

Tren Pengembangan *Cloud Computing*

Berkah Iman Santoso

Pendahuluan

Perubahan penggunaan Internet, Web, aplikasi berbasis *mobile* sebagai cara manusia berinteraksi, menjalani kehidupan, menjalankan bisnis dan mengakses atau memberikan layanan secara spesifik menyebabkan tingginya tuntutan terhadap biaya sumber daya komputasi dan komunikasi yang rendah. Keadaan tersebut menggeser titik fokus ke arah komputasi awan yang berpusat pada multi *data center*. Selama 4 (empat) dekade penggunaan komputasi paralel dan komputasi terdistribusi memegang peranan kunci terhadap keberlangsungan layanan bisnis. Keniscayaan perubahan penyediaan sumber daya komputasi secara drastis terjadi pada saat hadirnya *cloud computing*. Penggunaan layanan *cloud computing* dimulai dari banyaknya penelitian yang diinisiasi kalangan akademisi hingga dapat digunakan para profesional dalam bentuk layanan korporat yang bersifat komersial. Telah terjadi pergeseran fokus industri pengembangan aplikasi dari pengembangan yang berdasarkan sumber daya komputasi aplikasi bersifat monolitik menjadi pengembangan berdasarkan sumber daya komputasi aplikasi bersifat *micro service*. Pergeseran tersebut dalam rangka pemenuhan kebutuhan aplikasi korporat agar dapat berjalan pada *data center cloud* sehingga memungkinkan jutaan pengguna dapat menggunakan aplikasi berbasis *cloud* secara simultan.

Cloud Computing secara definisi merupakan teknologi komputasi dalam rangka optimalisasi sumber daya *cloud* agar dapat menyediakan akses terhadap *ubiquitous*, kemudahan penggunaan dan *on-demand resource computing* dalam rangka berbagi pakai sekumpulan sumber daya komputasi. Sumber daya komputasi yang bersifat *cloud-ready* dapat dikonfigurasi secara spesifik (seperti

jaringan, *server*, *storage*, aplikasi dan layanan) agar dapat dirilis dan diimplementasikan secara cepat dengan pengelolaan perawatan yang minimal (Mell & Grance, 2011; Sanaei *et al.*, 2014). Sedangkan sumber daya *cloud* itu sendiri merupakan sumber daya komputasi yang memiliki kekayaan konten dan konfigurasi berupa sistem komputasi yang bersifat paralel terdistribusi. Sistem komputasi tersebut dikonfigurasi dari orkestrasi sekumpulan server yang divirtualisasikan dan saling dikoneksikan serta diimplementasikan secara dinamis dan lincah agar dapat merepresentasikan sumber daya komputasi yang terlihat sebagai kesatuan entitas tunggal berdasarkan *Service Level Agreement* (SLA). SLA digunakan sebagai bentuk hasil negosiasi antara *provider* dan *consumer* (Buyya, Yeo & Venugopal, 2009).

Tren komputasi mulai bertransformasi menjadi suatu model yang terdiri dari berbagai layanan yang bersifat komoditas secara teratur seperti halnya pada layanan *utility* seperti gas, telepon, air dan listrik. Layanan *Information Technology* (IT) saat ini dapat ditagihkan dan diberikan seperti halnya utilitas komputasi yang melalui jaringan komputer yang dibagi pakai. Pada saat yang sama, pengguna mendapatkan layanan IT sesuai dengan kebutuhannya tanpa harus memedulikan lokasi tempat menjalankan layanan IT tersebut. Beberapa paradigma komputasi juga telah menawarkan visi komputasi *utility* seperti pada *cloud computing* yang telah menjadi tren pada dunia industri. Beberapa penyedia layanan *cloud computing* telah dapat memberikan layanan sumber daya komputasi berupa *storage*, komputasi dan layanan *software* yang bersifat *public* tanpa harus terbatas oleh lokasi geografis. Layanan *cloud computing* tersebut memiliki *Service Level Agreement* (SLA) berbasis kinerja dan ketersediaan layanan yang tinggi (Buyya, Vecchiola & Selvi, 2013; Buyya & Varghese, 2017).

Berbagai penyedia layanan *cloud computing* telah menyediakan akses layanan berbasis metode berlangganan terhadap penyediaan kebutuhan infrastruktur, platform dan aplikasi yang disebut sebagai *Infrastructure as a Services* (IaaS), *Platform as a Services* (PaaS) dan

Software as a Services (SaaS). Transformasi metode penyediaan layanan komputasi tersebut telah dapat mengurangi biaya infrastruktur komputasi aplikasi dengan penambahan layanan secara berkembang apabila diperlukan, sesuai konsep *elastic computing* agar dapat memberikan layanan secara teratur, terstruktur dan memiliki kapabilitas yang jelas (Buyya & Varghese, 2017).

Pada saat terjadi perubahan yang sangat cepat karena pergeseran tipe komputasi, dari sebelumnya komputasi dengan metode *monolithic* menjadi komputasi dengan metode berbasis *cloud computing*, maka diperlukan juga penyediaan tenaga kerja dengan keahlian baru yang sangat baik secara teknis pada aspek *cloud computing*. Universitas selaku penyelenggara pendidikan tinggi, lembaga penyedia pelatihan keterampilan dan lembaga penyedia sertifikasi keahlian memainkan peranan penting dengan cara menyelenggarakan *training* untuk profesional IT serta pembekalan perangkat bantu dan pengetahuan untuk menjawab tantangan pasar *cloud computing*. Pihak universitas dihadapkan pada tantangan kebutuhan untuk menyediakan lingkungan komputasi berbasis *cloud computing* untuk sarana pembelajaran dan pengajaran dengan investasi minimal, sehingga pendekatan *open source software* menjadi pendekatan yang banyak ditemui pada universitas (Buyya & Varghese, 2017).

Pada aspek pengembangan *software* juga mengalami tantangan baru yaitu pengembangan aplikasi dan layanan berbasis *cloud*, hingga *microservices*. Penyediaan *platform* untuk layanan *container* yang diorkestrasikan dengan baik bertujuan dalam rangka percepatan instalasi, konfigurasi dan penyediaan lingkungan kerja aplikasi serta penyediaan layanan *cloud* sudah dapat dipastikan membutuhkan disiplin keahlian teknis pada aspek *Development and Operations* (DevOps). DevOps tersebut merupakan kedua hal yang jauh sebelumnya memiliki batasan-batasan yang sangat tegas berikut *typical area* kerja masing-masing, akan tetapi saat ini menjadi tidak bersekat karena perkembangan lingkungan *cloud computing* yang sangat pesat (Buyya & Varghese, 2017).

Beberapa sifat *cloud computing* yang menjadi keuntungan dalam percepatan pengembangan aplikasi diantaranya adalah (Gajbhiye & Srivastva, 2014):

- 1) Penyesuaian besaran kapasitas layanan dapat dilakukan berdasarkan persyaratan dan kebutuhan pengguna;
- 2) Penghematan anggaran investasi infrastruktur IT pengguna dapat dilakukan semaksimal mungkin;
- 3) Penentuan fokus inovasi yang terarah dengan jelas dapat terwujud pada proses transformasi departemen TI tanpa harus direpotkan dengan aspek operasional, perawatan dan implementasi.
- 4) Pemberian akses terhadap layanan IT dapat semakin dipermudah untuk pihak-pihak yang memiliki keterkaitan.

Keperluan Transformasi Infrastruktur *Cloud Computing*

Infrastruktur *cloud computing* mengalami banyak transformasi sejak tahun 1963 pada saat dicetuskan oleh pakar komputasi dan intelegensia buatan dari Massachusetts Institute of Technology (MIT), yaitu John McCharty. Perubahan tersebut dimulai dari konsep *network computing* pada tahun 1995, dilanjutkan dengan konsep *application service provider* pada tahun 1999, selanjutnya merupakan konsep *virtualization* pada tahun 2003, diperkaya dengan konsep SaaS pada tahun 2005 hingga berkembang menjadi konsep *containerization* tahun 2014 (Buyya & Varghese, 2017).

Kesinambungan pengembangan pada *cloud computing* ternyata telah membawa pergeseran pemanfaatan sumber daya komputasi pada area-area komputasi lainnya seperti area *big data*, *service space*, *internet of things*, *serverless computing* dan *self-learning systems*. Pada komputasi *big data*, organisasi atau perusahaan dapat memanfaatkan informasi yang tersebar pada Internet atau informasi dari eksternal perusahaan untuk dilakukan analisis bersama-sama dengan informasi yang dikelola oleh aplikasi internal perusahaan. Mekanisme pengolahan informasi dan analisis kedua sumber tersebut ditujukan untuk membantu memberikan variasi skenario simulasi

alternatif untuk pengambilan keputusan, yang digunakan oleh para pimpinan organisasi atau perusahaan. Pada komputasi *service space* organisasi atau perusahaan dapat memanfaatkan media penyimpanan data yang tersedia melalui perantaraan internet dengan model bisnis berbasis langganan berbayar, disesuaikan dengan kebutuhan dan persyaratan pengguna tersebut. Pada komputasi *internet of things* maka pengguna dapat memanfaatkan *connected smart devices* berbasis sensor pendeteksi keadaan lingkungan dengan beberapa parameter yang telah ditentukan sebelumnya, untuk mempermudah cara hidup manusia. Pada teknologi *serverless computing* pengguna dapat memanfaatkan sumber daya komputasi yang tersebar via internet berupa *coordinated compute engine* berbasis langganan layanan berbayar tanpa harus melakukan pembelian perangkat keras server untuk menjalankan layanan aplikasi. Pada *self-learning systems* pengguna mendapatkan sistem komputasi yang dapat memberikan respon dan bertindak sesuai dengan informasi yang diberikan secara terus menerus dari eksternal sistem dengan mekanisme *deep learning* yang merupakan salah satu ranah pada *machine learning* (Buyya et al., 2018).

Keuntungan Desentralisasi Sumber Daya *Cloud Computing*

Penyediaan sumber daya komputasi hasil dari pengembangan *cloud computing* membuka cara pandang dan pendekatan baru, yaitu semula berbasis tersentralisasi pada *client-server computing* menjadi berbasis terdesentralisasi pada *distributed cloud computing* dengan memanfaatkan masing-masing *computing agent* pada mata rantainya. Beberapa keuntungan desentralisasi sumber daya *cloud computing* meliputi beberapa hal di bawah ini (Buyya et al., 2018), yaitu:

- 1) Peningkatan privasi dan keamanan sistem komputasi dengan penambahan data enkripsi yang bersifat terdistribusi.
- 2) Peningkatan ketersediaan dengan menghindari *single point of failure* atau kegagalan yang terjadi pada perangkat atau *node* kritikal pada suatu rantai sistem.

- 3) Peningkatan otorisasi dengan menghindari risiko akses bersifat bebas dengan penggunaan desentralisasi sumber daya komputasi.
- 4) Peningkatan privasi melalui fungsi anonimitas dan pseudonimitas serta pengelolaan komputasi berbasis komunitas *agent/node* yang masuk dalam rantai komputasi.
- 5) Peningkatan tata kelola informasi penyimpanan data yang mengedepankan aspek privasi dan mitigasi risiko ancaman keamanan sistem komputasi.

Masa Depan Pengembangan *Cloud Computing*

Pengembangan *cloud computing* memiliki masa depan yang masih terbuka lebar, terutama karena teknologi *cloud computing* membuka cara pandang baru bagi penyediaan sumber daya komputasi pada disiplin lainnya. Beberapa aspek masa depan *cloud computing* meliputi komputasi pada fungsi sebagai berikut (Sanaei et al., 2014), di antaranya adalah:

- 1) *Multi-Cloud, Micro-Cloud dan Cloud Heterogeneity*
- 2) *Big Data dan Internet of Things*
- 3) *Volunteer Computing, Fog and Mobile Computing*
- 4) *Serverless Computing dan Software Defined Computing*

Keempat aspek pengembangan komputasi pada masa yang akan datang tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal oleh pengguna pada organisasi/perusahaan untuk dapat memiliki keunggulan kompetitif pada persaingan bisnis. Perubahan investasi infrastruktur dan aplikasi IT yang bergeser dari ranah *Capital Expenditure* (CapEx) seperti pengadaan perangkat *server, jaringan* dan keamanan, menjadi ke arah *Operational Expenditure* (OpEx) seperti bentuk layanan berlangganan berbayar, *monthly contractual services* dan *on-demand infrastructure* telah terbukti dapat meningkatkan aspek efisiensi terhadap investasi IT.

Transformasi Infrastruktur *Cloud Computing*

Transformasi paradigma dan cara pandang penyediaan sumber daya komputasi mutlak perlu dilakukan dalam rangka mencapai masa depan *cloud computing*. Beberapa perubahan pada infrastruktur *cloud computing* dapat penulis bahas pada bagian berikut ini.

- 1) *Multi-Cloud*, merupakan peningkatan sumber daya *cloud computing* yang berasal dari berbagai lokasi *data center* pada *cloud provider* yang sifatnya beragam. Selanjutnya aplikasi yang berjalan diatasnya dapat memanfaatkan sumber daya *cloud computing* dari berbagai macam *cloud provider* yang beragam, setidaknya-tidaknya terdiri dari 6 (enam) *cloud provider* berbeda. Penggunaan *multi-cloud* dapat memanfaatkan beberapa bentuk komputasi yaitu:
 - (1) *Hybrid cloud*, gabungan dari *private cloud* dan *public cloud*,
 - (2) *Federated cloud*, katalog layanan dan sumber daya dengan memanfaatkan *multi-cloud* yang dikelola dengan suatu *platform* bersama.

Ranah aplikasi, *data*, *runtime* dan *middleware* merupakan ranah yang dapat dikelola pada *multi-cloud* (Varghese & Buyya, 2017).

- 2) *Micro-Cloud* dan *Cloudlet*, merupakan bentuk komputasi terdistribusi pada lokasi tersebar yang memanfaatkan sumber daya perangkat yang memerlukan daya listrik kecil dan hemat biaya pemakaian dalam rangka mendekatkan sistem komputasi kepada sumber data yang dihasilkan pengguna. Contoh pemanfaatan *Odroid board* dan *Raspberry Pi* sering kali digunakan untuk membentuk *micro-cloud* yang memiliki tantangan pada mekanisme penjadwalan aplikasi dan pengelolaan jaringan dalam mengakses sumber daya komputasi yang tersebar. Sedangkan penggunaan *Cloudlet* mengacu pada bentuk *micro-cloud* pada konteks peningkatan *Quality of Service (QoS)* dan *latency mobile computing* yang mendekatkan sumber daya komputasi berdaya kecil, hemat biaya kepada sumber data yang dihasilkan pengguna. Tantangan sistem komputasi selanjutnya adalah bagaimana

melakukan integrasi komputasi pada *cloudlet* untuk melayani *traffic* jaringan secara lokal dan mengurangi *traffic* jaringan antar *data center cloud* di atas *underlying network*. Ranah aplikasi, *data*, *runtime*, *middleware*, sistem operasi, virtualisasi dan server merupakan ranah yang dapat dikelola pada *micro-cloud* dan *cloudlets* (Buyya & Varghese, 2017).

- 3) *Ad-hoc Cloud*, merupakan penjabaran dari konsep komputasi *ad-hoc* di mana sumber daya komputasi eksisting yang belum ter manfaatkan dengan baik dapat digunakan semaksimal mungkin untuk membentuk sumber daya komputasi yang bersifat *elastic computing*. Pada konteks *mobile computing*, penggunaan sumber daya komputasi yang belum dimaksimalkan pada *smartphone* dapat membentuk *ad-hoc cloud* seperti pada mekanisme *cloudlet*. Beberapa hal yang menjadi tantangan pada penggunaan *smartphone* untuk *ad-hoc cloud* adalah kemampuan *smartphone* untuk menjalankan tugas komputasi yang handal dan mekanisme pengelolaan sumber daya komputasi *smartphone* untuk melakukan identifikasi aktivitas yang mengganggu pada *ad-hoc cloud*, penggunaan *battery* pada *smartphone* yang berkontribusi untuk membentuk *ad-hoc cloud* dapat menjadi habis atau mengalami kebocoran daya selama penggunaan yang terus menerus. Ranah aplikasi, *data*, *runtime* dan *middleware* merupakan ranah yang dapat dikelola pada *ad-hoc cloud* (Buyya & Varghese, 2017).
- 4) *Heterogeneous Cloud*, merupakan penggunaan *virtual machine manager* dalam bentuk *hypervisor* dan kumpulan *software* dari berbagai *cloud provider* pada pengelolaan *platform* untuk menyediakan layanan serta infrastruktur IT. Penggunaan *heterogeneous cloud* juga dapat dicapai dengan penggunaan kombinasi bermacam-macam tipe *processor* untuk melayani kebutuhan infrastruktur *Virtual Machine* (VM) dengan sumber daya komputasi yang bersifat heterogen. Penggunaan NVIDIA® *Graphical Processing Unit* (GPU), *Field Programmable Gate Array* (FPGA) dan Intel® Xeon® Phi dapat digunakan untuk membentuk

heterogeneous cloud dengan tantangan pada aspek ketersediaan *accelerator software*, abstraksi aplikasi secara *high level* untuk dapat berjalan pada *heterogeneous cloud* serta penjadwalan aplikasi dalam rangka akses terhadap sumber daya komputasi *heterogeneous cloud*. Beberapa ranah aplikasi, *data*, *runtime*, *middleware*, sistem operasi, virtualisasi merupakan ranah yang dapat dikelola pada *heterogeneous-cloud* (Buyya & Varghese, 2017)

Beberapa Area Pengembangan *Cloud Computing*

Terdapat beberapa area pengembangan *cloud computing* yang masih terbuka luas untuk dimanfaatkan, seperti dapat kita lihat pada pembahasan berikut ini, yaitu :

- 1) Keterhubungan manusia terhadap *Internet of Things* (IoT), konsep penggabungan lingkungan dengan bermacam-macam perangkat sensor pendeteksi yang ditanamkan pada infrastruktur transportasi, komunikasi, gedung, pusat perawatan kesehatan dan perangkat pendukung yang terkoneksi dengan perangkat yang dapat dikenakan pengguna hingga perangkat rumah tangga pintar. Tujuan IoT adalah untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pada proses yang bergerak serta untuk mengurangi intervensi manusia. Sistem komputasi IoT pada masa yang akan datang dapat berupa integrasi dari bermacam-macam jenis sensor, yaitu sensor fisik, sensor lingkungan untuk membantu kehidupan manusia dan sensor yang melekat pada manusia. Tantangan pada ranah ini adalah data yang bersifat tidak terstruktur dan *platform software* untuk melakukan integrasi antar sensor yang belum tersedia (Sanaei *et al.*, 2014) .
- 2) Komputasi *Big Data*, merupakan konsekuensi dari berbagai macam data yang dihasilkan dari eksternal sistem komputasi dan internal sistem sehingga membutuhkan penanganan yang sifatnya tersentral pada arsitektur *cloud* atau terdesentralisasi pada bermacam-macam *data center*. Terdapat tantangan untuk

meningkatkan penggunaan *cloud data center* pada area big data, yaitu pemrosesan data dan pengelolaan sumber daya pada *cloud nodes* yang bersifat terdistribusi, pembangunan model untuk keperluan analisis dapat memiliki skala *horizontal* maupun skala *vertical*, *software* hanya dapat terpaku untuk melayani pemrosesan secara *end-to-end* kepada pengguna (Buyya & Varghese, 2017).

- 3) *Service Space*, merupakan keterjangkauan layanan yang lebih luas dan kaya dengan bermacam-macam bentuk layanan. Salah satu bentuk *service space* pada *cloud computing* adalah diluncurkannya *Container as a Service* (CaaS) yang digunakan untuk percepatan implementasi aplikasi berbasis *cloud* dan distribusi beban layanan aplikasi yang bersifat modular. CaaS memberikan alternatif untuk memanfaatkan pengelolaan dan implementasi *container* dalam rangka menghadapi beban kerja komputasi pada *ad-hoc cloud*, *micro cloud* yang diorkestrasikan dengan *volunteer computing* dan *fog computing* (Buyya & Varghese, 2017).
- 4) *Self-learning system*, merupakan sistem komputasi yang dapat menerapkan mekanisme *machine learning* untuk mempelajari dan bertindak sesuai hasil analisis berbagai macam informasi yang diberikan pada sistem tersebut atau disebut sebagai *deep learning*. Ketersediaan akselerator *software* seperti GPU pada lingkungan *cloud* dapat mengurangi waktu komputasi untuk algoritma *machine learning* pada data-data yang berukuran besar. Salah satu potensi penggunaan *deep learning* adalah untuk pengembangan *predictive analytics* yang bertujuan untuk memberikan proyeksi atau prediksi berbasis hasil analisis (Buyya & Varghese, 2017).

Tren Arsitektur Cloud Computing

Terdapat beberapa tren arsitektur *cloud computing* yang saat ini mengalami perkembangan pesat untuk dapat dimanfaatkan bagi pemenuhan layanan sumber daya komputasi pada bidang lain, diantaranya adalah sebagai berikut:

- 1) *Volunteer Computing*, merupakan penggunaan pendekatan *crowd funding* yang berasal dari sebaran pengguna komputer atau perangkat dalam membentuk *ad-hoc cloud* yang pada awalnya ditujukan untuk fokus pada layanan riset dan komunitas. *Volunteer cloud computing* dapat membentuk sifat yang berbeda seperti *social cloud computing*, *peer-to-peer cloud computing*. Beberapa tantangan pada *volunteer cloud computing* adalah bagaimana meminimalkan *overhead* untuk membuat lingkungan yang sepenuhnya tervirtualisasi di atas *hardware* yang heterogen dan bersifat *ad-hoc computing*, selanjutnya tantangan keamanan dan privasi yang perlu dipecahkan sebelum membentuk *ad-hoc cloud* (Sanaei et al., 2014).
- 2) *Fog and mobile edge computing*, merupakan peningkatan sumber daya komputasi pada sisi yang digunakan sebagai perantara terhadap pengguna melalui jaringan, seperti *mobile base stations*, *router*, *switch* atau keseluruhan perangkat perantara diantara perangkat pengguna dan *cloud data center*. Beberapa keuntungan yang didapatkan dari *fog computing* dan *mobile edge computing* adalah minimal latensi aplikasi, peningkatan QoS dan *Quality of Experience* (QoE) untuk meningkatkan jaringan yang memiliki hierarki, peningkatan realisasi dari visi IoT, di mana kita ketahui bahwa *fog computing* memfasilitasi keterhubungan antara *cloud data center* yang bersifat tersentral dengan komputasi terdistribusi (Buyya & Varghese, 2017).
- 3) *Serverless Computing*, merupakan konsep yang menerangkan bahwa suatu server tidak disewa sebagai *cloud server* konvensional dan pengembang aplikasi tidak berpikir bahwa server dan tempat peletakan aplikasi pada *virtual machine* (VM). Fungsi-fungsi pada modul aplikasi akan dieksekusi ketika dibutuhkan tanpa harus menjalankan aplikasi tersebut secara terus menerus, berupa *Function-as-a-Service* (FaaS) dan *event-based programming*. Suatu *event* akan memicu eksekusi suatu fungsi atau kumpulan fungsi yang dijalankan secara *parallel* (Sanaei et al., 2014).

- 4) *Software defined Computing*, merupakan pendekatan isolasi terhadap *hardware* jaringan yang sedang bekerja dari komponen yang mengendalikan *traffic* data. Abstraksi tersebut memungkinkan fungsi pemrograman yang mengendalikan komponen jaringan untuk mendapatkan arsitektur jaringan secara dinamis. Beberapa tantangan pada *software defined computing* dapat berupa *protocol* terdistribusi secara fisik yang mengendalikan tugas-tugas komputasi tersentral secara konsep, teknik untuk menangkap QoS berdasarkan infrastruktur jaringan dan infrastruktur *cloud* serta *interoperabilitas Information-Centric Networking* (ICN) dengan SDN (Buyya & Varghese, 2017).

Penutup

Perubahan dan tren perkembangan *cloud computing* telah mendapatkan porsi yang cukup besar dalam mempengaruhi bidang-bidang lainnya. Beberapa tren arsitektur *cloud computing* seperti *volunteer computing*, *fog and mobile-edge computing*, *serverless computing* dan *software defined computing* dapat dilakukan dalam beberapa dekade ke depan untuk memberikan dampak positif bagi perubahan cara hidup manusia dalam memanfaatkan *cloud computing*.

Daftar Pustaka

- Buyya, R., Vecchiola, C. & Selvi, S.T. (2013). *Mastering cloud computing: Foundations and applications programming*. Elsevier. ISBN: 978-0-12-411154-8.
- Crisan, D., Birke, R., Barabash, K., Cohen, R. & Gusat, M. (2014). Datacenter applications in virtualized networks: A cross-layer performance study. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(1), pp.77–87. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2014.140108>.
- Gajbhiye, A. & Srivastva, K.M.P. (2014). Cloud computing: Need, enabling technology, architecture, advantages and challenges. In *Proceedings of the 5th International Conference - Confluence: The Next Generation Information Technology Summit*. Amity School of Engineering & Technology, Amity University, India, pp.1–7.
- Mell, P. & Grance, T. (2011). The National Institute of Standards and Technology (NIST) definition of cloud computing. *NIST Special Publication 800-145*. [Online] Available at: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>.
- Varghese, B. & Buyya, R. (2017). Next generation cloud computing: New trends and research directions. *Future Generation Computer Systems*, 79(3), pp.849–861. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.09.020>.