such materials are copper and nickel. Huang et al. [7] investigated the electrochemical corrosion of Cr-C-coated steel sample with Ni and Cu. Electrochemical corrosion resistance was detected at 0 V. Ming et al. [8] studied corrosion behaviours of electroless Ni-Cu-O/n-TiN composite coating. They are founded that the Cu content increased, the corrosion current density of coating decreased. Based from both article, the corrosion of material decrease by copper or nickel coated.

Margen et al. [9] conducted an AISI304 stainless steel coating experiment with nickel-coated copper by considering a time variable and a fixed electric current parameter. Copper coating effectively occurred on the stainless-steel material, with the best results obtained at a current of 1.5 A and time of 180 s. The thickness of the copper attached to the stainless steel was suggested as $26.50\mu\text{m}$.

In order to achieve those characteristics mentioned above, corrugated metal gaskets coated with copper or nickel of certain thickness were developed. The analysis was carried out using finite element method simulation and the leakage test were carried out using water pressure test. Gasket material, the SUS304, were formed into corrugated shape and subsequently coated with copper and

nickel, respectively. Coating with a softer material was intended to make the outermost material bonds perfectly and infiltrate the rough surface of the flange, thus preventing leakage.

The purpose of this research are (1) forming the flat SUS304 gasket into corrugated shape (2) to perform coating on the corrugated metal gasket with copper and nickel layers, respectively, of certain thicknesses (3) to define the contact stress and contact width of the coated corrugated metal gasket using finite element method simulation (4) to test for leakages using water pressure test for each coating material thickness.

2. Material and Method

The base material of the gasket was SUS304 metal. This material has a good chemical resistance and can withstand high temperatures. The mechanical properties of SUS304, copper, and nickel according to [10, 11] shown in Table 1. Based on these mechanical properties, it can be inferred that copper and nickel are both softer than steel. The characteristics comparison of copper, nickel and SUS304 is depicted in Fig. 1.

Table 1. The properties of SUS304, copper, and nickel.

Properties	Value		
	SUS304	Copper	Nickel
Yield stress	398,83 MPa	195 MPa	210 MPa
Elasticity modulus	210 GPa	115 GPa	170 GPa
Tangential modulus	1900,53 MPa	1150 MPa	1200 MPa

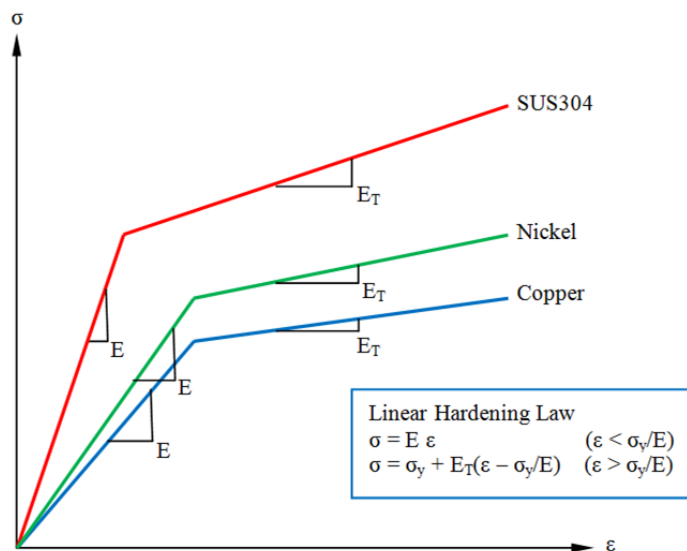


Fig. 1. Linear strain hardening model for SUS304, copper, and nickel material.

The formed gaskets were corrugated disc gaskets consist of 2 rounded part on the upper and bottom sides. The gasket was formerly a flat disc and was cold formed using a set of dies loaded with certain loads. The outer and inner diameter of the gasket were cut based on JISB2404 standard dimensions [12]. The dies dimensions were obtained from the optimum dimension resulted from finite element methods and Taguchi methods, completely in literature [2]. The flange material used in this research was also from SUS304 metal. The flanges were general-purposed flanges which were based on JISB2220 standard [13] with 10 K pressure. According to this standard, the flanges size were 25A diameter.

Simulation analysis were carried out to define the contact stress and contact width. These two properties were used to determine the optimum gasket design and to predict leakages rate. The analysis was done using MSC MARC software with a 2-dimensional axisymmetric model, using quadrilateral meshing for gasket material and coating material. First, the gasket and flange were modelled as cut sections using Solidworks 3D modeler software. The meshing process was performed using Hypermesh software. The meshing of gasket and flange was using quadrilateral elements. Finally, the finite element methods simulation was carried out using MSC MARC. The gasket material layers were copper-base material-copper (Cu-SUS304-Cu) or nickel-base material-nickel (Ni-SUS304-Ni). The thickness of copper or nickel coatings was varied, that were 20 μm and 30 μm . These thicknesses were chosen based on the initial research that the maximum contact width and the average contact stress still above 800 MPa when the thickness of copper or nickel in between 20 μm and 30 μm . The simulated process was the tightening of the gasket by the flanges, as depicted in Fig. 2. Gasket material and flange are assumed as deformable bodies. The boundary condition: bottom flange move up only and upper flange move down only. The inner gasket could not move in horizontal direction, but the outer gasket possible move in horizontal direction. After the FEM analysis was completed, data of axial force, contact stress, and contact width were obtained. These data were then converted to Microsoft Excel file.

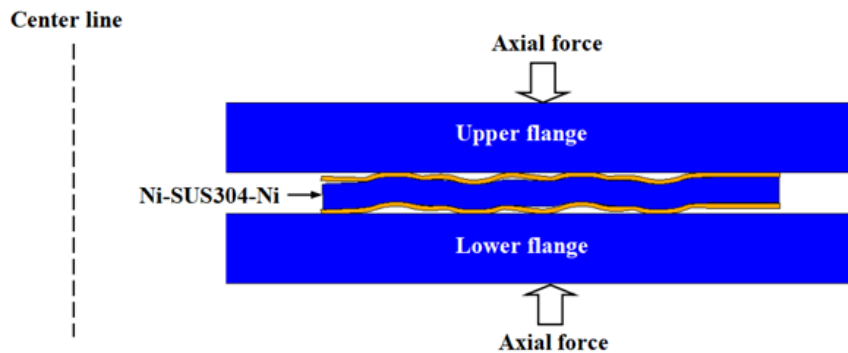


Fig. 2. Simulation of the tightening process.

The gasket base material, the SUS304, was in the form of a flat ring. The dimension of the base material was 1.5 mm thick, an outer diameter of 7.5 mm and an inner diameter of 20 mm. Gasket material before being cold formed is shown in Fig. 3. This material was then formed into corrugated shapes. The gasket after being formed is shown in Fig. 4.

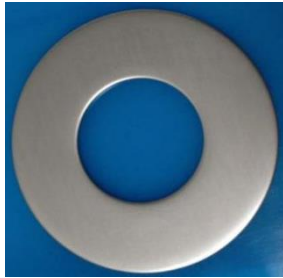


Fig. 3. Gasket base material.



Fig. 4. Corrugated-formed metal gasket.

The forming of corrugated gasket was cold formed in a press machine with a compressive force of 1100 kN. First, the lower die was placed on the base of the machine. The gasket base material was placed on top of the lower die, afterwards. Then, the upper die was fixed on top of the gasket base material. The final step was to apply a load of 1100 kN to the upper die [14, 15]. The forming process were performed in 30 seconds and in three iterations to anticipate for the spring back effect of the metal gasket. The applied force during the forming process is depicted in Fig. 5.

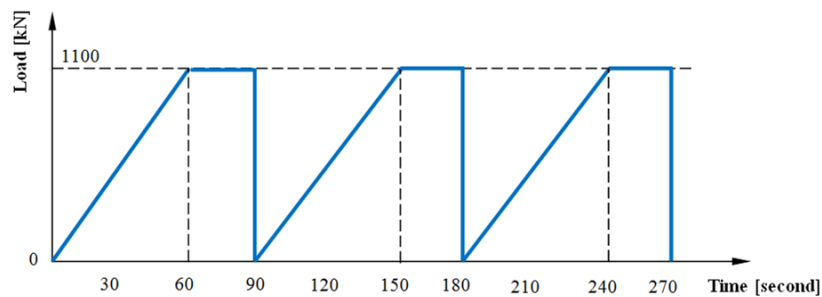
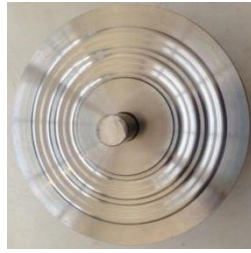
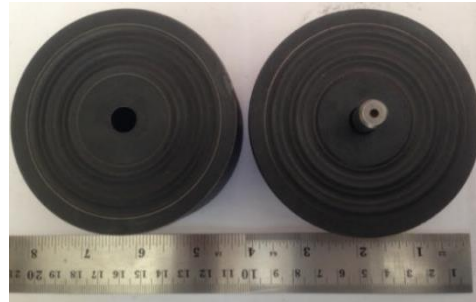


Fig. 5. Gasket tightening force.

The material of the die was Bohler® K105 stainless steel. The Bohler® K105 has a hardness of 15.3 HRC, which was not hard enough to form the corrugation of the gasket material. Therefore, the dies material then went into further processing, which was hardening. The dies material was heated to 900°C. At this temperature, the dies will be burning hot. Subsequently, the dies were suddenly immersed in oil and maintained until it cooled off. The measured hardness of the die after quenching was 54.1 HRC. Figure 6 shows the die before and after the hardening process. The dimension of dies can be seen in previous research by Nurhadiyanto et al. [2], especially for plastic design mode.



(a) The die before hardening process



(b) The dies after hardening process

Fig. 6. Photos of the dies before and after hardening process.

After the corrugated metal gasket was formed, the next step was coating it with layers of copper and nickel, separately. The thickness of nickel or copper layer was varied, that are 20 μm and 30 μm . The coating process using electroplating is not to be discussed in this article. The coating result for copper and nickel-coated was good. There no crack before and after use. Figure 7 shows the gaskets after coating process.



(a) Copper-coated gasket.



(b) Nickel-coated gasket.

Fig. 7. The Gaskets after coating process.

The test scheme for leakage was water pressure test. The instruments were set in accordance with JIB2490 standard. The water pressure was varied to 5 MPa, 7.5 MPa, 10 MPa, and 12 MPa. Leakage data were taken every 600 seconds. The

measured leakage was the occurrence of fluids drip between the gasket and the flange, and pressure loss observed at the pressure gauge. Figure 8 depicts the schematics of water pressure test.

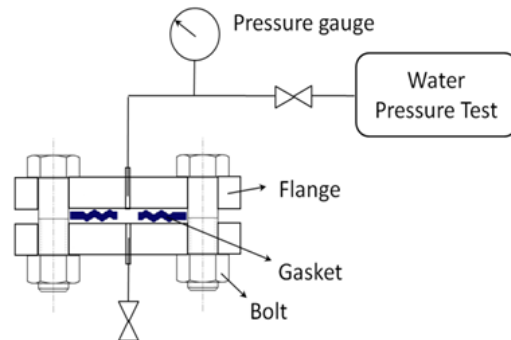


Fig. 8. Leakage test using water pressure test.

The gasket performance was evaluated by the correlation between axial force and water leakage. Axial force is generated by the tightening force of the flange on the bolts. However, the prediction of accurate axial force cannot be obtained, due to the variation in coefficient of friction in each of the bolts and nuts of the flange. In this research, the axial force was measured using digital torque wrench. Therefore, the axial force data can be obtained during tightening of the bolts.

Prior to be used for tightening, the digital torque wrench was calibrated. The varied axial forces being measured were 10, 15, 20, 25, and 30 kN, for each bolt. The axial force of each bolt was monitored in order to adjust the appointed axial force error to be below 3%. Four bolts were used to tighten the flanges; therefore, the axial forces were 40, 60, 80, 100, and 120 kN, respectively.

Figure 9 shows the setting of water pressure test to observe water leakages. The experiment was carried out on a lathe machine in the Fitting and Machining Workshop of Mechanical Engineering Education, Engineering Faculty, Universitas Negeri Yogyakarta. To clamp the flange, the lathe chuck was used to support the tightening of the bolts.



Fig. 9. Experiment setting of the water pressure test.

Figure 10 shows the tightening process and leakage observation using water pressure test. As mentioned above, the axial force was measured using the digital readout of the torque wrench, as shown in Fig. 10(a). The researcher calibrated the digital torque wrench, which in turn derived the axial force from the torque. Figure 10(b) shows the setting of water leakage test. This device provides pressurized water to the desired pressure after being pumped. Figure 11 shows the test to determine whether there was any leakage in the tightening process. If there was a drip of leakage, it can be easily observed against a white sheet of paper.



(a) Tightening force measurement.



(b) pressure measurement.

Fig. 10. Tightening force and pressure measurement.

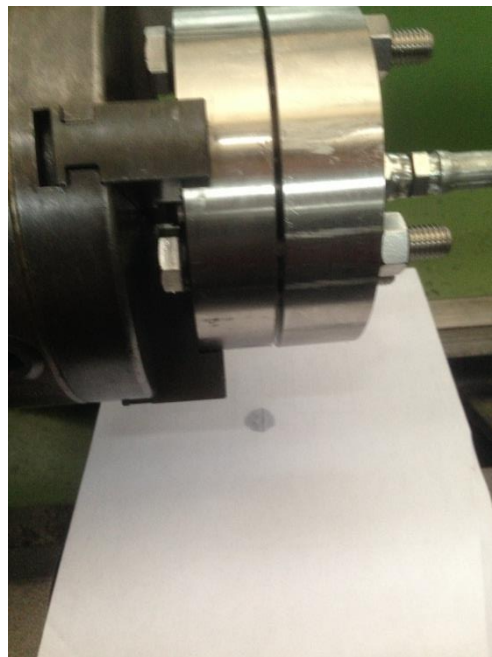


Fig. 11. Leakage observation.

3. Results and discussion

The simulation resulted in contact width and contact stress data at specific axial forces. This research has found the contact width and contact stress of corrugated metal gasket coated with copper and nickel. Each of the coating material has a thickness of 20 μm and 30 μm . The result shows that the characteristics of copper and nickel as coating material is similar. Figure 12 shows the contact stress and contact width values for copper coating of 20 μm and 30 μm thicknesses at the graduation of axial forces. Figure 13 shows the contact stress and contact width for nickel coating of 20 μm and 30 μm thicknesses at the graduation of axial forces.

Figure 12 shows that, as the axial force increases, the contact stress also increases. The contact stress increase is at maximum at 50 kN axial force. Above this point, the contact stress decreases gradually. The contact stress is approximately constant when the axial force reaches 80 kN to 120 kN. The change in contact stress applies to the three gaskets, namely SUS304 gasket, copper-coated gasket with 20 μm in thickness, and copper-coated gasket with 30 μm in thickness. The similar results were obtained for nickel-coated gasket at 20 μm and 30 μm in thickness. There is a small difference in the value of contact stress in SUS304 gasket, 20 μm copper-coated gasket, and 30 μm copper-coated gasket. The SUS304 gasket has a higher contact stress compared to the 20 μm and 30 μm copper-coated gaskets. The 30 μm coated gasket has the lowest contact stress of all.

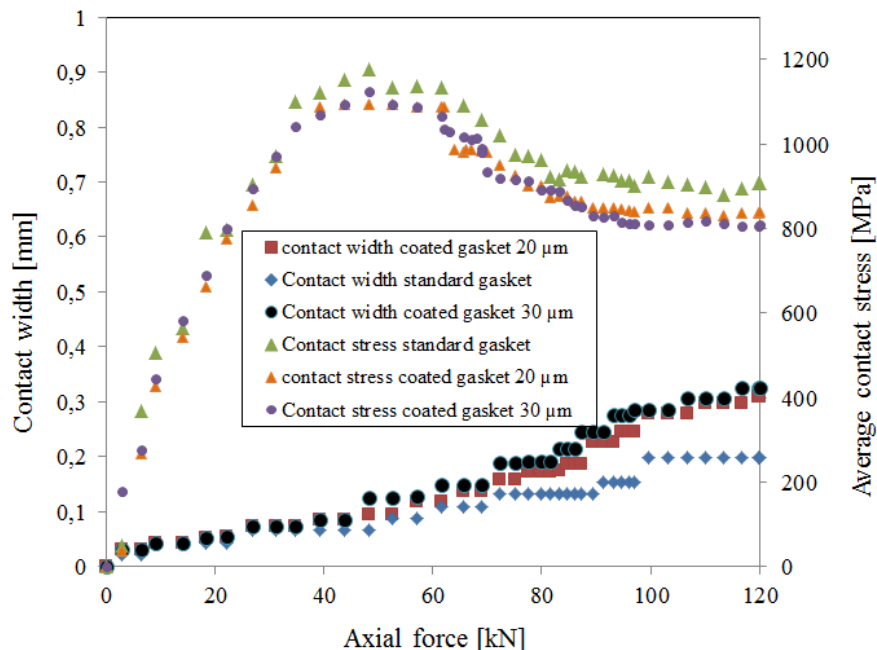


Fig. 12. The average contact stress and contact width of copper-coated gasket.

Figure 12 also pinpoint the gradual increase of contact width along with the increase of the axial force. The contact width increases slightly for axial force at

and above 80 kN. The change in contact width applies to the three gaskets. There was also a small difference in the value of contact width of the three gaskets. The 30 μm copper-coated gasket has a higher contact width compared to the 20 μm copper-coated gasket and the SUS304 gasket. The SUS304 gasket has the lowest contact width compared to the other two. Similar with Fig. 12, Fig. 13 shows the average contact stress and contact width. In Fig. 13, contact width increase gradually. The average contact width of copper-coated gasket is wider than contact width of nickel-coated gasket due to copper material fills more flange surface roughness than nickel material. But the average contact stress of copper-coated gasket less than nickel-coated gasket.

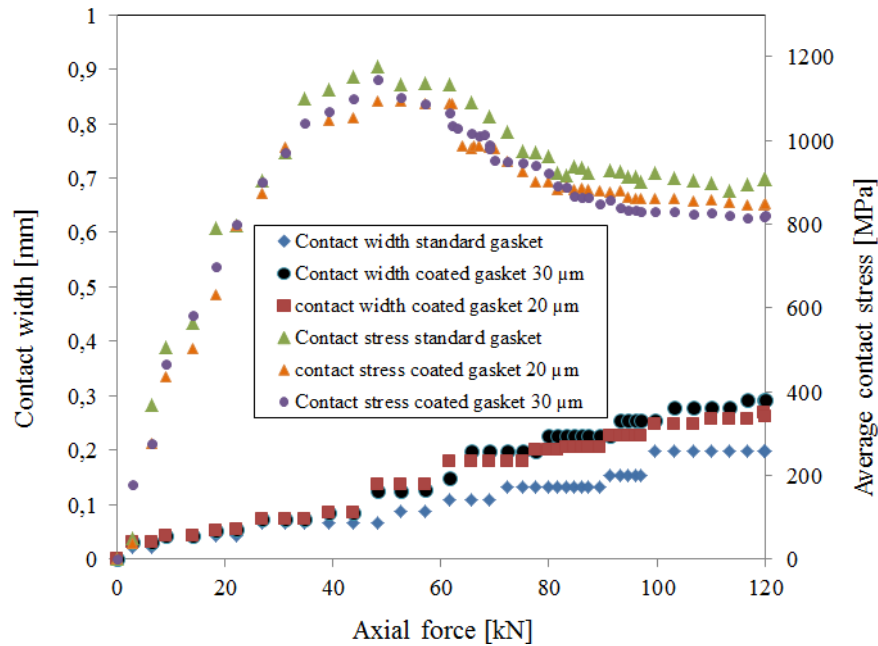


Fig. 13. The average contact stress and contact width of nickel-coated gasket.

When the axial force is between 0-40 kN, the contact stress increases because the gasket is still in elastic condition. The gasket in plastic condition is reduced after the axial force 50 kN, so the contact stress is reduced to the minimum condition. The gasket in plastic condition is identical to the description above, so the contact stress stabilizes above 80 kN of axial force.

Based on the discussion above, it can be concluded that the use of a softer material for coating resulted in an increase in contact width. Inversely, the contact stress decreases. Increasing the coating layer thickness also increases the contact width, at the expense of a decrease in contact stress. The average surface roughness of the flange is 2.5 μm , therefore the coating layer thickness of 20 μm and 30 μm were chosen. Best case scenario can be done using experiments.

Regarding the nickel coating, it is mentioned above that there are similarities between copper and nickel coatings. Simulation analysis shows that the increase in

contact width of the copper coating is higher than the nickel coating of the same coating thickness. The decrease of contact stress on the copper coating is higher compared to nickel coating, also at the same coating thickness.

Table 2 presents the result of gasket leakage test using water pressure test for SUS304 gasket, copper-coated gasket and nickel-coated gasket. This experiment results compares the leakage test for the SUS304 gasket, the 20 μm copper-coated gasket, the 30 μm copper-coated gasket, the 20 μm nickel-coated gasket, and the 30 μm nickel-coated gasket. Water pressure was maintained at 10 MPa, and the data were recorded for 600 seconds long. Axial forces were set at 40 kN, 60 kN, 80 kN, 100 kN and 120 kN, which were exerted by the tightening of the bolts. Digital torque wrench displays the torque imposed on the bolts and using mathematical formulae the axial forces can be calculated from the torque data. The axial force is fourfold because there were 4 tightened bolts.

Table 2 also shows that leakage occurred on SUS304 gasket at 80 kN axial force and 12 MPa water pressure. However, at 10 MPa water pressure, there was no leakage. For an axial force of 100 kN and above, there was no leakage on the gasket. Copper-coated gasket underwent a change in its performance, in which the leakage occurrence stopped at 80 kN axial force for the coating thickness of 20 μm . The leakage for 30 μm copper-coated gasket stopped at 60 kN axial force. Thus, the 30 μm coated gasket has the best performance when compared to the 20 μm coated gasket and the gasket without coating. The gasket coated with 20 μm copper coating has a better performance than the gasket without coating.

The change in performance for nickel-coated gasket is shown by the fact that the leakage stopped at 100 kN axial force for the 20 μm coating thickness. The leakage in gasket with 30 μm nickel coating stopped at 80 kN axial force. Thus, the gasket with 30 μm coating has the best performance compared to the gasket with 20 μm coating and the gasket without coating. The 20 μm coating gasket has the same performance to the gasket without coating.

Copper-coated gasket has a better performance than nickel-coated gasket at the same coating thickness. The 20 μm copper-coated gasket performed better than the 20 μm nickel-coated gasket. Likewise, the 30 μm copper-coated gasket performed better than the 30 μm nickel-coated gasket. As a softer material, copper infiltrate the flanges' rough surface better than nickel, thus prevents leakage. This finding confirmed the simulation result. Copper also has a higher contact width value compared to nickel.

Even though nickel is inferior to copper in preventing leakage, nickel does improve the gasket performance when coated on SUS304 gasket. This can be seen from the 30 μm nickel coating, in which leakage did not occur at 80 kN axial force and 12 MPa water pressure while on the SUS304 gasket, leakage still occur at the same force and pressure.

The experimental results have confirmed the result from the simulation. copper-coated and nickel-coated gasket have a higher contact width value compared to SUS304 gasket. At the same layer thickness, copper coating performs better than nickel coating. The simulation also gave the same result, which is for the same coating thickness, contact width of the copper coating is higher than nickel coating. The increase in contact width helps prevent leakages

when the contact stress value is sufficient to form a seal lining. The average contact stress value should be above 800 MPa [16].

Table 2. Observations of leakage using water pressure test.

Axial force (kN)	Water pressure test (MPa)	SUS304 gasket	Cu Coated		Ni Coated	
			20 µm	30 µm	20 µm	30 µm
40	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	Leak	No Leak	No Leak	Leak	No Leak
	10	Leak	Leak	Leak	Leak	Leak
	12	Leak	Leak	Leak	Leak	Leak
60	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	10	Leak	No Leak	No Leak	Leak	No Leak
	12	Leak	Leak	No Leak	Leak	Leak
80	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	10	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	12	Leak	No Leak	No Leak	Leak	No Leak
100	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	10	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	12	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
120	5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	7,5	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	10	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak
	12	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak	No Leak

4. Conclusion

On the basis of the simulation and leakage test experiments results, it can be concluded that

- Cold forming process of flat shape material to be corrugated metal gaskets has been successful.
- Coating result of both copper and nickel was good. There is no crack before and after used.
- Contact width of the copper-coated gasket is higher than the nickel-coated gasket. Nickel-coated gasket has a higher contact width value compared to the SUS304 gasket.
- Leakage performance on copper-coated gasket is better than the nickel-coated gasket. Whereas nickel-coated gasket has better performance than SUS304 gasket. The experimental findings from the water pressure test verified the simulation results. On the coating of copper and nickel, the thickness of 30 µm has a better leakage performance than the thickness of 20 µm.

Recommendations

To test in real conditions, it is necessary to research leakage tests at high temperature.

Acknowledgements

This project was supported by Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Skema Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi, sesuai Kontrak Penelitian Anggaran Tahun 2019 Nomor 080/SP2H/LT/DRPM/2019.

Nomenclatures

E	Modulus elasticity
E_T	Linear work-hardening
HRC	Rockwell hardness scale
SUS	Japanese name for austenite stainless steel

Greek Symbols

σ	Stress
ε	Strain

Abbreviations

FEM	Finite Element Method
JIS	Japanese Industrial Standards

References

1. Saeed, H.A.; Izumi, S.; Sakai, S.; Haruyama, S.; Nagawa, M.; and Noda, H. (2008). Development of new metallic gasket and its optimum design for leakage performance. *Journal of Solid Mechanics and Material Engineering*, 2(1), 105-114.
2. Nurhadiyanto, D.; Choiron, M.A.; Haruyama, S.; and Kaminishi, K. (2012). Optimization of new 25A-size metal gasket design based on contact width considering forming and contact stress effect. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6, 661-665.
3. Haruyama, S.; Nurhadiyanto, D.; Choiron, M.A.; and Kaminishi, K. (2013). Influence of surface roughness on leakage of new metal gasket. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 111-112, 146-154.
4. Haruyama, S.; Karohika, I.M.G.; Sato, A.; Nurhadiyanto, D.; and Kaminishi, K. (2016). Development of 25A-size three-layer metal gasket by using FEM simulation. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronics and Manufacturing Engineering*, 10, 527-533.
5. Karohika, I.G.M.; Haruyama, S.; Kaminishi, K.; Oktaviany, O.; and Nurhadiyanto, D. (2017). Analysis of contact width and contact stress of three-layer corrugated metal gasket. *International Journal of Mechanical*,

- Aerospace, Industrial, Mechatronics and Manufacturing Engineering*, 11, 870-879.
6. Nurhadiyanto, D.; Mujiyono; Sutopo; and Ristadi, F.A. (2018). Simulation analysis of 25A-size corrugated metal gasket coated copper to increase its performance. *Materials Science and Engineering*, 307, 1-6.
 7. Huang, C.A.; Yang, S.W.; Liu, Y.W.; and Lai, P.L. (2019). Effect of Cu and Ni undercoating on the electrochemical corrosion behaviour of Cr-C-coated steel samples in 0.1 M H₂SO₄ solution with 1 g/L NaCl. *Coatings*, 9, 351.
 8. Ming, Z.H.; Yi, H.X.; and Jian, L. (2018). Corrosion behaviors and mechanism of electroless Ni-Cu-P/n-Ti composite coating. *Journal of Central South University*, 25, 1350-1357.
 9. Margen, S.Y.; Sulistyono, S.; Nugroho, S.; and Nugroho, Y.S.A. (2018). Enhancement surface coating stainless steel and copper using ultrasonic batch. *MATEC Web of Conferences*, 159, 6.
 10. Materials Data Book (2003). Cambridge University Engineering Department Edition.
 11. Cambridge Engineering Selector software (CES 4.1) (2003). Granta Design Limited, Rustat.
 12. JISB2404 (2006). Dimensions of gaskets for use with the pipe flanges. Japanese Standards Association.
 13. JISB2220 (2004). Steel Pipe Flanges. Japanese Standards Association.
 14. Gatea, S.; Lu, B.; Chen, J.; Ou, H.; and Cartney, G.M. (2019). Investigation of the effect of forming parameters in incremental sheet forming using a micromechanics based damage model. *International Journal of Material Forming*, 12, 553-574.
 15. Xu, L.Z.; Shen, W.; and Yan, R.J. (2019). Predictive and Control Models of the Spring-back in Thick Hull Plate Forming. *International Journal of Material Forming*, 12, 553-574.
 16. Nurhadiyanto, D; Haruyama, S.; Kaminishi, K; Karohika, I.M.G.; and Mujiyono (2015). Contact stress and contact width analysis of corrugated metal gasket. *Applied Mechanics and Materials*, 799-800, 765-769.