

**SURAT PERJANJIAN  
PELAKSANAAN PENELITIAN**



**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 1 dari 9

**PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN TERAPAN TAHUN TUNGGAL TAHUN 2021**  
**Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi**  
**NOMOR: T/13.1/UN34.21/PT.01.03/2021**

Pada hari ini **Selasa** tanggal **Tiga Belas** bulan **Juli** tahun **Dua Ribu Dua Puluh Satu** kami yang bertanda tangan di bawah ini :

1. Prof, Dr. Samsul Hadi, M.Pd., MT. : 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.Ir. 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 2021 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK KESATU dan PIHAK KEDUA secara bersama-sama selanjutnya disebut **PARA PIHAK**.

Dengan mempertimbangkan terlebih dahulu hal-hal sebagai berikut:

1. bahwa Pasal 7 Ayat (2) Peraturan Presiden Nomor 31 Tahun 2021 tentang Penataan Tugas dan Fungsi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi dan Kementerian Investasi/Badan Koordinasi Penanaman Modal pada Kabinet Indonesia Maju Periode Tahun 2019-2024 menyatakan bahwa Pelaksanaan tugas dan fungsi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang terkait urusan pemerintahan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 huruf b menggunakan sumber daya manusia pada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan serta menggunakan sebagian anggaran yang bersumber dari Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional;
2. bahwa berdasarkan Surat Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 32246/MPK.A/PR.05.04/2021 perihal Penugasan Pengalokasian Anggaran Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri (BOPTN) Penelitian Tahun 2021, Menteri menugaskan Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi khususnya Direktur Sumber Daya untuk melaksanakan tugas dan fungsi BOPTN yang sebelumnya ada di Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional (Kemenristek/BRIN);
3. bahwa perpindahan anggaran BOPTN Penelitian dari Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional ke Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi telah dilaksanakan dengan ditetapkannya Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Tahun Anggaran 2021, Nomor SP DIPA023.17.1.690439/2021 revisi ke-04 tanggal 4 Juni 2021;
4. bahwa berdasarkan Berita Acara Serah Terima Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Penelitian Nomor 01/A/BAST/2021 dan Nomor 0397/E.E4/PT.01.02/2021 terdapat Kontrak Penelitian



**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 2 dari 9

Tahun Tunggal Penelitian Terapan Tahun Anggaran 2021 antara Direktorat Sumber Daya Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi dengan Universitas Negeri Yogyakarta Nomor: 218/E4.1/AK.04.PT/2021, tanggal 12 Juli 2021 terdapat Kontrak Penelitian Tahun Jamak Penelitian Dasar dan Pembinaan/Kapasitas Tahun Anggaran 2021 antara Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional dengan Universitas Negeri Yogyakarta Nomor 134/SP2H/LT/DRPM/2021 tanggal 18 Maret 2021 tetapi belum dapat dicairkan karena terjadinya proses revisi DIPA di Kemenristek/BRIN dan adanya perpindahan program dan anggaran dari Badan Riset dan Inovasi Nasional ke Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

PARA PIHAK sepakat melakukan Surat Perjanjian Penelitian Tahun Tunggal Penelitian Terapan Tahun Anggaran 2021 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

**PASAL 1  
DASAR HUKUM**

Dasar hukum perjanjian ini:

- a. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2003, tentang Keuangan Negara
- b. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional
- c. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 01 Tahun 2004, tentang Perbendaharaan Negara.
- d. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2004, tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Keuangan Negara;
- e. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
- f. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2019 tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi;
- g. Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah;
- h. Peraturan Presiden Nomor 50 Tahun 2020 tentang Kementerian Riset dan Teknologi.
- i. Keputusan Presiden Nomor 113/P Tahun 2019 tentang Pembentukan Kementerian dan Pengangkatan Menteri Kabinet Kerja Periode Tahun 2019-2024;
- j. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 119/PMK.02/2020 tentang Standar Biaya Masukan Tahun Anggaran 2021;
- k. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 112/PMK.02/2020 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun Anggaran 2021;
- l. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 203/PMK.05/2020 tentang Tata Cara Pembayaran dan Pertanggungjawaban Anggaran Penelitian Atas Beban Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara;
- m. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 69 Tahun 2016, tentang Tata Cara Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer Penelitian sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2019 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 69 Tahun 2016 tentang Pedoman Pembentukan Komite Penilaian dan/ atau Reviewer dan Tata Cara Pelaksanaan Penilaian Penelitian dengan Menggunakan Standar Biaya Keluaran;
- n. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2018 tentang Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri;



**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 3 dari 9

- o. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2018 tentang Penelitian;
- p. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2019 tentang Prioritas Riset Nasional Tahun 2020-2024;
- q. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 105/M/KPT/2019 tentang Penggunaan Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun 2019;
- r. Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan Republik Indonesia Nomor : Per-15/PB/2017 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pembayaran Anggaran Penelitian Berbasis Standar Biaya Keluaran Sub Keluaran Penelitian sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan Republik Indonesia Nomor : Per-7/PB/2019 tentang Perubahan Atas Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Nomor Per-15/PB/2017 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pembayaran Anggaran Penelitian Berbasis Standar Biaya Keluaran Sub Keluaran Penelitian;
- s. Keputusan Menteri Riset dan Teknologi/ Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 2/M/KPT/2021 tentang Pejabat Perbendaharaan pada Satuan Kerja Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi/ Badan Riset dan Inovasi Nasional;
- t. Keputusan Kuasa Pengguna Anggaran Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, dan Teknologi/ Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 10/E1/KPT/2021 tentang Penetapan Pendanaan Penelitian Skema Terapan di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2021;
- u. Keputusan Kuasa Pengguna Anggaran Direktorat Sumber Daya Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Nomor 1425/E4/KU/2021 tentang Perubahan Pertama Keputusan Kuasa Pengguna Anggaran Direktorat Sumber Daya Nomor 0050/E4/KU/2021 tentang Pengangkatan Pejabat Perbendaharaan/Pengelola Keuangan pada Direktorat Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Tahun Anggaran 2021;
- v. Keputusan Kuasa Pengguna Anggaran Direktorat Sumber Daya Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Nomor 1868/E4/KA.04/2021 tentang Pencairan Pendanaan Penelitian Skema Penelitian Terapan di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2021;
- w. Berita Acara Serah Terima Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Penelitian Nomor 01/A/BAST/2021 dan Nomor 0397/E.E4/PT.01.02/2021;
- x. Kontrak Penelitian Tahun Tunggal Penelitian Terapan Tahun Anggaran 2021 antara Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset dan Teknologi/ Badan Riset dan Inovasi Nasional dengan Universitas Negeri Yogyakarta Nomor: 218/SP2H/LT/DRPM/2021, tanggal 18 Maret 2021;
- y. Kontrak Penelitian Tahun Tunggal Penelitian Terapan Tahun Anggaran 2021 antara Direktorat Sumber Daya Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi dengan Universitas Negeri Yogyakarta Nomor: 218/E4.1/AK.04.PT/2021, tanggal 12 Juli 2021.
- z. Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Terapan Tahun Tunggal Tahun 2021 Nomor: T/4.5.1/UN34.21/PT.01.03/2021, tanggal 22 Maret 2021 antara Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Negeri Yogyakarta dengan Dr. Eng.Ir. Didik Nurhadiyanto, M.T.selaku Ketua Tim Peneliti.



**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 4 dari 9

**PASAL 2  
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 Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi;
- (3) PIHAK PERTAMA memberikan dana Penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Ayat (1) sebesar **Rp 265.750.000 (Dua Ratus Enam Puluh Lima Juta Tujuh Ratus Lima Puluh Ribu Rupiah)** sesuai Kontrak Penelitian Tahun Tunggal Penelitian Terapan Tahun Anggaran 2021 antara Direktorat Sumber Daya Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi dengan Universitas Negeri Yogyakarta Nomor: 218/E4.1/AK.04.PT/2021, tanggal 12 Juli 2021;
- (4) PIHAK KEDUA berhak menerima dana sebagaimana dimaksud pada Ayat (3) dan berkewajiban menggunakan sepenuhnya untuk pelaksanaan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Ayat (1) sampai selesai sesuai ketentuan pembelanjaan keuangan negara
- (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 Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- (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 Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- (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 3  
JANGKA WAKTU PELAKSANAAN PENELITIAN**

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 terhitung sejak ditandatangani perjanjian ini sampai dengan tanggal **30 Oktober 2021**.

**PASAL 4  
HAK DAN KEWAJIBAN**

- (1) PIHAK PERTAMA mempunyai kewajiban :
  - a) Memberikan kontrak pelaksanaan penelitian pada PIHAK KEDUA



**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 5 dari 9

- b) Mengkoordinir dan bertanggung jawab atas terlaksananya penelitian
  - c) Melakukan penjaminan mutu penelitian
  - d) Memantau pengunggahan ke laman SIMLIBTABMAS
- (2) PIHAK KEDUA mempunyai kewajiban :
- a) Melaksanakan penelitian sesuai dengan kaidah penelitian sampai dengan selesai penelitian
  - b) Mempertanggungjawabkan hasil penelitian
  - c) Mempertanggungjawabkan penggunaan dana penelitian sesuai dengan peraturan yang berlaku
  - d) Melakukan unggahan ke laman SIMLITABMAS dokumen sebagai berikut:
    - 1. revisi proposal penelitian;
    - 2. surat pernyataan kesanggupan penyusunan laporan penelitian;
    - 3. catatan harian pelaksanaan penelitian;
    - 4. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
    - 5. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian;
    - 6. laporan akhir penelitian;
    - 7. luaran penelitian.

**PASAL 5  
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 tahap pertama (70 %) sebesar **Rp.186.025.000 (Seratus Delapan Puluh Enam Juta Dua Puluh Lima Ribu Rupiah)**
  - b. Pembayaran tahap kedua (30 %) sebesar **Rp.79.725.000 (Tujuh Puluh Sembilan Juta Tujuh Ratus Dua Puluh Lima Ribu Rupiah)**
  - c. Pembayaran dana luaran tambahan sebesar **Rp. - (-)**
- (2) Pembayaran pendanaan penelitian tahap pertama sebagaimana dimaksud pada Ayat (1) huruf a, diberikan dengan ketentuan apabila perbaikan proposal dan rancangan pembiayaan sesuai dengan Pasal 2 Ayat (3) sudah diunggah ke laman SIMLITABMAS dengan mengikuti tata cara mengunggah sesuai ketentuan yang berlaku.
- (3) Pembayaran pendanaan penelitian tahap kedua sebagaimana dimaksud pada Ayat (1) huruf b dibayarkan kepada PIHAK KEDUA telah mengunggah ke laman SIMLITABMAS dokumen sebagai berikut:
- a. Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
  - b. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah diberikan; **paling lambat tanggal 18 September 2021.**
- (4) Dana luaran tambahan sebagaimana dimaksud pada Ayat (1) huruf c dibayarkan kepada PIHAK KEDUA, setelah mendapatkan validasi dari Direktorat Sumber Daya, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- (5) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Ayat (3) akan berikan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA ke melalui rekening sebagai berikut:



**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 6 dari 9

Nama : **DIDIK NURHADIYANTO**  
Nomor Rekening : **0822393553**  
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 (5) dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

**PASAL 6**  
**PERTANGGUNGJAWABAN AKADEMIK**

- (1) PIHAK KEDUA berkewajiban mengunggah ke laman SIMLITABMAS dokumen sebagai berikut :
1. revisi proposal penelitian;
  2. surat pernyataan kesanggupan penyusunan laporan penelitian;
  3. catatan harian pelaksanaan penelitian;
  4. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian;
  5. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian;
  6. laporan akhir penelitian;
  7. luaran penelitian;

sesuai aturan yang berlaku paling lambat tanggal **16 November 2021**.

- (2) PIHAK KEDUA berkewajiban menyerahkan ke PIHAK PERTAMA dokumen sebagai berikut dalam bentuk *softcopy* dan *hardcopy*:
- a. laporan akhir penelitian;
  - b. luaran penelitian;
  - c. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB);
- hardcopy* dari laporan hasil penelitian sebanyak 2 (dua) eksemplar, luaran penelitian sebanyak 1 (satu) eksemplar, dan Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) disertai bukti penggunaan dana sebanyak 1 eksemplar, melalui **Berita Acara Serah Terima (BAST)** dengan ketentuan sebagai berikut:
- ii. Bentuk/ukuran kertas ukuran A4.
  - iii. Warna cover **biru**
  - iv. Di bagian bawah cover ditulis :

**Dibiayai oleh:**

**Direktorat Sumber Daya Direktorat Jenderal Pendidikan  
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi  
Sesuai Kontrak Penelitian Anggaran Tahun 2021  
Nomor: 218/E4.1/AK.04.PT /2021**

- (3) PIHAK KEDUA berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib penelitian berupa : **hak cipta-granted**
- (4) PIHAK KEDUA diharapkan dapat mencapai target luaran tambahan penelitian berupa:-
- (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



**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 7 dari 9

- (7) Luaran penelitian yang berupa publikasi ilmiah wajib mencantumkan pemberi dana penelitian;

**PASAL 7  
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, pemungutan dan pemotongan pajak dengan NPWP Nomor: 00.159.121.3.542.000
- (3) Pengadaan barang/jasa diatas Rp 1.000.000 (satu juta rupiah) dipungut PPN sebesar 10% dari nilai dasar dan pengadaan diatas Rp 2.000.000 (dua juta rupiah) dipungut PPh Pasal 22 sebesar 1,5 % atau PPh final sebesar 0,5% apabila UMKM mempunyai surat keterangan kantor pajak.
- (4) Pengadaan jasa dipotong PPh Pasal 23 sebesar 2 % jika mempunyai NPWP dan 100% lebih tinggi jika tidak ber NPWP.
- (5) Pengadaan Konsumsi dipungut PPh Pasal 22 sebesar 1,5%
- (6) Pembayaran honorarium WNI dipotong PPh Pasal 21 sesuai dengan golongannya, golongan III sebesar 5%, golongan IV jika mempunyai NPWP dan 20% lebih tinggi jika tidak ber NPWP.
- (7) Pembayaran honorarium WNA dipotong PPh Pasal 26 sebesar 20%.
- (8) PIHAK KEDUA berkewajiban mengembalikan sisa dana yang tidak dibelanjakan kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan ke Kas Negara.
- (9) Biaya pajak materai dalam surat perjanjian ini dibebankan pada PIHAK KEDUA
- (10) PIHAK KEDUA berkewajiban mengunggah ke laman SIMLITABMAS dokumen Surat Pertanggungjawaban Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan, sesuai aturan yang berlaku paling lambat tanggal **16 November 2021**.
- (11) PIHAK KEDUA berkewajiban menyerahkan ke PIHAK PERTAMA dokumen Surat Pertanggungjawaban Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan dan foto kopi bukti belanja/penggunaan dana penelitian.

**PASAL 8  
INTEGRITAS AKADEMIK**

- (1) PIHAK KEDUA wajib menjunjung tinggi integritas akademik yaitu komitmen dalam bentuk perbuatan yang berdasarkan pada nilai kejujuran, kredibilitas, kewajaran, kehormatan, dan tanggungjawab dalam kegiatan pelaksanaan penelitian.
- (2) Penelitian dilakukan sesuai dengan kerangka etika, hukum, dan profesionalitas, serta kewajiban sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- (3) Penelitian dilakukan dengan menjunjung tinggi standar ketelitian dan integritas dalam semua aspek penelitian.





## SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 8 dari 9

### PASAL 9 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 2 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 2 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.
- (5) Dalam hal tidak dipenuhinya Pertanggungjawaban Akademik sebagaimana dimaksud dalam Pasal 6 dan Pertanggungjawaban Keuangan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7, maka PIHAK KEDUA dikenai sanksi administratif.
- (6) Sanksi administratif sebagaimana dimaksud dalam Ayat (5) dapat berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut turut.

### PASAL 10 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 paling sedikit nama Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi.

### PASAL 11 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;



**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN**

No. FRM/LPPM-PNL/302

Revisi : 01

Tgl 01 Maret 2019

Hal 9 dari 9

- (2) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*) sebagaimana dimaksud pada Ayat (1), 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 12  
PERALIHAN**

Seluruh kegiatan penelitian yang sudah dilakukan PIHAK KEDUA berdasarkan Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Terapan Tahun Tunggal Tahun 2021 Nomor: T/4.5.1 /UN34.21/PT.01.03/2021, tanggal 22 Maret 2021, tetap dapat dilaksanakan dan diakui sampai ditandatanganinya Perjanjian Pelaksanaan Penelitian ini.

**PASAL 13  
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.
- (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 PERTAMA



Prof. Dr. Samsul Hadi, M.Pd., MT.  
NIDN 0029056006

PIHAK KEDUA



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



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 9 dari 9

- (2) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*) sebagaimana dimaksud pada Ayat (1), 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 12 PERALIHAN

Seluruh kegiatan penelitian yang sudah dilakukan PIHAK KEDUA berdasarkan Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Terapan Tahun Tunggal Tahun 2021 Nomor: T/4.5.1 /UN34.21/PT.01.03/2021, tanggal 22 Maret 2021, tetap dapat dilaksanakan dan diakui sampai ditandatanganinya Perjanjian Pelaksanaan Penelitian ini.

### PASAL 13 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.
- (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 PERTAMA

PIHAK KEDUA



Prof. Dr. Samsul Hadi, M.Pd., MT.  
NIDN 0029056006

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

# **LAPORAN PENELITIAN**

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

## LAPORAN

### PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI (TAHUN KEDUA)



### 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 Pendidikan dan Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Sesuai Kontrak Penelitian Anggaran Tahun 2021  
Nomor: T/13/1/UN34/21/PT.01.03/2021**

**UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
NOVEMBER, 2021**

**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- : 2

Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp 265,750,000.00

Biaya Penelitian

- Dana DRPM : Rp 265,750,000.00

- Dana internal PT : Rp 0

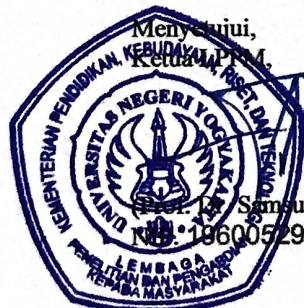
- Dana institusi lain : Rp 0 /in kind tuliskan:

Biaya Luaran Tambahan : Rp 0

Kab. Sleman, 15 November 2021  
Ketua Tim Peneliti,

*Didik Nurhadiyanto*

Dr. Eng. Ir. DIDIK NURHADIYANTO, S.T., M.T.  
NIP. 19710604 199702 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 atau tembaga 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. Pada tahun kedua ini uji kebocoran dilakukan pada industri nyata yang diterapkan pada boiler.
4. Masa Pelaksanaan  
Mulai : bulan : April tahun: 2011  
Berakhir : bulan : Nopember tahun: 2021
5. Usulan Biaya DRPM Ditjen Penguatan Risbang
  - Tahun ke-1 : Rp. 211.125.000,00
  - Tahun ke-2 : Rp. 265.750.000
6. Lokasi Penelitian (lab/studio lapangan): Bengkel Fabrikasi PTM FT UNY, Bengkel Pemesinan PTM FT UNY, Lab Mekanika Terapan PTM FT UNY, Lab. Desain Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Lab Energi di Politeknik UPP Perkebunan dan PT. Madubaru, Madukismo, Bantul.
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, PT. Bhakti Bunga Ananda-Gas Companies, PT. Cipta Mulia Sejahtera, PT Ida Rahmi Nusanrata Semarang dan PT Chemko Harapan Nusantara Cikarang. Universitas Brawijaya terlibat dalam desain gasket metal bergelombang dan penyediaan alat ukur kebocoran. Universitas Udayana terlibat dalam simulasi untuk

menentukan dimensi gasket yang optimal. Politeknik LPP dan PT Bhakti Bunga Ananada-Gas Companies berperan dalam uji coba kebocoran menggunakan boiler. PT. Cipta Mulia Sejahtera, PT Ida Rahmi Nusanrata Semarang dan PT Chemko Harapan Nusantara Cikarang sebagai mitra diskusi pada FGD dan mitra yang akan menggunakan gasket metal bergelombang ini.

8. Temuan yang ditargetkan (penjelasan gejala atau kaidah, metode, teori, atau antisipasi yang dikonstrusikan 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 (tahun pertama).
  - b. Proses forming untuk membuat gasket metal bergelombang (tahun pertama)
  - c. Metode *coating* nikel dan tembaga terhadap material gasket dari SUS304 (tahun pertama).
  - d. Gasket metal bergelombang yang sudah di-*coating* untuk mencegah kebocoran dengan gaya pengetatan yang rendah (tahun pertama).
  - e. Gasket metal bergelombang yang sudah dilapisi nikel atau tembaga untuk mencegah kebocoran pada tekanan dan temperatur tinggi (tahun kedua).
  - f. Pengujian gasket metal bergelombang yang sudah dilapisi pada boiler di industri (tahun kedua).
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 atau tembaga. Diperoleh gasket metal bergelombang berlapis nikel atau 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. Penggunaan material asbes bisa benar-benar dihilangkan dengan adanya material pengganti.
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 Jurnal of Engineering Science and Technology terindeks Scopus Q2 pada tahun 2020 sudah published. Selain itu juga published pada Lecture Notes in Mechanical Engineering terindeks Scopus Q4 yang terbit pada tahun 2020.
11. Rencana luaran HKI, buku, purwarupa atau luaran lainnya yang ditargetkan, tahun rencana perolehan atau penyelesaiannya.  
Rencana luaran yang akan dihasilkan adalah usulan paten sederhana HKI yang sudah di-submit pada tahun 2021.



## 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 Pertama (2019) .....	23
3.6.Proses Penelitian Tahun Kedua (2021) .....	47
BAB 4. BIAYA DAN JADWAL PENELITIAN .....	68
4.1. Anggaran Biaya .....	68
4.2. Jadwal Penelitian .....	68
BAB 5. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	70
5.1. Pemotongan Bahan Gasket .....	70

5.2. Hasil Forming .....	71
5.3. Hasil Elektroplating .....	53
5.4. Hasil Uji Kebocoran pada Boiler .....	79
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN .....	88
6.1. Kesimpulan .....	88
6.2. Saran .....	89
DAFTAR PUSTAKA .....	90
LAMPIRAN-LAMPIRAN .....	93
Lampiran 1. Susunan Organisasi dan Pembagian Tugas Tim Peneliti .....	93
Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Pengusul .....	94

## 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 layer 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  $\mu\text{m}$  dan 30  $\mu\text{m}$ . Menurut hasil simulasi ketebalan coating 30  $\mu\text{m}$  memiliki *contact width* yang lebih besar dan *contact stress* yang tidak terlalu menurun sehingga bisa dianggap lebih bagus dibanding ketebalan *coating* 20  $\mu\text{m}$ . 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 menggunakan *water pressure test* 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  $\mu\text{m}$  menunjukkan kinerja yang lebih bagus dibandingkan pelapisan dengan ketebalan 20  $\mu\text{m}$ .

Hasil uji kebocoran menggunakan boiler yang memiliki temperature 270°C dan tekanan 7 Bar dengan kekasaran permukaan flange 3,5  $\mu\text{m}$  menunjukkan bahwa gasket standar masih mengalami kebocoran air maupun uap air pada gaya pengetatan rendah. Gasket ini tidak mengalami kebocoran pada gaya pengetatan tinggi. Minimal gaya pengetatan agar tidak mengalami kebocoran air pada tekanan 7 Bar adalah 120 KN (gaya pengetatan tertinggi) sedangkan kebocoran air tetap terjadi pada gaya pengetatan paling tinggi. Untuk gasket berlapis tembaga dan nikel tidak mengalami kebocoran baik uap air maupun air pada tekanan tertinggi 7 Bar dan gaya pengetatan terendah sebesar 60 KN. Jadi performa gasket sangat meningkat bila dilapisi nikel maupun tembaga dengan ketebalan 10  $\mu\text{m}$ .

## 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*?
- f. Bagaimana hasil kinerja gasket metal bergelombang dilapisi tembaga yang diuji pada boiler bertekanan dan temperatur tinggi?
- g. Bagaimana hasil kinerja gasket metal bergelombang dilapisi nikel yang diuji pada boiler bertekanan dan temperatur tinggi?

## 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 menggunakan *water pressure test* pada beberapa level

tekanan air secara eksperimen.

- f. Mengetahui hasil uji kebocoran pada boiler yang memiliki tekanan dan temperatur tinggi.

#### 1.4. Manfaat dan Target Penelitian

Manfaat yang diperoleh setelah rekayasa ini antara lain:

- Diperoleh gasket metal bergelombang yang memiliki *contact stress* tinggi dan *contact width* besar akan mengurangi tingkat kebocoran.
- Ditemukan material gasket pengganti asbes sehingga bahan gasket lebih aman dari penyakit yang membahayakan, yaitu kanker.
- 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.

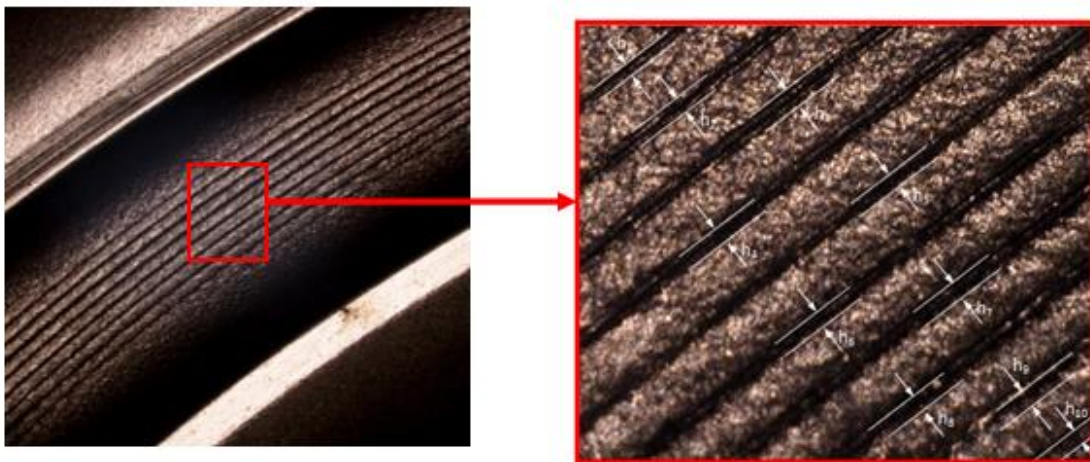
Tabel 1.1. Rencana Target Capaian Tahunan

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

## 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 Chiron, 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)

- Semakin besar *contact width* maka akan menurunkan kebocoran helium
- 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 plastik

#### 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 elastis dan plastik
- Melibatkan efek forming
- Desain plastik lebih bagus dibandingkan desain elastis 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  $\mu\text{m}$  lebih lebar dibandingkan kekasaran permukaan 2,5  $\mu\text{m}$  dan 3,5  $\mu\text{m}$ .

#### 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  $\mu\text{m}$  lebih lebar dari pada yang 2,5  $\mu\text{m}$  dan 3,5  $\mu\text{m}$ .

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

### 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].



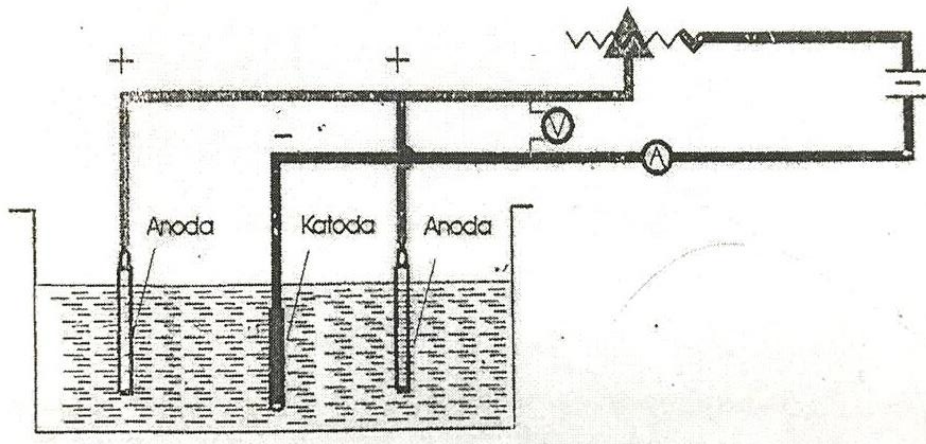
Gambar 2.3. Gasket metal bergelombang

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].

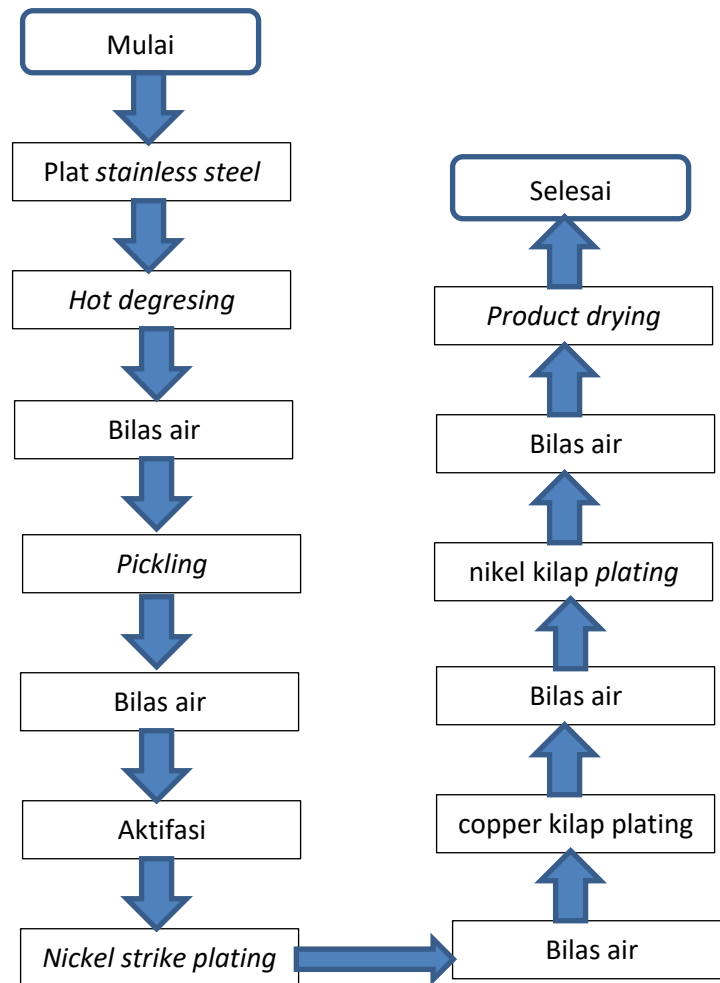


Keterangan:  
A : Ampermeter  
V : Voltmeter  
+ : Anoda  
- : Katoda

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, aktivasi 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% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. 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 <sub>4</sub> 6H <sub>2</sub> O)	150 – 200 gr/L
NIKEL Khlorida (NiCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O)	20 – 30 gr/L
Asam borat (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	25 – 35 gr/L

Larutan untuk lapis nikel kilap dengan komposisi sebagai berikut:

Nikel Sulfat (NiSO <sub>4</sub> 6H <sub>2</sub> O)	250 – 325 gr/L
Nikel Khlorida (NiCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O)	45 – 65 gr/L
Asam borat (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )	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 <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O)	240 – 300 gr/L
Pure Hydrolic Acid	86 ml/L

Larutan untuk lapis tembaga mempunyai komposisi:

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

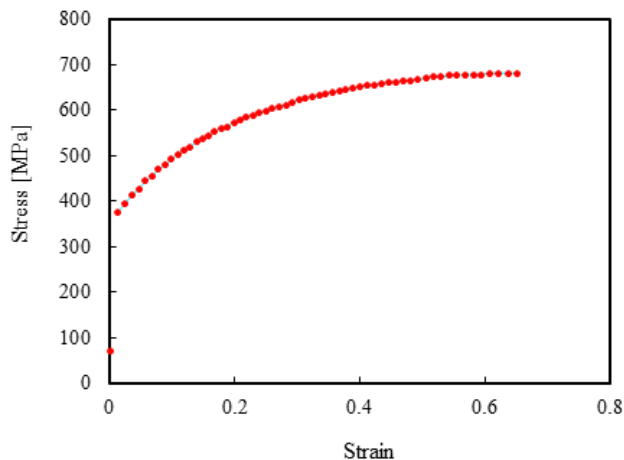
Sesuai dengan hukum Farady, berat palapisan elektroplating bisa dihitung menggunakan rumus (2.1).

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

## 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 ( $\sigma$ )	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].



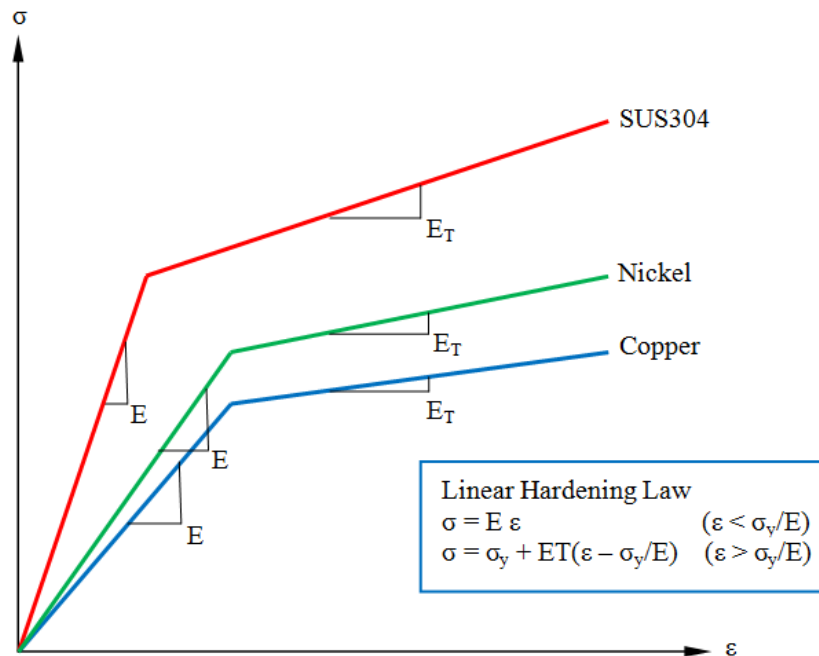
Gambar 3.2. Bahan tembaga





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.

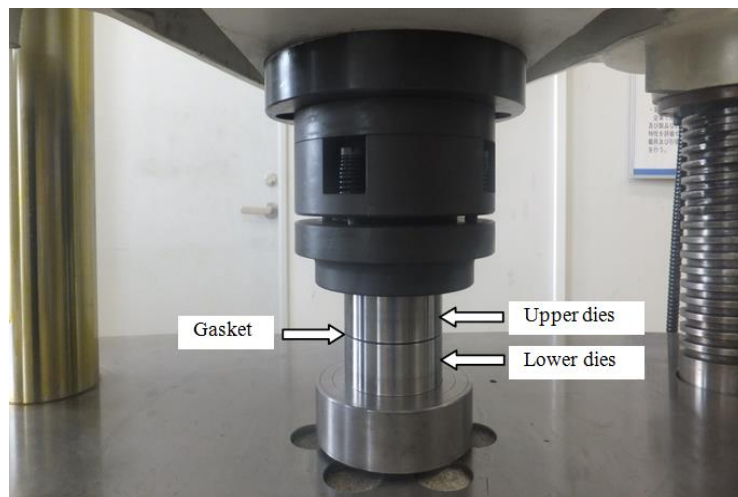


Gambar 3.4. *Linear strain hardening model for SUS304, copper and nickel material*

### 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.

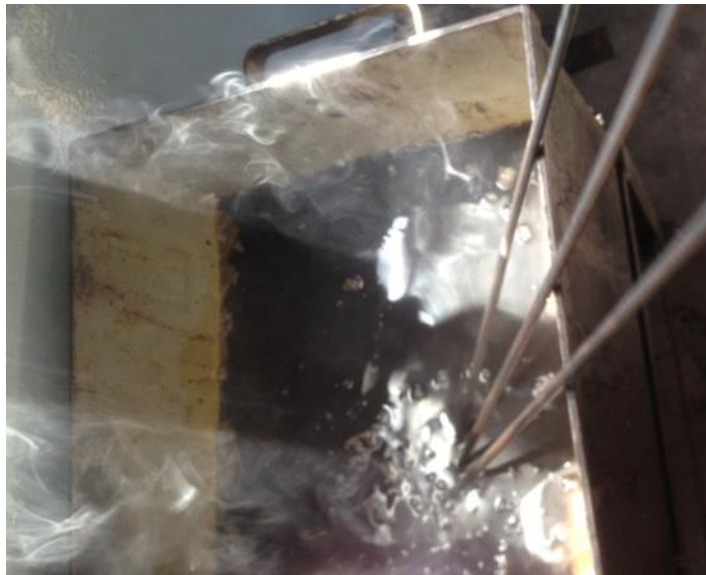
Temperatur ini akan membakar material dies. Proses selanjutnya adalah *hardening* dengan mencelupkan secara mendadak material dies panas ke dalam oli, lihat Gambar 3.9.



(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 seteah 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 layerd. 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.

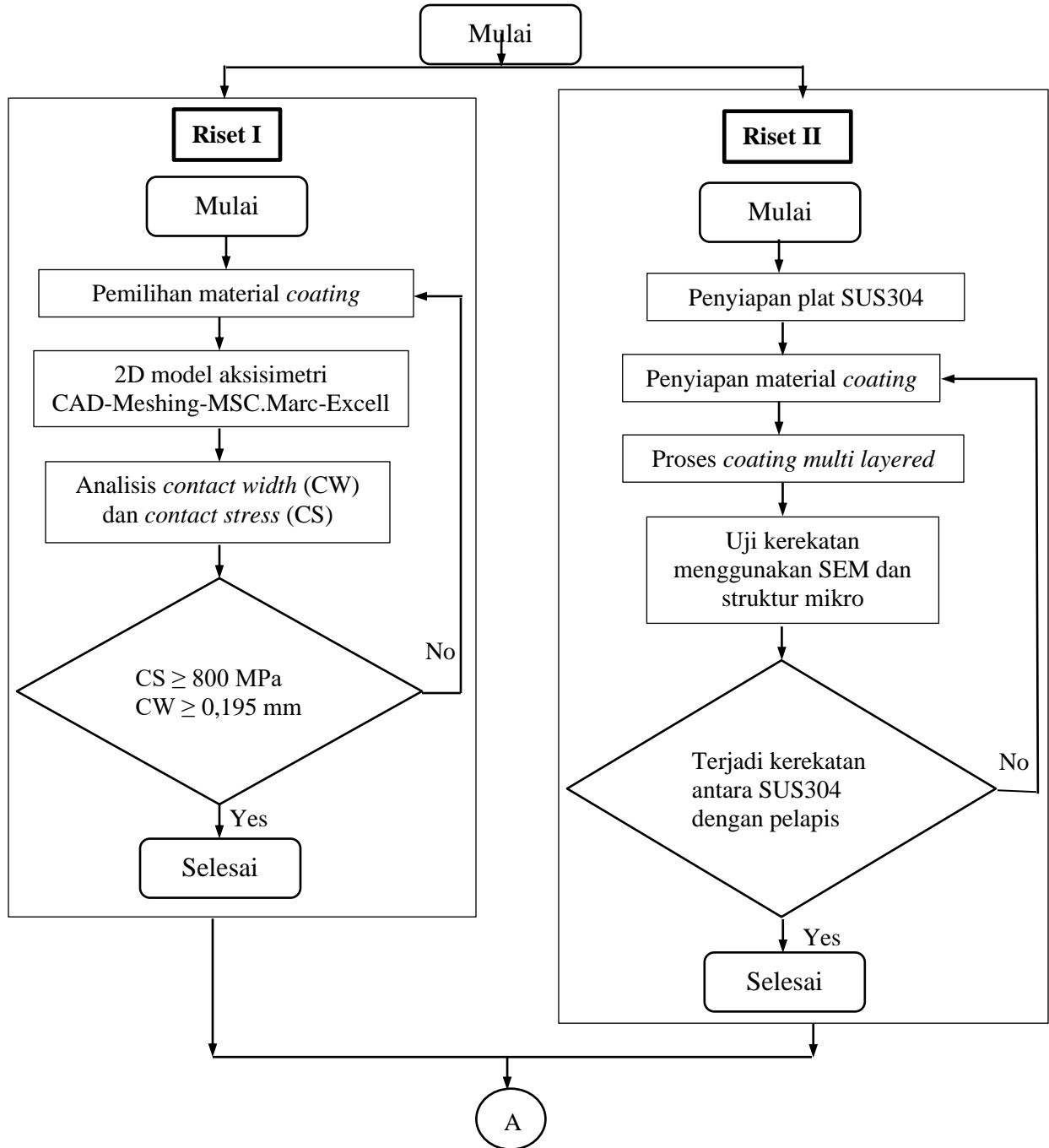
**Riset IV** difokuskan pada uji coba dan pengambilan data kebocoran secara eksperimen di industri nyata khususnya pada boiler. Proses *forming* untuk membuat gasket dan pembuatan flens dilakukan di UNY. Pengujian kebocoran ini dilakukan pada suhu kamar dan suhu tinggi sekitar 270°C pada aliran pipa. Namun temperatur pada luar pipa sekitar 90°C. Suhu tinggi perlu diujicoba karena penggunaan gasket pada boiler. 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.

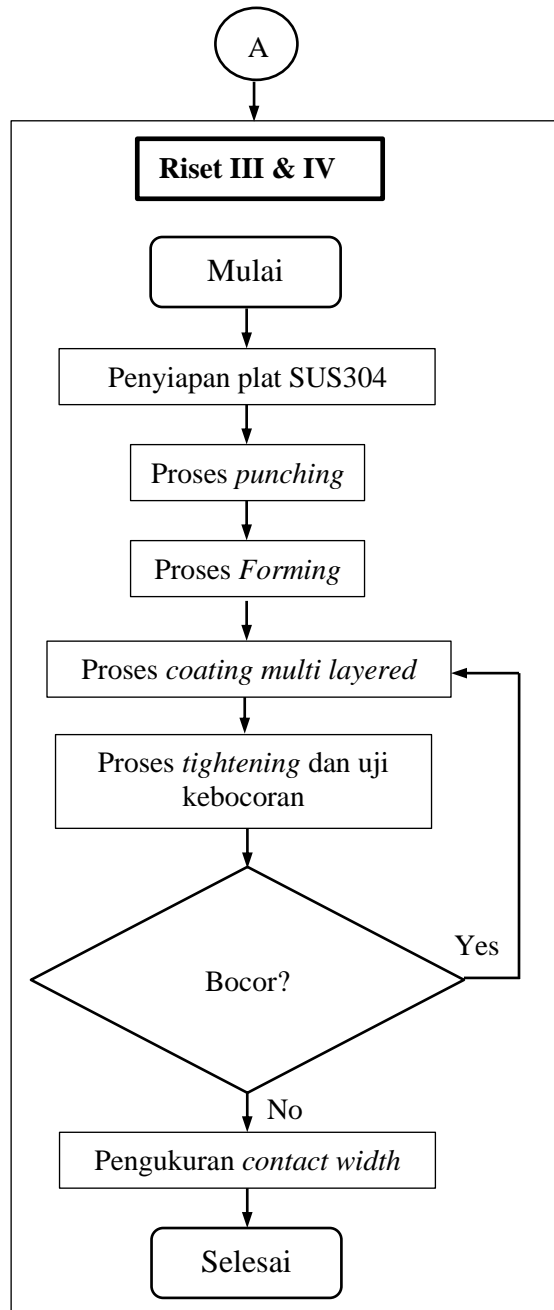
Riset I dan II dilaksanakan dan diselesaikan pada tahun pertama, yaitu tahun 2019 sedangkan riset III dan IV dilaksanakan dan diselesaikan pada tahun kedua, yaitu tahun 2021. Sebenarnya tahun kedua dilaksanakan tahun 2020, namun karena kondisi Covid-19 maka diundur menjadi tahun 2021.



### 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

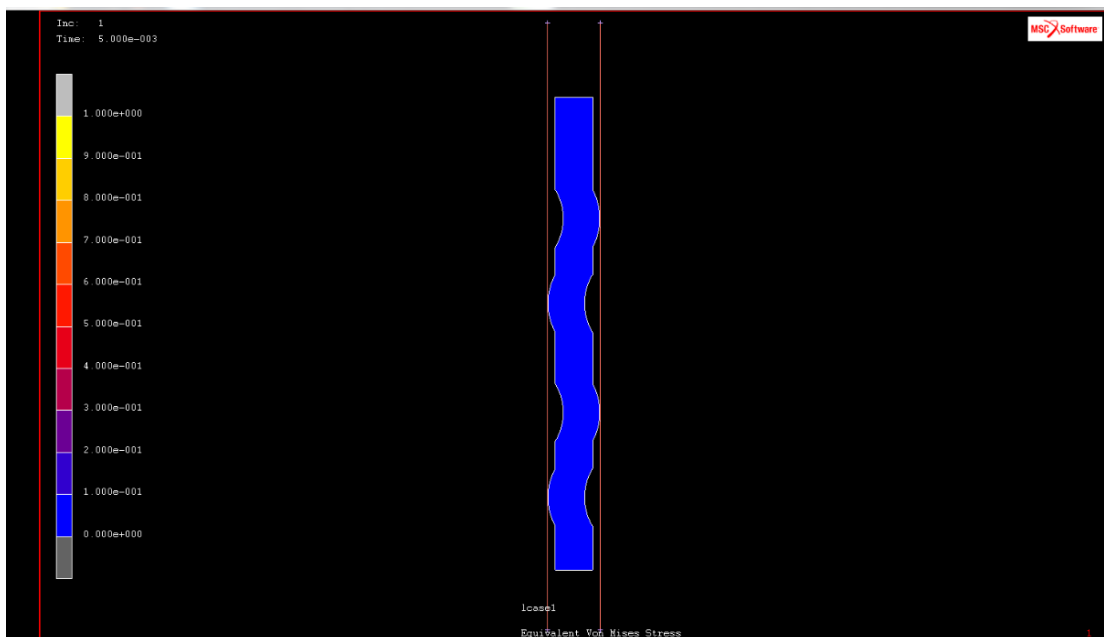
pada suhu kamar dan perlakuan pada suhu tinggi, yaitu 150°C. Pengukuran kebocoran tetap dilaksanakan pada suhu kamar karena kesulitan pengukuran kebocoran pada suhu tinggi.

### 3.5. Proses Penelitian Tahun Kedua (2019)

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

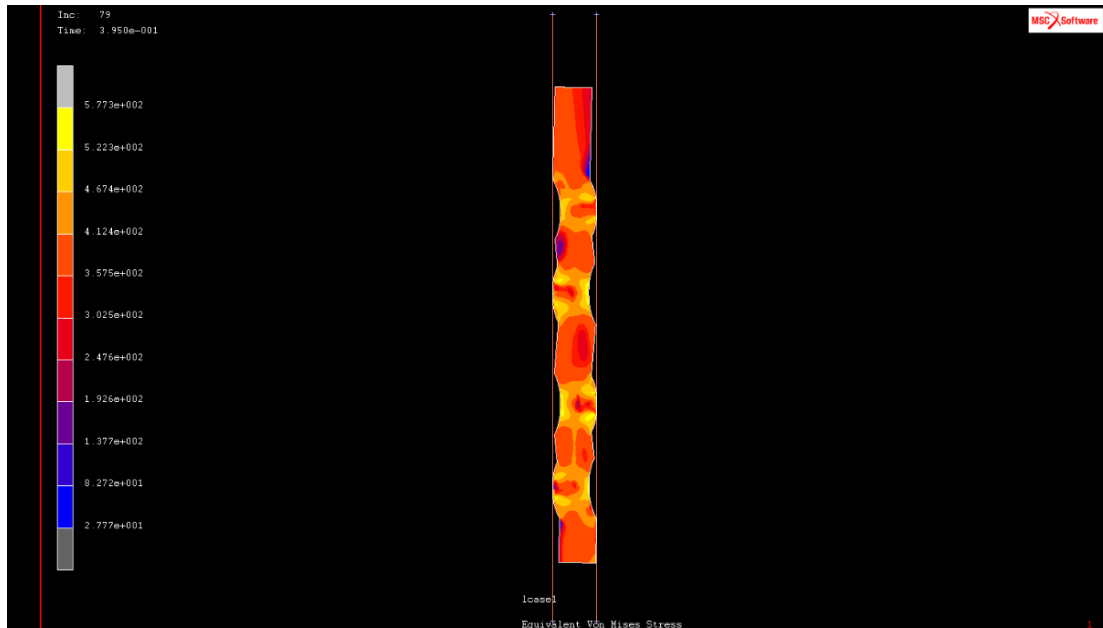
#### a. Simulasi Proses Pengetatan Gasket Menggunakan Flange

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.

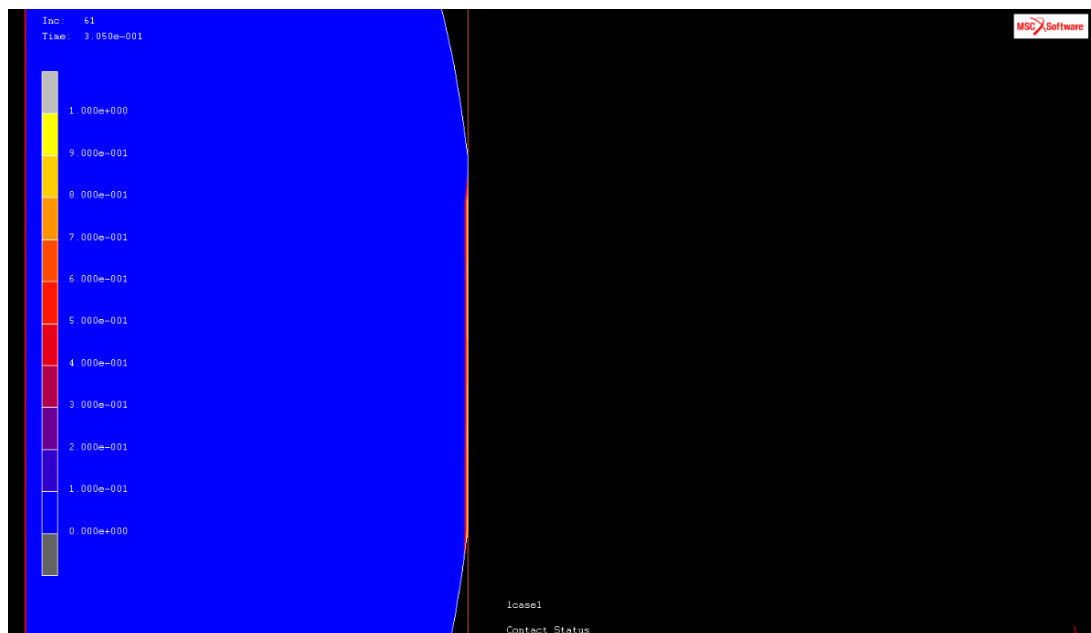


Gambar 3.15. Setting proses pengetatan

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

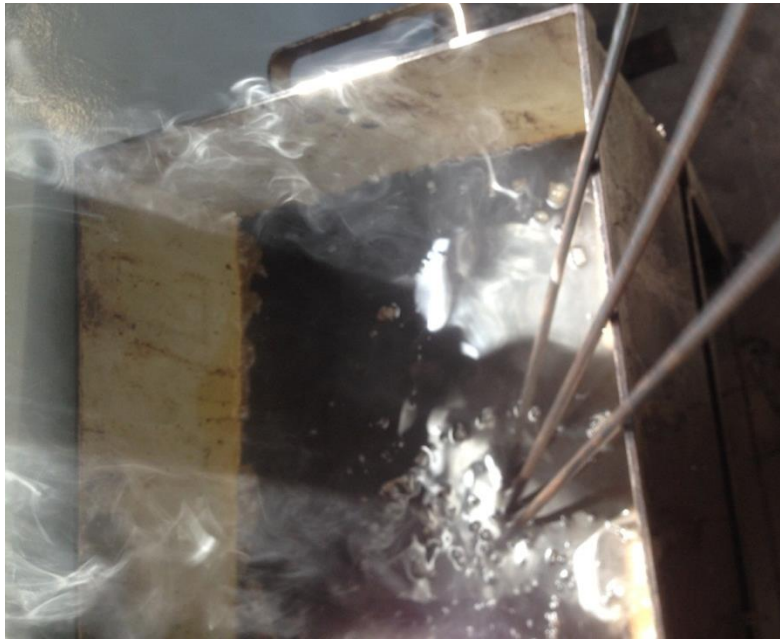


(a) pemanas

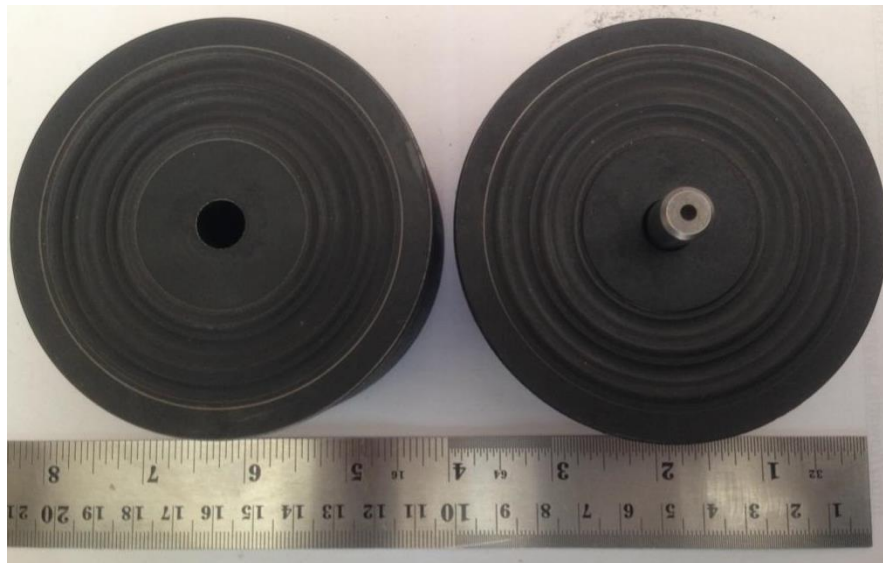


(b) indikator temperatur

Gambar 3.18. Proses pemanasan



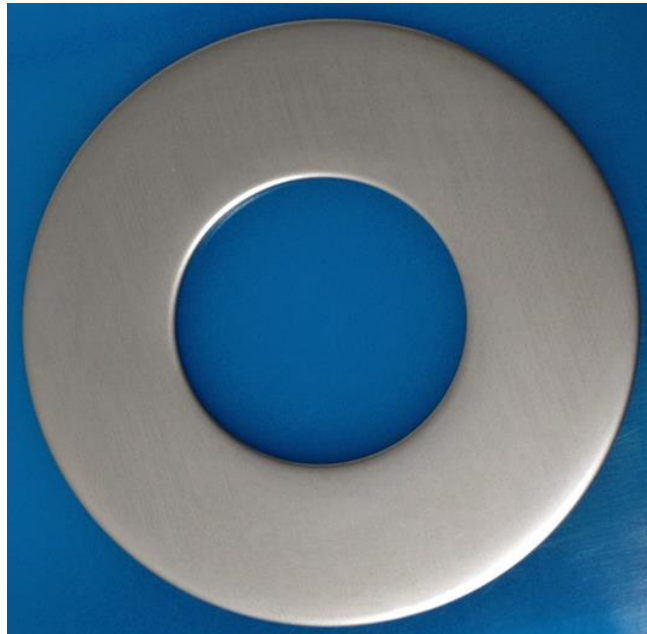
Gambar 3.19. Proses pencelupan oli secara cepat



Gambar 3.20. Dies setelah proses hardening

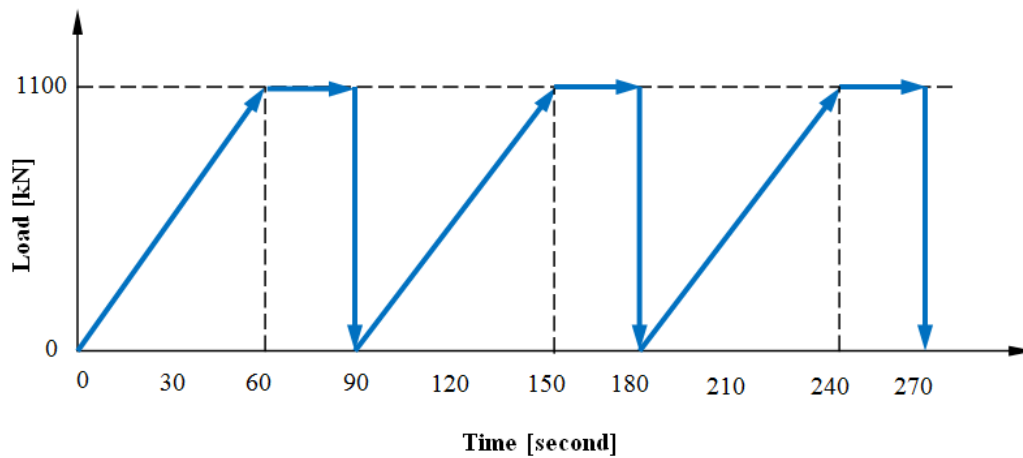
### c. Pembentukan Gasket Metal Bergelombang

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

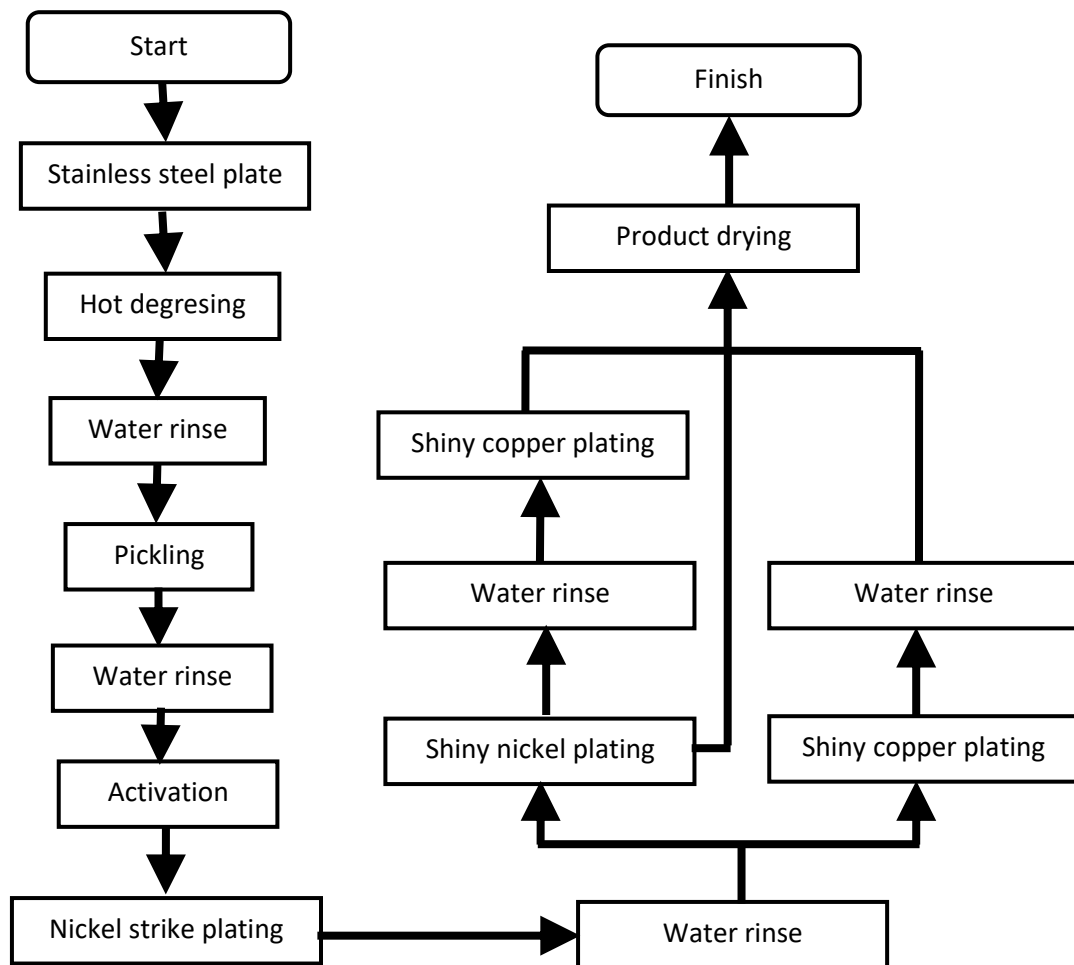


(b) proses praktik dan pencontohhan

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.



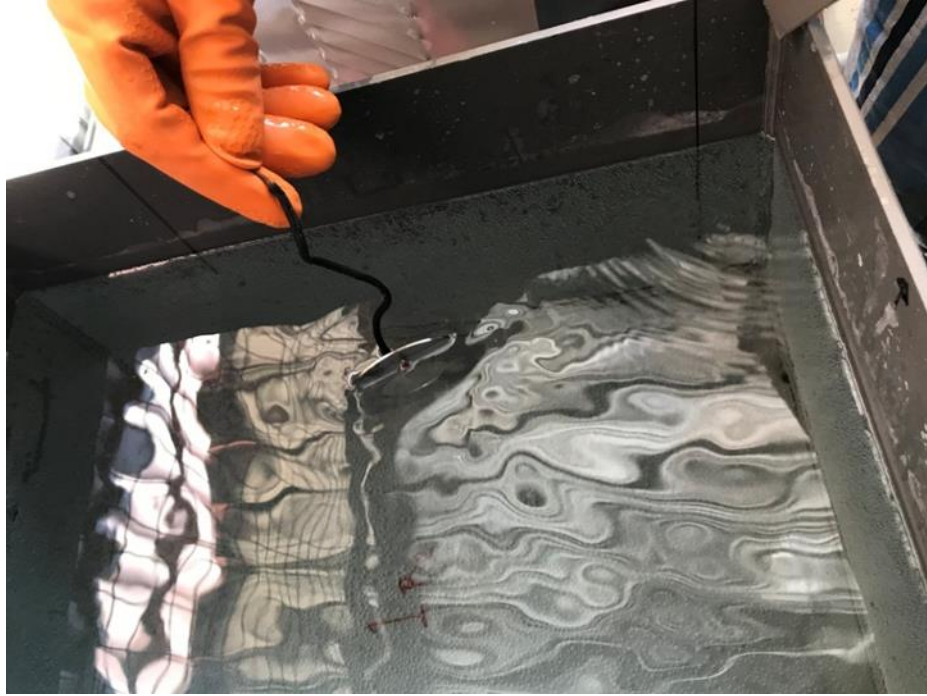
Gambar 3.26. Bagan alir proses elektroplating logam *stainless steel*



Gambar 3.27 *Hot degreasing*



Gambar 3.28. Bilas air



Gambar 3.29. *Pickling*



Gambar 3.30. Bilas air



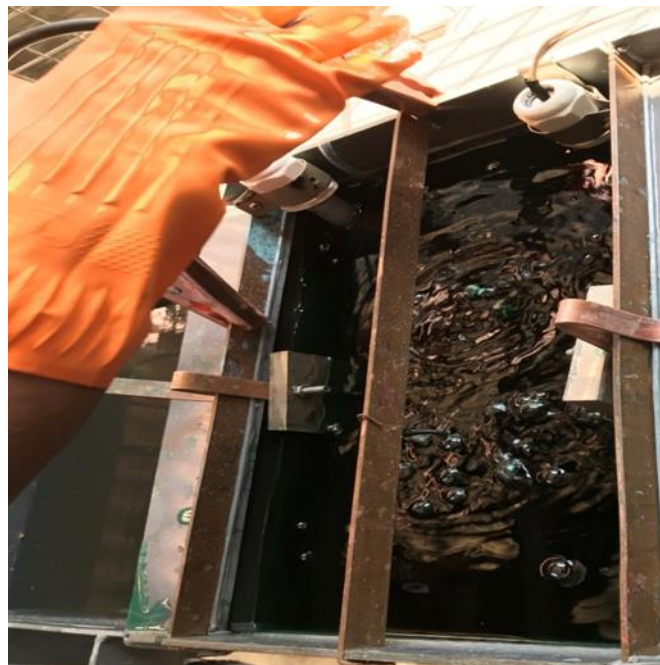
Gambar 3.31. Aktivasi



Gambar 3.32. *Nickel strike plating*



Gambar 3.33. Bilas air



Gambar 3.34. Proses nikel kilap plating

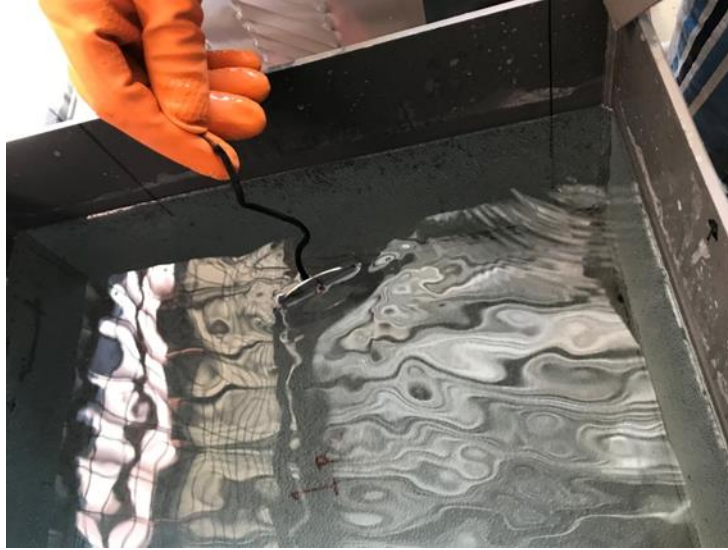




Gambar 3.35. Bilas air



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 mengilangkan 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 3.47.



Gambar 3.43. Kondisi saat pembukaan FGD





Gambar 3.44. Presentasi ketua peneliti



Gambar 3.45. Kondisi saat diskusi



Gambar 3.46. Kondisi saat tanya jawab



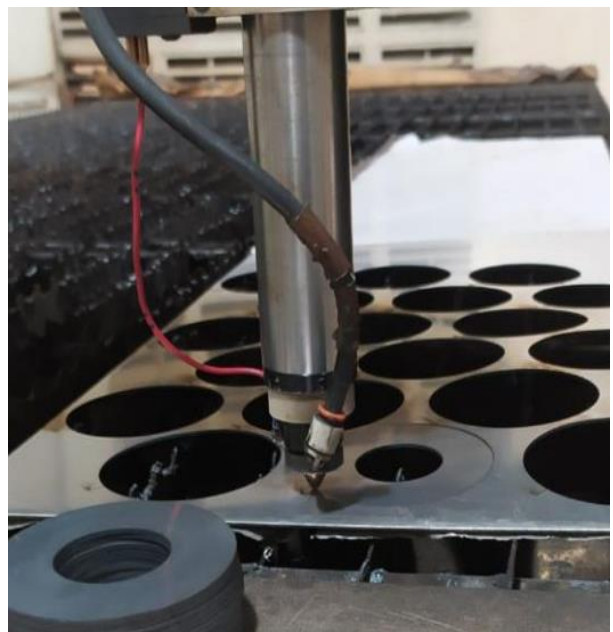
Gambar 3.47. Kondisi saat pembahasan oleh nara sumber dari industri

### 3.6. Proses Penelitian Tahun Kedua (2021)

#### a. Pembentukan Gasket Metal Bergelombang

Pada prinsipnya tahun kedua ini masih melakukan proses pembentukan gasket metal bergelombang. Hal ini dilakukan karena bahan gasket pada tahun pertama sudah habis. Tahun kedua sudah tidak perlu melakukan pembuatan dies. Dies tahun pertama masih bisa digunakan. Proses pembentukan gasket sama persis pada tahun pertama, namun proses pemotongan bahan gasket pada tahun kedua terdapat perbedaan. Pemotongan bahan gasket pada tahun pertama menggunakan mesin frais. Hasil pemotongan ini terdapat banyak cacat pada material karena harus dicekam sehingga banyak material yang terbuang. Material gasket yang paling minim cacatnya yang digunakan untuk metal gasket bergelombang.

Proses pemotongan bahan gasket menggunakan *laser cutting*. Hal ini dilakukan supaya meminimalkan cacat permukaan. Cacat permukaan justru akan menyebabkan kebocoran. Hasil pemotongan *laser cutting* benar-benar tidak terjadi cacat permukaan gasket. Proses laser cutting bisa dilihat pada Gambar 3.48.



3.48. Proses laser cutting

Setelah pemotongan material gasket selanjutnya dilakukan proses *forming* untuk membentuk gasket. Proses *forming* sama persis seperti proses *forming* pada tahun pertama. Gambar 3.49 menunjukkan alat yang digunakan untuk proses *forming*. Kapasitas mesin pres ini bisa mencapai 150 ton.



Gambar 3.49. Mesin press yang digunakan untuk proses *forming*

#### **b. Proses *Coating* dengan Metode Elektroplating**

Tahun kedua penelitian ini tetap melakukan elektroplating seperti tahun pertama. Proses elektroplating sama persis pada tahun pertama sehingga tahun ini tidak perlu menyiapkan atau membuat peralatan elektroplating lagi. Karena prosesnya sama persis seperti pada tahun pertama maka tidak perlu dibahas secara mendalam lagi. Namun demikian perlu disampaikan bukti proses elektroplating. Gambar-gambar proses elektroplating bisa dilihat pada Gambar 3.50 s.d. 3.52.



Gambar 3.50. Proses mencampur larutan



Gambar 3.51. Proses elektroplating



Gambar 3.52. Gasket setelah proses elektroplating nikel

### c. Proses Uji Kebocoran pada Boiler di Industri Mitra

Uji kebocoran gasket untuk mengetahui sejauh mana performa gasket standar, gasket yang dilapisi nikel dan gasket yang dilapisi tembaga dilakukan di industri khususnya pada boiler. Uji kebocoran dilaksanakan di Workshop Boiler Politeknik LPP Yogyakarta. Jenis boiler adalah Boiler TWA 300kg/hours yang memiliki tekanan maksimal 7 bar seperti terlihat pada Gambar 3.53.

Gasket dipasangkan pada flens dan ditaruh pada sambungan di boiler seperti terlihat pada Gambar 3.54. Gasket yang diuji adalah gasket standar artinya gasket berbahan SUS304 dan tidak dilapisi, gasket dengan pelapisan nikel, dan gasket dengan pelapisan tembaga. Flens yang digunakan berbahan SUS304 dengan kekasaran permukaan  $3,5 \mu\text{m}$ . Flens dengan kekasaran ini terlihat masih terjadi kebocoran apabila tidak dilapisi material yang lebih lunak. Penelitian ini untuk melihat peningkatan performa gasket setelah diberikan pelapisan material nikel atau tembaga.



Gambar 3.53. Boiler jenis TWA 300kg/hours



Gambar 3.54. Pemasangan gasket pada flens di saluran boiler

Gaya pengetatan baut diukur menggunakan *digital torque* seperti pada percobaan tahun pertama. Dengan alat ini bisa mengukur gaya pengetatan setiap baut. Baut yang digunakan ada 4 buah sehingga gaya pengetatan dikalikan 4. Gambar 3.55 menunjukkan pengukuran gaya pengetatan. Gaya pengetatan yang digunakan adalah 40 kN, 60 kN, 80 kN, 100 kN dan 120 kN.





Gambar 3.55. Pengukuran gaya pengetatan pada baut

Kebocoran uap diukur menggunakan thermal camera Flir E4. Alat ini bisa mengetahui kebocoran uap. Alat tersebut bisa dilihat pada Gambar 3.56. Kebocoran air bisa dilihat melalui pengamatan secara visual. Di bawah gasket dan flens ditaruh kertas putih. Apabila terjadi kebocoran maka air akan menetes dan jatuh pada kertas putih.



Gambar 3.56. Thermal camera Flir E4

Suhu aliran fluida yang mengalir pada *flange* sebesar  $270^{\circ}\text{C}$  diukur menggunakan *thermometer digital* Krisbow KW06002718. Tekanan boiler maksimal 7 bar, sedang pengamatan dimulai dari 3 bar, 5 bar, dan 7 bar. Tekanan tersebut sudah bisa dilihat pada panel yang ada pada boiler. Gambar 3.57 menunjukkan cara melihat tekanan boiler.



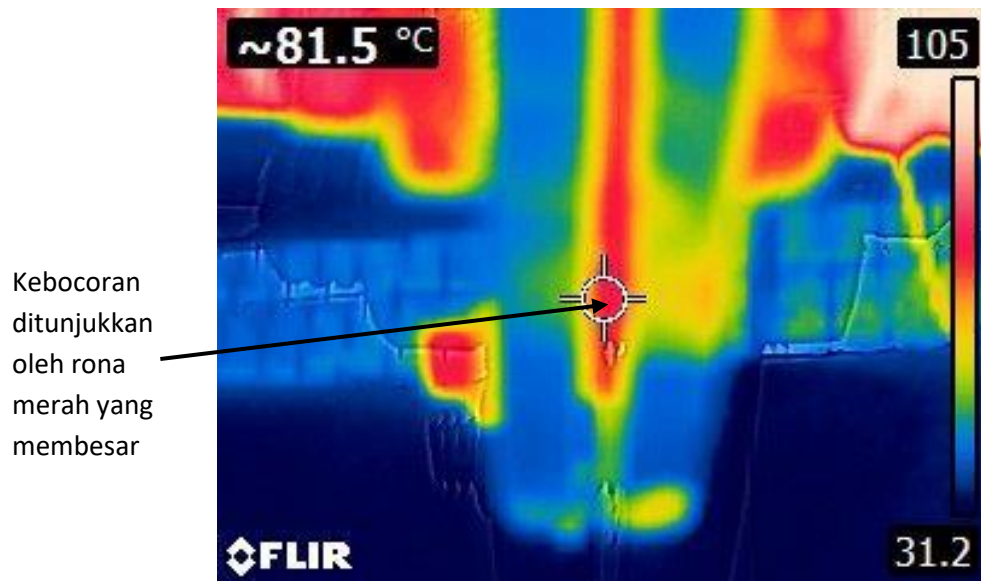
Gambar 3.57. Penunjukan tekanan pada panel

Proses pertama yang dilakukan yaitu memasang gasket pada flange lalu dikencangkan sesuai dengan urutan pengetatan. Boiler dinyalakan hingga mencapai titik saturasinya, dapat diketahui melalui indikator suhu *chimney* yang ketika sudah berada pada titik saturasinya menunjukkan suhu  $270^{\circ}\text{C}$ . Setelah itu *valve* pada flens dibuka agar dapat memulai pengujian. Karena pada tekanan uap 3 bar masih terdapat sedikit air, hasil pengujian berupa tabel kebocoran air dan tabel kebocoran uap. Pengukuran kebocoran dilakukan sebanyak 3 kali pengukuran untuk jenis gasket yang sama. Gambar 3.58 menunjukkan contoh kebocoran air yang menetes yang dilihat secara visual dan di bawah gasket ditaruh kertas putih.



Gambar 3.58. Pengukuran kebocoran air

Kebocoran uap bisa dilihat pada *thermal camera*. Apabila terjadi kebocoran uap maka akan terlihat rona merah yang membesar pada gasket. Gambar 3.59 menunjukkan adanya kebocoran uap yang diukur menggunakan *thermal camera*.



Gambar 3.59. Kebocoran yang ditunjukkan oleh *thermal camera*

Thermal camera juga bisa mengukur ketidakbocoran gasket. Penunjukan ini bisa dilihat pada thermal camera yang berwarna hijau. Tidak terjadi rona merah pada penunjukan thermal camera. Gambar 3.60 menunjukkan thermal camera yang tidak terjadi kebocoran.



Gambar 3.60. Penunjukan thermal camera yang tidak terjadi kebocoran

#### d. *Focus Group Discussion (FGD) dengan Ahli*

##### 1) FGD di Yogyakarta dengan Mitra dan Dosen

Forum Group Discussion kedua dilaksanakan di Hotel Galuh Prambanan pada hari Kamis, 21 Oktober 2021. Kegiatan ini berlangsung mulai pukul 10.00 sd 13.00 WIB, dengan narasumber bapak Ardana, BE., SSP., M.Si. Beliau adalah Manajer Teknik PT Bhakti Bunga Ananda-Gas Companies. Narasumber kedua adalah Bapak Yunaidi, ST. M.Eng. dari Politeknik LPP Yogyakarta sebagai ahli dalam boiler. Masukan-masukan dari narasumber dan peserta yang dapat diberikan antara lain sebagai berikut.

- a) Karakteristik nikel dan tembaga sangat mirip. Ukuran atom nikel 0,126  $\mu\text{m}$  dan tembaga 0,128  $\mu\text{m}$ . Suhu leleh tembaga adalah 1085°C dan nikel 1454°C.
- b) Hasil electroplating bisa dipastikan bahwa pelapisan tembaga tidak sebagus nikel.
- c) Sifat menempelnya elektroplating tidak terjadi difusi. Besi dan tembaga atau nikel tidak bisa bereaksi karena sama-sama logam pada golongan III.
- d) Hasil electroplating tembaga terjadi korosi sehingga warnanya akan berubah.

- e) Alat pengujian ini sudah sesuai standar pengujian kebocoran.
- f) Boiler yang ada di Politeknik LPP sudah sesuai dengan standar industri.
- g) Untuk pemanfaatan gasket ini bisa menghubungi industry manufaktur boiler.
- h) Varian ukuran gasket masih sangat perlu diteliti.

Kondisi diskusi berlangsung dengan bagus, terjadi diskusi antara pak Ardhana atau pak Yunaidi 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 3.61 sampai dengan 3.65.



Gambar 3.61. Presentasi peneliti



Gambar 3.62. Presentasi peneliti



Gambar 3.63. Sesi diskusi



Gambar 3.64. Sesi diskusi



Gambar 3.65. Foto Bersama peserta FGD di hotel Galuh



2) FGD di Semarang dengan Industri

FGD dilaksanakan di Semarang pada tanggal 31 Oktober 2021 tepatnya di PT Rahmi Ida Nusantara. Peserta FGD adalah Tim peneliti, 2 orang narasumber, dosen dari Departemen Teknik Mesin UNDIP, dan 2 orang Manajer Teknik PT Rahmi Ida Nusantara. Narasumber pada FGD ini adalah Ir. Akhmad Basuki, direktur PT Cipta Mulia Semesta Cilegon-Banten dan Redi Nusantara, Ph.D. Direktur PT Rahmi Ida Nusantara Terboyo-Semarang. FGD dilaksanakan selama 3 jam, mulai pukul 10.00 – 13.00 WIB. Masukan-masukan dari narasumber dan peserta yang dapat diberikan antara lain sebagai berikut.

- a) Desain gasket ini sangat bagus untuk menggantikan gasket berbahan asbes.
- b) Secara bisnis akan terjadi kelemahan karena gasket mudah ditiru oleh perusahaan lain.
- c) Solusi penggunaan gasket adalah satu paket dengan produk yang lain, sehingga tidak semata-mata memproduksi gasket ini.
- d) Gasket akan diujicoba pada rekanan PT Rahmi Ida Nusantara, apabila memiliki performa yang bagus maka akan disampaikan ke berbagai perusahaan pengguna boiler.
- e) Ke depan akan dilakukan kerjasama dalam hilirisasi produk gasket ke industri.
- f) Ke depan juga akan dilakukan kerjasama antara UNY dengan PT Rahmi Ida Nusantara berupa MoU. Bentuk kerjasama antara lain pemagangan mahasiswa dan penyelesaian tugas akhir mahasiswa.

Kondisi diskusi berlangsung dengan bagus, terjadi diskusi antara peneliti dengan narasumber dan industry. Pertama, ketua peneliti melakukan presentasi penelitian yang sudah dilakukan, selanjutnya pembahasan oleh narasumber dan diskusi terbuka. Kondisi saat FGD bisa dilihat mulai Gambar 3.66 sampai dengan 3.69.



Gambar 3.66. Sesi presentasi



Gambar 3.67. Sesi diskusi



Gambar 3.68. Sesi pemberian masukan



Gambar 3.69. Foto Bersama peserta FGD di PT Rahmi Ida Nusantara

### 3) FGD di Semarang dengan Industri

FGD dilaksanakan di Cikarang pada tanggal 9 November 2021 tepatnya di PT Chemco Harapan Santosa. Peserta FGD adalah Tim peneliti, 1 orang narasumber dari PT Chemco Harapan Santosa, dosen dari Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, dan 4 orang PT Chemco Harapan Santosa. Narasumber pada FGD ini adalah Tata Hendjendra Widhihatmaja, SH. Direktur di PT Chemco Harapan Santosa. FGD dilaksanakan selama 4 jam, mulai pukul 10.00 – 14.00 WIB. Masukan-masukan dari narasumber dan peserta yang dapat diberikan antara lain sebagai berikut.

- a) Desain gasket ini sangat bagus untuk menggantikan gasket berbahan asbes.
- b) Ke depan akan dilakukan kerjasama dalam hilirisasi produk gasket ke industri.
- c) Desain gasket disesuaikan dimensinya dengan kondisi di industri
- d) Ke depan akan dilakukan kerjasama dalam hilirisasi produk gasket ke industri.
- e) PT Chemco akan melakukan scanning dan printing gasket serupa. Selanjutnya PT Chemco akan menguji kebocoran gasket pada boiler
- f) PT Chemco menyarankan untuk membuat gasket melat bergelombang langsung berbahan nikel atau tembaga

Kebutuhan gasket ini juga pada pabrik migas, sebaiknya dibuat yang lebih tertutup supaya tidak ada udara masuk mengenai gasket maupun flange

Kondisi diskusi berlangsung dengan bagus, terjadi diskusi antara peneliti dengan narasumber dan industry. Pertama, ketua peneliti melakukan presentasi penelitian yang sudah dilakukan, selanjutnya pembahasan oleh narasumber dan diskusi terbuka. Kondisi saat FGD bisa dilihat mulai Gambar 3.70 sampai dengan 3.74.



Gambar 3.70. Foto saat presentasi hasil penelitian



Gambar 3.71. Foto saat diskusi saat FGD



Gambar 3.72. Foto saat kunjungan ke produksi



Gambar 3.73. Foto saat kunjungan ke produksi



Gambar 3.74. Foto saat foto Bersama di PT Chemco

## 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-2 (Rp)
1	Bahan yang meliputi pembelian bahan habis pakai, pembelian ATK dan konsumsi untuk seluruh kegiatan penelitian	103.679.000
2	Pengumpulan data meliputi proses pemotongan dan pembuatan, biaya teknisi, biaya kegiatan FGD, ATK dan konsumsi, dan biaya perjalanan untuk pengumpulan data	53.184.000
3	Analisis data (termasuk sewa peralatan) meliputi biaya pembantu peneliti, beberapa kegiatan seminar, ATK dan konsumsi, sewa boiler, teknisi boiler dan biaya perjalanan dinas untuk pengambilan data	35.150.000
4	Pelaporan, luaran wajib dan luaran tambahan meliputi biaya penyusunan pelaporan, publikasi, pembuatan draf paten, ATK dan konsumsi, FGD untuk hilirisasi produk	73.737.000
<b>Jumlah</b>		<b>265.750.000</b>

### 4.2. Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 2 tahun. Rancangan kegiatan penelitian lengkap bisa dilihat pada Tabel 4.2.



Tabel 4.2. Jadwal kegiatan penelitian

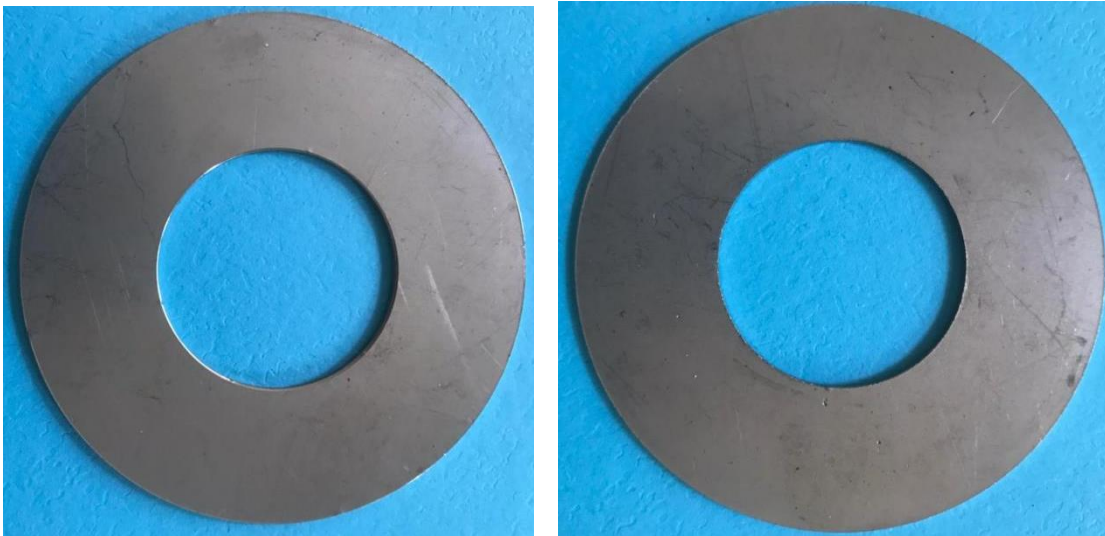
No	Jenis Kegiatan	Tahun ke-1													Tahun ke-2													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Prosedur simulasi <i>tightening</i>				■	■																						
2	<i>Running program</i>						■																					
3	Desain optimasi							■																				
4	Interpretasi analisis								■																			
5	Uji coba <i>coating multi layered</i>									■	■																	
6	Publikasi											■																
7	Presentasi penelitian												■															
8	Pembuatan spesimen														■	■	■											
9	Proses <i>coating multi layered</i>																■	■										
10	Interpretasi analisis																	■										
11	Pengukuran kebocoran																		■	■								
12	Penyusunan laporan																			■	■	■						
13	Publikasi																				■	■	■					
14	Presentasi penelitian																										■	

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Hasil Pemotongan Bahan Gasket

Seperti sudah kita bahas di atas bahwa tahun kemarin kita memotong bahan gasket menggunakan mesin bubut. Kelemahan menggunakan metode ini adalah bagian atas dan bawah bahan gasket harus dicekam menggunakan spindel. Pencekaman ini menimbulkan goresan bagian atas dan bawah material gasket. Padahal bagian bawah dan atas material gasket tersebut yang akan digunakan untuk menahan kebocoran.

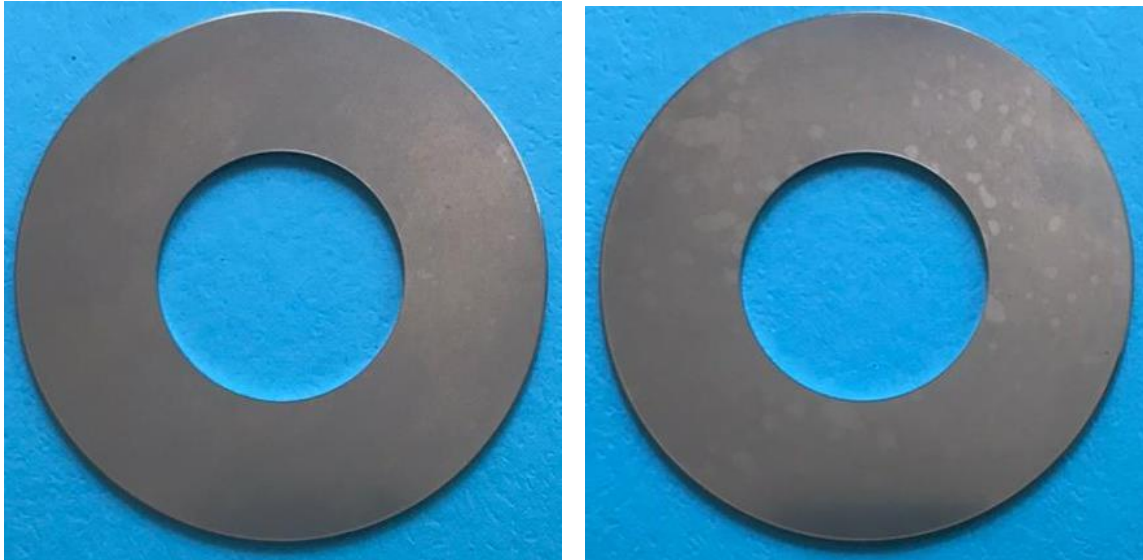
Material gasket yang dibentuk menjadi gasket berdasarkan bagian atas dan bawah material gasket. Bagian ini yang akan menjadi lembah dan bukit pada gasket metal bergelombang. Bagian bukit ini yang menjadi kontak dengan flens. Apabila terjadi goresan pada bagian punggung maka berpotensi menimbulkan kebocoran. Dalam penelitian pertama kita memilih material gasket yang paling tidak tergores. Gambar 5.1 menunjukkan goresan pada material gasket.



Gambar 5.1. Contoh material gasket yang terjadi cacat gores

Penelitian tahun kedua pemotongan material gasket menggunakan *laser cutting*. Dengan metode pemotongan ini sangat mengurangi goresan pada material gasket. Harapannya akan

memperbaiki performa gasket metal bergelombang. Gambar 5.2 menunjukkan material gasket yang dipotong menggunakan *laser cutting*.



Gambar 5.2. Material gasket yang dipotong menggunakan *laser cutting*

## **5.2. Hasil *Forming***

Proses *forming* yang digunakan untuk membentuk gasket metal bergelombang masih tetap sama dengan proses yang dilakukan pada tahun pertama. Alat yang digunakan juga masih tetap sama. Namun karena kualitas material gasket yang digunakan berbeda maka terdapat perbedaan hasil *forming*. Perbedaan tersebut khususnya pada goresan permukaan gasket metal bergelombang. Gambar 5.3 menunjukkan gasket metal bergelombang yang tergores.



Gambar 5.3. Hasil *forming* material gasket menggunakan mesin bubut

### 5.3. Hasil Elektroplating

Proses elektroplating gasket metal bergelombang sama persis seperti pada tahun pertama. 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 ( $\rho$ ) bisa dirumuskan seperti pada persamaan (5.2) sedangkan ketebalan lapisan bisa dilihat pada persamaan (5.3).

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

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

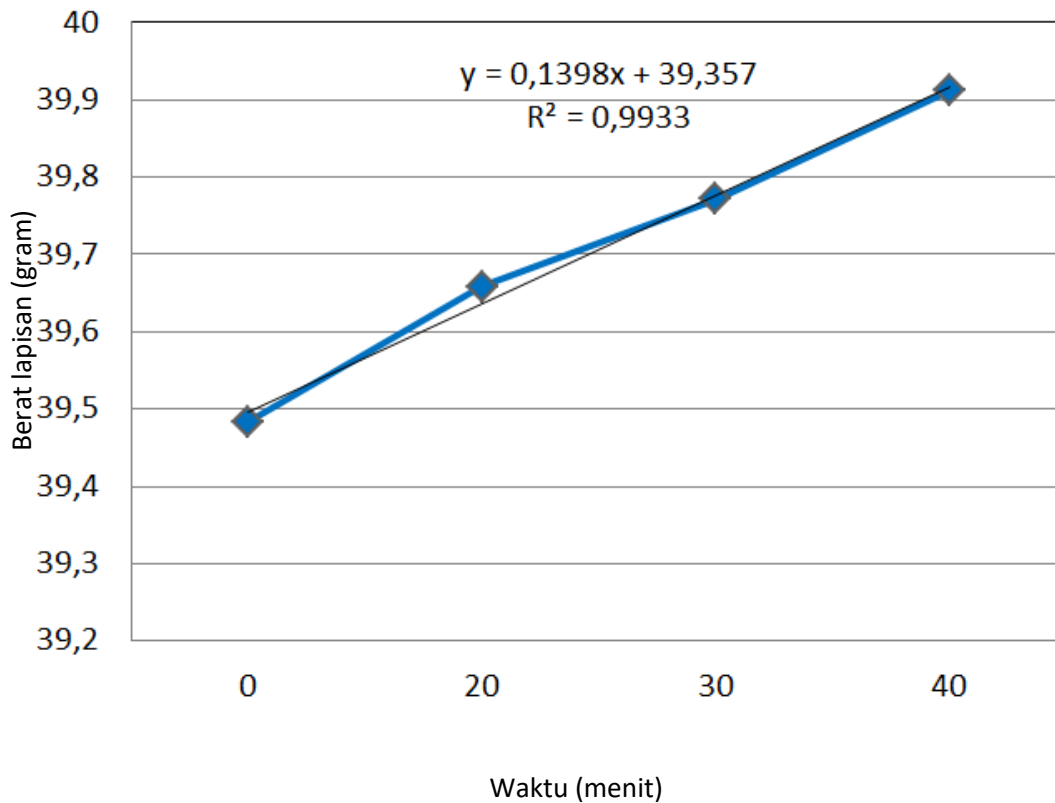
Luasan yang terkena pelapisan adalah luasan atas dan bawah ditambah luasan keliling luar dan keliling dalam. Dimensi gasket adalah diameter luar (D) 74,6 mm, diameter dalam (d) 35,1 mm dan tebal gasket (t) 1,6 mm. Setelah dilakukan perhitungan luas total yang terlapsi adalah 7354,1828 mm<sup>2</sup>. Berat jenis material tembaga adalah 8,96 gr/cm<sup>3</sup> atau 0,00896 gr/mm<sup>3</sup> dan nikel adalah 8,908 gr.cm<sup>3</sup> atau 0,008908 gr/mm<sup>3</sup>.

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 5.4 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 5.4. 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:

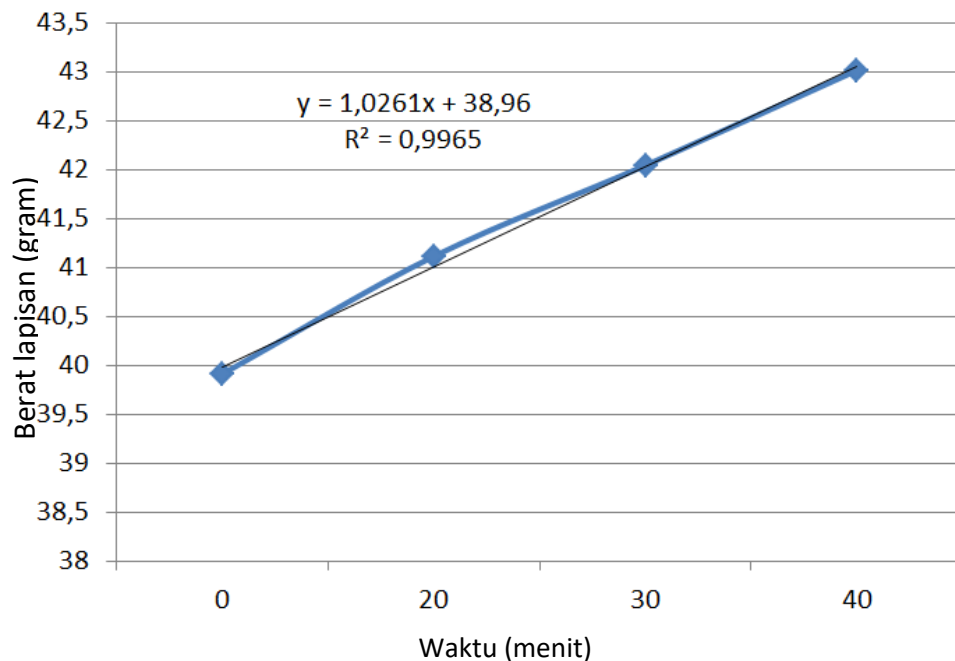
$$\rho = \frac{\text{penambahan massa}}{\text{volume}} = \frac{\text{penambahan massa}}{\text{luas} \times \text{tebal coating}}$$

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

Berdasarkan perhitungan di atas maka bisa ditentukan bahwa untuk memperoleh ketebalan lapisan 20 $\mu\text{m}$ , maka waktu yang dibutuhkan adalah 120 menit. Sedangkan ketebalan 30 $\mu\text{m}$  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 5.5. Penambahan berat lapisan tembaga berdasarkan waktu

Tabel 5.2 dan Gambar 5.5 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 $\mu\text{m}$ , maka waktu yang dibutuhkan adalah 36 menit. Sedangkan ketebalan 30 $\mu\text{m}$  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 $\mu\text{m}$  dan 30 $\mu\text{m}$ . Dalam hal ini untuk memperoleh ketebalan tertentu dengan menambah atau mengurangi waktu proses elektroplating.

Gambar 5.6 menunjukkan gasket metal bergelombang yang dielektroplating menggunakan nikel. Gambar 5.7. menunjukkan gasket metal bergelombang yang dielektroplating menggunakan tembaga.





Gambar 5.5. Gasket metal bergelombang yang dielektroplating menggunakan nikel



Gambar 5.5. Gasket metal bergelombang yang dielektroplating menggunakan tembaga

Walaupun sudah dielektroplating, namun apabila terdapat goresan saat memotong material gasket maka akan tetap tampak. Goresan ini yang akan menyebabkan aliran radial pada gasket yang dipasang pada flens. Gambar 5.6. menunjukkan gasket yang sudah dilapisi dan menunjukkan terjadi goresan. Gambar 5.7 menunjukkan gasket yang sudah dilapisi dan tidak terjadi goresan



Gambar 5.6. Gasket multilayer yang tergores



Gambar 5.6. Gasket multilayer yang tidak tergores

#### 5.4. Hasil Uji Kebocoran pada Boiler

Untuk mengetahui performa gasket metal bergelombang pada industri yang nyata maka gasket dan flens dipasang pada boiler di Workshop Boiler Politeknik LPP Yogyakarta. Seperti dijelaskan pada metode penelitian, kebocoran uap dan air diukur menggunakan *thermal camera*. Lebih lanjut kebocoran air juga diukur menggunakan tetesan air yang merembes bila terjadi kebocoran. Di bawah flens ditaruh kertas putih untuk mendeteksi adanya tetesan air.

Kebocoran gasket metal bergelombang dibedakan gasket metal standar, gasket metal bergelombang dilapisi nikel dan gasket metal bergelombang dilapisi tembaga. Gasket metal standar berarti gasket metal berbahan SUS304 tanpa pelapisan. Masing-masing jenis gasket dibahas sendiri.

##### a. Gasket Metal Bergelombang Standar

Seperti telah disebutkan di atas bahwa pengukuran kebocoran pada gasket yang sama dilakukan sebanyak 3 kali. Hasil uji kebocoran gasket metal bergelombang standar bisa dilihat pada Tabel 5.3, 5.4, dan 5.5.

Tabel 5.3. Hasil uji kebocoran pertama gasket standar

Gasket Standar	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
60	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
80	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
100	Bocor	Bocor	Bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.4. Hasil uji kebocoran kedua gasket standar

Gasket Standar	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
60	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
80	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
100	Tdk bocor	Bocor	Bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.5. Hasil uji kebocoran ketiga gasket standar

Gasket Standar	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
60	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
80	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor	Bocor
100	Bocor	Bocor	Bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Dari tabel di atas terlihat masih terdapat kebocoran baik air maupun uap untuk gasket standar. Dari ketiga kali percobaan terdapat hasil yang sama persis dua diantaranya, yaitu percobaan pertama dan ketiga. Pada percobaan kedua gasket lebih bagus karena pada gaya pengetatan dan tekanan boiler tertentu tidak terjadi kebocoran. Kebocoran uap lebih cepat terjadi dibandingkan kebocoran air. Dari ketiga percobaan di atas maka bisa ditarik kesimpulan bahwa gasket standar yang dipasang pada flens dengan kekasaran 3,5  $\mu\text{m}$  masih terjadi kebocoran baik kebocoran air maupun uap. Kebocoran air terjadi pada gaya pengetatan sampai 100 kN tekanan 7 bar, sedangkan kebocoran uap terjadi pada 120 kN tekanan 7 bar. Hasil ini menunjukkan bahwa gasket memang belum layak untuk digunakan pada flens dengan kekasaran tinggi, yaitu minimal 3,5  $\mu\text{m}$ . Hasil ini selaras dengan penelitian sebelumnya oleh Haruyama dkk [10].

#### b. Gasket Metal Bergelombang dilapisi Nikel

Gasket yang digunakan untuk uji kebocoran pada boiler ini menggunakan gasket metal bergelombang yang dilapisi nikel dengan ketebalan 10  $\mu\text{m}$ , 15  $\mu\text{m}$  dan 20  $\mu\text{m}$ . Pengambilan ketebalan ini sesuai dengan percobaan pada tahun pertama bahwa pada ketebalan tersebut sudah mampu mengurangi kebocoran dengan uji coba *water pressure test*. Ketebalan lapisan nikel tetap kita variasi untuk melihat kemungkinan terdapat ketebalan yang paling optimal di antara ketebalan tersebut.

Dengan perlakuan yang sama dengan gasket metal bergelombang standar, pengukuran gasket metal bergelombang berlapis nikel juga dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap ketebalan. Data yang kita sajikan dalam laporan ini juga sebanyak 3 tabel untuk setiap ketebalan. Kebocoran gasket dengan ketebalan nikel 10  $\mu\text{m}$  bisa dilihat pada Tabel 5.6, 5.7 dan 5.8. Kebocoran gasket dengan ketebalan nikel 15  $\mu\text{m}$  bisa dilihat pada Tabel 5.9, 5.10 dan 5.11. Kebocoran gasket dengan ketebalan nikel 20  $\mu\text{m}$  bisa dilihat pada Tabel 5.12, 5.13 dan 5.14.

Tabel 5.6. Hasil uji kebocoran pertama gasket berlapis nikel 10  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 10 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.7. Hasil uji kebocoran kedua gasket berlapis nikel 10  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 10 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.8. Hasil uji kebocoran ketiga gasket berlapis nikel 10  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 10 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Dari tabel di atas terlihat bahwa tidak terdapat kebocoran baik air maupun uap untuk gasket berlapis nikel dengan ketebalan 10  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga kali percobaan terdapat hasil yang sama persis. Dari ketiga percobaan di atas maka bisa ditarik kesimpulan bahwa gasket metal bergelombang berlapis nikel yang dipasang pada flens dengan kekasaran 3,5  $\mu\text{m}$  tidak terjadi kebocoran baik kebocoran air maupun uap. Hasil ini menunjukkan bahwa gasket metal bergelombang berlapis nikel 10  $\mu\text{m}$  memang sudah layak untuk digunakan pada flens dengan kekasaran tinggi, yaitu minimal 3,5  $\mu\text{m}$ .

Tabel 5.9. Hasil uji kebocoran pertama gasket berlapis nikel 15  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 15 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.10. Hasil uji kebocoran kedua gasket berlapis nikel 15  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 15 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Dari tabel di atas terlihat bahwa tidak terdapat kebocoran baik air maupun uap untuk gasket berlapis nikel dengan ketebalan 15  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga kali percobaan terdapat hasil yang sama persis. Dari ketiga percobaan di atas maka bisa ditarik kesimpulan bahwa gasket metal bergelombang berlapis nikel yang dipasang pada flens dengan kekasaran 3,5  $\mu\text{m}$  tidak terjadi kebocoran baik kebocoran air maupun uap. Hasil ini menunjukkan bahwa gasket metal bergelombang berlapis nikel 15  $\mu\text{m}$  memang sudah layak untuk digunakan pada flens dengan kekasaran tinggi, yaitu minimal 3,5  $\mu\text{m}$ .

Tabel 5.11. Hasil uji kebocoran ketiga gasket berlapis nikel 15  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 15 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.12. Hasil uji kebocoran pertama gasket berlapis nikel 20  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 20 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.13. Hasil uji kebocoran kedua gasket berlapis nikel 20  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 20 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.14. Hasil uji kebocoran ketiga gasket berlapis nikel 20  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Nikel 20 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Dari tabel di atas terlihat bahwa tidak terdapat kebocoran baik air maupun uap untuk gasket berlapis nikel dengan ketebalan 20  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga kali percobaan terdapat hasil yang sama persis. Dari ketiga percobaan di atas maka bisa ditarik kesimpulan bahwa gasket metal bergelombang berlapis nikel yang dipasang pada flens dengan kekasaran 3,5  $\mu\text{m}$  tidak terjadi kebocoran baik kebocoran air maupun uap. Hasil ini menunjukkan bahwa gasket metal bergelombang berlapis nikel 20  $\mu\text{m}$  memang sudah layak untuk digunakan pada flens dengan kekasaran tinggi, yaitu minimal 3,5  $\mu\text{m}$ .

Ketiga gasket metal bergelombang dengan ketebalan 10  $\mu\text{m}$ , 15  $\mu\text{m}$ , dan 20  $\mu\text{m}$  sudah layak dijadikan sebagai gasket pengganti asbes. Ketiga gasket memiliki performa yang sama. Dengan hasil tersebut, penulis menyarankan supaya menggunakan gasket metal bergelombang dengan pelapisan nikel tebal 10  $\mu\text{m}$ .

### c. Gasket Metal Bergelombang dilapisi Tembaga

Gasket yang digunakan untuk uji kebocoran pada boiler ini menggunakan gasket metal bergelombang yang dilapisi tembaga dengan ketebalan 10  $\mu\text{m}$ , 15  $\mu\text{m}$  dan 20  $\mu\text{m}$ . Pengambilan ketebalan ini sesuai dengan percobaan pada tahun pertama bahwa pada ketebalan tersebut sudah mampu mengurangi kebocoran dengan uji coba *water pressure test*. Ketebalan lapisan tembaga tetap kita variasi untuk melihat kemungkinan terdapat ketebalan yang paling optimal di antara ketebalan tersebut.

Dengan perlakuan yang sama dengan gasket metal bergelombang standar, pengukuran gasket metal bergelombang berlapis tembaga juga dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap ketebalan. Data yang kita sajikan dalam laporan ini juga sebanyak 3 tabel untuk setiap ketebalan. Kebocoran gasket dengan ketebalan tembaga 10  $\mu\text{m}$  bisa dilihat pada Tabel 5.15, 5.16 dan 5.17. Kebocoran gasket dengan ketebalan Tembaga 15  $\mu\text{m}$  bisa dilihat pada Tabel 5.18, 5.19 dan 5.20. Kebocoran gasket dengan ketebalan Tembaga 20  $\mu\text{m}$  bisa dilihat pada Tabel 5.21, 5.22 dan 5.23.

Tabel 5.15. Hasil uji kebocoran pertama gasket berlapis tembaga 10  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 10 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.16. Hasil uji kebocoran kedua gasket berlapis tembaga 10  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 10 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor



80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.17. Hasil uji kebocoran ketiga gasket berlapis tembaga 10  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 10 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Dari tabel di atas terlihat bahwa tidak terdapat kebocoran baik air maupun uap untuk gasket berlapis tembaga dengan ketebalan 10  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga kali percobaan terdapat hasil yang sama persis. Dari ketiga percobaan di atas maka bisa ditarik kesimpulan bahwa gasket metal bergelombang berlapis tembaga yang dipasang pada flens dengan kekasaran 3,5  $\mu\text{m}$  tidak terjadi kebocoran baik kebocoran air maupun uap. Hasil ini menunjukkan bahwa gasket metal bergelombang berlapis tembaga 10  $\mu\text{m}$  memang sudah layak untuk digunakan pada flens dengan kekasaran tinggi, yaitu minimal 3,5  $\mu\text{m}$ .

Tabel 5.18. Hasil uji kebocoran pertama gasket berlapis tembaga 15  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 15 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.19. Hasil uji kebocoran kedua gasket berlapis tembaga 15  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 15 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.20. Hasil uji kebocoran ketiga gasket berlapis tembaga 15  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 15 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Dari tabel di atas terlihat bahwa tidak terdapat kebocoran baik air maupun uap untuk gasket berlapis tembaga dengan ketebalan 15  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga kali percobaan terdapat hasil yang sama persis. Dari ketiga percobaan di atas maka bisa ditarik kesimpulan bahwa gasket metal bergelombang berlapis tembaga yang dipasang pada flens dengan kekasaran 3,5  $\mu\text{m}$  tidak terjadi kebocoran baik kebocoran air maupun uap. Hasil ini menunjukkan bahwa gasket metal bergelombang berlapis tembaga 15  $\mu\text{m}$  memang sudah layak untuk digunakan pada flens dengan kekasaran tinggi, yaitu minimal 3,5  $\mu\text{m}$ .

Tabel 5.21. Hasil uji kebocoran pertama gasket berlapis tembaga 20  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 20 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.22. Hasil uji kebocoran kedua gasket berlapis tembaga 20  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 20 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Tabel 5.23. Hasil uji kebocoran ketiga gasket berlapis tembaga 20  $\mu\text{m}$

Gasket Berlapis Tembaga 20 $\mu\text{m}$	Kebocoran Uap			Kebocoran Air		
	Tekanan Boiler (Bar)					
Gaya Pengetatan (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
60	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
80	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
100	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor
120	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor	Tdk bocor

Dari tabel di atas terlihat bahwa tidak terdapat kebocoran baik air maupun uap untuk gasket berlapis tembaga dengan ketebalan 20  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga kali percobaan terdapat hasil yang sama persis. Dari ketiga percobaan di atas maka bisa ditarik kesimpulan bahwa gasket metal bergelombang berlapis tembaga yang dipasang pada flens dengan kekasaran 3,5  $\mu\text{m}$  tidak terjadi kebocoran baik kebocoran air maupun uap. Hasil ini menunjukkan bahwa gasket metal bergelombang berlapis tembaga 20  $\mu\text{m}$  memang sudah layak untuk digunakan pada flens dengan kekasaran tinggi, yaitu minimal 3,5  $\mu\text{m}$ .

Dari ketiga ketebalan gasket dapat diambil kesimpulan bahwa semuanya layak dijadikan gasket pengganti asbes. Dengan hasil ini penulis menyarankan supaya gasket metal bergelombang cukup dilapisi tembaga dengan ketebalan 10  $\mu\text{m}$ .

Dari jenis pelapisan baik tembaga maupun nikel, keduanya bisa digunakan untuk melapisi gasket metal bergelombang berbahan SUS304. Apabila kita memilih tergantung kebutuhan dan ketersediaan bahan. Namun dilihat penampilan memang pelapisan nikel terlihat lebih bagus dan mengkilap. Pelapisan tembaga terlihat kusam, apalagi bila pelapisan dalam waktu lama maka terlihat kehitam-hitaman,

## 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% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. 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 ketebalan yang diperlukan. Untuk elektroplating tembaga maka tetap dilakukan aktivasi dan selanjutnya proses elektroplating tembaga kilap sampai ketebalan yang diinginkan.
2. Kedua material pelapis, yaitu tembaga dan nikel menghasilkan lapisan yang lebih lunak daripada SUS304, sehingga kedua pelapis bisa digunakan.
3. Lapisan nikel dan tembaga tidak terjadi difusi pada SUS 304, namun begitu antara nikel atau tembaga menempel dengan baik 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.
4. Lapisan yang didapatkan adalah nikel-SUS304-nikel dan tembaga-SUS304-tembaga. Khusus untuk tembaga-SUS-tembaga terdapat lapisan yang sangat tipis nikel setelah SUS304 karena proses *nickel strike*.
5. Hasil uji kebocoran menggunakan *water pressure test*, diperoleh pelapisan nikel dengan ketebalan 20 $\mu$ m dan 30 $\mu$ m lebih bagus dari pada gasket standar. Gasket dengan lapisan tembaga 20 $\mu$ m dan 30 $\mu$ m juga lebih baik dari pada pelapisan nikel.
6. Hasil uji kebocoran menggunakan boiler pada temperatur dan panas tinggi menunjukkan performa gasket berlapis lebih bagus dari pada gasket standar. Semua percobaan gasket standar mengalami kebocoran, namun gasket berlapis tembaga dan nikel tidak mengalami kebocoran baik pada gaya pengetatan terkecil sampai terbesar dan pada tekanan terkecil sampai terbesar.

## 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).
- [23] Nurhadiyanto, D; Haruyama, S; Mujiyono; Sutopo; Ristadi, F.A. (2020) . The performance of nickel and copper as coating materials for corrugated metal gaskets. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(4), 2450-2463.

- [24] Nurhadiyanto, D; Haruyama, S; Mujiyono; Abbas, W. (2020), Electroplating process for copper coating of corrugated metal gaskets to increase performance. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 11(1) 73-83.
- [25] Haruyama, S; Choiron, M.A., Nurhadiyanto, D (2019), Optimum design of laminated corrugated metal gasket using computer simulation. 11(5) 29-34.
- [26] Nurhadiyanto, D; Mujiyono; Abbas, W., Sutopo; Haruyama, S. (2021) SUS304 material coating with bickel through electroplating. *Lectures Notes in Mechanical Engineering* , 8, 515-522.



### 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
4	Anggi Maulana Amrullah NIM 15503244012	Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT, UNY lulus tahun 2019			
5	Isa Ibnu Ahbar NIM 16503241035	Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT, UNY lulus tahun 2019			
6	Novian Indra Kusuma NIP 17503244021	Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT, UNY lulus tahun 2020			
7	Nur Chalid Fauzi 17503244020	Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FT, UNY lulus tahun 2020			

## Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Pengusul

### Biodata Ketua Peneliti

#### A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Eng. Ir. 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	<a href="mailto:didiknur@uny.ac.id">didiknur@uny.ac.id</a>
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
10.	2019	Performa Hasil Coating Tembaga dan Nikel pada Gasket Metal Bergelombang	<i>Research Group</i>	18
11.	2019 Tahun Pertama	Peningkatan Performa Gasket Metal Bergelombang Melalui Proses Coating Multi Layered	Penelitian Pengembangan Unggulan Perguruan Tinggi	211,125

12.	2019	Engineering Hybrid Ramie-Manganese Steel Composite as a Bulletproof Panel Level IV NIJ Standard	Penelitian Kerjasama Internasional	60
13.	2019	Pengembangan Komposit Rami-Epoksi Dihybrid dengan Logam Titanium untuk Prototipe Produk Rompi Anti Peluru	Riset KRU-PT	350
14.	2020 Tahun Kedua	Pengembangan Komposit Rami-Epoksi Dihybrid dengan Logam Titanium untuk Prototipe Produk Rompi Anti Peluru	Riset KRU-PT	350
15.	2020	Rekayasa Tungku Biomass Berbahan Bakar Serbuk Kayu	<i>Research Group</i>	18
16.	2020	Hydrothermal Treatment of Herb Residu for Solid Fuel Production	Penelitian Kerjasama Internasional	60

#### **D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir**

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
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
6.	2019	Pelatihan Pemrograman CNC untuk Meningkatkan Kompetensi Guru SMK	DIPA UNY	10
7.	2019	Pembekalan Ujian Dinas Tingkat I, Tingkat II dan Ujian Kenaikan Pangkat	Pemkot Kota	

		Penyesuaian Ijazah bagi PNS Pemerintah Kota Yogyakarta	Yogyakarta	
8.	2020	Pelatihan Penulisan Karya Ilmiah (PTK)	Mandiri	
9.	2020	Pelatihan dan Pendampingan Pengembangan Pola untuk Praktik Pengecoran di SMK Muhammadiyah 1 Bantul	PPs UNY	9
10.	2020	Bimbingan Teknis Pengembangan Strategi Pembelajaran bagi Guru Produktif SMK Teknik Pemesinan di Era New Normal	FT UNY	9

#### 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 Sress 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 Reinforched 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		
11	Evaluation of Implementation of Health and Safety in Industry and Vocational School in Yogyakarta Special Region	International Journal of Mechanical Engineering and Technology	2019
12	The Effects of Situational Factors in the Implementation of Work-Based Learning Model on Vocational Education in Indonesia	International Journal of Instruction	2019
13	Optimum Design of Laminated Corrugated Metal Gasket Using Computer Simulation	International Journal of Integrated Engineering	Vol. 11 No. 5, 29-34, Tahun 2019
14	Electroplating Process for Cooper Coating of Corrugated Metal Gasket to Increase Performance	International Journal of Mechanical Engineering and Technology	Vol. 11 Issue 1, 73-83, Tahun 2020
15	Design of the MCCIS on the Gas-Fueled Motorcycle to Overcome Detonation in Engine Idling	Journal of Mechanical Engineerin	Vol 17(2), 141-155 Tahun 2020
16	The Performance of Nickel and Copper as Coating Materials for Corrugated Metal gasket	Journal of Engineering Science and Technology	Vol. 15 No 4, 2450-2463 Tahun 2020
17	Uranium Ecxtraction with Modified Sorbents	Complex Used of Mineral Resources,	No 314 Tahun 2020
18	An Approach to Optimize the Corrugated Metal Gasket Design Using Taguchi Method	International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology	Vo[ 10 No 6 Tahun 2020
19	SUS304 Material Coating with Nickel Through Electroplating	Lecture Notes in Mechanical Engineering	Tahun 2020
20	A Review of Properties and Fabrication Techniques of Fabrication Reinforce Polymer Nanocomposites Subjected to Simulated Accidentasl Ballistic Impact	Thin-Walled Structures	Vol 158 Tahun 2021
21	Drop Test Resistance on Ramie Fiber Bulletproof Panels based on Harvest Time and Fiber Treatment on Ramie	Composites: Mechanics, Computation, Application,	Vol 12 Issue 1 Tahun 2021
22	Effect of Al Additions on the	Material Science Forum	Vol 1029, 3-8

	Microstructure and Mechanical Properties of the SHS Product of Ni-Al-TiO <sub>2</sub> Mixtures		
23	Hydrotherman Treatment of Herb Residu for Solid Fuel Production	Asean Journal of Chemical Engineering	Vol 21 No 1, 83-92
24	Fabrication of NIAI and TiC Intermetallic Matrics Composites Coating	Composite Interfaces	Vol 28 No 7

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

No.	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.	The 8 <sup>th</sup> 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 <sup>th</sup> 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 Sress 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

11	International Conference on Advances in Mechanical Processing and Design (ICAMPD 2019)	SUS304 Material Coating with Nickel Through Electroplating	18-19 Oktober 2019
12	International Conference on Vocational Education of Mechanical and Automotif Technology (ICoVEMAT)	Preliminary study of fragment simulating projectile on epoxy-ramie composite	12 Oktober 2019
13	International Conference on Vocational Education of Mechanical and Automotif Technology (ICoVEMAT)	The influence of improved engineering mechanic module in vocational high school	12 Oktober 2019
14	International Conference on Vocational Education of Mechanical and Automotif Technology (ICoVEMAT)	Developing blog-based learning media for basic mechanical engineering subjects	12 Oktober 2019
15	International Conference on Vocational Education of Mechanical and Automotif Technology (ICoVEMAT)	An Analysis on copper corrosion SUS304 corrugated metal gasket electroplating	5 Oktober 2020
16	International Conference on Vocational Education of Mechanical and Automotif Technology (ICoVEMAT)	Experimental study on integrated biomass pyrolysis and gasification process from teak wood waste: preliminary	5 Oktober 2020
17	International Conference on Vocational Education of Mechanical and Automotif Technology (ICoVEMAT)	Improve learning outcomes on physics lesson in vocational high school 1 Magelang	5 Oktober 2020

#### 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
3	Mekanika Teknik Lanjut untuk Vokasional Teknik Mesin	2018	170	UNY Press

#### H. Perolehan HKI dalam 5-10 Tahun Terakhir

No.	Judul /Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1	Buku Panduan Petunjuk: Standar Operasional Prosedur Rekayasa Gasket Metal Bergelombang dengan Coating Nikel	2019	Hak Cipta	000169726
2	Buku Panduan Petunjuk: Standar Operasional Prosedur Rekayasa Gasket Metal Bergelombang dengan Coating Tembaga.	2019	Hak Cipta	000169978
3	Burner Menggunakan Bahan Bakar Alternatif	2020	Paten	IDP000067292



	dengan Bantuan Uap Air Bertekanan			
4	Konverter Kit untuk Mesin Motor Bakar Empat Langkah Berbahan Bakar bensin menjadi Berbahan Gas	2020	Paten	IDS000003296
5	Metode Mengkonversi Bahan Bakar Gas Menggunakan Konverter Kits untuk Motor Bakar Empat Langkah	2020	Paten	IDS000003378
6	Panel Komposit Berbahan Dasar Serat Ramie	2020	Paten	IDP000071965

**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
3.	Satya Lencana 20 Tahun	Presiden RI	2018
4	Dosen Berprestasi Tingkat Universitas	Rektor UNY	2021

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 2021.

Yogyakarta, 23 Oktober 2021  
Pengusul,

*Didik Nurhadiyanto*

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	Jml (Juta Rp)
			Sumber*	
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	Konsorsium SINAS Kemenristek BATAN-	1.000

		dengan <i>Centrifugal Casting</i> untuk Aplikasi <i>Boron Neutron Capture Cancer Therapy</i>	UNY-UGM-UNS	
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	DIPA UNY	15

		Las di MGMP Pengelasan se-Kabupaten Bantul		
5.	2012	Pelatihan Aplikasi <i>Welding Procedure Specification (WPS)</i> 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 <sup>th</sup> Internat'l Workshop on Green Composite	<i>Mechanical Properties of Ramie Natural Fiber with Shellac Natural matrix for Green Composite</i>	Kumoh National Institute of 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	<i>Colaboration</i>

			UNY dan Yamaguchi University, Jepang	<i>teaching</i> Pengembangan 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	-			

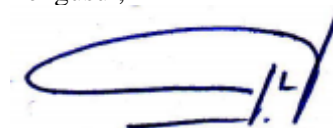
**J. Penghargaan dalam 10 Tahun Terakhir (dari Pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)**

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 2021.

Yogyakarta, 23 Oktober 2021  
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 <sup>th</sup> 1971
6	E-mail	<a href="mailto:sutopo@uny.ac.id">sutopo@uny.ac.id</a>
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 2021.

Yogyakarta, 23 Oktober 2021

Pengusul,

Dr. Sutopo, MT.

NIP. 19710313 200212 1 001

# **LUARAN WAJIB HAK CIPTA**

**FORMULIR PERMOHONAN PENDAFTARAN PATEN INDONESIA**  
**APPLICATION FORM OF PATENT REGISTRATION OF INDONESIA**

**Data Permohonan (Application)**

Nomor Permohonan <i>Number of Application</i>	: S00202106187	Tanggal Permohonan <i>Date of Submission</i>	: 09-Aug-2021
Jenis Permohonan <i>Type of Application</i>	: PATEN SEDERHANA	Jumlah Klaim <i>Total Claim</i>	: 1
		Jumlah halaman <i>Total page</i>	: 17
Judul <i>Title</i>	: GASKET METAL BERGELOMBANG BERBAHAN SUS304 YANG DILAPISI NIKEL		
Abstrak <i>Abstract</i>	: Suatu GMBBN dengan bahan dasar SUS304, yang berbentuk lingkaran dicirikan oleh 4 puncak gelombang dan 5 bagian flat berlapis nikel di bagian luarnya yang menjadi satu kesatuan alat gasket tahan korosi yang berfungsi menahan kebocoran fluida cair atau gas dengan temperatur dan tekanan tinggi. GMBBN tersebut lebih disukai dengan ketebalan 1,5 mm. Suatu GMBBN dimana puncak gelombang nomor 1 mendukung puncak gelombang nomor 3 pada saat GMBBN kontak dengan flens untuk menghasilkan tegangan kontak lokal yang sangat tinggi agar memerlukan gaya pengetatan rendah; Puncak gelombang nomor 4 mendukung puncak gelombang nomor 2 memiliki fungsi seperti puncak gelombang 1 dan 3; Bagian flat memberikan efek pegas pada GMBBN dan dapat mengurangi efek pelonggaran baut; Diameter dalam adalah bagian utama GMBBN untuk mengalirkan fluida sekaligus pembatas terdalam yang mengunci gasket supaya tidak bergeser; Diameter Luar adalah bagian utama GMBBN untuk pembatas terluar yang berada di dalam baut untuk mengencangkan flens; Lapisan nikel adalah bagian terluar GMBBN yang kontak dengan flens dan akan menutup kekasaran permukaan flens untuk mencegah kebocoran. Suatu gasket metal bergelombang berlapis nikel di mana lebih disukai ketebalan lapisan nikel antara 10-30 µm dengan kekasaran flens sampai 3,5 µm, tekanan fluida sampai 7 bar dan temperatur aliran fluida sampai 270oC.		

**Permohonan PCT (PCT Application)**

Nomor PCT <i>PCT Number</i>	:	Nomor Publikasi <i>Publication Number</i>	:
Tanggal PCT <i>PCT Date</i>	:	Tanggal Publikasi <i>Publication Date</i>	:

**Pemohon (Applicant)**

<b>Name (Name)</b>	<b>Alamat (Addresss)</b>	<b>Surel/Telp (Email/Phone)</b>
LPPM Universitas Negeri Yogyakarta	Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok	0274550839 lppmuny@gmail.com

<b>Penemu (Inventor)</b>			
<b>Nama (Name)</b>	<b>Warganegara (Nationality)</b>	<b>Alamat (Address)</b>	<b>Surel/Telp. (Email/Phone)</b>
Dr. Eng. Ir. Didik Nurhadiyanto, MT	Indonesia	Prenggan, RT. 002, RW. 016, Sidokarto, Godeaan, Sleman, Yogyakarta	didiknur@uny.ac.id 081804293605
Dr. Ir. Mujiyono, ST., MT., IPM	Indonesia	Denggung, RT 001, RW 035, Tridadi, Sleman, Sleman, Yogyakarta	mujiyono@uny.ac.id 082225854899
Dr. Ir. Sutopo, MT.	Indonesia	Jl. Pandeyan No 3 A, RT 016 RW 004, Pandeyan, Umbulharjo, Yogyakarta	sutopo@uny.ac.id 08122753154
Isa Ibnu Ahbar, S.Pd.	Indonesia	Krangkungan Jl. Bulu 62 Sangrahan RT. 003 RW 008 Condong Catur Depok Sleman Yogyakarta	iiahbar@outlook.com 081804293605
Nur Chalid Fauzi, S.Pd.	Indonesia	Rindang Village Blok I No 1 RT 009 RW 023 Buliang Batuaji Batam Riau	nurchalidfauzi.15@gmail.com 081804293605

<b>Data Prioritas (Priority Data)</b>		
<b>Negara (Country)</b>	<b>Nomor (Number)</b>	<b>Tanggal (Date)</b>

<b>Korespondensi (Correspondence)</b>		
<b>Nama (Name)</b>	<b>Alamat (Alamat)</b>	<b>Surel/Telp. (Email/Phone)</b>
LPPM Universitas Negeri Yogyakarta	Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok	lppmuny@gmail.com 0274550839

<b>Lampiran (Attachment)</b>
KLAIM
ABSTRAK
SURAT PENGALIHAN HAK ATAS INVENSI
SURAT PERNYATAAN KEPEMILIKAN INVENSI OLEH INVENTOR
SURAT PERNYATAAN PELAKU UMK/SURAT PENUNJUKAN PENDIRIAN LEMBAGA
DESKRIPSI

**Detail Pembayaran (Payment Detail)**

No	Nama Pembayaran	Sudah Bayar	Jumlah Data
1.	Pembayaran Permohonan Paten	<input checked="" type="checkbox"/>	-
2.	Pembayaran Kelebihan Deskripsi	<input type="checkbox"/>	-
3.	Pembayaran Kelebihan Klaim	<input type="checkbox"/>	-
4.	Pembayaran Percepatan Pengumuman	<input type="checkbox"/>	-
5.	Pembayaran Pemeriksaan Substantif	<input checked="" type="checkbox"/>	-

Jakarta, 09-Aug-2021

Pemohon / Kuasa

*Applicant / Representative*



Tanda Tangan / Signature

Nama Lengkap / Fullname

**Anda telah berhasil melakukan pembayaran permohonan pemeriksaan Substantif, dengan data sebagai berikut :**

Jenis Permohonan Paten : PATEN SEDERHANA  
Nomor Permohonan Paten : S00202106187  
Tanggal Penerimaan Permohonan Paten : 09-AUG-21  
Judul Invensi : GASKET METAL BERGELOMBANG BERBAHAN SUS304 YANG DILAPISI NIKEL

Nama Pemohon	Alamat Pemohon	Nomor Telepon	Email	Warganegara
LPPM Universitas Negeri Yogyakarta	Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok	0274550839	lppmuny@gmail.com	Indonesia

### **Konsultan/Non Konsultan - Data Korespondensi**

Melalui Kuasa Non Kuasa	:	Non Konsultan
Nama Konsultan / Non Konsultan	:	LPPM Universitas Negeri Yogyakarta
Alamat Konsultan KI	:	Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok
Nomor Telepon Konsultan	:	0274550839
Email Konsultan	:	lppmuny@gmail.com

### **Detail Pembayaran**

Kode Billing : 820210804140441  
Tanggal Pembayaran : 05/08/2021  
Jumlah Yang Dibayarkan : Rp 500,000

Jakarta, 09 Agustus 2021  
Pemohon / Kuasa  
*Applicant / Representative*



Tanda Tangan / Signature  
Nama Lengkap / Fullname

**FORMULIR PERMOHONAN PENDAFTARAN PATEN INDONESIA**  
**APPLICATION FORM OF PATENT REGISTRATION OF INDONESIA**

**Data Permohonan (Application)**

Nomor Permohonan <i>Number of Application</i>	: S00202106189	Tanggal Permohonan <i>Date of Submission</i>	: 09-Aug-2021
Jenis Permohonan <i>Type of Application</i>	: PATEN SEDERHANA	Jumlah Klaim <i>Total Claim</i>	: 1
		Jumlah halaman <i>Total page</i>	: 17
Judul <i>Title</i>	: GASKET METAL BERGELOMBANG BERBAHAN SUS304 YANG DILAPISI TEMBAGA		
Abstrak <i>Abstract</i>	: Suatu GMBBT dengan bahan dasar SUS304, yang berbentuk lingkaran dicirikan oleh 4 puncak gelombang dan 5 bagian flat berlapis tembaga di bagian luarnya yang menjadi satu kesatuan alat gasket tahan korosi yang berfungsi menahan kebocoran fluida cair atau gas dengan temperatur dan tekanan tinggi. GMBBT tersebut lebih disukai dengan ketebalan 1,5 mm. Suatu GMBBT dimana puncak gelombang nomor 1 mendukung puncak gelombang nomor 3 pada saat GMBBT kontak dengan flens untuk menghasilkan tegangan kontak lokal yang sangat tinggi agar memerlukan gaya pengetatan rendah; Puncak gelombang nomor 4 mendukung puncak gelombang nomor 2 memiliki fungsi seperti puncak gelombang 1 dan 3; Bagian flat memberikan efek pegas pada GMBBT dan dapat mengurangi efek pelonggaran baut; Diameter dalam adalah bagian utama GMBBT untuk mengalirkan fluida sekaligus pembatas terdalam yang mengunci gasket supaya tidak bergeser; Diameter Luar adalah bagian utama GMBBT untuk pembatas terluar yang berada di dalam baut untuk mengencangkan flens; Lapisan nikel adalah bagian terluar GMBBT yang kontak dengan flens dan akan menutup kekasaran permukaan flens untuk mencegah kebocoran. Suatu gasket metal bergelombang berlapis tembaga di mana lebih disukai ketebalan lapisan tembaga antara 10-30 µm dengan kekasaran flens sampai 3,5 µm, tekanan fluida sampai 7 bar dan temperatur aliran fluida sampai 270oC.		

**Permohonan PCT (PCT Application)**

Nomor PCT <i>PCT Number</i>	:	Nomor Publikasi <i>Publication Number</i>	:
Tanggal PCT <i>PCT Date</i>	:	Tanggal Publikasi <i>Publication Date</i>	:

**Pemohon (Applicant)**

<b>Name (Name)</b>	<b>Alamat (Addresss)</b>	<b>Surel/Telp (Email/Phone)</b>
LPPM Universitas Negeri Yogyakarta	Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok	0274550839 lppmuny@gmail.com



<b>Penemu (Inventor)</b>			
<b>Nama (Name)</b>	<b>Warganegara (Nationality)</b>	<b>Alamat (Address)</b>	<b>Surel/Telp. (Email/Phone)</b>
Dr. Eng. Ir. Didik Nurhadiyanto, MT	Indonesia	Prenggan, RT. 002, RW. 016, Sidokarto, Godeaan, Sleman, Yogyakarta	didiknur@uny.ac.id 081804293605
Dr. Ir. Mujiyono, ST., MT., IPM	Indonesia	Denggung, RT 001, RW 035, Tridadi, Sleman, Sleman, Yogyakarta	mujiyono@uny.ac.id 082225854899
Dr. Ir. Sutopo, MT.	Indonesia	Jl. Pandeyan No 3 A, RT 016 RW 004, Pandeyan, Umbulharjo, Yogyakarta	sutopo@uny.ac.id 08122753154
Anggi Maulana Amrullah, S.Pd	Indonesia	Ngunan-unan DK. VII RT. 022 RW. 000 Srigading Sanden Bantul Yogyakarta	am12maulana@gmail.com 081804293605
Novian Indra Kusuma, S.Pd	Indonesia	Pulodarat RT. 014 RW.002 Pulodarat Pecangaan Jepara Jawa Tengah	novianindrakusuma.15@gmail.com 081804293605

<b>Data Prioritas (Priority Data)</b>		
<b>Negara (Country)</b>	<b>Nomor (Number)</b>	<b>Tanggal (Date)</b>

<b>Korespondensi (Correspondence)</b>		
<b>Nama (Name)</b>	<b>Alamat (Alamat)</b>	<b>Surel/Telp. (Email/Phone)</b>
LPPM Universitas Negeri Yogyakarta	Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok	lppmuny@gmail.com 0274550839

<b>Lampiran (Attachment)</b>
KLAIM
ABSTRAK
SURAT PENGALIHAN HAK ATAS INVENSI
SURAT PERNYATAAN KEPEMILIKAN INVENSI OLEH INVENTOR
SURAT PERNYATAAN PELAKU UMK/SURAT PENUNJUKAN PENDIRIAN LEMBAGA
DESKRIPSI

**Detail Pembayaran (Payment Detail)**

No	Nama Pembayaran	Sudah Bayar	Jumlah Data
1.	Pembayaran Permohonan Paten	<input checked="" type="checkbox"/>	-
2.	Pembayaran Kelebihan Deskripsi	<input type="checkbox"/>	-
3.	Pembayaran Kelebihan Klaim	<input type="checkbox"/>	-
4.	Pembayaran Percepatan Pengumuman	<input type="checkbox"/>	-
5.	Pembayaran Pemeriksaan Substantif	<input checked="" type="checkbox"/>	-

Jakarta, 09-Aug-2021

Pemohon / Kuasa

*Applicant / Representative*



Tanda Tangan / Signature

Nama Lengkap / Fullname

**Anda telah berhasil melakukan pembayaran permohonan pemeriksaan Substantif, dengan data sebagai berikut :**

Jenis Permohonan Paten : PATEN SEDERHANA  
Nomor Permohonan Paten : S00202106189  
Tanggal Penerimaan Permohonan Paten : 09-AUG-21  
Judul Invensi : GASKET METAL BERGELOMBANG BERBAHAN SUS304 YANG DILAPISI TEMBAGA

Nama Pemohon	Alamat Pemohon	Nomor Telepon	Email	Warganegara
LPPM Universitas Negeri Yogyakarta	Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok	0274550839	lppmuny@gmail.com	Indonesia

### **Konsultan/Non Konsultan - Data Korespondensi**

Melalui Kuasa Non Kuasa	:	Non Konsultan
Nama Konsultan / Non Konsultan	:	LPPM Universitas Negeri Yogyakarta
Alamat Konsultan KI	:	Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Depok
Nomor Telepon Konsultan	:	0274550839
Email Konsultan	:	lppmuny@gmail.com

### **Detail Pembayaran**

Kode Billing : 820210804143182  
Tanggal Pembayaran : 05/08/2021  
Jumlah Yang Dibayarkan : Rp 500,000

Jakarta, 09 Agustus 2021  
Pemohon / Kuasa  
*Applicant / Representative*



Tanda Tangan / Signature  
Nama Lengkap / Fullname

**LUARAN TAMBAHAN**  
**ARTIKEL**

The corrugated metal gasket is still in the early stages of development. However, gasket contact flanges with a high surface roughness (more than  $3.5\ \mu\text{m}$ ) leak and require a lot of force to tighten. A nickel or copper-coated corrugated metal gasket was designed. A water pressure test was used to measure leaks, and the results revealed that nickel or copper-covered gaskets performed better. The effect of high temperature has not been explored in this study, which only reveals high pressure. The goal of this study is to use copper and nickel coatings to improve the performance of corrugated metal gaskets. Copper or nickel infiltrates the pipe flange's rough surface, preventing leaking. The purpose of this study is to investigate the performance of a coated corrugated metal gasket in a boiler system, which has high temperature and pressure. Corrugated metal gaskets were formed using a cold forming process. The gasket material was SUS304, which is copper or nickel-plated through electroplating. The gasket was installed in a series of pipes in the boiler that flows water at high temperature and pressure. The water leak was trickling on white paper that had been placed beneath the gasket. Even small water leaks are detected on white paper. The thermal camera can detect vapor leaks. The results of the studies reveal that the coated corrugated metal gasket's performance was improved, as seen by the reduction in leakage. At the highest pressure of 7 bar and the lowest tightening force of 40 kN, neither gasket leaked. This result is different from standard corrugated metal gaskets, where at the same pressure and temperature, steam and water leaks are observed. Both copper and nickel-plating types can be used to coat corrugated metal gaskets made of SUS304.

**Keywords:** coating, nickel, copper, corrugated metal gaskets, performance, leakage, multilayered, boiler

# IMPROVED PERFORMANCE OF CORRUGATED METAL GASKETS IN BOILER'S PIPING SYSTEM THROUGH MULTILAYERED COATING

**Didik Nurhadiyanto**

Corresponding authors

Doctor of Mechanical Engineering, Senior Lecture\*

E-mail: didiknur@uny.ac.id

**Shigeyuki Haruyama**

Doctor of Mechanical Engineering, Professor

Graduate School of Innovation and Technology Management

Yamaguchi University

2-16-1, Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, Japan, 755-8611

**Mujiyono Mujiyono**

Doctor of Mechanical Engineering, Senior Lecture\*

**Sutopo Sutopo**

Doctor of Mechanical Engineering, Senior Lecture\*

**Yunaidi Yunaidi**

Lecture of Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Politeknik LPP Yogyakarta

Jl. LPP No 1A, Klitren, Gondokusuman, Yogyakarta, Indonesia, 55223

**Fredy Surahmanto**

Doctor of Mechanical Engineering, Lecture

**Moch Agus Choiron**

Doctor of Mechanical Engineering, Professor\*

Department of Mechanical Engineering

Brawijaya University

Mayjend Haryono str., 167, Malang, Indonesia, 65145

**Novian Indra Kusuma**

Student of Undergraduate Program\*

**Nur Chalid Fauzi**

Student of Undergraduate Program\*

\*Department of Mechanical Engineering Education

Universitas Negeri Yogyakarta

Colombo Yogyakarta str., 1, Karang Malang, Indonesia, 55281

Received date 29.10.2021

Accepted date 14.12.2021

Published date 29.12.2021

**How to Cite:** Nurhadiyanto, D., Haruyama, S., Mujiyono, M., Sutopo, S., Yunaidi, Y., Surahmanto, F., Choiron, M. A., Kusuma, N. I.,

Fauzi, N. C. (2021). Improved performance of corrugated metal gaskets in boiler's piping system through multilayered coating.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (1 (114)), 13–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245360>

## 1. Introduction

Corrugated metal gaskets (CMG), which replace asbestos gaskets are still being developed. Gasket materials must withstand high temperatures, high pressures and corrosive chemicals. These gaskets are commonly used in the connection between pipes because of the limited length of the pipe or

because the pipe bends. At the pipe connection, there must be a flange and gasket. Bolts are used to tighten the gasket. The corrugated metal gasket consists of a flat section and 4 waves, namely 2 waves at the bottom and 2 waves at the top [1]. Corrugated metal gaskets are made to provide local high contact stress to reduce tightening forces and produce a spring effect that can reduce the effect of loosening bolts [1–4].

An optimum design of CMG using finite element method and Taguchi method sized according to 25 A standard has been developed in the previous study [2]. The optimum design was tested using the helium test. In the previous study, the influence of flange surface roughness towards leakages was investigated [3]. The surface roughness of the pipe flange greatly affects the leakage. The aforementioned studies, 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 μm), helium leakage still occurred. To overcome the surface roughness problems while maintaining the spring stiffness of the gasket, the optimum design of laminated corrugated metal gasket using computer simulation was investigated [5]. The leakage performance of laminated corrugated metal gasket is better than in the previous corrugated metal gasket [3]. The researchers have modified the standard gasket by layering the outer part with a softer material [6, 7]. 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. Therefore, it is very important to do research on corrugated metal gaskets made of SUS304 coated with nickel or copper, which are tested for leaks at high temperatures and pressures.

**2. Literature review and problem statement**

Cold forming can be used to form gasket materials into corrugated metal gaskets. Giving the load and the amount of loading in accordance with the needs of the formation of the material can form CMG [4, 8].

The SUS304 CMG covered with copper using the finite element method was studied and the result revealed a modest decrease in contact stress and an increase in contact width [8]. The gasket leakage rate will be reduced if contact breadth is increased. However, experimental approaches have yet to confirm this idea of leakage testing. More research is needed to create a material that is softer than SUS304 but yet has the properties of being able to endure high temperatures and being corrosion resistant. Copper and nickel are two examples of such materials.

The surface roughness of the flange greatly determines the fluid leakage at the joint. Rough surfaces cause greater fluid leakage. The softer surface of the object can seal the surface roughness to prevent leakage [4].

The electrochemical corrosion of a Cr-C-coated steel sample when exposed to Ni and Cu was studied. At 0 V, corrosion resistance was detected electrochemically [9]. The corrosion behaviors of electroless Ni-Cu-O/n-TiN composite coatings were investigated [10]. They discovered that when the Cu amount in the coating grew, the corrosion current density decreased. According to both papers, copper or nickel coating reduces material corrosion. An AISI304 stainless steel coating experiment with nickel-coated copper used a time variable and a fixed electric current parameter to conduct [11]. The stainless-steel material was effectively copper coated, with the greatest results obtained at a current of 1.5 A and a time of 180 seconds. It was suggested that the copper bonded to the stainless steel be 26.50 μm thick.

Copper and nickel are materials that are resistant to temperature and chemicals. These materials are not easy to corrode under certain conditions, so they are suitable when used as a CMG coating [12, 13]. Both materials are softer than SUS304.

A corrugated metal gasket coated with nickel or copper was investigated. Leaks were measured using a water pressure test, the results showed an increase in the performance of nickel or copper-coated gaskets [4]. However, this study only shows high pressure, the effect of high temperature has not been studied.

**3. The aim and objectives of this study**

The aim of the study is to determine the performance of a coated corrugated metal gasket in a boiler system, which has high temperature and pressure.

To achieve this aim, the following objectives are accomplished:

- to form the gasket material for corrugated metal gaskets by cold forming;
- to carry out the electroplating process of copper and nickel;
- to investigate the performance of a copper-plated corrugated metal gasket in the boiler system;
- to investigate the performance of a nickel-plated corrugated metal gasket in the boiler system.

**4. The study material and methods**

**4. 1. Material**

The underlying material of the gasket was SUS304 metal. This material is chemically robust, can withstand high temperatures, and has a high pressure resistance. According to [12, 13], the mechanical properties of SUS304, copper, and nickel are shown in Table 1.

Table 1

SUS304, copper, and nickel have different characteristics

Properties	Value		
	SUS304	Nickel	Copper
Yield strength	398.83 MPa	210 MPa	195 MPa
Young's modulus	210 GPa	170 GPa	115 GPa
Tangent Young's modulus	1900.53 MPa	1,200 MPa	1,150 MPa

From Table 1, it can be concluded that the mechanical properties of copper and nickel are both softer than in SUS304. The softer material is expected to fill the flange surface roughness and seal the leak.

**4. 2. Design of corrugated metal gaskets**

The optimum design of corrugated metal gaskets used a Taguchi method. The design parameters were contact stress and contact width obtained from simulation analysis using MSC Marc software. The complete shape and dimensions of corrugated metal gaskets can be seen in Nurhadiyanto et al [2]. The next stage is to create dies for the forming process based on the results of this design.

**4. 3. Forming**

The base material for the SUS304 gasket was shaped like a flat ring. The base material was 1.5 mm thick, with a 75 mm outer diameter and a 20 mm inner diameter. The gasket material is shown in Fig. 1 before it is cold molded. The gasket material must have no defects due to scratches when cutting the material. Cutting that does not cause scratches is to use

laser cutting. Gasket material scratches can occur when handling the material, placing it in a rough place, or rubbing against other materials. Material scratches occur on the bottom and top of the gasket material. In fact, that part will become the valleys and hills of CMG to prevent leakage. The part of the hill that is in contact with the flange. If there is a scratch on the hillside, it has the potential to cause leakage because it forms a radial path.

The outer and inner diameters of the gasket were cut to JISB2404 specifications [14]. According to the JISB2220

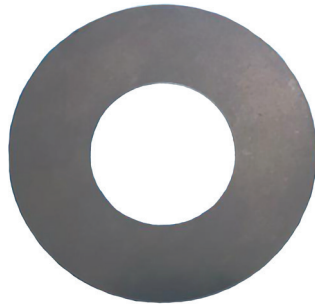


Fig. 1. Gasket base material

standard [15], the flanges were general-purpose flanges with a 10 K pressure rating. According to this specification, the flanges had a diameter of 25 A.

In a press machine, the corrugated gasket was cold manufactured with a compressive force of 1,100 kN. On the machine's base, the bottom die was first installed. The gasket base material was then applied to the top of the bottom die. The gasket base material was then connected to the upper die. After that, a force of 1,100 kN was applied to the upper die [16, 17].

#### 4. 4. Electroplating

Following the formation of the corrugated metal gasket, separate layers of copper and nickel were applied. The thickness of the nickel or copper layer was varied, with 10  $\mu\text{m}$ , 15  $\mu\text{m}$ , and 20  $\mu\text{m}$  being the most common. Taking this thickness is in accordance with previous research [4]. At that thickness, it was managed to reduce leakage by conducting the water pressure test. We will vary the thickness of the nickel layer to see if there is the most optimal thickness among these thicknesses. The prior study [18–20] demonstrated the electroplating coating technique.

#### 4. 5. Leak measurement

Gasket leak test to determine the performance of CMGS, CPCMG, and NPCMG is carried out in the industry, especially in boilers. The leak test was carried out at Politeknik LPP Yogyakarta. The type of boiler is a TWA 300 kg/hours boiler with a maximum pressure of 7 bar as shown in Fig. 2.

The gasket is mounted on the flange and placed on the connection in the boiler as shown in Fig. 3. A more detailed picture of the gasket installation can be seen in Fig. 2. The gaskets tested were CMGS, CPCMG, and NPCMG. The flange used is made of SUS304 with a surface roughness of 3.5  $\mu\text{m}$ . In the previous research [3], the flange with this roughness still leaks when using CMGS. This research is to see the increase in gasket performance after being given a nickel or copper coating.

Bolt tightening force is measured using digital torque. This tool can measure the tightening force of each bolt. There are 4 bolts used so that the tightening force is multiplied by 4.

The tightening forces used were 40 kN, 60 kN, 80 kN, 100 kN and 120 kN.

Steam leakage was measured using a Flir E4 thermal camera, see Fig. 4. This tool can detect steam leaks. Water leaks can be seen through visual observation [21–23]. Under the gasket and flange, white paper is put. If there is a leak, then the water will drip and fall on the white paper.



Fig. 2. Boiler type TWA 300 kg/hours



Fig. 3. Installation of the gasket on the flange in the boiler line



Fig. 4. Flir E4 thermal camera

The temperature of the fluid flowing in the flange of 270  $^{\circ}\text{C}$  was measured using a Krisbow KW06002718 digital thermometer. The maximum boiler pressure was 7 bar, while observations start from 3 bar, 5 bar, and 7 bar. The pressure can be seen on the panel on the boiler.

The first process was to install the gasket on the flange and then tighten it according to the tightening sequence. The boiler was turned on until it reaches its saturation point. Through the chimney temperature indicator, it can be seen that the saturation point shows a temperature of 270 °C. After that, the valve on the flange is opened in order to start the test. Because at a steam pressure of 3 bar there was still a little water, the test results are in the form of a water leak table and a steam leak table. Leakage measurements were carried out 3 times for the same type of gasket. A water leak dripped on white paper placed under the gasket. The smallest drops of water that fall on the paper will be visible on the paper. Therefore, water leaks can be detected on white paper.

**5. Results of studying the performance of CMG in the boiler's piping system**

**5.1. Cold forming**

The formed gaskets were manufactured from corrugated metal gaskets with two circular pieces on the upper and lower sides. The gasket was once a flat disc made cold with a set of dies filled with specified loads. The die dimensions were calculated using the optimum dimension found using finite element and Taguchi methods, as published in the literature [2].

The material was then formed into corrugated shapes, which are known as Corrugated Metal Gaskets Standard (CMGS). The gasket after it has been manufactured is shown in Fig. 5. The forming process produces corrugated metal gaskets according to the optimum size.



Fig. 5. Corrugated metal gaskets standard

**5.2. Electroplating**

The electroplating process has resulted in copper and nickel plating on CMG. Nickel and copper plating thicknesses were 10 m, 15 m, and 20 m. Fig. 6 depicts the gaskets after they have been coated. The copper and nickel layers adhere perfectly to the CMG although there is no diffusion of nickel or copper with SUS304.



Fig. 6. Gaskets after the coating process: *a* – copper-coated gasket; *b* – nickel-coated gasket

Nickel coating has a better color and appearance because it does not change color. The copper layer changes color to become darker. Although the copper changes color, there is no corrosion that physically damages the copper layer.

**5.3. Leak measurement of CPCMG**

Vapor leaks can be seen on the thermal camera. If a vapor leak occurs, an enlarged red hue will appear on the gasket. Fig. 7 shows a vapor leak measured using a thermal camera.

Thermal cameras can also measure non-leaks of the gasket. This designation can be seen on the green thermal camera. There is no red hue in the thermal camera designation. Fig. 8 shows non-leaks measured using a thermal camera.

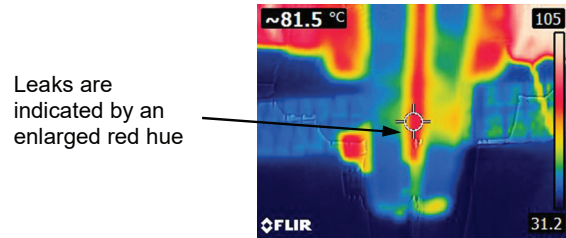


Fig. 7. Leaks shown by thermal camera

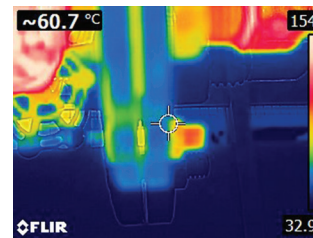


Fig. 8. Determination of non-leaks using a thermal camera

Before and after they are utilized to close the two flanges, both gaskets are inspected. This was a visual inspection that included a microstructure test. Previous researchers [18, 19] conducted the microstructure test and measured the results.

The leakage test findings for the CMGS, the 10 μm CPCMG, the 15 μm CPCMG, the 20 μm CPCMG, the 10 μm NPCMG, the 15 μm CPCMG, and the 20 μm CPCMG are compared. For CMGS, CPCMG, and NPCMG, Table 2 shows the results of a gasket leakage test using a thermal camera. The fluid passing through the flange has a temperature of 270 °C, and the boiler pressure ranges from 3 to 7 bar. The data was captured for 600 seconds. Axial forces of 40 kN, 60 kN, 80 kN, 100 kN, and 120 kN were applied to the bolts by tightening them. The torque imposed on the bolts is displayed on a digital torque wrench, and the axial forces can be estimated from the torque data using mathematical methods. Because there were four tightened bolts, the axial force is fourfold.

As mentioned in the method, the measurement of leakage on the same gasket is carried out 3 times. The three experiments yielded almost the same data; the difference was only in the leakage of water at a tightening force of 100 kN. The results of the CMGS leak test can be seen in Table 2. The data that we present here are the worst conditions of the three experiments.

With the same treatment with CMGS, CPCMG measurements were also carried out 3 times for each thickness. The data that we present here are 3 tables for each thickness. CPCMG leaks with a thickness of 10 μm can be seen in Table 3. CPCMG leaks with a thickness of 15 μm can be seen in Table 4. CPCMG leaks with a thickness of 20 μm can be seen in Table 5.



From Table 3, it can be seen that there is no leakage of either water or steam for CPCMG with a thickness of 10  $\mu\text{m}$ . From the three trials, the results were the same. From the three experiments above, it can be concluded that the CPCMG mounted on a flange with a roughness of 3.5  $\mu\text{m}$  did not have either water or steam leakage. These results indicate that CPCMG with a thickness of 10  $\mu\text{m}$  is indeed suitable for use on flanges with high roughness, which is at least 3.5  $\mu\text{m}$ .

From Table 4, it can be seen that there is no leakage of either water or steam for CPCMG with a thickness of 15  $\mu\text{m}$ . From the three trials, the results were the same. From the three experiments, it can be concluded that the CPCMG mounted on a flange with a roughness of 3.5  $\mu\text{m}$  did not have either water or steam leaks. These results indicate that CP-

CMG with a thickness of 15  $\mu\text{m}$  is indeed suitable for use on flanges with high roughness, which is at least 3.5  $\mu\text{m}$ .

Table 5 shows that there is no leakage of either water or steam for CPCMG with a thickness of 20  $\mu\text{m}$ . From the three trials, the results were exactly the same. From the three experiments above, it can be concluded that the CPCMG mounted on a flange with a roughness of 3.5  $\mu\text{m}$  did not have either water or steam leakage. These results indicate that CPCMG with a thickness of 20  $\mu\text{m}$  is indeed suitable for use on flanges with high roughness, which is at least 3.5  $\mu\text{m}$ .

From the three thicknesses of the gaskets, it can be concluded that all of them are suitable as asbestos replacement gaskets. With these results, the authors suggest that CPCMG should be coated with copper with a thickness of 10  $\mu\text{m}$ .

Table 2

CMGS leak test results

CMGS	Steam leak			Water leak		
	Boiler pressure (bar)					
Tightening force (kN)	3	5	7	3	5	7
40	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking
60	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking
80	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking	Leaking
100	Leaking	Leaking	Leaking	No leaking	No leaking	Leaking
120	No leaking	No leaking	Leaking	No leaking	No leaking	No leaking

Table 3

Leak test result of 10  $\mu\text{m}$  CPCMG

10 $\mu\text{m}$ CPCMG	Steam leak			Water leak		
	Boiler pressure (bar)					
Tightening force (kN)	3	5	7	3	5	7
40	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
60	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
80	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
100	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
120	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking

Table 4

Leak test result of 15  $\mu\text{m}$  CPCMG

15 $\mu\text{m}$ CPCMG	Steam leak			Water leak		
	Boiler pressure (bar)					
Tightening force (kN)	3	5	7	3	5	7
40	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
60	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
80	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
100	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
120	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking

Table 5

Leak test result of 20  $\mu\text{m}$  CPCMG

20 $\mu\text{m}$ CPCMG	Steam leak			Water leak		
	Boiler pressure (bar)					
Tightening force (kN)	3	5	7	3	5	7
40	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
60	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
80	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
100	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
120	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking

**5. 4. Leak measurement of NPCMP**

With the same treatment as CMGS, NPCMG measurements were also carried out 3 times for each thickness. The data we present here represent the worst conditions of the three experiments. NPCMG leaks with a thickness of 10 µm can be seen in Table 6. NPCMG leaks with a nickel thickness of 15 µm can be seen in Table 7. NPCMG leaks with a nickel thickness of 20 µm can be seen in Table 8.

Table 6 shows that there is no leakage of either water or steam for NPCMG with a thickness of 10 µm. From the three trials, the results were the same. From the three experiments above, it can be concluded that the NPCMG mounted on a flange with a roughness of 3.5 µm did not have either water or steam leaks. These results indicate that the 10 µm NPCMG is indeed suitable for use on flanges with high roughness, which is at least 3.5 µm.

Table 7 shows that there is no leakage of either water or steam for NPCMG with a thickness of 15 µm. From the three trials, the results were the same. From the three experiments above, it can be concluded that the NPCMG mounted on a flange with a roughness of 3.5 µm did not have either water or steam leaks. These results indicate that the NPCMG with a thickness of 15 µm is indeed suitable for use on flanges with high roughness, which is at least 3.5 µm.

Table 8 shows that there is no leakage of either water or steam for NPCMG with a thickness of 20 µm. From the three trials, the results were the same. From the three experiments above, it can be concluded that the NPCMG mounted on a flange with a roughness of 3.5 µm did not have either water or steam leaks. These results indicate that NPCMG with a thickness of 20 µm is indeed suitable for use on flanges with high roughness, which is at least 3.5 µm.

**6. Discussion of studying the performance of CMG in the boiler’s piping system**

The cold forming procedure followed was correct. This procedure yields a CMG with dimensions that are identical to the ideal design. The spring back effect did not occur because of the formation. The result is in line with the previous study [18, 19].

The electroplating procedure used was correct. This process produces a layer of copper or nickel as desired. CMG is a good surface for copper or nickel to attach to. After being utilized on the flange, the copper and nickel coatings on the CPCMG and NPCMG are not affected.

Table 6

Leak test result of 10 µm NPCMG

10 µm NPCMG	Steam leak			Water leak		
	Boiler pressure (bar)					
Tightening force (kN)	3	5	7	3	5	7
40	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
60	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
80	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
100	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
120	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking

Table 7

Leak test result of 15 µm NPCMG

15 µm NPCMG	Steam leak			Water leak		
	Boiler pressure (bar)					
Tightening force (kN)	3	5	7	3	5	7
40	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
60	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
80	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
100	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
120	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking

Table 8

Leak test result of 20 µm NPCMG

20 µm NPCMG	Steam leak			Water leak		
	Boiler pressure (bar)					
Tightening force (kN)	3	5	7	3	5	7
40	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
60	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
80	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
100	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking
120	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking	No leaking

Table 2 shows the leakage of both water and steam for CMGS. Of the three trials, two of them had the same results, namely the first and third experiments. In the second experiment, the gasket was better because at a certain tightening force and boiler pressure there was no leakage. Steam leaks occur faster than water leaks. From the three experiments above, it can be concluded that the standard gasket installed on the flange with a roughness of 3.5  $\mu\text{m}$  still has both water and steam leaks. Water leakage occurs at a tightening force up to 100 kN, pressure 7 bar, while steam leakage occurs at 120 kN, pressure 7 bar. These results indicate that the gasket is not suitable for use on flanges with high roughness, which is at least 3.5  $\mu\text{m}$ . These results are in line with previous studies [3]. Despite being utilized at a temperature of 270  $^{\circ}\text{C}$  in the inner diameter, the gasket was unable to soften the SUS304 material, which remains rigid. This material has a melting point of 1.400–1.450  $^{\circ}\text{C}$  [12, 13]. The hardness of SUS304 material is insufficient to entirely conceal the flange's surface roughness [3, 4].

The three NPCMGs with a thickness of 10  $\mu\text{m}$ , 15  $\mu\text{m}$ , and 20  $\mu\text{m}$  are suitable as gaskets to replace asbestos. All three gaskets have the same performance. With these results, the authors suggest using NPCMG with a thickness of 10  $\mu\text{m}$ . This thickness of the nickel coating already has a nickel-like surface hardness. According to [24], layers with a thickness of less than 10  $\mu\text{m}$  nevertheless have a mixed hardness between nickel and SUS304.

The gasket used for the leak test in this boiler uses CP-CMG with a thickness of 10  $\mu\text{m}$ , 15  $\mu\text{m}$  and 20  $\mu\text{m}$ . Taking this thickness is in accordance with the experiment in [4]. At that thickness, it was managed to reduce leakage by conducting the water pressure test. We will vary the thickness of the copper layer to see if there is the most optimal thickness among these thicknesses.

There was no leakage in either the copper or nickel-plating types. This is because the coating material, such as copper or nickel, can hide the flange's surface roughness. Material made of copper or nickel is softer than SUS304. This substance seals the leak by filling the spaces created by the flange surface roughness. This is in accordance with previous research [4], which applied a leak measurement using a water pressure test.

Because it is the minimum thickness while still preventing leakage, a layer thickness of 10  $\mu\text{m}$  is the ideal option. The coating material will be harder than SUS304 material if the thickness is less than that. The tougher the coating substance, the thinner the nickel or copper layer [24].

From both copper and nickel-plating types, both can be used to coat corrugated metal gaskets made of SUS304. We choose depending on the needs and availability of materials. However, judging by the appearance, nickel plating looks nicer and shiny. Copper plating looks dull, especially if it's been coated for a long time, it looks blackish.

Both NPCMG and CPCMG gaskets were not damaged after being used on flange joints. There was no peeling or cracking of the nickel or copper coating. The same results were obtained in previous studies [18, 19]. Bonding in the layer between SUS304 with nickel or copper does not occur compound. Although this bond is separate, but when in contact with the flange there is a pressure in the normal direction, so it does not damage the nickel or copper layer.

The limitations of this study include the use of a water leak meter by visually looking at the water dripping on paper and using a thermal camera to detect steam leaks. The leak gauge cannot measure the level of leakage, but only detects water and steam leaks. This CMG test is on a low-pressure boiler, in the future it will need to be tested on a high-pressure boiler, which is around 70 bar.

---

## 7. Conclusions

---

1. The result of forming gasket material becomes CMG as expected, i.e. the dimension of CMG according to the design result.
2. Coating result of both copper and nickel is as expected, i.e. there was no peeling or cracking before and after used.
3. CPCMG gaskets have very good performance, gaskets did not leak at a maximum pressure of 7 bar and the lowest tightening force of 40 kN.
4. NPCMG gaskets have very good performance, gaskets did not leak at a maximum pressure of 7 bar and the lowest tightening force of 40 kN.

---

## Acknowledgments

---

This project was supported by Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, sesuai Kontrak Penelitian Anggaran Tahun 2021 Nomor T/4.5.1/UN34.21/PT.01.03/2021.

## References

1. 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 Materials Engineering*, 2 (1), 105–114. doi: <https://doi.org/10.1299/jmmp.2.105>
2. 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*, 6 (3), 659–663. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/288864130\\_Optimization\\_of\\_New\\_25A-size\\_Metal\\_Gasket\\_Design\\_Based\\_on\\_Contact\\_Width\\_Considering\\_Forming\\_and\\_Contact\\_Stress\\_Effect](https://www.researchgate.net/publication/288864130_Optimization_of_New_25A-size_Metal_Gasket_Design_Based_on_Contact_Width_Considering_Forming_and_Contact_Stress_Effect)
3. Haruyama, S., Nurhadiyanto, D., Choiron, M. A., Kaminishi, K. (2013). Influence of surface roughness on leakage of new metal gasket. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 111-112, 146–154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2013.06.004>
4. Nurhadiyanto, D., Haruyama, S., Mujiyono, Sutopo, Ristadi, F. A. (2020). The performance of nickel and copper as coating materials for corrugated metal gaskets. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15 (4), 2450–2463. Available at: [https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2015%20issue%204%20August%202020/15\\_4\\_23.pdf](https://jestec.taylors.edu.my/Vol%2015%20issue%204%20August%202020/15_4_23.pdf)
5. Haruyama, S., Choiron, M. A., Nurhadiyanto, D. (2019). Optimum Design of Laminated Corrugated Metal Gasket Using Computer Simulation. *International Journal of Integrated Engineering*, 11 (5). doi: <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.05.004>

6. Haruyama, S., Karohika, I. M. G., Sato, A., Nurhadiyanto, D., Kaminishi, K. (2016). Development of 25A-size three-layer metal gasket by using FEM simulation. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 10 (3), 577–583. Available at: <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132161221/penelitian/Development-of-25A-Size-Three-Layer-Metal-Gasket-by-Using-FEM-Simulation.pdf>
7. Karohika, I. G. M., Haruyama, S., Kaminishi, K., Oktavianty, O., Nurhadiyanto, D. (2017). Analysis of contact width and contact stress of three-layer corrugated metal gasket. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 11 (4), 870–879. Available at: [http://staffnew.uny.ac.id/upload/132161221/penelitian/Analysis%20of%20Contact%20Width%20and%20Contact%20Stress%20of%20Three%20Layer%20Corrugated%20Metal%20Gasket\\_2017.pdf](http://staffnew.uny.ac.id/upload/132161221/penelitian/Analysis%20of%20Contact%20Width%20and%20Contact%20Stress%20of%20Three%20Layer%20Corrugated%20Metal%20Gasket_2017.pdf)
8. Nurhadiyanto, D., Mujiyono, Sutopo, Amri Ristadi, F. (2018). Simulation Analysis of 25A-Size Corrugated Metal Gasket Coated Copper to Increase Its Performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 307, 012005. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/307/1/012005>
9. Huang, C. A., Yang, S. W., Liu, Y. W., Lai, P. L. (2019). Effect of Cu and Ni Undercoatings on the Electrochemical Corrosion Behaviour of Cr–C-Coated Steel Samples in 0.1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solution with 1 g/L NaCl. *Coatings*, 9 (9), 531. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings9090531>
10. Zhou, H., Hu, X., Li, J. (2018). Corrosion behaviors and mechanism of electroless Ni-Cu-P/n-TiN composite coating. *Journal of Central South University*, 25 (6), 1350–1357. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3831-7>
11. Yulianto Margen, S., Sulisty, S., Nugroho, S., Setiawan Adi Nugroho, Y. (2018). Enhancement Surface Coating Stainless Steel And Copper Using Ultrasonic Batch. *MATEC Web of Conferences*, 159, 02051. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815902051>
12. *Materials Data Book* (2003). Cambridge University Engineering Department Available at: <https://pdf4pro.com/view/materials-data-book-university-of-cambridge-5366e6.html>
13. Cambridge Engineering Selector software (CES 4.1) (2003). Granta Design Limited. Rustat.
14. JIS B 2404. Dimensions of gaskets for use with pipe flanges (2006). Japanese Standards Association.
15. JIS B 2220. Steel Pipe Flanges (2004). Japanese Standards Association.
16. Gatea, S., Lu, B., Chen, J., Ou, H., McCartney, G. (2018). Investigation of the effect of forming parameters in incremental sheet forming using a micromechanics based damage model. *International Journal of Material Forming*, 12 (4), 553–574. doi: <https://doi.org/10.1007/s12289-018-1434-3>
17. Xu, L.-Z., Shen, W., Yan, R. (2019). Predictive and control models of the spring-back in thick hull plate forming. *International Journal of Material Forming*, 12 (4), 603–614. doi: <https://doi.org/10.1007/s12289-018-1437-0>
18. Nurhadiyanto, D., Haruyama, S., Anon, M., Abbas, W. (2020). Electroplating process for copper coating of corrugated metal gaskets to increase performance. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 11 (1), 73–83. doi: <https://doi.org/10.34218/ijmet.11.1.2020.008>
19. Nurhadiyanto, D., Mujiyono, Abbas, W., Sutopo, Haruyama, S. (2021). SUS304 Material Coating with Nickel Through Electroplating. *Advances in Mechanical Processing and Design*, 515–522. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-7779-6\\_46](https://doi.org/10.1007/978-981-15-7779-6_46)
20. Nurhadiyanto, D., Amrullah, A. M., Mujiyono, Kurniawati, J. (2020). An Analysis on copper corrosion SUS304 corrugated metal gasket electroplating. *Journal of Physics: Conference Series*, 1700 (1), 012008. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1700/1/012008>
21. User's manual FLIR Ex series. No. T559828. FLIR. Available at: <https://docs.rs-online.com/9649/A700000006759356.pdf>
22. Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. *Urban Water Journal*, 7 (1), 25–45. doi: <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
23. Pentead, C., Olivatti, Y., Lopes, G., Rodrigues, P., Filev, R., Aquino, P. T. (2018). Water leaks detection based on thermal images. *2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*. doi: <https://doi.org/10.1109/isc2.2018.8656938>
24. Etminanfar, M. R., Heydarzadeh Sohi, M. (2012). Hardness study of the pulse electrodeposited nanoscale multilayers of Cr-Ni. *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 05, 679–686. doi: <https://doi.org/10.1142/s2010194512002620>