

Analisis Patahan *Fatigue* Pada *Steel Bucket Pin* Produk Lokal

Kevin Riefhano Setya Putra

Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi,
Universitas Gadjah Mada
Jl. Yacarana Sekip Unit IV, Yogyakarta,
Telepon (0274) 6491301, Fax. (0274) 580990
kevin.riefhano@gmail.com

Handoko*)

Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi,
Universitas Gadjah Mada
Jl. Yacarana Sekip Unit IV, Yogyakarta,
Telepon (0274) 6491301, Fax. (0274) 580990
handoko.dtm@ugm.ac.id
*corresponding author

Abstrak

Komponen *steel bucket pin* produk lokal yang digunakan pada *excavator* Komatsu seri PC200-7 mengalami patah saat penggunaan 2.000 jam. Sebagai pembandingan, umur pakai komponen standar dari produsen *excavator* bisa tahan hingga pemakaian 10.000 jam. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui penyebab *steel pin bucket* produk lokal patah pada umur yang pendek. Beberapa kemungkinan penyebab *steel pin bucket* patah adalah cacat material, kesalahan produksi dan pengoperasian. Metode yang dilakukan adalah menganalisis patahan *pin* dengan pengamatan visual dan foto makro, pengujian sifat mekanis, analisis *material composition*, dan pengamatan struktur mikro. Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa *pin* mengalami patah *fatigue* akibat *overload* dan beban impact. Hal ini terjadi karena munculnya konsentrasi tegangan di bagian permukaan yang disebabkan oleh *pitting* dan korosi. Selain itu, komposisi material *pin* menunjukkan bahwa bahan yang digunakan adalah baja karbon dengan kadar karbon kurang dari 0,8%. Bahan ini tidak sesuai untuk *pin* karena ketangguhan dan kekuatan dari material kurang.

Kata kunci: *pin, excavator, fracture, fatigue.*

1. PENDAHULUAN

Hydraulic excavator merupakan salah satu alat berat yang dilengkapi dengan *backhoe* untuk pekerjaan menggali, membuat parit, dan mengangkat material. Alat ini adalah yang pertama digunakan dalam proses pembukaan lahan untuk pembangunan infrastruktur. Penggunaan alat tersebut diupayakan dengan tingkat produktivitas yang tinggi. Hal ini dapat memicu kegagalan material komponen pada *hydraulic excavator*. Kegagalan material merupakan peristiwa yang tidak diinginkan karena dapat menimbulkan bahaya, kerugian ekonomi, dan terganggunya ketersediaannya produk dan pengoperasian [1]. Salah satu contoh kegagalan material ditemukan pada komponen *steel bucket pin* (SBP) buatan sebuah perusahaan lokal. Komponen tersebut digunakan pada unit *hydraulic excavator* dari Komatsu tipe PC200-7 milik sebuah perusahaan alat berat di Yogyakarta (Gambar 1). *Pin* dengan diameter 70 mm patah setelah digunakan selama 2.000 jam (Gambar 2). Umur pakai komponen standar dari produsen *excavator* adalah 10.000 jam. Pada umumnya, perusahaan alat berat mencoba menekan biaya perbaikan *excavator* dengan

menggunakan SBP *grade* lokal, dimana tidak memenuhi standar yang sesuai. Kelemahan produk lokal yang lebih mudah mengalami patah menjadi kendala dalam pengoperasian *excavator*. Hal ini dapat menimbulkan *domino effect* masalah pada *excavator* unit PC200-7.



Gambar 1. Lokasi *pin* pada *bucket*.



Gambar 2. Contoh produk *pin* yang patah

2. METODE PENELITIAN

2.1. Preparasi spesimen

Komponen SBP *grade* lokal diamati secara visual pada daerah patahannya menggunakan teknik

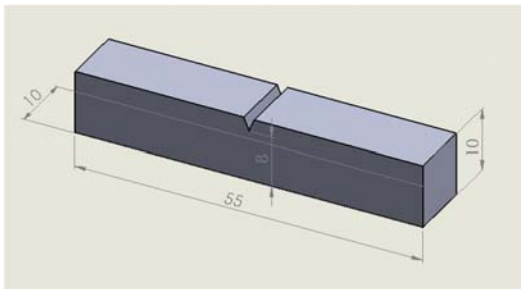
fotografi makro. Selanjutnya komponen dipotong untuk dibentuk menjadi spesimen standar dari berbagai pengujian. Ragam pengujian yang dilakukan adalah komposisi kimia material, sifat mekanis, karakterisasi dengan uji XRD (*X-ray diffraction*) dan sifat fisis. Spesimen untuk uji komposisi kimia berupa balok rata dari bahan *pin* dengan ukuran 30 mm x 30 mm x 20 mm (Gambar 3). Uji sifat mekanis terdiri dari uji tarik sesuai dengan standar ASTM E8M (Gambar 4), uji ketahanan terhadap dampak menurut Charpy (Gambar 5 dan Gambar 6) dan kekerasan bahan menurut Brinell. Spesimen untuk karakterisasi dengan XRD berupa serbuk yang dibuat dari bahan *pin* (Gambar 7). Uji sifat fisis dikerjakan dengan analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik.



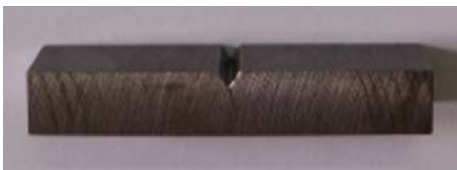
Gambar 3. Spesimen untuk uji komposisi kimia.



Gambar 4. Spesimen uji tarik.



Gambar 5. Dimensi spesimen uji dampak Charpy.



Gambar 6. Spesimen uji dampak Charpy.



Gambar 7. Bahan *pin* dalam bentuk serbuk.

2.2. Pengamatan visual dan foto makro

Pengamatan visual dan foto makro bertujuan untuk mempelajari patahan yang terjadi pada SBP *grade* lokal untuk PC200-7. Pengamatan visual ini diperlukan untuk menemukan titik awal patahan (*crack initiation*), arah rambatan patahan (*crack propagation*), dan penampang *final fracture* dari patahan.

Pengamatan dilakukan pada permukaan material patahan menggunakan kaca pembesar pada penerangan yang cukup, sedangkan pengambilan foto makro permukaan patahan menggunakan kamera digital dengan resolusi 13 *megapixels*. Spesimen diletakkan pada *anvil* datar dan rata.

2.3. Pengujian sifat mekanis

Pengujian sifat mekanis dilakukan untuk mengetahui kemampuan bahan spesimen dalam menahan beban mekanis. Pengujian yang dilakukan memberi beban tarik uniaksial, dampak dan tekan dengan penetrasi indenter untuk uji kekerasan. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan tarik dan keuletan bahan. Hasil pengujian berupa nilai tegangan tarik luluh (σ_y) tegangan tarik *ultimate* (σ_u) dan regangan bahan. Spesimen uji tarik dibuat pada ukuran *sub size* karena keterbatasan bahan spesimen

Uji dampak adalah usaha mengukur kemampuan bahan dalam menyerap energi potensial akibat tumbukan dari pendulum berayun dengan beban dari suatu ketinggian tertentu. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji dampak Charpy. Nilai harga dampak diperoleh dari hasil bagi antara jumlah energi yang diserap oleh bahan hingga terjadinya perpatahan dengan luas penampang spesimen. Uji ini dapat menunjukkan nilai ketangguhan bahan. Material yang tangguh adalah material yang mampu menyerap beban kejutan yang besar tanpa terjadinya retak [2].

Uji kekerasan dengan metode Brinell merupakan pengujian terhadap bahan teknik menggunakan indenter berbentuk bola baja yang dikeraskan (*hardened steel*) berdiameter D . Pengujian dilaksanakan dengan memberi beban P pada permukaan bahan hingga meninggalkan jejak indentasi berdiameter d di permukaan spesimen. Nilai kekerasan Brinell (*Brinell Hardness Number*, BHN) dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Pengujian kekerasan dilakukan dengan variasi empat titik dengan jarak yang diukur dari ujung permukaan spesimen uji.

2.4. Karakterisasi bahan pin

Pengujian ini terdiri dari analisis komposisi kimia bahan dan pengujian XRD. Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan karbon dan unsur paduan lainnya pada material SBP yang mengalami patahan. Uji XRD adalah digunakan untuk mengetahui struktur kristal bahan *pin* dan menganalisa komposisi kimia di dalamnya.

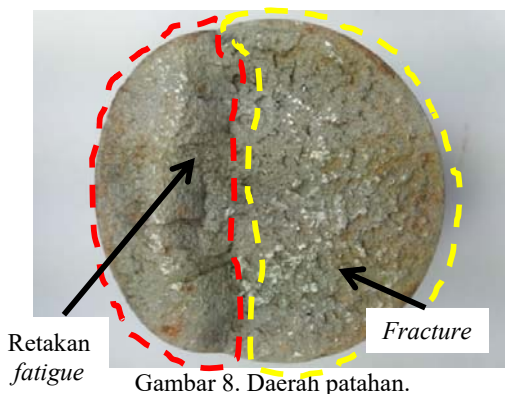
2.5. Analisis Struktur Mikro

Analisis struktur mikro bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dari bahan spesimen. Gambar struktur mikro nampak dari permukaan bahan yang sudah dipolish dan dietsa. Berbagai fasa bahan akan nampak dan memberi indikasi mengenai jenis dan sifat bahan SBP. Hasil analisa struktur mikro mendukung analisis kegagalan material SBP *grade* lokal dan mengetahui apakah terjadi cacat pada bahan tersebut. Cacat material dapat berupa *pitting*, kavitasi dan porositas pada material.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengamatan visual dan foto makro

SBP mengalami patahan diduga karena mengalami *fatigue* yaitu akibat beban siklus yang terjadi pada *pin*. Beban tersebut berupa kombinasi dari beban tarik, lengkung dan kejut (impak) yang diderita *pin* pada saat *excavator* melakukan proses *digging*. Pola patahan (Gambar 8) mengindikasikan terjadinya *fatigue* dan *fracture* akibat siklus beban saat *excavator* melakukan *digging* dan *loading*.

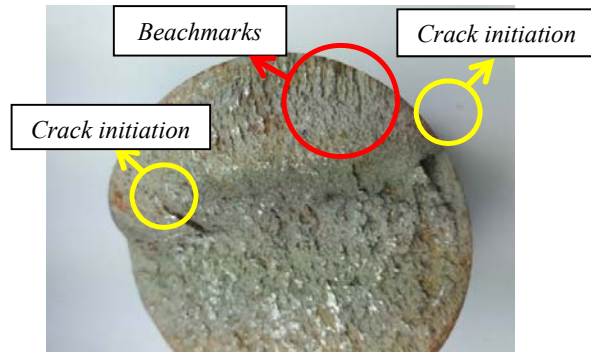


Gambar 8. Daerah patahan.

Retak *fatigue* muncul dan kemudian menyebar pada daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh *stress raiser*. *Stress raiser* berada pada takikan dan lubang. Selain itu, konsentrasi tegangan juga dapat muncul dari kekasaran permukaan *pin* dan *metallurgical stress raiser* seperti inklusi, kavitasi, korosi dan *pitting* [3].

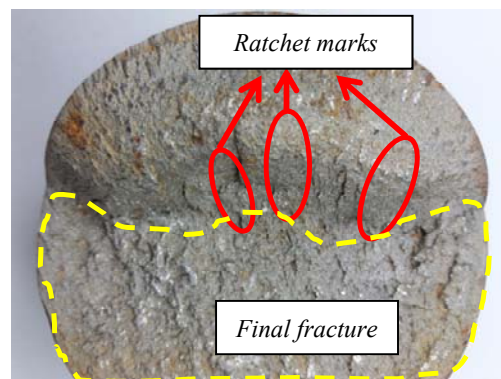
Hasil pengamatan visual pada spesimen SBP menemukan permukaan *pin* mengalami korosi dan *pitting*. Hal ini membuat kekuatan material menurun

saat mendapat beban ketika *excavator* melakukan *loading* dan *digging*. Proses patahan *fatigue* yang terjadi pada *steel pin bucket* dimulai dari *crack initiation* di daerah sekitar permukaan *pin* (Gambar 9). Pada daerah *crack initiation* terbentuk beberapa *beach marks* yang menandai arah perambatan retak (*crack propagation*). Perambatan retak dari titik *crack initiation* terjadi akibat pembebanan siklus atau oleh oksidasi pada permukaan patahan.



Gambar 9. Beach marks.

Daerah yang dekat dengan *crack initiation*, permukaan patahannya akan cenderung lebih halus jika diraba dengan tangan. Hal ini menunjukkan bahwa patahan terbentuk secara perlahan-lahan sehingga jarak antar alur patahan lebih dekat. Saat SBP mendapat beban siklus dari pengoperasian *bucket* maka patahan semakin cepat merambat dan alur patahan akan semakin renggang. Hal ini dibuktikan dengan adanya gradasi kekasaran permukaan patahan saat menjauhi *crack initiation*. Patahan *fatigue* terus berkembang dan membentuk suatu tanda, terpisah sesuai dengan asal retakan *fatigue* yang terjadi pada *pin*. Tanda ini disebut *ratchet marks* (Gambar 10).

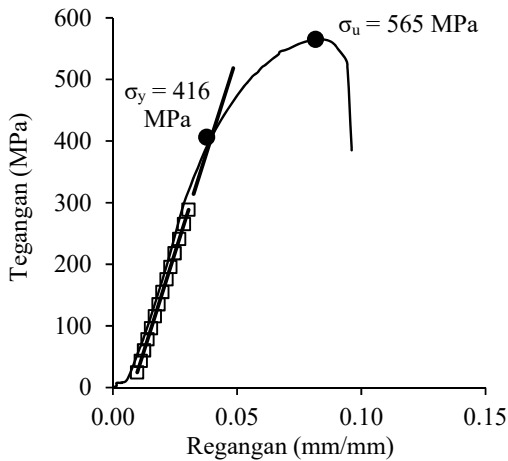


Gambar 10. Ratchet marks

Ratchet marks menghubungkan beberapa asal retakan ke dalam daerah patahan yang sama. Ketika SBP menerima beban secara terus-menerus, kekuatan material akan menurun. Saat material tidak lagi mampu menahan beban maka SBP akan mengalami patah secara tiba-tiba. Permukaan patahan dengan karakteristik patahan getas (*brittle*) nampak pada daerah *final fracture*.

3.2. Pengujian sifat mekanis

Data hasil uji tarik digambarkan dengan kurva hubungan antara tegangan dengan regangan (Gambar 11). Kurva tersebut menunjukkan sifat mekanis bahan SBP *grade* lokal ketika mendapat beban tarik. Nilai tegangan luluh adalah 416 MPa, tegangan maksimal 565 MPa dan regangan maksimum sebesar 0,1 mm/mm. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, SBP *grade* lokal terbuat dari material yang ulet dan tangguh. Hal ini mendukung dugaan bahwa bahan *pin* mengalami deformasi plastis sebelum patah. Deformasi plastis sebagai ciri bahan ulet relevan dengan hasil sebelumnya yaitu daerah patahan ulet yang luas pada pengamatan visual (Gambar 8).



Gambar 11. Diagram tegangan-regangan bahan SBP.

Hasil pengujian kekerasan bahan menunjukkan bahwa nilai BHN berbeda di berbagai titik uji. Kekerasan semakin meningkat saat jarak pengujian mendekati bagian tengah permukaan spesimen uji (Tabel 1). Nilai kekerasan pada bagian permukaan SBP lebih lunak daripada bagian tengah. Namun demikian, seluruh data hasil pengukuran yang diperoleh berada dalam rentang nilai kekerasan baja karbon sedang atau AISI 1045. Baja *grade* ini memiliki nilai kekerasan Brinell antara 170-210 BHN. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan nilai kekerasan antara bagian permukaan dan tengah bahan tidak signifikan. Kesimpulan yang dapat ditarik adalah permukaan *pin* produk lokal tidak mendapat proses perlakuan panas *surface hardening*. Proses tersebut perlu untuk komponen *pin* yang bergesekan dengan komponen lain sehingga permukaannya keras dan dapat menahan *crack propagation* dengan lebih baik.

Tabel 1 Uji kekerasan kekerasan Brinell

Titik ke	Jarak dari ujung (mm)	<i>d</i> (mm)	Nilai kekerasan (BHN)
1	1	1,13	176,96
2	5	1,13	176,96
3	10	1,12	180,32
4	15	1,11	183,78

Hasil uji impak menunjukkan rerata nilai energi yang diserap bahan SBP 11,5 J. Nilai energi impak baja 1045 adalah 30 J untuk baja dengan kadar karbon 0,43 % C dan 10 J pada baja dengan 0,53 % C. Oleh karena itu, bahan SBP diduga mengandung karbon lebih mendekati 0,5 %C daripada 0,4 % C. Hal ini akan dikonfirmasi oleh uji komposisi bahan. Bahan SBP cenderung getas untuk seri AISI 1045. Material getas menyerap energi impak yang kecil [1]. Penampang patahan spesimen (Gambar 12) juga menunjukkan karakteristik patahan getas dengan ciri permukaan *granular* dan terang. Beberapa material dapat tiba-tiba menjadi getas dan patah akibat perubahan temperatur dan laju regangan, walaupun pada dasarnya material SBP merupakan material yang ulet. Hal ini merupakan patahan pada transisi ulet-getas [4].



Gambar 12. Permukaan patahan hasil uji impak.

3.3. Karakterisasi bahan *pin*.

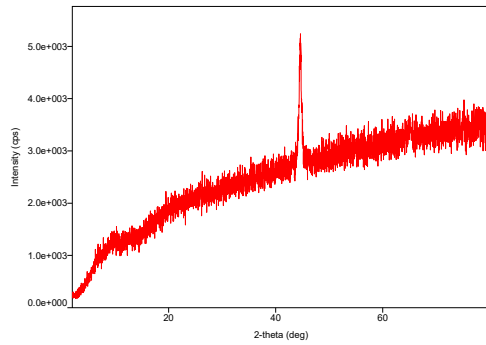
Analisis komposisi kimia menunjukkan hasil bahwa bahan SBP mengandung karbon dengan kadar 0,47 % (Tabel 2). Nilai ini termasuk ke dalam rentang kadar karbon dari baja karbon sedang (*medium carbon steel*) yaitu 0,3–0,59 % C [5]. Nilai ini menjadi validasi hasil uji tarik dan impak. Kandungan karbon dalam bahan SBP *grade* lokal memungkinkan bahan tersebut mendapat perlakuan panas agar lebih keras namun hal tersebut tidak dilakukan.

Tabel 2 Hasil uji komposisi kimia

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Cr	Fe
<i>r</i>							
%	0,47	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	98,5
	7	4	2	2	4	8	6

Kandungan unsur selain karbon pada bahan SBP mengindikasikan bahwa bahan tersebut tetap termasuk kategori baja karbon, bukan baja paduan. Hal ini dikarenakan nilai kandungan masing – masing unsur kurang dari 1,65% Mn, 0,60% Si, dan 0,60% Cu. Berdasarkan standar SAE-AISI, bahan ini merupakan baja yang mendekati tipe AISI 1045.

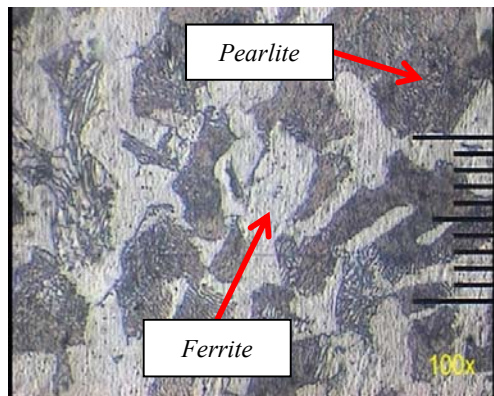
Hasil karakterisasi berikutnya adalah pengujian bahan SBP dengan XRD (Gambar 13). Bahan ini menunjukkan pola difraksi dengan puncak intensitas tertinggi pada sudut $2\theta = 44,60^\circ$. Nilai sudut tersebut menunjukkan keberadaan unsur Fe, tepatnya α Fe [6]. Pola difraksi tidak menunjukkan puncak – puncak lain. Data ini mendukung kesimpulan dari hasil uji komposisi dan uji sifat mekanis bahwa bahan SBP adalah baja karbon. Apabila bahan SBP termasuk baja paduan maka puncak – puncak lain akan muncul sesuai dengan karakter sudut difraksi dari unsur tersebut.



Gambar 13. Hasil uji dengan XRD

3.4. Analisis struktur mikro

Hasil pengamatan terhadap struktur mikro bahan SBP *grade* lokal menunjukkan fasa ferit dan perlit (Gambar 14). Keberadaan fasa – fasa tersebut relevan dengan hasil – hasil pengujian sebelumnya karena ferit dan perlit adalah fasa utama dari baja karbon sedang. Struktur mikro dengan warna cerah adalah ferit, sedangkan perlit berwarna gelap. Perlit tersusun dari ferit halus dan sementit (Fe_3C). Karbida sementit bersifat keras dan getas. Keberadaan fasa tersebut dalam ferit meningkatkan kekerasan baja karbon sedang, lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon rendah.



Gambar 14. Struktur mikro bahan SBP.

Berbagai pengujian yang dilakukan pada penelitian ini mengindikasikan bahwa komponen SBP *grade* lokal dibuat dari baja karbon sedang (*mild steel*) setara AISI 1045. Bahan ini banyak tersedia di pasaran dengan harga terjangkau. Produsen komponen lokal ini menargetkan biaya produksi yang murah untuk menekan harga, menyaingi *standard part* dari *vendor* perangkat *excavator*. Usaha ini patut dihargai namun karena kurangnya pengetahuan pabrik tentang ilmu bahan teknik, komponen SBP tidak mendapat perlakuan panas yang semestinya. Proses tersebut seharusnya mampu membantu meningkatkan umur pakai produk lokal. Keberadaan produk saat ini jauh dari memadai karena dengan umur pakai hanya sekitar 20 % dari *standard part* maka ongkos penggantian komponen SBP justru menjadi lebih mahal. Biaya-biaya lain harus mempertimbangkan, misalnya ongkos

pemasangan komponen dan biaya karena *excavator* tidak produktif (terlalu sering *idle*).

4. KESIMPULAN

Steel bucket pin (SBP) produk lokal mudah mengalami kegagalan karena patah pada umur pakai jauh dibawah *standard part*. Kajian terhadap *sample* produk menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahan komponen SBP *grade* lokal adalah baja karbon sedang setara AISI 1045 tanpa mendapat perlakuan panas.
2. Jenis patahan bahan komponen SBP adalah patah ulet. Jejak patahan getas ditemukan pada daerah *final fracture* yang mengindikasikan komponen SBP mengalami beban siklus.
3. Pada permukaan bahan SBP juga ditemukan korosi yang menyebabkan terbentuknya *stress-raiser* dan ikut memunculkan retakan *fatigue*.
4. Penggunaan komponen SBP *grade* lokal yang tidak memenuhi standar harus dihindari karena bahan yang digunakan tidak memenuhi persyaratan, mudah rusak dan dapat menimbulkan *domino effect* masalah pada unit *excavator* seri PC200-7.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Callister, W., and Rethwisch, D., 2010, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 8th Ed., John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Djaprie, S., and Dieter, G., 1996, *Metallurgi Mekanik*, Jilid 1, Edisi 3, Erlangga, Jakarta.
- [3] Campbell, F., 2012, *Fatigue and Fracture: Understanding the Basics*, ASM International, Ohio.
- [4] Gere, J., & Timoshenko, S. (2002). *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Steiner, R., 1990, *ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*, ASM International, New York.
- [6] Yu, Y., Shironita, S., Nakatsuyama, K., Souma, K., Umeda, M., 2016, "Surface composition effect of nitriding Ni-free stainless steel as bipolar plate of polymer electrolyte fuel cell", *Applied Surface Science* (388) Part A, pp. 234-238.